

IV 小麦の収穫と乾燥

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構

農業研究本部 十勝農業試験場 生産システムグループ 主査 関 口 建二

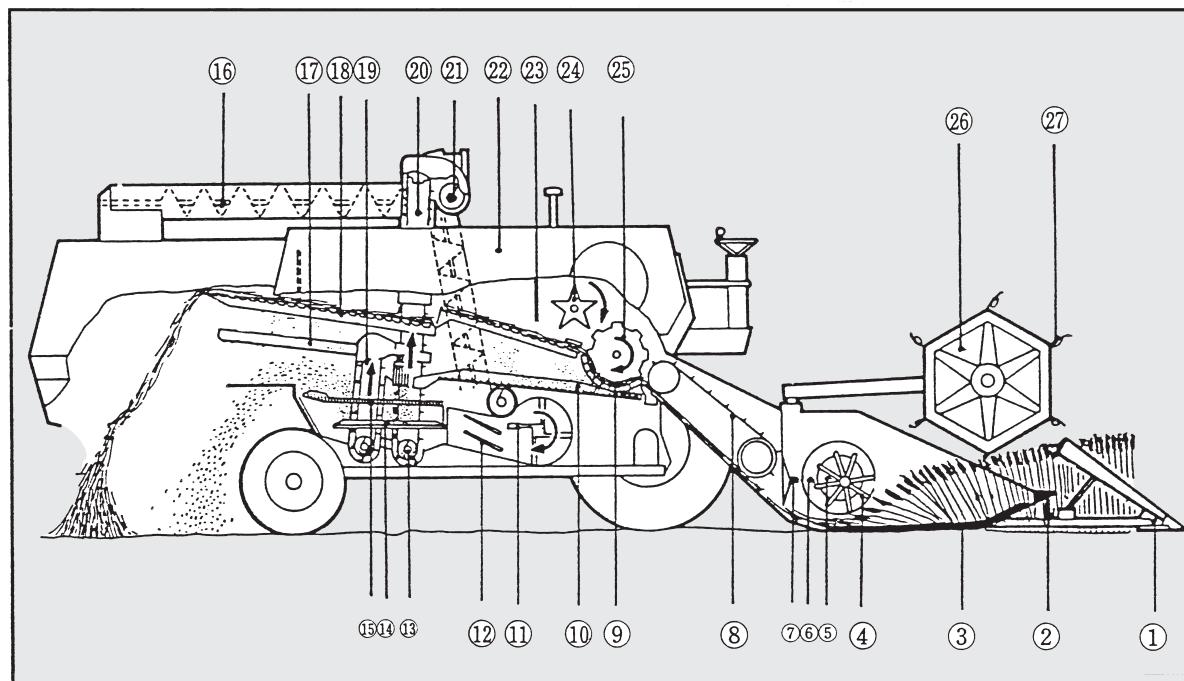
1. 収穫作業開始前の準備

(1) 機械や設備の確認と整備

小麦の収穫は気象や生育などの制約の中で、短期間に大面積の圃場を処理していく事例が珍しくない。このような作業ではひとたびトラブルが発生するとその影響は収穫作業の能率だけにとどまらず、収穫物の品質にまでおよぶ。このため収穫作業を始める前の確認や準備が非常に重要となる。

小麦の収穫ではコンバインや乾燥・調製機械など多くの機械が使用されるが、これらの機械については使用する前に定められた手順に従って整備を済ませておく必要がある。また、複数のオペレータによる運用が想定されるコンバインについては、事前に使用する機種の構造や機能、操作方法などをあらかじめ確認しておくことが望ましい。

図1および図2は小麦収穫に使用される一般的なコンバインの構造を示している。コンバインは基本的に、刈り取り、脱穀、選別分離を行う機械である。小麦の収穫には普通型コンバインと自脱型コンバインの2つのタイプのコンバインが用いられる。さらに普通型



1 デバイダ	8 コンベヤ	15 チャフシープ	22 グレンタンク
2 カッターバー	9 コンケーブ	16 アンローダ	23 カーテン
3 テーブル	10 グレンパン	17 リターンパン	24 ビータ
4 フィンガ	11 ファン	18 ストローウォーカ	25 シリンダ
5 オーガ	12 デフレクタ	19 テーリングスエレベータ	26 リール
6 フィン	13 グレンオーガ	20 グレンエレベータ	27 タイプ
7 ストリッパー	14 グレンシープ	21 レベリングオーガ	

図1 普通型コンバイン（直流式）の各部の名称と穀粒の流れ

コンバインは直流式（図1）と軸流式（図2）に分類される。また、軸流式コンバインのうち、日本で開発された稻・麦・豆類の収穫に対応するコンバインは汎用コンバインと呼ばれている。

以下に、各部の作用を直流式の普通型コンバインを例にとって説明する。

刈り取り部では、まずデバイダ①で刈幅を決め、リール②で小麦をテーブル③側に引き寄せ、カッターバー④で稈を切断する。刈り取られてテーブル③の上にのった小麦をオーガ⑤で中央に集めてコンベヤ⑧によって、脱穀部に供給する。

脱穀部では、コンベヤ⑧で供給された小麦が、シリンドラ⑨とコンケーブ⑩の間の狭い隙間を通過し、子実が脱穀される。脱穀後の稈は、シリンドラ後方の選別分離部へ送られる。

選別分離部では、圧縮作用を受けた稈をビーター⑪でほぐし、ストローウォーカ⑫で稈の中に混入している子実（ささり粒）を、揺動により分離しながら後方へ送り、機外へ排出する。

脱穀後の子実はグレンパン⑬に落ちた後、後方へ送られチャフシープ⑭、グレンシープ⑮の上に拡散された時に、ファン⑯の風により選別される。製品となる子実は1番口に落ち、グレンオーガ⑰で集められ、グレンエレベータ⑲でグレンタンク⑳に運ばれる。

わら屑や「ふ」はチャフシープ⑭から風で選別されて機外に排出され、穗切れや未脱粒は2番口に落ちた後、シリンドラに戻されて再脱穀される。

水稻の収穫で多く使用されている自脱型コンバインは普通型コンバインより小型で、穂

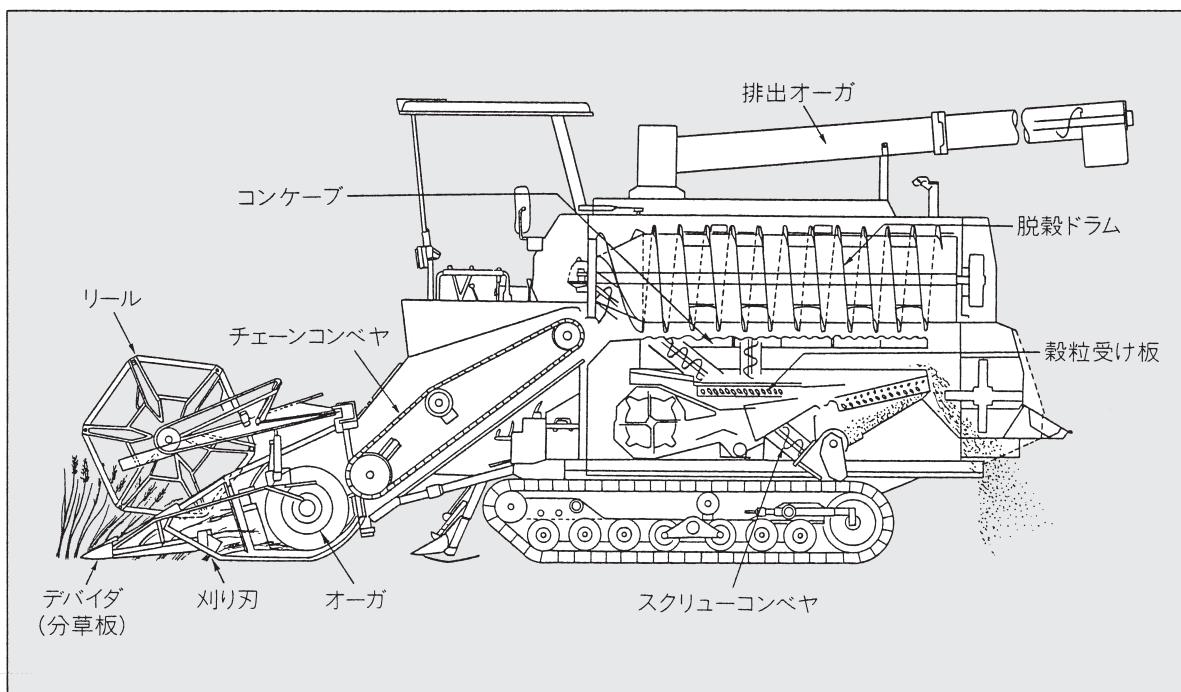


図2 普通型コンバイン（軸流式）の概観

のみが脱穀部を通過すること以外は基本的な作用は変わりない。また、方向・刈高さ・こぎ深さ・排わらなどのセンサーヤ警報装置が取り付けられ、自動化が進んでいる。

近年のコンバインによる小麦の収穫試験事例としては、平成26年1月に「普通型コンバイン（小麦）の性能」が指導参考事項として公開されている。供試機はロータリセパレータを装備した普通型コンバイン（型式：レキシオン770）で、供試品種は「きたほなみ」である。作業速度1.7～2.0m/sにおいて収穫試験を実施した結果、刈取部損失は0.1～0.4%、脱穀部損失は作業速度に関わらず0.2%以下、総損失は0.2～0.5%であり、収穫物中の損傷粒は0.2～0.3%、夾雜物混入率は0～0.1%であった。また、平均作業速度2.10m/sにおける作業能率は2.61ha/h、燃料消費量は50.2L/hであった。

（2）収穫予定圃場の確認と準備

同じ地域の圃場であっても作物の生育や圃場条件が同一とは限らない。また、1筆の圃場内でも土壤の流亡や浸食、病害や雑草の発生状況などに違いが生じる可能性がある。このような違いのある圃場を一律に収穫することは収穫物の品質に悪影響をおよぼすだけでなく、農作業事故や機械の故障などトラブルの原因にもなりかねない。このため、収穫予定圃場では事前に圃場の状況調査を行い、収穫や乾燥調製に影響をおよぼす要因の有無を確認しておくことが重要である。

ア. 土壌（基盤）の状況

生育期間中の大雨や多量の融雪水は、土壤の流亡や堆積、ガリとも呼ばれる溝状の浸食を引き起こす可能性がある。このような状況はコンバインの事故やトラブルの原因となるため、事前に修復しておくか、危険な箇所に目印を付けて関係者間で情報を共有するなどの対応が必要である。

イ. 病害や雑草の発生状況

病害や雑草の発生は作物の生育だけでなく収穫や乾燥調製作業にも悪影響をおよぼす。収穫時期まで枯死しないイヌカミツレやタデ類などの雑草が繁茂するとコンバインの脱穀選別を阻害する、収穫物に異物が混入するなどの原因になる。また、子実中のDON濃度を上昇させる赤かび病や、異臭麦の原因となるコムギなまぐさ黒穂病の発生は減収だけにとどまらず、収穫物全体の品質低下をもたらす要因となる。

雑草や病害への対応など詳細は他項を参照いただきたいが、収穫前に圃場を調査確認し、雑草や病害の発生状況を把握しておくことは円滑に収穫作業を進めるためにも重要である。

※ 赤かび病への対応は本資料の「V 小麦の病害とその予防」を参考にしていただきたい。また、赤かび病被害粒が混入した収穫物の乾燥調製については本項の「6. DON

濃度低減のための調製法」を参照いただきたい。

※ コムギなまぐさ黒穂病への対応は、北海道農政部生産振興局技術普及課が令和4年2月に公表した「コムギなまぐさ黒穂病Q&A－完結版－」、<http://www.agri.hro.or.jp/boujoshonamagusa/20220201>・コムギなまぐさ黒穂病Q&A集（完結版）pdfを参照いただきたい。

ウ. 倒伏の状況

倒伏が発生するとコンバインによる収穫が難しくなり、作業能率が低下するが、小麦の品質にも重大な悪影響をおよぼす。倒伏は赤かび病の発生やDON濃度の上昇を助長する。また、倒伏によって子実が多湿条件に置かれることで低アミロや穂発芽が発生する。低アミロ粒は健全粒に混入すると全体の品質を落とす原因となるため、倒伏した領域は区分して収穫するなどの対応が必要となる。

なお、「植物成長調整剤を用いた春まき小麦「春よ恋」の高品質多収栽培技術」（令和4年指導参考事項）では、倒伏防止の観点から窒素施肥標準量が制限されていた春まき小麦「春よ恋」について、植物成長調整剤を1回散布したうえで生育診断に応じた幼形期・開花期追肥を実施することで、倒伏を回避しながら増収・高タンパク化を可能としており、収穫作業の効率化と高品質多収を両立する技術である。

また、令和5年普及推進事項「秋まき小麦「きたほなみ」の気象変動に対応した窒素施肥管理（補遺）」では、安定生産に向けた穂数管理と受光態勢向上のため、各生育期節における目標茎数などの生育指標を示しており、同じく令和5年の指導参考事項である「衛星画像を用いた秋まき小麦「きたほなみ」の起生期茎数と止葉期窒素吸収量の推定技術」では、起生期や止葉期追肥判断の指標である茎数や窒素吸収量を、衛星画像を活用して広域で効率的に把握する技術を提案している。これら技術は過繁茂による品質低下や倒伏のリスクを回避した「きたほなみ」安定生産への寄与が期待されている。

令和7年度に北海道優良品種として認定された「きたほなみR」は現在の主力品種「きたほなみ」にコムギ縞萎縮病抵抗性を導入した新品種である。「きたほなみR」の栽培法は「きたほなみ」と同じとされているが、現在、縞萎縮病が発生している圃場で春先の生育回復を目的に「きたほなみ」に標準より多く追肥する栽培管理を採用している場合、「きたほなみR」に同じ栽培管理を適用すると、倒伏のリスクが高まるこに注意が必要である。

※穂発芽や低アミロについての詳細は本資料の「I 良質小麦安定生産のための基本的考え方」を、秋まき小麦「きたほなみR」については「II 小麦品種の特性と栽培上の注意点」を参照していただきたい。

(3) 作業計画の策定

地区内の圃場を巡回し、極端に生育の進んだ圃場や生育が不揃いの圃場、倒伏の見られる圃場などをチェックして、次項(4)で紹介する穂水分から成熟期を予測する手法などを組み合わせて、刈り取りの順番や荷受け後の保管について計画を立てる。また、途中で品種が変わる場合には、異品種混入（コンタミ）に十分留意し、機械内部の清掃を徹底する。

なお、道東の大規模小麦栽培地帯では人工衛星によるリモートセンシングや気象メッシュ情報などを利用して、広域の成熟期予測マップが作成されており、このマップを利用して収穫順位付けを行うことで、コンバインの効率的運用と乾燥費の低減を可能としている。詳細は「I-8. 先端技術を活用した小麦適期収穫システムの開発」を参考にしていただきたい。

更に近年では「気象情報および作物モデルを用いた秋まき小麦の生育収量変動の評価・予測法」（平成31年指導参考事項）において、登熟期間中の日射気温比に基づくポテンシャル収量の簡易推定や、気象予報が反映された圃場ごとの生育期節・穂水分の予測がWeb上で可能なツールが開発されており、より効率的な作業計画の策定に資することが期待される。

また、「レーザー式生育センサーを活用した秋まき小麦に対する可変追肥技術」（平成24年普及推進事項）では、可変追肥により追肥時期の窒素吸収量が高い箇所において追肥量が減量されており、圃場内の倒伏の軽減が図られている。本技術を活用することで、収量の増加と品質の均一化のみならず、計画的な収穫作業やコンバインの効率的運用に寄与することから、参考にしていただきたい。

(4) 収穫適期の推定

近年、コンバインの性能は向上し、収穫損失や損傷粒発生の点だけからみると40%近い高水分小麦の収穫も可能である。しかし、高水分でのコンバイン収穫は作業能率が低下し、乾燥に要する燃料費が増大するため、好天がしばらく続く場合は、できるだけ圃場で乾燥が進んでから収穫する方が経済的である。「きたほなみ」は「ホクシン」と比較して穂發芽に強いが、長雨などで収穫時期が遅れると品質劣化が懸念される。このため、乾燥機の容量や収穫量、天候を考慮し、収穫開始水分を決定して適期収穫に努めることが大切である。

収穫時水分が35%を超えると製粉性（ミリングスコア：製粉歩留と灰分の値から良い粉がどれほどとれるか補正した指標）などの品質が低下するため、収穫開始時における子実水分の上限は35%とする（図3）。なお、子実水分が35%になる時期は、葉が枯れ、穂首は完全に黄色になる。このときの粒色は鮮明で、子実をツメでちぎることはできるがやや

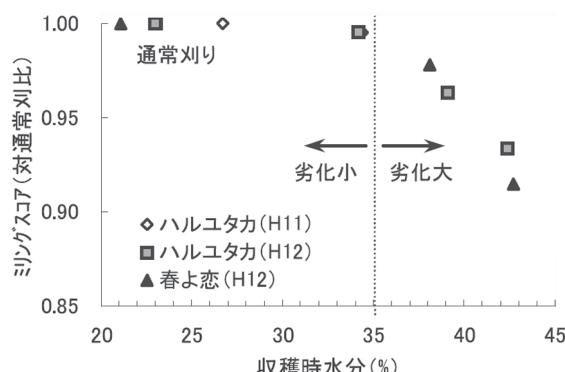


図3 収穫時水分と製粉性

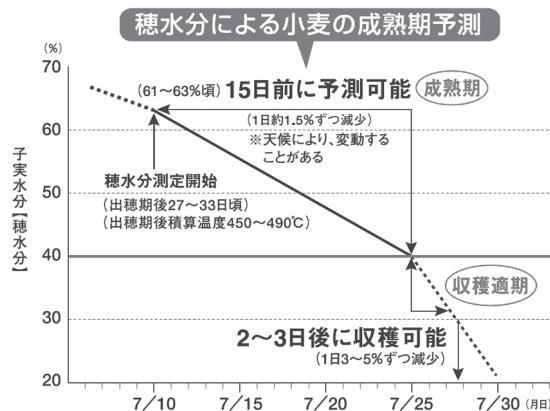


図4 穂水分による収穫適期の予測法

抵抗を感じる固さの状態である。

なお、収穫開始時期は、出穂期後30日目前後から穂を採取して熱風乾燥により穂の水分を測定することによって予測する「穂水分による小麦の成熟期予測」(図4)が有効であるので、詳細は「I - 7. 適期収穫判定技術」を参考にしていただきたい。

平成21年に十勝農業改良普及センターが管内7カ所にて、「きたほなみ」と「ホクシン」の穂水分の推移を比較調査しているが、穂水分の減少率は、「きたほなみ」1.01%、「ホクシン」1.27%となり、「ホクシン」に比較すると「きたほなみ」の減少率は0.26%少ない結果となった。調査年は降雨の多い年であったが、「きたほなみ」と「ホクシン」同様に、直線的に穂水分が低下することが確認されている。これらの結果を勘案して、「きたほなみ」では1日当たりの水分減少率を1.2%程度とすることで、現地で適期収穫の判断に利用可能と考えられる。ただし、成熟期前に低温や日照不足が続くと水分の減少率が設定値より小さくなることが多いので、天候に合わせて再調査を行うと精度をより高めることができる。

また、平成27年普及推進事項「秋まき小麦「ゆめちから」の高品質安定栽培法」では、「ゆめちから」の1日あたりの穂水分低下率の平均が成熟期前1.38%/日、成熟期後3.69%/日で、「きたほなみ」の成熟期前1.55%/日、成熟期後4.56%/日より低下程度がやや小さく、「ゆめちから」は成熟期前後とも「きたほなみ」より穂水分低下程度がやや小さいとされている。

2. コンバインによる小麦の収穫作業

(1) コンバインの点検

コンバインの運行をする前には機体の点検が必要である。機体に破損や締結部の緩みは無いか、タイヤの空気圧や損傷の有無の確認、機体各部で使用されているベルトの張り具

合、油脂類の量や漏れの有無、カッターバーの刃の状態など、機械の取扱説明書に従って点検を行う。

(2) 各部の調整

コンバイン収穫を行う場合には、収穫損失と損傷粒の発生状況をチェックしながら、各部の調整を行う必要がある（表1）。近年のコンバインでは各部の調整や設定が自動制御され、オペレータの負担が軽減されるようになったが、調整や設定の基本事項を理解しておくとコンバインの適切な利用に有益である。

ア. 刈り取り部

刈り取り部の主な調整項目は、刈り高さ・リール位置・リール回転速度の3項目である。

a. 刈り高さ

稈重と子実重の比が1：1となる高さが望ましい。おおむね40cmが目安となる。刈り高さが高すぎると穂切れ粒が増加し、低すぎると稈の量の増加に伴い、扱き残しによる未脱損失やささり粒が増加する。このため、刈り高さは、損失や損傷粒の発生に応じて、収穫作業中にも微調整を行う必要がある。

b. リール位置

前後位置はリールタインとオーガが接触しない範囲で、できるだけ手前に設定する。速度を上げたり、倒伏した小麦を収穫する場合には、リールを前方に出す。

c. リールの回転速度

作業速度の20～30%増しに設定する。なお、作物条件が良好で適正な調整が行われた場合には、オペレータが運転席からカッターバーを見下ろすと、穂先が一様に手前

表1 コンバイン収穫損失と損傷の発生要因

項目	発 生 要 因	
	作物	機械
頭部損失	①子実水分が低い ②倒伏の発生	①リール回転数が不適 ②作業速度が不適 ③リール作用位置が不適
未脱損失	①子実水分が高い	①シリンドラ回転数が遅い ②コンケーブクリアランスが広い ③送塵弁の開度が大きい（国産普通型）
ささり損失	①わら水分が高い	①処理量が過多である (作業速度が速い・刈り高さが低い) ②処理量の変動が大きい
飛散損失	①粒重の変動	①ファンの風量が大きい ②チャフシープの開き量が不足している ③エクステンションシープの開き量が不足している
損傷粒	①子実水分が高い	①シリンドラ回転数が早い ②コンケーブクリアランスが狭い ③わら量が不足している（刈り高さが高い）

方向に「さわさわ」なびくように見えると言われている。

イ. 脱穀部

脱穀部で主な調整項目は、シリンドラ回転数・コンケーブクリアランスの2項目である。

a. シリンダ回転数

シリンドラの周速度が25~30m/sの範囲となるように設定する。速すぎると損傷粒が、遅すぎると未脱損失が増加するため、これらの項目をチェックしながら、回転数を調整する。

b. コンケーブクリアランス

メーカーの推奨値を目安とするが、狭すぎると損傷粒が、広すぎると未脱損失が増加するため、状況に応じて微調整を行う。

ウ. 選別分離部

選別分離部の中で、ストローウォーカは基本的には工場出荷時の状態で使用する。チャフシープ・グレンシープの開度とファンの風量は、飛散粒とグレンタンクの夾雑物の量に応じて調整を行う。飛散粒は、風選により機外に排出される穀粒で、チャフシープの開度が狭すぎる、風量が多すぎる、チャフシープを通過するわら屑量が多いなどの場合に発生が増加する。

エ. ロスモニタの活用

最近の機種には、穀粒のささり粒や飛散粒の発生をセンサーで測定し、運転席のモニタに表示するロスモニタが装備されている。このロスモニタの表示値の増減をもとに、作業速度や刈り高さを調整することで、損失を低減することが可能である。

(3) 農作業安全

コンバインによる作業中の事故発生を防ぐため、ヘルメット・安全靴の着用、エンジン始動・発進・後退時の合図の徹底、各部の調整を行う際や詰まりなどのトラブル対応時のエンジン停止など、安全の確保には万全の注意を払う。

また、作業の終了後は機体の清掃とともに、再度機体各部の点検を行って損傷の有無などを確認する。異常があれば関係者で情報を共有し、必要に応じて修理などの対応を取る。

3. 収穫後の小麦の取り扱い

(1) 乾燥前の一時堆積

小麦の収穫期は気温や湿度が高いので、脱穀後の子実を放置すると異臭の発生や変質が起こりやすく、特に高水分の場合は急激に発熱し始め変質する。発熱は子実そのもの、および穀層内に存在する微生物などの呼吸熱が蓄積するために起こるとされており、発熱を

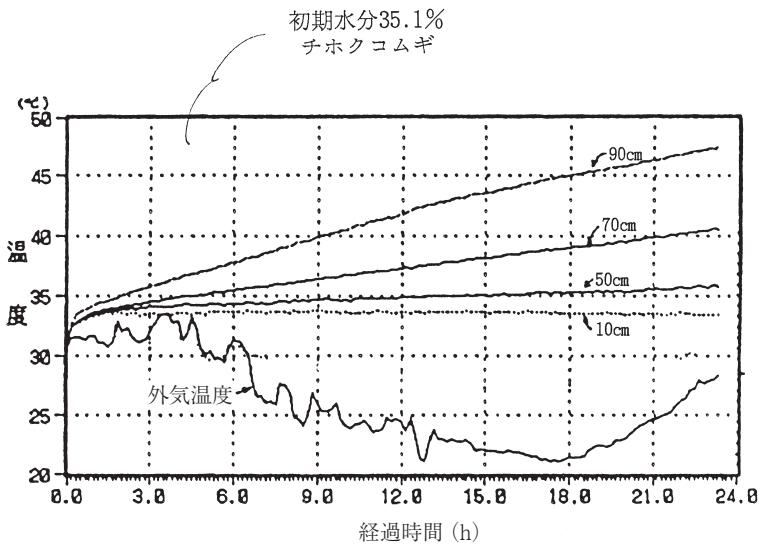


図5 高さ別発熱試験時の温度経過（十勝農試一部改）

防ぐためには通気などによって放熱を促進しなければならない。

高水分時の刈り取りや降雨前の刈り取りでは、乾燥施設の能力以上の小麦が刈り取られ、一時的にトラックに積み置きされる例があるが、図5に示すように、穀層が厚くなるに従って温度上昇が激しくなり、短時間の内に異臭や変質を引き起こしてしまうので十分な注意が必要である。

(2) 乾燥

小麦の乾燥を行う場合、品質の維持向上の面から、熱風温度（穀温）・乾燥速度の2項目を考える必要がある。

ア. 热風温度（穀温）

小麦は高温乾燥を行うと、酵素力の低下、蛋白の変成、でん粉の変化に伴う加工適性の劣化等の品質低下を招くとされている。一般的に穀温が40°C以上となると、品質低下が発生しやすいとされており、熱風温度は穀温が40°Cを超えないよう設定する。

送風温度と穀温の関係は、乾燥部と貯留部の容量の割合、風量比、乾燥部の流量などに大きく影響される。最近の乾燥機では、小麦用に合わせた温度管理を自動的に行う機種も増えてきているが、乾燥中の子実の状態や乾燥機の排気温度などをチェックして、乾燥による品質低下を防止することが必要である。

また、図6によると、送風温度によって穀温の上昇時期が異なり、送風温度が低い場合は穀粒水分が20%以下になるまでは穀温の上昇は少ない。しかし20%になると急激な上昇が見られる。また、送風温度が高い場合は、かなり早い段階から穀温の上昇が見られる。

さらに熱風温度は乾燥開始時の子実水分と密接な関係にあり、乾燥開始時の子実水分

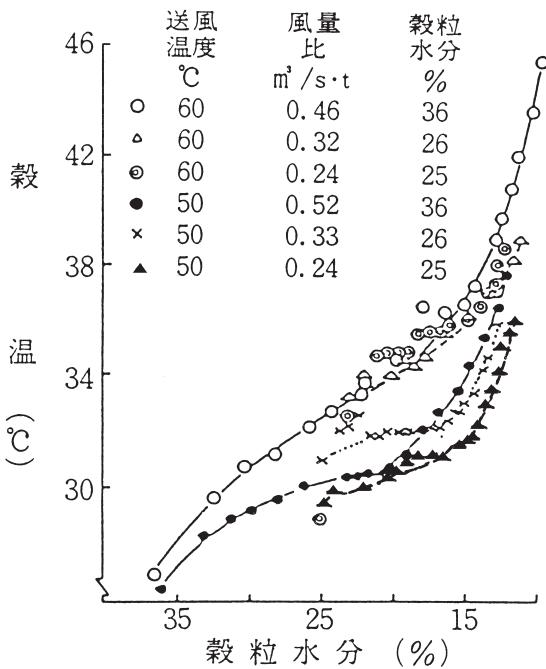


図6 乾燥条件が乾燥中における穀温上昇に及ぼす影響 (1985)
(福井県農業試験場)

が高いほど熱風温度の上限は低くなる。なお、乾燥した麦が本来のあめ色にならないで白くぼけてしまう、いわゆる「退色粒」は、高水分小麦を高温乾燥した場合に発生する現象である。

発芽率について見た場合、乾燥開始時の子実水分が30%付近から熱風温度50°C区に発芽低下が見られ、45%の高分子子実の場合、熱風温度40°Cでも60%程度に発芽率が低下する例が認められた（十勝農試）。なお、「春まき小麦では内部品質を考慮すると子実水分35%を上限に収穫し、熱風温度45°C以下で乾燥することが望ましい。」とされている（平成13年指導参考事項）。この収穫・乾燥方法は秋播小麦でも適応可能であるため、参考とされたい。

イ. 乾燥速度

乾燥速度（毎時乾減率：%／時）を必要以上に高めると、急激な乾燥によって品質低下を招く場合がある。熱風乾燥では、乾燥速度2%／時が発芽率を90%以上とする限界と考えられ、これ以下に設定することが望ましい。

(3) 二段乾燥

乾燥施設等の効率利用を図るため、一次乾燥の目標水分である穀粒水分17%に低下した時点で一時貯留を行い、数日以内に仕上げ乾燥を行う「二段乾燥」の体系が広く行われている。

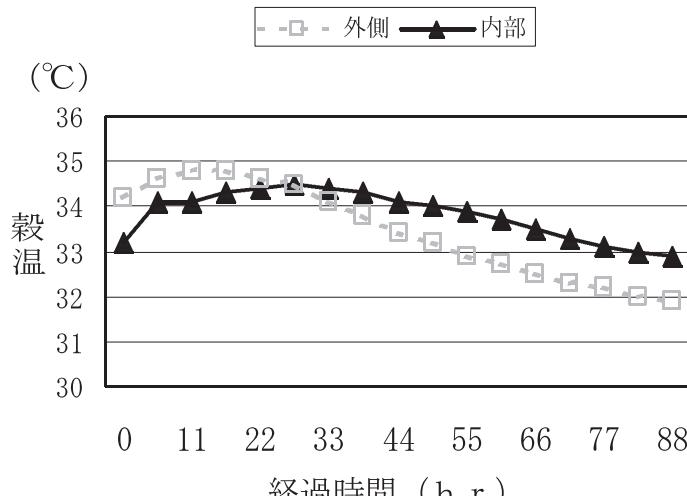


図7 一時貯留中の穀温の変化（子実水分18%、フレコン利用）
(中央農試技術普及部、空知南西部普及センター2001年(H13))

この場合、一時貯留の状態は「乾燥途中」であることを十分認識し、貯留する前にあらかじめ穀温を20°C以下に下げておく、原則として通風装置のある貯留ビンで一時貯留を行うなどに留意する。また乾燥機が空いた時点で、すみやかに仕上げ乾燥を開始する必要がある。

なお、やむを得ず通風装置のないスチールコンテナやフレキシブルコンテナ（以下フレコンと称する）等で、一時貯留を行う場合には、穀温が高いほど貯留中にカビが発生するリスクが高まるところから、穀温と通気性の管理がポイントとなる。

図7の事例では、一次乾燥終了後（子実水分約18%）、そのままフレコンに詰めて一時貯留した場合の穀温の変化を調べたものである。フレコンの上部を開放した状態でも穀温は一時上昇し、フレコン内部の穀温が張り込み時の穀温に戻るのに、およそ3日を要していることが示されている。

図8の事例では、一次乾燥終了後（穀粒水分16.7%）、常温通風して穀温を下げてからフレコンに詰めて一時貯留した場合の穀温の変化を調べたものである。この調査では貯留時の子実水分が低いにもかかわらず、10日後にはフレコン下部に異臭が発生し、2週間以内に2段積み下部のフレコンに白カビが発生していた。これはフレコンを2段積みした場合、荷重による圧縮によってフレコン内の通気性が低下し、フレコン内部に熱が蓄積することで、穀温の低下が妨げられたためと考えられる。

以上のことから、フレコンでは原則として積み重ねをしない、やむを得ず行う場合はフレコンをスチールコンテナなどに入れて圧縮を防止するとともに、フレコン上部を開放し、十分な空間を確保するなどに留意する。

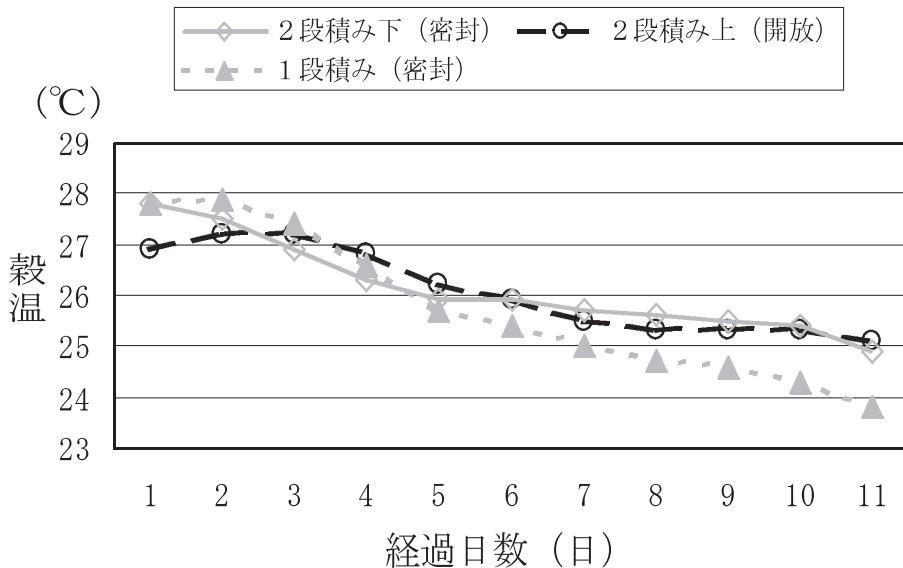


図8 フレコンによる一時貯留時の穀温変化（中央農試機械科2001年）

4. 高水分小麦の収穫乾燥作業

高水分の小麦を収穫する場合には、普通型コンバインでは子実水分40%程度の小麦を収穫することは可能であるものの、退色粒などによる品質低下を防ぐために子実水分35%以下になってから、収穫を開始することが望ましい。

この場合、未脱やささりなどの損失や損傷粒が発生しやすいため、これらの項目をチェックしながら、刈り高さ・作業速度・シリング回転数・コンケーブクリアランス・シーブ開度・ファン風量などを調整しながら作業を行う。

なお、高水分小麦の収穫作業能率は、適期収穫における作業能率の85%程度と見積もられている（十勝農試）。

高水分子実の乾燥を行う場合には、品質低下を防止するために、熱風温度は45°C以下、乾燥速度は2%/時程度が望ましい。

また高水分子実は夾雜物の混入が多く、流動性が悪いことから、乾燥機内でもトラブルを発生しやすい。このため、乾燥機への満量張り込みを避ける、粗選機を利用して夾雜物を除去するなどの対策が必要である。

5. DON濃度低減のための調製法

ここでは、平成17年普及推進事項「小麦のデオキシニバレノール汚染低減のための乾燥調製法」と、平成19年普及推進事項「デオキシニバレノール（DON）に対応した小麦調製法と貯蔵中におけるDONの消長」から概要を抜粋して記述する。

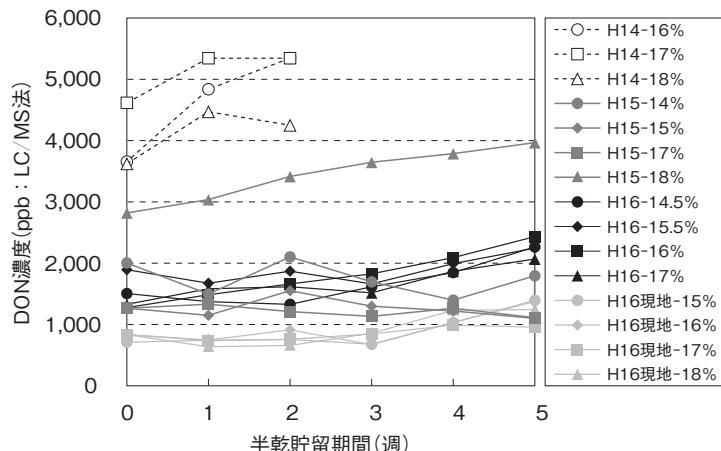


図9 半乾貯留中のDON濃度の推移
(H14「ハルユタカ」H15-16「春よ恋」：中央農試)
*）DON濃度はELISA法（協和メデックス社委託）

(1) 半乾貯留中におけるDON濃度の推移

図9に半乾貯留中のDON濃度の推移を示す。貯留開始時の水分条件に関係なく、小麦中のDON濃度は徐々に増加し、特に貯留開始時のDON濃度が高い場合は、増加が顕著であった。このため一時貯留はできるだけ短期間とし、すみやかに仕上げ乾燥を行うことが重要である。

(2) 選別機によるDON濃度調製法

ア. 粒厚選別機による調製

表2に粒厚選別機によるDON濃度の低減例を示す。同一原料中においては子実の粒厚が厚いほどDON濃度が低くなる傾向にある。ただし、粒厚とDON濃度の関係は原料によって変動するため、粒厚選別のみでDON濃度を暫定基準値以下に調製することは困難である。

表2 粒厚選別機によるDON濃度低減例

年 度	品種名	区 分	篩目サイズ	流量 (t/h)	歩留 (%)	DON濃度* (ppb)	赤かび粒 率 (%)	容積量 (g/l)
H14	「ハルユタカ」	原料		4.42	(100)	3,594	1.30	835
		製品	2.3mm網上	3.12	71	1,815	0.20	840
		屑	2.2~2.3mm	1.30	19	6,190	2.10	813
			2.2mm未満		10	7,063	2.60	778
H15	「春よ恋」	原料		4.40	(100)	2,735	0.45	823
		製品	2.3mm網上	4.30	97	2,453	0.15	840
		屑	2.3mm未満	0.10	3	4,412	0.20	787

イ. 比重選別機による調製

表3に比重選別機によるDON濃度の低減例を示した。原料によって歩留は大きく異なるが、DON濃度が2,000～3,600ppbの小麦でも比重選別機によって、製品のDON濃度を暫定基準値1.1ppm以下に調製することが可能であった。

表3 比重選別機によるDON濃度低減例（原料DON濃度が高い事例）

試験番号	機種名 品種名	区分	流量 (t/h)	歩留 (%)	DON濃度* (ppb)	容積量 (g/l)	赤かび粒率 (%)	備考
1	Max iCap4800 「ハルユタカ」	原料	11.28	100.0	2938	837	1.20	*ELISA法
		製品	10.34	91.7	707	848	0.40	(協和メデックス社委託)
		くず	0.94	8.3	15880	799	6.20	分析)
2	Max iCap4800 「春よ恋」	原料	6.93	100.0	2154	844	0.15	*ELISA法
		製品	4.50	65.4	800	852	0.00	(協和メデックス社委託)
		くず	2.37	34.6	5011	822	0.70	分析)
3	GA712 「ハルユタカ」	原料	0.71	100.0	3665	840	2.67	*ELISA法
		製品	0.40	93.3	852	861	0.03	市販キットベラトクスボミトキシン
		くず	0.03	6.7	43034	697	16.77	FAST DON 5／5

(3) 比重選別機でDON濃度を低減するためのELISAキット活用法

同一原料中において、原料、製品、屑試料の容積重とDON濃度には直線的な関係があることから、DON濃度の測定を市販のELISAキットを用いて、簡便に製品のDON濃度を目標値に近づけるよう調製することができる。

図10にELISAキットとブラウエル穀粒計を用いた比重選別機でのDON濃度調製法の流れを、表4にその手順を示した。調製原料毎に原料と予備稼働で得た製品および屑サンプルのDON濃度を市販のELISAキットで、容積重をブラウエル穀粒計でそれぞれ測定し、この3点による回帰直線を求めることにより、選別機の仕切板を調節した後のおよそのDON濃度を簡便な容積重測定によって推定する。現場におけるDON濃度分析は、予備稼働によるサンプリング30分間を含め約95分間で行うことができる。

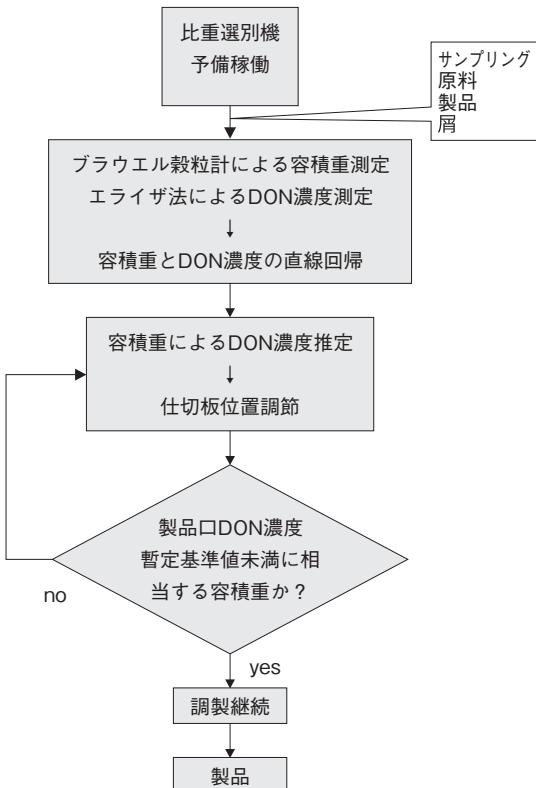


図10 ELISA キットを用いた比重選別機でのDON 濃度調製法の流れ

表4 比重選別機での調製法におけるDON濃度分析手順

作業工程		作業内容	所要時間(分)
予 備 稼 働	試料の採取	①原料、②製品、③屑	30
粉 碎 ・ 抽 出	水分測定	近赤外分析装置等を用いて子実水分を測定する	1.5
	粉碎試料の計量	小麦子実100 g を計量する	1.5
	試料の粉碎	1 mm の篩を通過するよう粉碎	10
	抽出試料の計量	粉碎物 5 g を計量する	1.5
	抽出液の準備	蒸留水25mlを計量する	1.5
	抽出	シェーカーで 3 分間振騰する	4
	分離	Whatman No.1ろ紙で濾過する	10
DON濃度の分析	分析	ELISA キットにより分析する	30
	測定と算出	吸光度計で吸光度を測定し DON 濃度を算出する	5
合 計			95

図10、表4に示す方法で平成16年に室内及び現地施設における調製を実際に行った。30分間の予備稼働により容積重とDON濃度の回帰直線(図11、図12、図13)を求め、想定したDON濃度での容積重になるよう調節を行った後、30分間本稼働での製品をサンプリングした。施設のオペレータによる比重選別機のデッキ出口仕切板の調節は5分程度で行った。調製結果を表5に示す。予備稼働によって求めた回帰直線から目標としたDON濃度に相当する容積重になるよう仕切板位置等を調節し、設定したDON濃度に近い製品を

得ることができた。現地試験2、試験3ではDON濃度が低い原料による試験であったが、試験1同様に想定したDON濃度に近い製品を得ることができた。

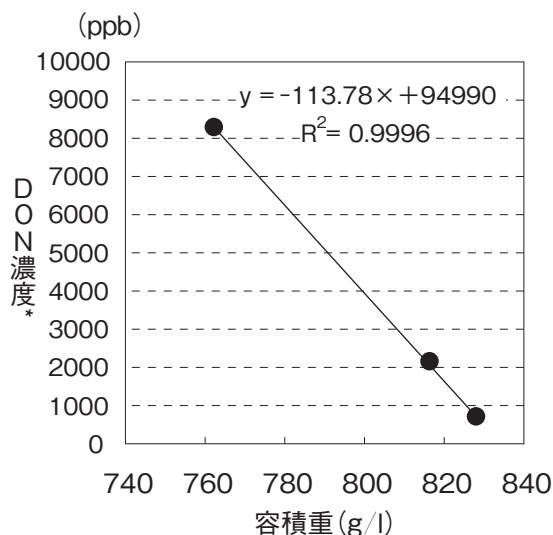


図11 予備稼働における容積重とDON濃度
(試験1)

*) DON濃度は市販のペラトクスピミトキシン5／5
(最低検出濃度100ppb、最低定量濃度250ppb)

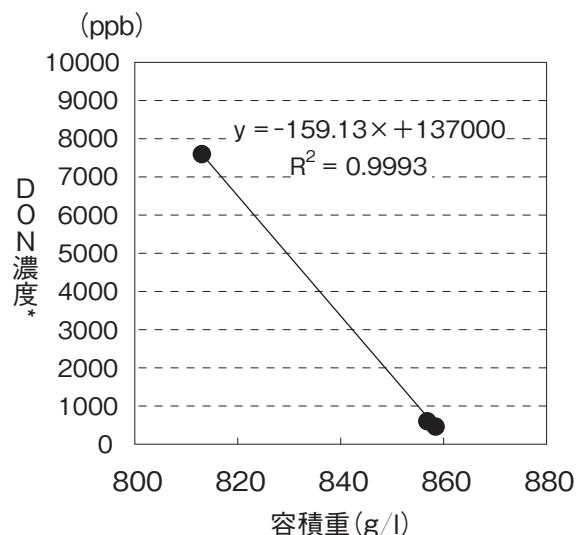


図12 予備稼働における容積重とDON濃度
(試験2)

*) DON濃度は市販のペラトクスピミトキシン5／5
(最低検出濃度100ppb、最低定量濃度250ppb)

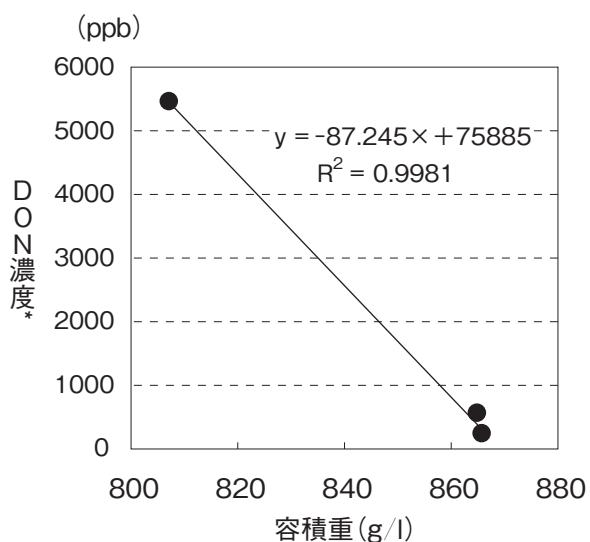


図13 予備稼働における容積重とDON濃度(試験3)

*) DON濃度は市販のペラトクスピミトキシン5／5
(最低検出濃度100ppb、最低定量濃度250ppb)

表5 比重選別機による調製結果

試験番号	区分	選別機予備稼働			予備稼働からの設定値			調製後			備考	
		DON濃度*(ppb)	容積重(g/l)	流量(t/h)	歩留(%)	調節	DON濃度*(ppb)	容積重(g/l)	流量(t/h)	歩留(%)		
1	原料	2116	817	0.65	100.0	調節板開度を適宜調節	500	830	514	833	0.93	100.0 室内試験
	製品	714	828	0.48	98.3						0.39	83.2 GA712
	屑	8278	762	0.01	1.7						0.08	16.8 「春よ恋」
2	原料	520	857	5.43	100.0	仕切板	300	860	314	861	5.28	100.0 現地A
	製品	413	859	5.25	96.7	5mm狭める					4.73	89.7 MAXICap4800
	屑	7633	813	0.18	3.3	35mm広げる					0.54	10.3 「春よ恋」
3	原料	549	865	1.81	100.0	仕切板	150	868	153	872	1.38	100.0 現地B
	製品	202	866	1.67	92.1	19cm狭める					1.27	91.7 HiCap2400
	屑	5476	807	0.14	7.9	10mm広げる					0.12	8.3 「ハルユタカ」

この方法は原料のDON濃度が高く、予備稼働時の製品のDON濃度が暫定基準値を超えた場合に、暫定基準値以下に調製するために活用する。

例えば表6、図14のように、荷受けの段階からDON濃度が高いと想定された原料の調製に際し、施設のオペレータが経験に基づく調節を行って予備稼働を行い、原料、製品、屑口のサンプリングを行う。それらのDON濃度と容積重を求め、直線を当てはめる。当てはめた直線の回帰式を用いて、目標とするDON濃度を式に代入し、そのときの容積重を求める（外挿）。次に容積重が現状の848 g / l から3ポイント（ブラウエル値で0.5）大きい851 g / l になるよう比重選別機の屑口や戻り口の仕切板位置等を調節する。ここで、目標とするDON濃度は、最終的に機器分析による自主検査を受けるので、施設のオペレータが暫定基準値以下の値に決定すれば良い。しかし、使用する市販のELISAキットは測定値1.1 ppm の時±400 ppb の誤差を見込んでおり、700 ppb 以下であれば1.1 ppm が保証されると判断して良い。

（参考：平成15年4月18日15食糧第166号）

表6 調製手順

手順	x : 容積重(g/リットル)	y: DON濃度*(ppb)
1	原料	825
	予備稼働 製品	848
	屑	770
2	回帰式を求める。y = -131.32x + 112461	
	目標DON濃度を設定する。 700 ppb	
3	容積重の目標値を計算する。 851 g / l	
目標容積重に合わせて調節する。		

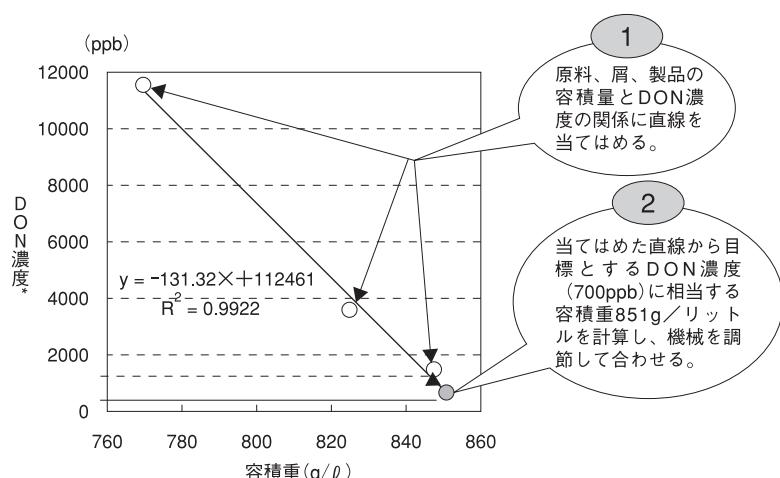


図14 ELISAキットを活用した比重選別機の調節法

なお乾燥調製施設では乾燥機の容量が大きく、荷受けした複数の原料を1ロットにして乾燥を行うことが多い。乾燥中、通風式貯留槽などへの投入・排出を繰り返し行うが、小麦は完全に均一になることはない。このため乾燥後、調製する前の原料小麦を調査した結果では、荷受け原料の違いに由来するDON濃度のばらつきが見られる(表7)。これらのことから、比重選別機本稼働による製品のDON濃度が、予備稼働で求めた直線から外れる場合があるため、原料のDON濃度が高い場合には、出荷前に製品のDON濃度を常にチェックする必要がある。

表7 同一の調製前原料におけるDON濃度のばらつき

	DON濃度 (ppb M)	容積重 (g/ℓ)	赤かび粒率 (%)
1	420	833	0.05
2	380	842	0.00
3	470	840	0.10
4	600	842	0.05

注) 20トンのロットを10分毎に同量サンプリングし、4試料に合成縮分した

また赤かび粒の混入が見られる原料を比重選別機を用いて選別する場合(ただし、赤かび粒率1.87%以下の条件)、製品口の赤かび粒率が0.049%未満となるように、比重選別機の仕切板の位置を調整することで、同時に整粒割合とDON濃度は、それぞれの基準値をクリアすることが確認されている(図15)。

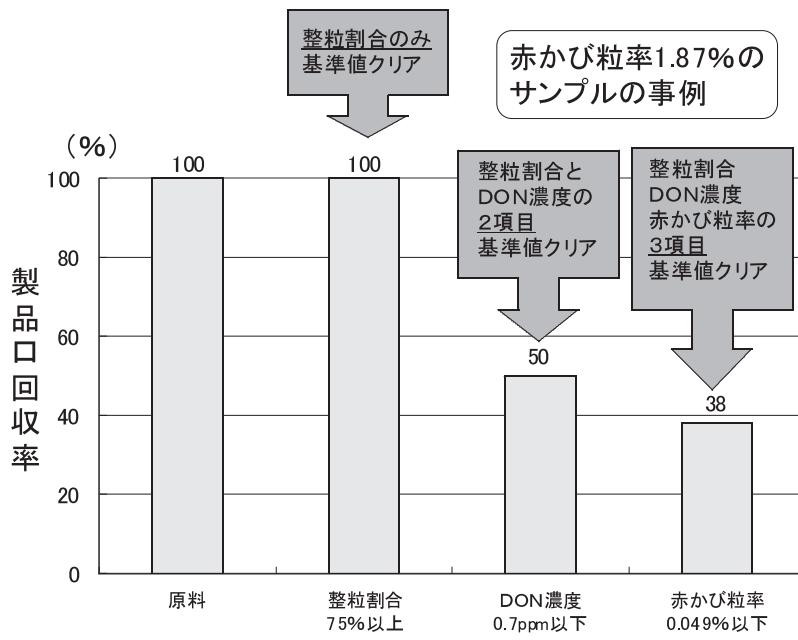


図15 選別基準別の比重選製品口割合(平成16年、品種「春よ恋」)

(5) 光学式選別機を利用した小麦調製体系

赤かび粒は健全粒に比べ近赤外線の波長域の光を透過しにくい特性を示すため、近赤外センサーを搭載する光学式選別機を使用すると、より高精度な選別が可能となる。

近赤外センサーを搭載したベルト式光学式選別機を用いた場合、選別機を通す前の原料中赤かび粒率が1.4%以下であれば、選別後の赤かび粒率は0.05%未満になる（表8）。

表8 赤かび粒に対する光学式選別機の選別性能

機種 品種	赤かび粒率 (%)		除去率 (%)
	選別前	選別後	
Au-300 春よ恋	0.400	0.008	98.0
	0.800	0.028	96.5
	1.400	0.041	97.1
	1.964	0.123	94.0
	3.485	0.194	94.8

光学式選別機を利用した体系（図16）は、比重選別機だけを利用する体系と比べて、製品の赤かび粒率・DON濃度が低くなると同時に、製品歩留は大幅に改善される（表9）。

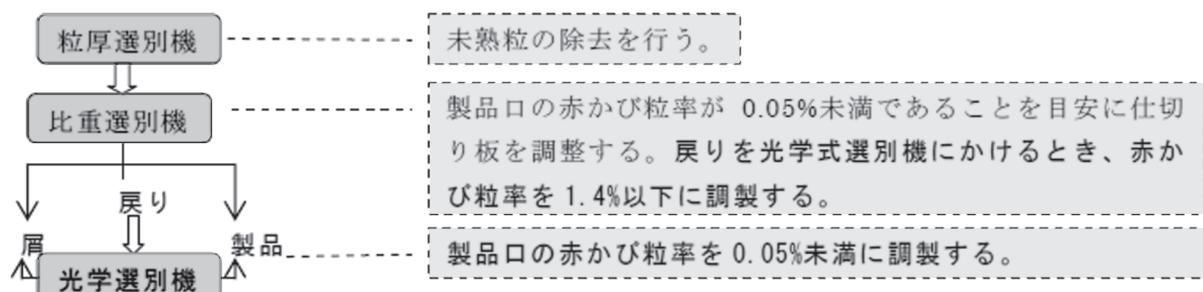


図16 光学式選別機を利用した新たな調製体系

表9 選別体系の赤かび粒率・DON濃度・製品歩留

試験 No.	原 料			比重選別口				比重選別（戻りを再選別）				光学式選別機							
	整粒 割合 (%)	赤かび 粒率 (%)	DON 濃度 (ppm)	容積重 (g/l)	赤かび 粒率 (%)	DON 濃度 (ppm)	容積重 (g/l)	赤かび 粒率 (%)	DON 濃度 (ppm)	歩留 まり	製品組成 (%)			赤かび 粒率 (%)	DON 濃度 (ppm)	歩留 まり	製品組成 (%)		
											整粒	開溝 未熟粒 (%)	病虫 害粒 (%)	整粒	開溝 未熟粒 (%)	病虫 害粒 (%)			
1	73.6	0.70	1.39	835	0.08	0.53	837	0.045	0.40	87.6	86.1	6.3	7.0	0.004	0.30	90.8	90.7	4.2	3.6
2	83.3	0.16	0.74	833	0.07	0.41	822	0.045	0.37	90.5	91.6	2.4	4.4	0.008	0.19	92.9	90.6	5.0	3.3
3	73.0	0.13	0.76	816	0.18	1.06	838	0.046	0.63	51.0	86.1	10.0	3.2	0.008	0.47	89.5	92.3	5.2	1.9
4	89.9	0.68	1.18	839	0.45	0.87	830	0.041	0.00	76.0	90.7	7.2	1.8	0.000	0.00	91.9	84.8	12.9	1.9
5	86.6	0.19	0.93	839	0.25	0.26	831	0.026	0.00	76.0	91.0	7.8	1.1	0.000	0.00	90.9	87.9	10.5	1.5
6	71.2	0.24	1.41	829	0.19	0.67	817	0.038	0.35	80.8	90.6	6.6	2.2	0.000	0.30	91.6	88.1	9.2	1.9

