

農業施設に関わる研究・技術の最近の展開

米の調製と貯蔵および精米とトレーサビリティ

誌名	農業施設
ISSN	03888517
著者名	川村,周三
発行元	農業施設学会
巻/号	48巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 3-16
発行年月	2017年12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



総 説

農業施設に関わる研究・技術の最近の展開
—米の調製と貯蔵および精米とトレーサビリティ—

川村周三

北海道大学大学院農学研究院食品加工工学研究室, 〒 060-8589 北海道札幌市北区

はじめに

本稿では穀物関連施設として、主として米のポストハーベストプロセスに関する施設の設備機器および技術について解説する。なお、穀物関連の種子・苗を扱う施設については堀野ら (2017) の論文を、荷受・乾燥を担う施設については日高 (2017) の論文を、穀類・豆類の品質、特性については小川 (2017) の論文をご覧ください。

図 1 に米のポストハーベストプロセス (籾収穫から消費者まで) を示した。収穫直後の米 (籾) は水分が平均で 25 % 程度 (天候や収穫時期、収穫地域による変動があり、わが国全体では 20 ~ 30 % 程度の範囲) である。収穫直後の籾を生籾 (なまもみ) と呼ぶ。生籾は水分が高く呼吸も活発であり、成分の消耗、呼吸熱の発生、カビの発生などにより品質が損なわれる可能性がある。そこで直ちに生籾を乾燥する必要がある。乾燥した籾を乾籾 (かんもみ) とも呼ぶ。乾燥後に籾摺をおこない、籾から玄米となる。米の周年の安定供給を確保するために、必要に応じて、籾摺の前後に籾貯蔵または玄米貯蔵をおこなう。

玄米は外周を果皮、種皮、糊粉層で覆われており、さらに胚芽と胚乳から構成されている (鈴木, 2014)。果皮、種皮、糊粉層を総称して糠と呼ぶ。玄米から糠や胚芽を除去することを精米 (または搗精) と呼び、搗精後の米を精米、白米または精白米と呼ぶ。精白米の大部分は胚乳であり、その成分は国産うるち米の平均的な値として、糖質 (デンプン) が 75 % (デンプンの中でアミロースが 18 %, アミロペクチンが 82 %), 水分が 15 %, タンパク質が 8 %, 脂質が 1 %, 無機質が 1 % 程度である。

米の共同乾燥調製 (貯蔵) 施設

収穫後の施設として、個人農家が乾燥機を持っている場合、数軒の農家が共同で乾燥機を持っている場合、農業協同組合などが共同乾燥調製 (貯蔵) 施設を持っている場合などがある。

1. ライスセンタとカントリーエレベータ

米の共同乾燥調製 (貯蔵) 施設 (略して共乾施設と呼

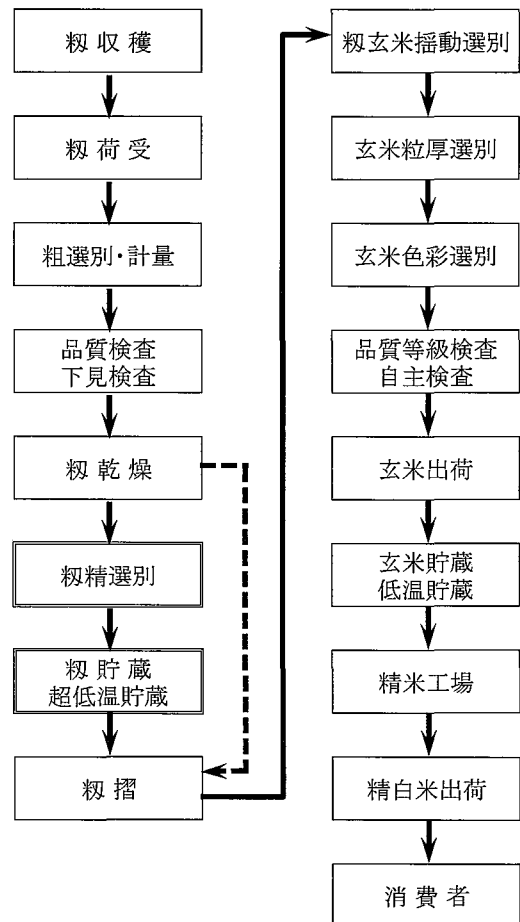


図1 米のポストハーベストプロセス (籾収穫から消費者まで)
点線矢印は籾貯蔵をしないライスセンタの流れ
籾貯蔵をおこなうのはカントリーエレベータのみ

ぶ) における籾荷受けから玄米出荷までの流れを図 1 に示した。

米の共同乾燥調製施設をライスセンタと呼ぶ。ここでは、生産者が収穫した籾を共乾施設に搬入し、荷受時の調製 (粗選別・計量) と品質検査を経た後に乾燥し、乾籾を直ちに調製 (籾摺・選別) し玄米を出荷する (図 1 の点線矢印の流れ)。出荷した玄米は、近隣の玄米貯蔵倉庫に置かれることが多い。

一方、共同乾燥調製貯蔵施設をカントリーエレベータ

原稿受領 2017 年 8 月 7 日

照会先: 川村周三 shuso@bpe.agr.hokudai.ac.jp

と呼ぶ。荷受した粳の粗選別・計量と品質検査をした後に一括張込み（生産者ごとの仕分けをせず一括してタンクやビン、乾燥機に張込む）をおこない乾燥する。乾燥後に粳の精選別をおこない、サイロやドライストアビンに粳を貯蔵する。その後、米卸業者の注文に応じてサイロから粳を出し、粳摺・選別して玄米を出荷する。

わが国では、ライスセンタは1952年から建設が開始され、カントリーエレベータは1964年から建設が開始された。2015年現在で日本全国に3409カ所のライスセンタがあり、893カ所のカントリーエレベータがある（全国米麦改良協会、2015）。ライスセンタもカントリーエレベータも、ほぼ日本全国に建設されている。

カントリーエレベータの一例として、北海道上川ライスターミナルを図2に示す。この施設は1996年に建設され（1期工事、写真の左半分、粳貯蔵能力5000t）、1999年にさらに増設され（2期工事、写真の右半分、粳貯蔵能力5000t）現在の規模となった。この施設の粳の荷受口は12口で、25t/hの能力の荷受ラインが6系列あり、計画粳処理量は生粳が約7700t、乾燥粳が4100tである。この施設は、循環型乾燥機（90t×4基、60t×6基、20t×2基）、比重選別機を中心とした粳精選別システム、超低温貯蔵が可能な粳貯蔵サイロ10000t（417tサイロ×12基、500tサイロ×10基）、玄米色彩選別機（合計560チャンネル）を備えている。この施設はわが国では最大規模のカントリーエレベータの一つである。

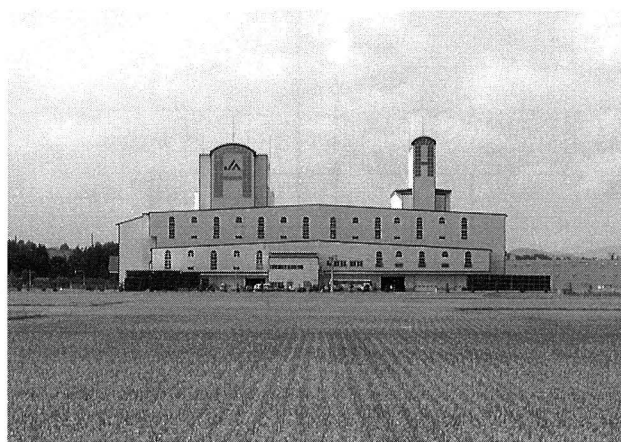


図2 米のカントリーエレベータ
（北海道上川ライスターミナル）
粳処理量11800t、粳貯蔵能力10000t

2. 品質検査

1) 自動品質検査システム

米の共乾施設における品質検査は、従来は荷受時や乾燥工程中および出荷時の水分測定が中心であった。また、下見検査（自主検査）として乾燥した粳の粳摺歩留や良玄米歩留の測定、および肉眼による玄米の外観品質判定などもおこなわれている。

1990年代半ばから、可視光や近赤外光を利用した米

の非破壊品質測定技術により、玄米の整粒割合、水分やタンパク質を短時間で簡易に測定することが可能となった（川村ら、2002；Natsuga *et al.*, 2006）。そこで可視光を利用した玄米の組成分析計（可視光分析計、穀粒判別器）と近赤外光を利用した成分分析計（近赤外分析計）とを組み合わせた自動品質検査システム（下見検査システム、自主検査システム）（Kawamura *et al.*, 2003；Natsuga, 2006；川村, 2013a）が北海道で実用化され、1999年から米の品質仕分け（現場ではタンパク仕分けと呼ぶ）に使われ始めた。

米の自動品質検査システムの流れを図3に、その実用例の一つを図4に示した。荷受後の粗選別・計量の後で自動的に粳を採取する。粳をインペラ式粳摺機で玄米とし、粒厚選別機を経た後に近赤外分析計と可視光分析計とにそれぞれ送り、水分およびタンパク質、整粒を測定する。試料の搬送はコンピュータに管理されて空気搬送、ベルトコンベヤ、バケットエレベータ、自然流下などで自動的におこない、試料採取から5～10分程度で測定結果を表示する。なお、高水分生粳の場合はインペラ式粳摺機後の玄米に肌ずれが発生するため、整粒割合は測定できない。

近赤外分析計で水分とタンパク質を測定した時の精度を図5と図6（Li *et al.*, 2013）に示した。いずれの測定においても、回帰式はほぼ $y = x$ であり、決定係数（ r^2 ）は“1”に近く、測定の標準誤差（Standard Error of Prediction: SEP）とバイアスは“0”に近く、RPD（Ratio of SEP to SD: y（基準分析）の標準偏差（Standard deviation (SD)）とSEPとの比（SD/SEP））が大きく、これらは水分とタンパク質の測定が高い精度であることを示している。

共乾施設では、粳の品質検査は荷受トラック1台ごと

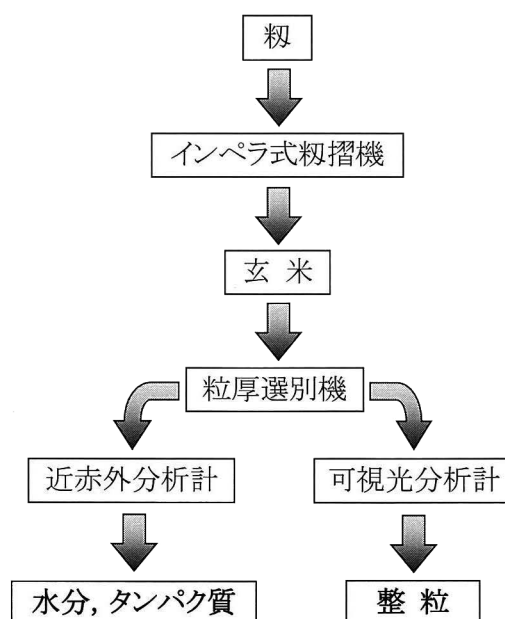


図3 米の自動品質検査（下見検査、自主検査）システムの流れ

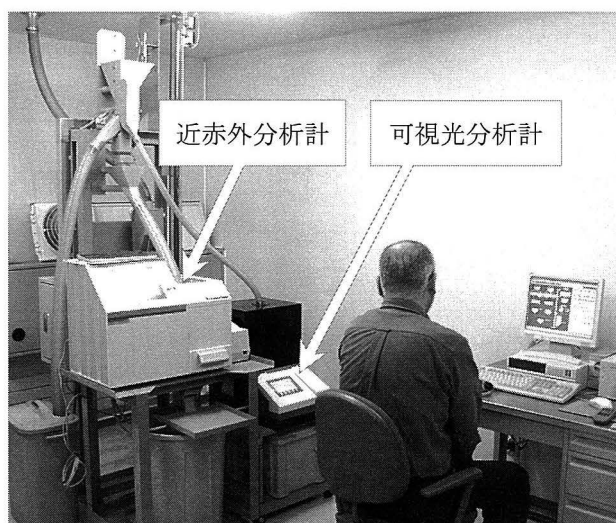


図4 米の自動品質検査システムの一例

におこない、品質ごとに仕分けして（タンパク質と整粒で区分）その後の乾燥工程などをおこなう。北海道の農協の一例では、品質区分はタンパク質で3区分（精白米タンパク質で6.8%以下, 6.9~7.9%, 8.0%以上）、整粒で2区分（玄米整粒で80%以上, 70~79%）の組合せで区分する。この品質区分は、生産者から荷受した粳に品質による価格差（プレミアム：奨励金）を付けることにも利用されている。

共乾施設で荷受時に測定した品質情報を生産者にフィードバックし、これを営農指導に役立てている。荷受時の米のタンパク質は同一地域の同一品種であっても大きなばらつきがある。このタンパク質のばらつきは、水田の土壌の違いや生産者の栽培管理技術の違いによるところが大きい。荷受トラックごとのタンパク質情報と

各水田の土壌情報、生産者の栽培管理情報および気象情報をデータベースとして蓄積することにより、これらの情報を高品質米の生産に役立てることが可能となる。

2) なぜ米のタンパク質が重要視されるのか

米の品質検査ではタンパク質と整粒とを測定して品質区分をする。その際、タンパク質が多いと品質が悪いとされる。なぜ米のタンパク質が多いと品質が悪いのか？

炊飯前に精白米を洗米し水に浸漬した際、タンパク質は精白米の吸水を抑える働きをする。さらに加熱炊飯する際にタンパク質はデンプンが膨潤する（米粒が膨らむ）ことを抑える働きをする。その結果、タンパク質が多いと米飯が硬くなり粘りが弱くなる傾向となる。

一方、日本人を含めた東アジアの人々（いわゆる、照葉樹林文化帯に属する人々）は適度に柔らかく粘りのある米飯を好むという嗜好性を持っている。その結果、タンパク質の多い米は米飯が硬くなり粘りが弱いために食味評価が低く品質が悪いとされる。

なお、米飯の硬さや粘りに影響を与える因子としては、タンパク質と同時にアミロース（デンプン中のアミロース含量）も硬さや粘りに大きな影響を与える。ところが、日本では飯用うるち米（もち米や、新形質米の低アミロース米や高アミロース米を除く普通のうるち米）は品種改良の結果、アミロース含量が16~22%程度の範囲に集中してきている。また、アミロースは品種や登熟期の気温によりほぼ決定され、農家の栽培技術によりアミロースを制御することが難しい。これに対して、タンパク質は施肥法など農家の栽培技術により制御することが可能である。さらに、タンパク質は近赤外分析計により簡便に測定することが可能であり、その測定精度も化学分析法（ケルダール法）とほぼ同程度である。一方、アミロースは近赤外分析計でも測定している（表示している）

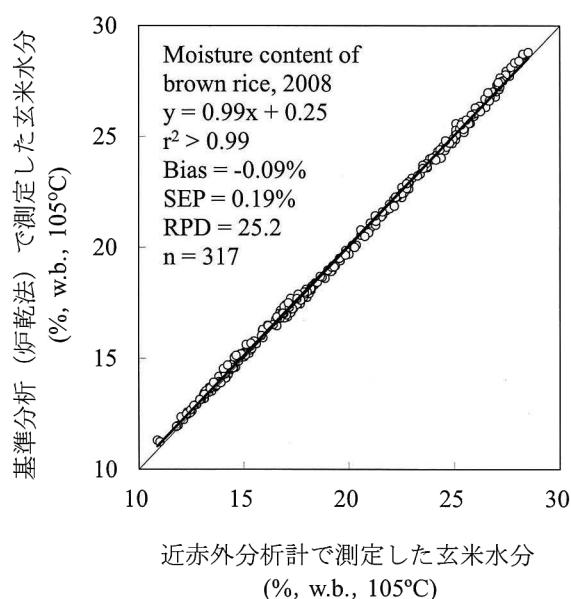


図5 自動品質検査システム（近赤外分析計）による玄米水分の測定精度

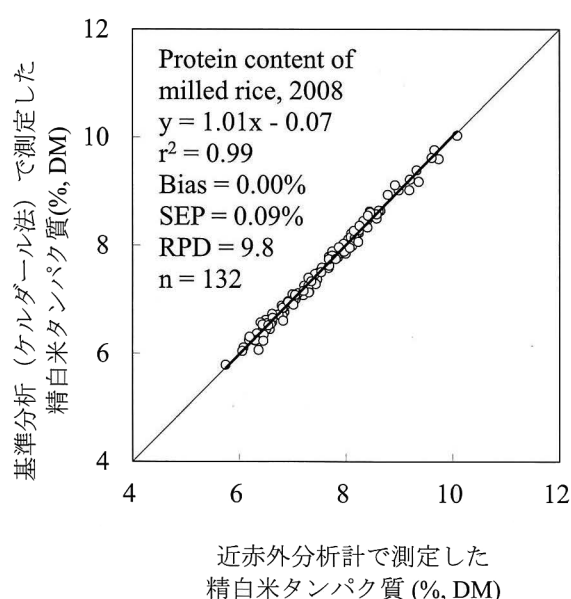


図6 自動品質検査システム（近赤外分析計）による精白米タンパク質の測定精度

が、アミロース含量の変動幅が小さい日本産うるち米を測定するには現在のところ測定精度が不十分であり、アミロースの化学分析法（オートアナライザによる呈色比色法）に代わる簡便な生産現場での測定法は確立されていない。

以上の理由で、日本のうるち米の品質検査においては、アミロースよりも相対的にタンパク質の方が重要視されている。現在、近赤外分光法を含めた非破壊分析法で米のアミロースを精度良く測定する研究が進行中であり（Kato *et al.*, 2016；川村ら, 2017）、数年のうちに実用化する（共乾施設で利用する）可能性が高い。

3. 粳貯蔵

1) 貯蔵形態

乾燥後の米の貯蔵形態は、粳をサイロ（容量：数百～千t程度）やビン（容量：数十～数百t程度）でバラ貯蔵する粳貯蔵と、玄米を袋（容量：30 kg, 60 kg, 1 t）に詰め玄米専用倉庫に貯蔵する玄米貯蔵とがある。

粳貯蔵は、粳殻が玄米を物理的・生物的に保護し、害虫や微生物の侵入を防ぎ、米の生理活性を抑制する。そのため、粳貯蔵は玄米貯蔵に比べて品質保持効果が高い。そこで近年は粳貯蔵をおこなうカントリーエレベータが全国的に少しずつ増加している。全国のカントリーエレベータの貯蔵能力は266万t（農業倉庫基金, 2017）であるが、玄米貯蔵に比較すると粳貯蔵の割合は未だに少ない。

2) 氷点下での米の貯蔵（超低温貯蔵）

玄米を -15°C で貯蔵する基礎試験により、氷点下での米の貯蔵が低温貯蔵よりさらに高い品質を保持できることが明らかにされている（Kawamura *et al.*, 1997）。氷点下で米を貯蔵することを超低温貯蔵と呼ぶ。超低温貯蔵は従来から行われている低温貯蔵（ 15°C 以下）よりも低い温度（ 0°C 以下）で米を貯蔵することから名付けられた。ところが、実用規模のサイロや貯蔵庫では外気温の季節変化がある。そのため米の温度を常に氷点下に保つことは、貯蔵コストを考慮すると、実用的ではない。そこで、実用レベルにおける米の超低温貯蔵として、「貯蔵期間中の穀温が1ヵ月以上氷点下である貯蔵方式」と定義されている（川村, 2005）。

3) カントリーエレベータにおける粳の超低温貯蔵

米のカントリーエレベータの平面図とサイロを図7と図8に示した。サイロは鋼板溶接構造で、1基は直径が7.4 m、高さが23.2 mであり、粳貯蔵能力は480 tである。サイロは12基あり、全体の粳貯蔵能力は5760 tであり、鋼板の外側には75 mmの硬質ポリウレタンフォームの断熱材が施されている。

北海道では1996年から2000年にかけて、上川ライスターミナル（図2）や雨竜町ライスコンビナート（図7, 図8）において、冬の寒冷外気を利用してサイロの粳を氷点下で貯蔵する超低温貯蔵の実証試験がおこなわれた（竹倉ら, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d）。

1996年に上川ライスターミナルが完成した時点では、

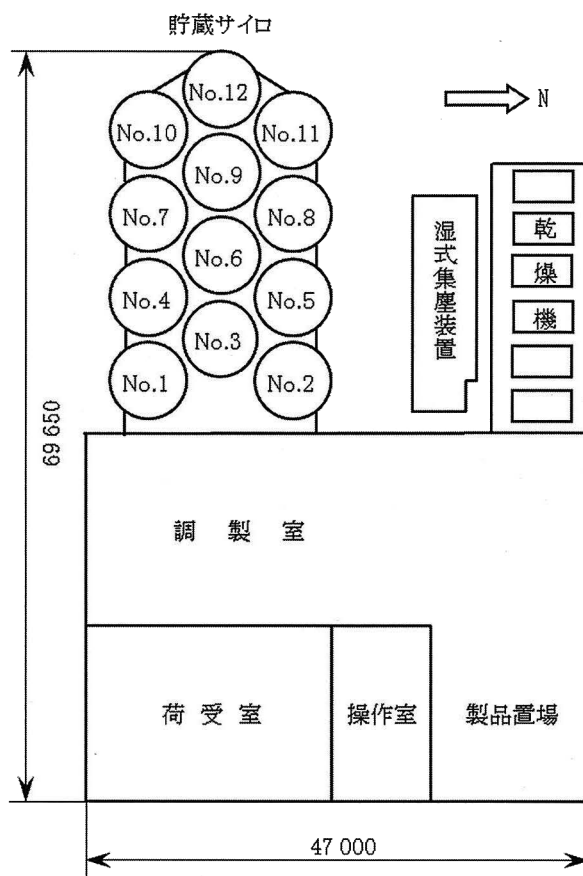


図7 米のカントリーエレベータの平面図
（北海道雨竜町ライスコンビナート）
粳処理量8200 t, 粳貯蔵能力5760 t



図8 米のカントリーエレベータのサイロ群
（北海道雨竜町ライスコンビナート）
粳貯蔵能力480 t × 12 基 = 5760 t

氷点下で粳を貯蔵する技術は、日本や世界で実用化されていなかった。その最大の理由は、粳を氷点下で貯蔵するためには冷却装置の設備費や運転経費（冷却のための電気エネルギー）が必要である、と考えられたためである。ところが、北海道のような寒冷地では冬の自然の寒さ（自然冷熱）を粳の冷却に利用することができるため、超低温

温貯蔵が実用的に可能であると考えられた。すなわち、北海道のような寒冷地の特徴を最大限に生かした低コスト省エネルギーで高品質な粳貯蔵をおこなう新技術を確立することを目的に、上川ライスターミナルの建設に合わせて1996年から1998年に超低温貯蔵を実用化するための実証試験をおこなった。さらに新たに建設された雨竜町ライスコンビナートで1999年から2000年にかけて再度実証試験をおこない、その有効性が確認された(川村, 2005, 2006, 2013b)。

(1) 貯蔵条件 上川ライスターミナルのサイロを用いて、きらら397の粳378tを貯蔵した。貯蔵期間は1997年11月から1998年8月までの約9ヵ月間であった。1998年2月2日から2月10日の間に、 -5°C 以下の外気(寒冷空気)を断続的に延べ113時間サイロへ通風した。

雨竜町ライスコンビナートでは、きらら397の粳500tとほしのゆめの粳494tをそれぞれサイロに貯蔵した。貯蔵期間は1999年11月下旬から2000年7月中旬までの約8ヵ月間であった。2000年1月20日から1月27日の間に、 -7°C 以下の外気を断続的に延べ91時間サイロへ通風した。サイロへの通風は2基同時におこなった。

いずれの貯蔵試験においても、サイロ貯蔵と並行して比較対照のために -5°C 貯蔵(冷凍庫)、低温貯蔵(サイロの近隣にある低温倉庫)、室温貯蔵(大学の実験室)の3条件でそれぞれ約20kgの粳を貯蔵した。

(2) 貯蔵中の温度 1997年から1998年の貯蔵中の粳温度を図9に示した。貯蔵中の外気温度は、最低で -21°C まで低下した。日最低気温が氷点下であったのは、11月下旬から4月上旬にかけての5ヵ月あまりであった。

11月から2月にかけてサイロ内壁付近の粳の穀温は、自然放冷により低下した。しかし、サイロ中心部の粳の穀温は貯蔵開始時とほぼ同じであった。2月上旬にサイロ内へ -5°C 以下の外気を通風することによって、サイロ内すべての粳の穀温が氷点下になった。最低穀温は、2月上旬に内壁付近が約 -7°C であった。サイロ中心部の粳の穀温は、7月中旬まで氷点下であった。サイロ内すべての粳の穀温が氷点下であった期間は、2月上旬から3月下旬にかけての約1.5ヵ月間であった。すなわち、自然の寒さ(外気)を粳の冷却に利用することにより実用的に超低温貯蔵(氷点下での米の貯蔵)が可能であることが実証された。

対照貯蔵の室温貯蔵では穀温は概ね 15°C 以上であり、7月上旬には約 25°C にまで上昇した。低温貯蔵の穀温は最低で -1°C 程度であり、春夏に庫内温度が高くなると冷却装置が作動して、穀温は 12°C 程度に保たれた。貯蔵中の平均穀温は、サイロ貯蔵のサイロ中心部が 0.7°C 、サイロ内壁付近が 3.5°C 、 -5°C 貯蔵が -5.1°C 、低温貯蔵が 5.0°C 、室温貯蔵が 18.6°C であった。

(3) 貯蔵前後の品質(川村, 2005) 貯蔵前後の各試料の発芽率を図10に示した。発芽率は稲の種子としての生命力を測定した値であり、米の鮮度を示す指標ともなる。発芽率が高いと新米と同様な品質の良い状態

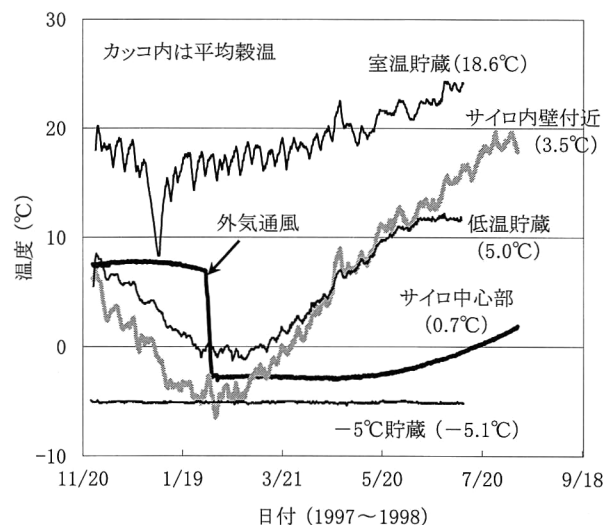


図9 貯蔵中の粳温度の変化と平均粳温度

あることを示している。図10によれば、貯蔵前の発芽率は96%であった。貯蔵後の発芽率は -5°C 貯蔵が最も高く、次にサイロ貯蔵と低温貯蔵が高く、いずれも貯蔵前の発芽率とほぼ同じく93%以上であり、新米と同様な品質が保持されていた。一方、室温貯蔵の発芽率は大きく低下し、10%となった。

貯蔵前後の脂肪酸度を図11に示した。脂肪酸度は米の脂質が酵素リパーゼにより加水分解されて生成する遊離脂肪酸の量を測定した値である。米の主成分の中では糖質やタンパク質に比較して脂質の加水分解が最も早く進み脂肪酸が増加するため、脂肪酸度が品質劣化の指標として広く用いられている。図11によれば、脂肪酸度は貯蔵後にいずれの試料も増加したが、 -5°C 貯蔵が最も増加が抑制されており、次にサイロ貯蔵、低温貯蔵と増加が大きく、室温貯蔵の増加が著しく品質劣化を示していた。

貯蔵前後の食味試験の総合評価を図12に示した。食味試験の総合評価は、貯蔵前に比較してサイロ貯蔵と -5°C 貯蔵でわずかに良くなり、室温貯蔵では総合評価が大きく低下した。通常、米の食味が貯蔵後に良くなることはない。この試験でサイロ貯蔵と -5°C 貯蔵の総合評価が貯蔵前に比べて、わずかながらも良くなったのは以下の理由による。

食味試験は、滋賀県産の日本晴を基準米として多重相対比較法でおこなった。貯蔵前の食味試験で基準米とした日本晴を冷蔵庫($3\sim 5^{\circ}\text{C}$)に玄米で貯蔵し、貯蔵後の基準米とした。基準米も貯蔵中に品質が低下する。サイロ貯蔵と -5°C 貯蔵では貯蔵中の平均温度が冷蔵庫よりも低く、かつ粳貯蔵であったため、貯蔵中の品質低下が基準米よりも抑制された。その結果、貯蔵後の総合評価が貯蔵前よりも相対的に良くなった。これは超低温貯蔵による食味の相対的向上である。

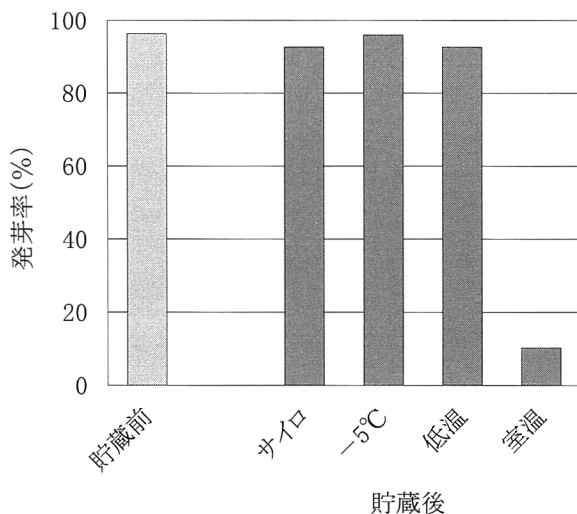


図10 貯蔵前後の発芽率

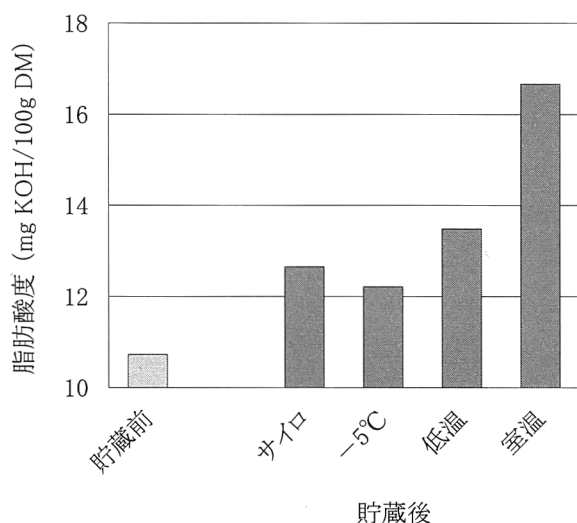


図11 貯蔵前後の脂肪酸度

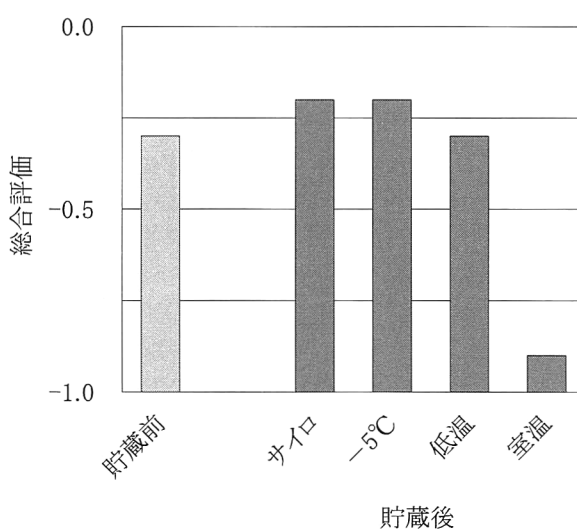


図12 貯蔵前後の食味試験の総合評価

4) 米の最適な貯蔵温度

米は稲の種子として貯蔵中も生命活動をしている。米

を低温で貯蔵すると米自身の生理活性や酵素活性が抑制され、貯蔵中の品質劣化も抑えられ、新米に近い食味を保持できる。また、乾燥後の米は水分が15%程度と低いために -80°C でも凍結しない(川村ら, 2003a)。米の貯蔵中の平均温度と貯蔵後の品質との関係を概念図(川村, 2005, 2013b)として図13に示した。ここに示したように、米は凍らないので貯蔵中の温度は低ければ低いほど、米の高品質保持が可能である(竹倉ら, 2004b)。寒冷地で超低温貯蔵した米は春から夏にかけて品質の低下がわずかであり、温暖地で貯蔵した米に比較して相対的に食味が向上する。

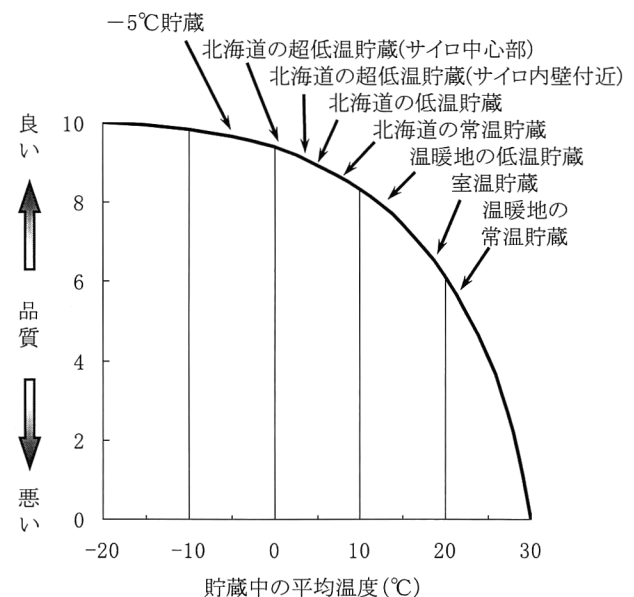


図13 米の貯蔵中の平均温度と貯蔵後の品質との関係(概念図)

5) 自然の寒さを利用した籾の超低温貯蔵の特徴

米の貯蔵温度は低ければ低いほど良い。しかしながら、米の温度を低下させるために冷却設備と電気エネルギーを使うと貯蔵コストが増加するので、実用的には望ましくない。一方、北海道のような寒冷地では、籾貯蔵と冬季の寒冷外気という自然冷熱エネルギーを利用することにより籾を氷点下で冷却貯蔵することが実用技術として可能である。

この籾貯蔵技術は、冷却設備や冷却のための電気エネルギーを必要としない。そのうえ、貯蔵温度が低いため貯蔵中の害虫の発生がなく、その結果、貯蔵中の農薬(殺虫剤)も不要であり、品質保持効果が大い。すなわち、これは寒冷地の自然環境を有効に活用し、低コスト省エネルギーで高品質保持が可能な籾貯蔵技術である。わが国の米の主産地は北海道、東北、北陸地域である。これらの地域は冬の気温が氷点下になることが多い。籾の超低温貯蔵はこのような自然環境を有効に活用した人と環境にやさしい貯蔵技術である。北海道では1996年以降、籾貯蔵施設の建設が進み、2010年には籾貯蔵施設

は 29 ヲ所となり、その粳貯蔵能力は約 13 万 t となった (川村, 2013b)。

4. 粳摺

粳摺機には、ロール式粳摺機とインペラ式粳摺機とがある。ロール式粳摺機は、一対のロールを異なる周速度で逆方向に回転させ、ロール間に粳を通過させて剪断力により粳殻を取除く。インペラ式粳摺機は、回転する羽根付ファンの中心部に粳を投入し、粳を遠心力で周囲に放出し、粳と羽根表面での摩擦力や圧縮力、さらには粳が外周に衝突することによる衝撃力で粳殻を取除く。粳から剥離された粳殻は風力により吸引除去される。

ロール式粳摺機は、農家や共乾施設の大型の粳摺機として広く使われている。図 14 にロール式粳摺機と風力選別機および揺動選別機 (粳選別機) を組み合わせた共乾施設の粳摺システムを示す。ロール式粳摺機による脱ぶ率は 90 % 程度が適切であり、脱ぶ率を高くすると玄米の碎粒や肌ずれが増加し、品質上の問題となる。ロール式粳摺機は脱ぶ率が 90 % 程度であるため、粳摺直後に粳玄米混合物の中から玄米を選別するために揺動選別機と一体化されている。

インペラ式粳摺機は、回転数の調節により脱ぶ率をほぼ 100 % に設定可能である (すなわち、揺動選別機が必要ない)。また、高水分の粳やごく少量の粳の粳摺も可能である。ただし、脱ぶ率を 100 % 近くに設定すると玄米の脱芽や肌ずれが多くなり、品質上の問題が発生する場合が多い (竹倉ら, 2004a)。そこでインペラ式粳摺機は、小型の卓上粳摺機として主に坪刈り試験 (収穫直前に水田の一部の稲を刈取り、米の収穫適期や収量、品質の判断情報とする) の粳摺や下見検査、自主検査 (共乾施設に荷受けされた粳の一部を採取し品質検査をする) の粳摺に使われている。

5. 玄米貯蔵

1) 常温貯蔵と低温貯蔵

わが国では古くから玄米貯蔵、玄米流通が一般的に行われている。ライスセンタでは粳を乾燥後ただちに粳摺して玄米を紙袋や樹脂袋に入れて出荷し、玄米倉庫に貯蔵する。玄米貯蔵には、常温貯蔵と低温貯蔵とがある。常温貯蔵では、倉庫内の温度制御をおこなわずに玄米を貯蔵する。そのため、春から夏にかけて外気温度が上昇すると庫内温度が高くなり、害虫 (コクゾウムシやコクガ) が発生する。害虫が発生すると、必要に応じてポストハーベスト農薬 (殺虫剤) を使用する場合もある。常温貯蔵では害虫や温度上昇のために米の品質劣化が大きい。これに対し低温貯蔵では冷却装置を使い年間通して倉庫内温度を 15℃以下に保つ。そのおかげで、害虫の発生や米の品質劣化を抑えることができる。わが国各地にある玄米の低温倉庫の収容力は 2002 年に 662 万 t、2006 年に 748 万 t と増加したが、その後減少に転じ、2008 年に 561 万 t、2010 年に 464 万 t となっている。(農林水産省総合食料局, 2012)

玄米低温倉庫内の状況を図 15 に示した。

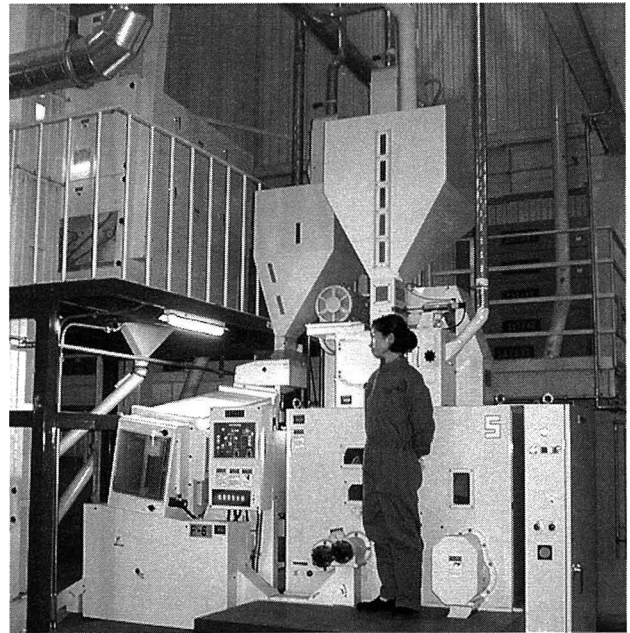


図 14 共乾施設の粳摺システム
(ロール式粳摺機と風力選別機および揺動選別機とを組み合わせたシステム)



図 15 玄米低温倉庫
(左は 30 kg の紙袋、右は 1 t のフレキシブルコンテナバッグ)

2) なぜ日本では玄米貯蔵なのか

先にも述べたように、わが国では玄米貯蔵が主流であり、粳貯蔵が増加しつつあるものの、国産米の粳貯蔵の割合は 30 % 弱と低い。一方、世界に眼を向けると、日本以外の地域 (国) では粳貯蔵をおこなっており、玄米貯蔵をおこなう国は日本のみである。

その理由には歴史的経緯 (海老沢, 1990) がある。戦国時代から江戸時代にかけて年貢米制度が定着し、農民から税金として米を搾取し、領主が臣下に禄米 (ろくまい)、扶持米 (ふちまい) として米を給与した。江戸時代初期には年貢米は粳であった。しかし年貢米の収納にあたって厳格な品質検査が求められるようになり、粳では品質判定 (肉眼による外観品質判定) しにくいために徐々に年貢米を玄米で徴収するようになった。また、粳に比較して玄米の容積重が大きく、当時の米の流通に

において同一容積の容器を使うと粳より玄米の輸送量が多かった。そのため、わが国では江戸時代に玄米品質検査、玄米貯蔵と玄米流通の制度が定着し、現在に至っている。

現在でも、玄米貯蔵のメリットとして容積効率が良いことが挙げられる場合がある。例えば、100 kg の玄米を貯蔵する容器に対して、同量の玄米を持つ粳（粳 125 kg が玄米 100 kg に相当する）を貯蔵する場合、約 1.8 倍の容積の容器が必要となる。しかし、実際の玄米貯蔵では、玄米は紙袋（30 kg）、樹脂袋（60 kg）またはフレキシブルコンテナバッグ（1 t）に入れて玄米倉庫に保管される。この場合、倉庫内の作業空間や堆積した玄米の上部空間がある（図 15）ため、倉庫の容積の 50 % 以下を玄米が占めているのみである。一方、粳はサイロやビンにバラ貯蔵されるため、容器容積の 80 ~ 90 % を粳が占めることとなる。したがって、実用規模の米の貯蔵のための容積効率は玄米貯蔵も粳貯蔵もほぼ同じとなる。

既往の研究の結果（Kawamura *et al.*, 2001）から明らかのように、貯蔵中の米の品質保持のためには玄米貯蔵よりも粳貯蔵が有利である。したがって、米の品質、貯蔵効率、輸送効率を総合的に考慮すると、米の生産地で粳貯蔵をおこない、貯蔵後に粳摺して玄米とし、さらに搗精して精白米で流通する（消費地に精白米を輸送する）ことが最も望ましい米の貯蔵流通形態であると考えられる。

6. 選別

収穫直後の農産物の中には異物（目的の農産物以外の夾雑物、石やガラス、金属等）や品質の良いものと悪いものが混在している場合が多い。そこで収穫後の農産物は異物除去や品質向上のために選別が行われる。農産物の選別は、農産物の物理特性（大きさ、長さ、質量、比重、密度、色）や化学特性（水分、糖質、タンパク質、脂質）などの違いに着目して行われる。農産物の同じ特性に着目した同じ選別原理の選別を組合せておこなっても、その選別効果には限界がある。農産物の選別の重要点は、異なる特性に着目して異なる原理の選別を組合せておこなうことにより、その選別効果が向上することである。

米の共乾施設では、各工程において以下のような選別がおこなわれる。

- ① 荷受時の粳から、粉塵や稲わらなどの夾雑物を除去するために風力選別機と篩選別機で粗選別をおこなう。
- ② 循環式乾燥機で乾燥中に、粉塵、しいな（空粳）、稲わらなどを風力で吸引除去する。
- ③ 乾燥後の粳を貯蔵する前に、風力選別機、比重選別機、インデントシリンダ型選別機を組合わせて粳の精選別をおこない、しいな、未熟粒、被害粒、脱ぶ粒などを除去する。
- ④ 粳摺直後に風力選別機で粳殻を除去する。
- ⑤ 粳摺後の粳玄米混合物から揺動選別機で玄米を選別し、粳は粳摺機に再度戻す。
- ⑥ 粒厚選別機により粒厚の小さい未熟粒や死米などを除き、整粒割合を増やし、玄米の品質を向上させる。

⑦ 玄米の色彩選別機を用いて未熟粒、死米、被害粒、着色粒および異物を除去する。とくに玄米中の異物（玄米に類似した形状色調比重の小石、ガラス、金属類）をほぼ完全に除去する。

⑧ 各所で磁石を用いた金属除去をおこなう。

上記の選別の内、③粳精選別と⑦玄米色彩選別は北海道で 1990 年代後半から 2000 年代初めに開発された技術である。

1) 貯蔵のための粳の精選別

カントリーエレベータで粳貯蔵をおこなう場合、粳の中に夾雑物やしいな、未熟粒が多く含まれると、容積重が減少して貯蔵サイロの容積効率が低下する。さらに、貯蔵前の粳の品質が悪いと貯蔵中の品質劣化が促進される可能性が高い。

またカントリーエレベータでは、粳の荷受質量と下見検査の結果から貯蔵後の粳摺歩留と品質を推定し、生産者に支払う米代金を決定する制度（仮払制度）を採用している。仮払制度では、貯蔵後の実際の粳摺歩留が下見検査による推定値より低い場合には、生産者から米代金の一部を回収しなければならなくなる。そこで、この代金回収を避けるためにあらかじめ粳摺歩留の推定値を低く設定すると、共乾施設に対する生産者からの信頼が失われ、共乾施設の利用率が低下する恐れがある。したがって、貯蔵粳の品質劣化抑制および共乾施設の円滑な運営のために、貯蔵前に粳の精選別をおこない品質と粳摺歩留を向上させることが重要である。

粳精選別システムの流れを図 16 に示した。この粳精選別システムは比重選別機を中心とし、風力選別機とインデントシリンダ型選別機で構成される（川村ら、2000；Kawamura *et al.*, 2006；川村、2013a）。

まず「原料粳」を風力選別機に投入し、しいなと異物（わら、夾雑物など）を除去する。次に「風選製品」を比重選別機に投入し、しいな、未熟粒、被害粒を除去し、「比重選製品」の整粒割合を増加させる。粳の中には脱ぶ粒が混在している。脱ぶ粒は、収穫や乾燥中に粳殻が除去され玄米となった米粒であり、肌ずれが多く脂肪酸度が高く、非常に品質が悪い米粒であり、貯蔵する粳から除去する必要がある。そこで、従来の比重選別機の選別口である製品口、もどり口、くず口に加えて、選別方向上端（製品口側の上端）に脱ぶ口を設置し、この脱ぶ口から排出される「比重選脱ぶ」をインデントシリンダ型選別機に投入する。このように比重選別機により脱ぶ粒と玄米碎粒を集積し、分別した後、インデントシリンダ型選別機によりこれらを除去する。インデントシリンダ型選別機は、比重選別機の 10 ~ 30 % に相当する処理流量の選別機を使用する。「比重選もどり」と「インデント製品」の搬送ラインには切替シュートを設置し、材料の組成により搬送先を切り替える。すなわち、「比重選もどり」のしいな割合と異物割合が高い場合は、しいなと異物を除去するために「比重選もどり」を風力選別機に戻す。「比重選もどり」のしいな割合と異物割合が低い

場合は「比重選もどり」を比重選別機に戻す。また、「インデント製品」の脱ぶ粒割合が高い場合は、これを比重選別機に戻す。「インデント製品」に脱ぶ粒が残留していない場合は、これを「比重選製品」に加えて「精選別製品」とする。この初精選別システムは低コストで初の高品質化を実現する最適な精選別システムである。

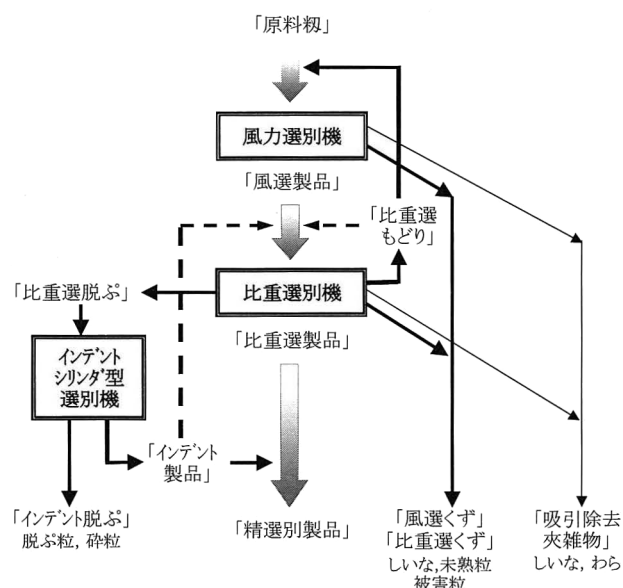


図16 初精選別システムの流れ

比重選別機は初精選別システムの中心となる選別機である。比重選別機は選別板が網状になっており、選別板の下から吹き上げる風と選別板の振動により、材料（初、脱ぶ粒）の粒子密度（比重）と粒径の違いを基に選別する。比重選別機の選別特性を詳細に調べるために、図17の写真に示したように、比重選別機の選別口を14等分した試料を採取した。

図18に示したように、脱ぶ粒（玄米）は初に比べて粒子密度が大きいため製品口側に集積される。同時に粒子密度の大きい整粒（初）は製品口側に集積される。また、被害粒、しいな、未熟粒は粒子密度が小さいために、くず口側に集積される。その結果、製品口側の初摺歩留と良玄米歩留が高くなり、くず口側の初摺歩留と良玄米歩留が低くなる。さらに、14等分して採取した各試料を初摺し玄米の脂肪酸度を測定すると、製品口側の脂肪酸度が低く、くず口側の脂肪酸度が高かった（図19）。以上のように、比重選別機により整粒や未熟粒を分別すると同時に、初摺歩留や良玄米歩留を向上させ、品質を向上させることができる。

2) 粒厚選別と色彩選別とを併用した玄米の精選別

米の共乾施設や農家では、初摺後の玄米の選別は従来から粒厚選別が行われている。この粒厚選別により粒厚の小さい未熟粒や死米などを除去し、整粒割合を増やし、玄米の品質（等級）を向上させる。

粒厚選別の縦目篩（たてめふるい）の網目幅は、米の品種に応じて、また各生産地域で適切な網目幅が決め



図17 比重選別機の選別口14等分試料の採取

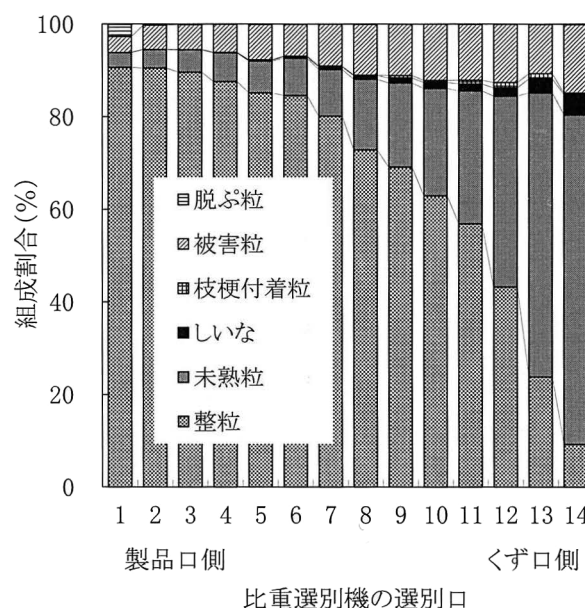


図18 比重選別機の選別口14等分試料の初組成

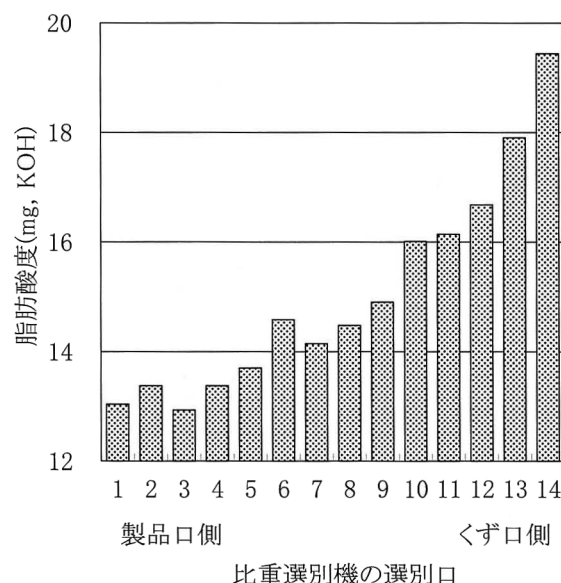


図19 比重選別機の選別口14等分試料の初摺後玄米の脂肪酸度

られている。北海道で玄米の粒厚選別をおこなう際、古くは網目幅が 1.90 mm 程度の篩を使用していた。しかし、品質の良い米（整粒割合の多い米、1 等米）を生産するために、網目幅を徐々に大きくする傾向にあり、その結果、2000 年頃の標準的な篩の網目幅は、きらら 397 では 2.00 mm、ほしのゆめでは 1.95 mm となっていた。しかし、網目幅を 2.00 mm（または 1.95 mm）と大きくしても、未熟粒や被害粒が製品側に残留し 1 等玄米を調製できない場合も多く、そのような時には、さらに大きな網目幅で選別する例もあった。このように篩の網目幅を大きくすると、選別歩留が低下し、生産者（農家）にとって損失が大きくなるという問題があった。

米の色彩選別機は 1970 年頃に開発され、主として精米工場で精白米中の異物（小石等）や着色粒、糠玉の除去に用いられている。一方、北海道の共乾施設では、1996 年頃から玄米中の異物や着色粒を除去するために、粒厚選別の後に色彩選別をおこなう例が増え始めた。とくに、北海道で 1999 年にカメムシの被害により着色粒が大発生して以降、共乾施設を中心に玄米の色彩選別の導入が進んだ。しかしながら、粒厚選別の後にさらに色彩選別をおこなうと、選別歩留がいっそう低下し生産者の損失がさらに大きくなるために色彩選別の積極的で有効な活用は進んでいなかった。

そこで、粒厚選別のみにより玄米の選別をおこなうことに対して、粒厚選別の後に色彩選別を組合わせて選別をおこなう場合、粒厚選別の篩の網目幅を従来よりも小さくして選別歩留を上げ、その後、色彩選別により未熟粒、死米、被害粒、着色粒、異物を積極的に取り除くことが適切であると考えた。すなわち、高品質米（1 等米）の調製と選別歩留の向上とを同時に実現するために、粒厚選別と色彩選別とを併用した新しい玄米精選別技術を

開発した（川村ら、2003b；竹倉ら、2004c；Kawamura *et al.*, 2007）。

粒厚選別と色彩選別とを併用した玄米の精選別の一例として、北海道長沼産きらら 397 の写真（川村、2013b）を図 20 に示した。選別前の原料玄米の整粒割合は 73.6 % であり、被害粒や着色粒が多いために検査等級は規格外であった（図 20 の左）。この原料を従来の篩の網目幅 2.00 mm で粒厚選別のみをおこなうと、選別歩留が 72.3 % であり、整粒割合が 81.8 % であり、検査等級は 3 等であった（図 20 の中央）。これに対して、新しい選別技術（粒厚選別 1.90 mm と色彩選別の併用）を用いると、選別歩留が 83.6 %、整粒割合が 84.6 %、検査等級が 1 等となった（図 20 の右）。すなわち、従来からの粒厚選別の篩の網目幅を 0.1 mm 小さくし、さらにそれを色彩選別することにより、選別歩留が 11.3 % 向上し、整粒割合が 2.8 % 向上し、1 等米の調製が可能であった。

粒厚選別と色彩選別を併用した玄米の精選別技術は、2003 年 1 月の北海道農業試験会議の審査（川村ら、2003b）を経て北海道農政部から「普及推進事項」に指定され、普及が進んでいる。北海道のカントリーエレベータおよび大規模なライスセンタには、色彩選別機が設置されており、これらの施設では出荷玄米のほぼ全量を色彩選別している。

国産水稻うるち玄米の 2011 年産米の等級検査結果は、1 等米比率が全国平均で 80.6 % である。1 等米比率は天候などの影響もあり地域の差も大きい、北海道米の 1 等米比率は 92.7 % と最も高かった。北海道米を加工する精米工場から「最近の北海道米は品質のバラつきが少なく、搗精歩留も安定して高い」という声を聞くが、これは玄米の色彩選別による効果が大いと思われる。玄米の色彩選別を導入する技術は 2010 年前後から全国

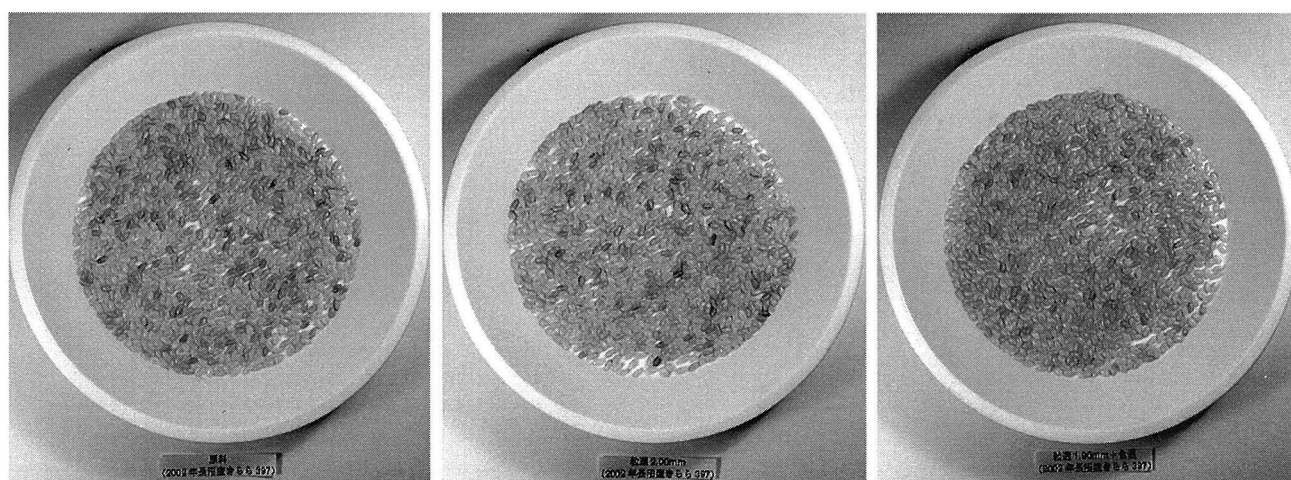


図 20 粒厚選別と色彩選別とを併用した玄米の精選別の一例

選別前原料
2002年長沼産
きらら397
整粒割合：73.6 %
検査等級：規格外

従来の選別技術
粒厚選別2.00 mm
選別歩留：72.3 %
整粒割合：81.8 %
検査等級：3等

新しい選別技術
粒厚選別1.90 mmと色彩選別
選別歩留：83.6 %
整粒割合：84.6 %
検査等級：1等

の主要な米生産地に波及しつつある。

精米工場

わが国では、米の共乾施設および玄米倉庫は全国の実産地（農村地域）に立地する場合が多い。一方、全国に精米工場は大型精米工場（精米機本機の所用動力が50馬力＝37.5 kWh以上の精米工場を大型精米工場と呼ぶ）が約600ヵ所あり、それより小さい小型精米工場（いわゆる、店頭精米工場）が約10,000ヵ所あるとされている（日本精米工業会，2017）。これらの精米工場は主として都市または都市周辺に立地する場合が多い。精米工場数は増加することではなく、小さな工場や古い工場を集約して規模の大きな新しい工場を建設することが進んでおり、精米工場数は減少する傾向にある。

生産地のコントリーエレベータや玄米倉庫から出荷された玄米は、鉄道やトラックで都市周辺の精米工場に運ばれる。図21に大型精米工場の工程の一例を示す。

1. 精米（搗精）

玄米から胚芽や糠層を除去する操作を精米（搗精）と呼ぶ。搗精後の米を精米、白米または精白米と呼ぶ。

わが国において初めての動力精米機は、1897年（明治30年）にアメリカから輸入されたエンゲルバーグ式精米機である。その後、日本人により、横型円筒摩擦式精米機（清水広吉，1913年，大正2年），横型研削式精米機（佐竹利市，1919年，大正8年），噴風摩擦式精米機（毛利勘次郎，1931年，昭和6年）などが開発された。現在，国内で使われる精米機のほぼすべては国産精米機である。

精米機には、大別すると研削式精米機（速度系精米機）と摩擦式精米機（圧力系精米機）とがある。研削式精米機は米粒の表面を金剛砂ロール（砥石）で削り糠層や胚芽を切削除去する精米機である。摩擦式精米機は、精米機内の米粒に圧力をかけ、米粒どうしの摩擦により糠層や胚芽を剥離除去する精米機である。

図22に大型精米工場の精米機を示す。多くの大型精米工場では、研削式精米機1台と摩擦式精米機2または3台を直列に配置し搗精をおこなう。

2. 選別

米の共乾施設と同様に精米工場の各工程においても各種の選別が行われる。とくに大型精米工場では、図21に示したように、精米機の前後において複数の選別設備を備えている。

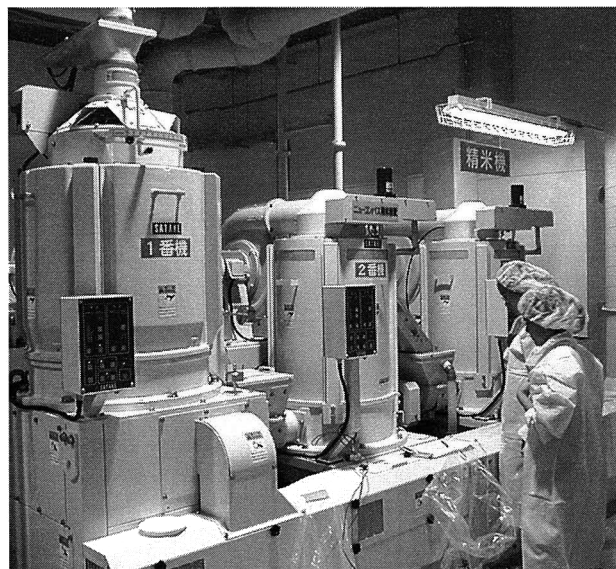


図22 大型精米工場の精米機
研削式精米機（左1台）と摩擦式精米機（右2台）を直列に使用

荷受後の玄米は粗選機により軽い異物等を除去し、石抜機により米よりも比重の大きい異物を除去する。

搗精後の精白米は砕粒選別機（ロータリシフタ）により砕粒や糠玉を除去し、色彩選別機により粉状質粒、被害粒、着色粒および異物を除去する。工程の各所に金属除去機（ロータリマグネット）を設置し金属片を除去する。最終製品として袋詰めした精白米の中に金属片の混入がないことを金属検知器により確認する。

多段階の精選別により、正常粒割合が多く（品質が良く）異物混入のない精白米を出荷（販売）する。とくに精米工場から出荷する精白米の中の異物は、最終消費者にとって物理的危険の直接の原因となるため、異物の完全な除去がおこなわれる。

3. 無洗米

無洗化处理装置を用いて精白米（普通精白米）の米粒表面を研磨した無洗米（洗米しないで炊飯できる米）が市販されている。無洗米を炊飯に使用すると洗米水が発生しない（洗米水の排水処理をする必要がない）ことから、業務用に大量の炊飯をおこなう米飯工場で無洗米が多く利用される。さらに、最近では一般家庭でも無洗米の利用がすすんでいる。

日本精米工業会では無洗米の調製法（無洗化处理装置）を乾式研米仕上方式、加水精米仕上方式および特殊加工

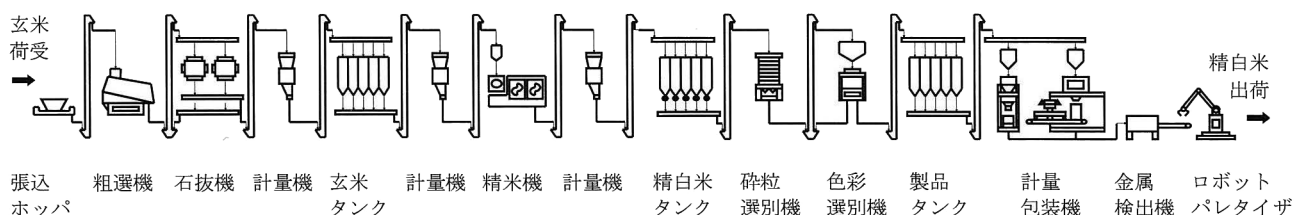


図21 大型精米工場の工程の一例（日本精米工業会）

仕上方式の3つに大別している(桂木, 2003)。これらの調製法は、いずれも普通精白米の米粒表面を研磨し付着糠を除去することを目的に考案されたものである。

乾式研米仕上方式はブラシなどで米粒表面を磨く方法であり、加水精米仕上方式は水を使って表面を磨く方法である。特殊加工仕上方式は補助剤を使って米粒表面の糠を取除く方法である。特殊加工仕上方式では、直径数mmのタピオカデンプン粒を用いる方法や、直径数mmの糠玉を用いる方法がある。タピオカデンプン粒を用いた無洗化处理装置を図23に示す。

現在のところ無洗米の定義および品質基準は曖昧である。無洗米の品質基準は、米穀業界の自主的ガイドラインとして日本精米工業会と全国無洗米協会が、洗米水の濁度による指標をそれぞれ示しているが、統一はされていない。普通精白米に比較して、無洗米は白度が高い、透光度が低い、洗米水の濁度が低いなど品質特性が異なる。さらに、無洗化处理直後は、洗米しないで炊飯した無洗米の食味は洗米して炊飯した普通精白米の食味と同じである。ところが無洗米を数ヵ月間保管した後は、無洗米を洗米して炊飯するかどうかにより食味に有意な差が認められた。すなわち、無洗米であっても保管後には、洗米しないで炊飯するよりも洗米して炊飯する方が食味が良くなる傾向が認められた(横江ら, 2005a, 2005b)。

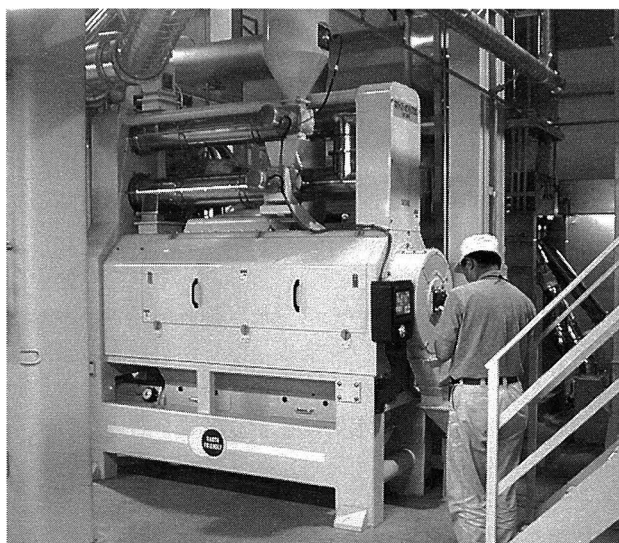


図23 タピオカデンプン粒を用いた無洗化处理装置

4. 普通精白米と無洗米の賞味期限

普通精白米と無洗米の賞味期限を表1(横江ら, 2005a)に示した。普通精白米と無洗米の賞味期限はいずれも温度25℃で2ヵ月、20℃で3ヵ月、15℃で5ヵ月、5℃で7ヵ月である。なお、ここに示した賞味期限は普通精白米は洗米して炊飯し、無洗米は洗米しないで炊飯した場合の賞味期限である。

普通精白米に比較して、無洗米は脂肪酸度の増加が小さく貯蔵性は良い。しかし実際の官能試験では、特に貯

蔵温度が高いとき、普通精白米に比べて無洗米の食味の低下が早く起こる傾向があった。なぜ普通精白米より無洗米の食味の低下が早く起こったのか。これは普通精白米は洗米して炊飯し、無洗米は洗米しないで炊飯したためである。精白米は洗米することにより、品質が劣化した精白米の表面を洗い流し食味の低下を抑えることができる。したがって、貯蔵後は無洗米であっても洗米して炊飯した方が食味が良くなる。つまり、表1の賞味期限の結果は、無洗米は洗米しないで炊飯し、普通精白米は洗米して炊飯したため、食味の低下は普通精白米に比べ無洗米の食味の低下が早く起こったものである。貯蔵後の無洗米は、洗米することにより食味が向上することから、無洗米を洗米して炊飯した場合には表1で示した賞味期限は1ヵ月程度長くなる(横江ら, 2008a, 2008b)。

表1 普通精白米と無洗米の賞味期限

貯蔵温度	5℃	15℃	20℃	25℃
賞味期限	7ヵ月	5ヵ月	3ヵ月	2ヵ月

米のトレーサビリティ

2010年(平成22年)10月1日に施行された「米穀等の取引等に係る情報の記録及び産地情報の伝達に関する法律」(通称:米トレーサビリティ法)により、同日から米・米加工品の取引等の記録の作成・保存が義務付けられた。また、同法に基づき2011年(平成23年)7月1日から、一般消費者への米・米加工品の産地情報の伝達が義務付けられた。

米トレーサビリティ法に基づき産地情報を一般消費者に伝達する方法の一例を図24に示す。これはインターネットを通じて産地情報を一般消費者に伝える例である。精白米の袋の一部に精米年月日やロットナンバーが印刷されている。精米工場のホームページからロットナンバーを入力する。購入した精白米の原料玄米の生産年、品種、生産地、精米工場への受入日、精米年月日および精白米の水分、白度、整粒割合などが表示される。この画面から生産地をクリックすると、さらに生産地の情報(農業の使用状況)などが表示される。

おわりに

わが国の米のポストハーベスト技術は数十年前に比較すると大きく進歩向上しており、その結果として、米の品質も大きく向上している。とくに主食用米の品質は非常に高く十分に美味しくなったと言える。

米のポストハーベスト技術の今後の大きな課題は、米の収穫後の全工程(乾燥、貯蔵、選別、粳摺、搗精、炊飯)における消費エネルギーの削減(二酸化炭素排出量の削減)である。例えば、現在は粳の乾燥に化石燃料である灯油を使っている。この粳の乾燥をバイオマスエネルギーの利用(カーボンニュートラルである粳穀熱風発生装



図 24 米トレーサビリティ法に基づき産地情報を一般消費者に伝達する方法の一例 (<http://www.pearl.hokuren.or.jp/from/>)

置の利用)に転換すると、二酸化炭素排出量の大きな削減となる。乾燥に加えて、米の収穫後の各工程の消費エネルギーを低減させる技術が求められている。本論文で紹介した冬の寒冷外気を利用した粳の超低温貯蔵(氷点下での粳貯蔵)技術は米の収穫後の消費エネルギーを低減させる技術の一つである。

また、もう一つの大きな課題として、米の消費拡大(食料自給率の向上)がある。米は国内で生産可能な(生産余力がある)主食であり、日本の食料自給率(カロリーベース食料自給率: 39%)向上のために米の消費拡大が求められている。米の消費拡大のためには、米飯として消費する以外の米の用途拡大が重要であり、その一つとして米粉の利用拡大の研究が進んでいる。

今後の米のポストハーベスト技術の大きな課題と展望は「省エネルギー」と「粒食から粉食へ」の技術開発であると予想する。

引用文献

- 海老沢勲 (1990): 穀物関連施設, 歴史的経過, 農業施設ハンドブック, 第1版(農業施設学会編), 東洋書店, 75-82.
- 日高靖之 (2017): 農業施設に関わる研究・技術の最近の展開—穀物関連の荷受・乾燥を担う施設について—, 農業施設, 48 (1), 9-23.

堀野英二・和田聡一・土方 享 (2017): 農業施設に関わる研究・技術の最近の展開—穀物関連の種子・苗を扱う施設について—, 農業施設, 48 (1), 2-8.

Kato, M., Kawamura, S., Jo, A., Olivares Díaz, E. and Koseki, S. (2016): ACCURACY OF NON-DESTRUCTIVE DETERMINATION OF RICE AMYLOSE CONTENT BY COMBINED USE OF A NEAR-INFRARED SPECTROMETER AND A VISIBLE LIGHT SEGREGATOR, Proceedings of the 8th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), Niigata, 309-314.

桂木優治 (2003): 無洗米—その製造技術と今後の展望—, 農業施設, 34 (2), 151-159.

Kawamura, S., Natsuga, M., Kouno, S. and Itoh, K. (1997): Super-low Temperature Storage for Preserving Rice Quality, Proceedings of the Joint International Conference on Agricultural Engineering & Technology, Dhaka, Bangladesh, Volume III, 820-824.

川村周三・竹中秀行 (2000): 北海道における粳調製貯蔵技術(パラ粳調製・貯蔵技術の確立). 北海道農業試験会議(成績会議)資料, 2-18.

Kawamura, S., Takekura, K. and Itoh, K. (2001): Rice Storage Controlled at Temperature below Ice Point for Preserving High Quality, Proceedings the 3rd IFAC/CIGR Workshop about Control Application in Post-harvest and Processing Technology, Tokyo, 99-104.

川村周三・竹倉憲弘・伊藤和彦 (2002): 近赤外透過型分析計による米の成分測定精度とその改善, 農機誌, 64 (1), 120-126.

川村周三・小河健伸・藤川清三・竹倉憲弘・伊藤和彦 (2003a): 水分が異なる粳の凍結温度および凍結傷害, 低温生工誌, 49 (2), 97-102.

川村周三・竹中秀行 (2003b): 粒厚選別と色彩選別の組み合わせによる玄米品質および歩留向上技術, 北海道農業試験会議(成績会議)資料, 1-13.

Kawamura, S., Natsuga, M., Takekura, K. and Itoh, K. (2003): Development of an automatic rice-quality inspection system, Computers and Electronics in Agriculture, 40, 115-126.

川村周三 (2005): 米の高品質貯蔵技術, 特集: 高品質米の生産技術(川村周三編), 農機誌, 67 (1), 19-23.

Kawamura, S., Takekura, K. and Himoto, J. (2006): Development of a System for Fine Cleaning of Rough Rice for High-Quality Storage, ASABE Paper No. 066010, St. Joseph Mich., USA, 1-7.

川村周三 (2006): 冬の寒さを活用した高品質貯蔵技術, 農業技術体系, 作物編, イネ(基本技術編), 農山漁村文化協会, 第2-①巻, 追録28号, 402, 177, 10-19.

Kawamura, S., Takekura, K. and Takenaka, H. (2007): Development of a New Technique for Fine Sorting of Brown Rice by Use of a Combination of a Thickness Grader and a Color Sorter, ASABE Paper No. 076266, St. Joseph Mich. USA, 1-8.

川村周三 (2013a): 米の外観品質・食味研究の最前線 [24] 米の収穫後技術による品質食味の向上—自動品質検査と粳の精選別—, 農業および園芸, 88 (4), 453-458.

川村周三 (2013b): 米の外観品質・食味研究の最前線 [25] 米の収穫後技術による品質食味の向上—粳の超低温貯蔵と玄米の精選別—, 農業および園芸, 88 (5), 562-570.

川村周三・加藤瑞貴・OLIVARES DÍAZ, E.・横江未央・小関成樹 (2017): 米のアミロース含量の非破壊計測, FOOMA JAPAN 2017 アカデミックプラザ研究発表要旨集, 24, 103-106.

Li, R., Kawamura, S., Fujita, H. and Fujikawa, S. (2013): Near-infrared Spectroscopy for Determining Grain Constituent Contents

- at Grain Elevators, Journal of Engineering in Agriculture, Environment and Food, 6 (1), 20-26.
- 夏賀元康 (2005) : 低タンパク質米の選別技術, 特集: 高品質米の生産技術 (川村周三編). 農機誌, 67 (1), 10-14.
- Natsuga, M. and Kawamura, S. (2006): Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Determining Physicochemical Properties of Rice, Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 49 (4), 1069-1076.
- 日本精米工業会 (2017) : 日本精米工業会からの聞き取り調査による (概数).
- 農業倉庫基金 (2017) : 農業倉庫基金からの聞き取り調査による (麦専用の貯蔵サイロも含む).
- 農林水産省生産局 (2013) : 農産物検査制度, 136-137.
- 農林水産省総合食料局 (2012) : 倉庫の概況と保管, 89-90.
- 小川幸春 (2017) : 農業施設に関わる研究・技術の最近の展開—穀類・豆類の品質, 特性—, 農業施設, 48 (3), 131-137.
- 鈴木啓太郎 (2014) : 米粒 (Rice Grain), シリアルサイエンス, 第1版 (椎葉究編) 東京電機大学出版局, 17-24.
- 竹倉憲弘・川村周三・伊藤和彦 (2003a) : 寒冷地における粳貯蔵技術の確立 第1報カントリーエレベータでの自然放冷による粳貯蔵, 農機誌, 65 (4), 57-64.
- 竹倉憲弘・川村周三・伊藤和彦 (2003b) : 寒冷地における粳貯蔵技術の確立 第2報カントリーエレベータでの冬季通風冷却による超低温貯蔵, 農機誌, 65 (4), 65-70.
- 竹倉憲弘・川村周三・伊藤和彦 (2003c) : 寒冷地における粳貯蔵技術の確立 第3報カントリーエレベータで貯蔵した粳の品質, 農機誌, 65 (5), 40-47.
- 竹倉憲弘・川村周三・伊藤和彦 (2003d) : 寒冷地における粳貯蔵技術の確立 第4報貯蔵中の粳の穀温差が品質に与える影響, 農機誌, 65 (5), 48-54.
- 竹倉憲弘・川村周三・伊藤和彦 (2004a) : 粳摺方式が貯蔵後の玄米品質に与える影響, 農機誌, 66 (3), 51-58.
- 竹倉憲弘・川村周三・伊藤和彦 (2004b) : 超低温貯蔵による粳の長期品質保持, 農機誌, 66 (6), 51-59.
- 竹倉憲弘・川村周三・竹中秀行・伊藤和彦 (2004c) : 粒厚選別と色彩選別とを組み合わせた玄米選別技術の開発, 農機誌, 66 (5), 135-141.
- 横江未央・川村周三・樋元淳一・伊藤和彦 (2005a) : 無洗米の品質特性と貯蔵性 (第1報) 普通精米および調製法の異なる無洗米の品質特性と貯蔵性, 農機誌, 67 (4), 113-120.
- 横江未央・川村周三・樋元淳一・伊藤和彦 (2005b) : 無洗米の品質特性と貯蔵性 (第2報) 高歩留無洗米の品質特性と貯蔵性, 農機誌, 67 (4), 121-125.
- 横江未央・川村周三 (2008a) : 精米の賞味期限の設定 (第1報) 貯蔵中の理化学特性の変化, 農機誌, 70 (5), 55-62.
- 横江未央・川村周三 (2008b) : 精米の賞味期限の設定 (第2報) 貯蔵中の食味の変化, 農機誌, 70 (6), 69-75.
- 全国麦改良協会 (2015) : カントリーエレベータ及びライスセンター状況調, 4-5.

Recent Development in Research and Technology Related to Agricultural Facilities

—Rice Processing, Storage, Milling and Traceability—

Shuso KAWAMURA

Hokkaido University, Research Faculty of Agricultural Science, Laboratory of Agricultural and Food Process Engineering
Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan