



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道における新規貯蔵技術の確立と普及：寒冷外気を利用した粳の超低温貯蔵：カントリーエレベータの稼働運営状況の調査
Author(s)	川村, 周三
Citation	北海道農業施設, 2002(特別号), 1-66
Issue Date	2002-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/70946
Type	journal article
File Information	Ka2002-2 Hokkaido 2002.pdf



寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵

ー雨竜町カントリーエレベータにおける実証試験ー

1. 目的

北海道における新規籾貯蔵技術を確立するために、1996年11月から1997年8月にかけて、上川郡鷹栖町にある上川ライスターミナル（株）の所有する上川中央部米穀広域集出荷施設の貯蔵サイロ2基を使用し、自然放冷による籾貯蔵試験を行った。さらに、1997年11月から1998年8月にかけて、同施設において冬期通風冷却による籾の超低温貯蔵（氷点下での米の貯蔵）の実証試験を行った。

これらの実証試験により、北海道の冬の寒冷な外気を有効に利用することで、実用施設での籾の超低温貯蔵が可能であり、従来の低温貯蔵よりもさらに米を高品質に保てることが確認され、その結果、低コスト、省エネルギーで高品質な米の貯蔵が可能であることが実証された。ところが、実用施設での籾の超低温貯蔵技術を新しい技術として大きく普及させるためには、さらに、異なった条件下で再度実証試験を行っていくことが必要である。

また、上川ライスターミナルでの実証試験では、春から夏にかけて外気温が上昇するとサイロ内壁付近の籾温度が上昇した。この時、氷点下に保持された中心部の籾と外壁付近の籾との温度差が大きくなることが分かった。このサイロ中心部と内壁付近との温度差、とくに内壁付近の温度が高いことが籾の品質に与える影響については不明であった。

そこで、1999年から新たに稼働開始した雨竜町カントリーエレベータを利用して、冬期通風冷却による籾の超低温貯蔵技術の実証試験を再度行うこととした。この試験では、上川ライスターミナルで行った試験と同様に、貯蔵中の穀温変化、寒冷外気の通風による冷却方法、通風冷却や籾の温度変化による水分移動、サイロ内上部空間での結露防止対策、排出時の昇温工程など、超低温貯蔵における実用技術の再確認を行うことを目的とした。また特に、貯蔵終了時のサイロ中心部と内壁付近の温度差が籾の品質に与える影響について明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 供試施設

供試施設は、雨竜町ライスコンビナートの一部である雨竜町穀類乾燥調製貯蔵施設（雨竜町カントリーエレベータ）である。表1に雨竜町ライスコンビナートの概要を、表2に雨竜町穀類乾燥調製貯蔵施設の概要を示した。写真1に施設の外観を示した。

雨竜町カントリーエレベータは、1999年秋に操業を開始した。

表 1 雨竜町ライスコンビナートの概要

建設場所	穀類乾燥調製貯蔵施設	雨竜町字満寿28番地の83 外4筆
	粳穀膨軟化処理施設	同 上
	粳穀堆肥化施設	雨竜町字満寿26番地の107 外6筆
敷地面積	穀類乾燥調製貯蔵施設	
	粳穀膨軟化処理施設	
	合計	18,019 m ²
	粳穀堆肥化施設	8,791 m ²
総事業費		1,954,556 千円
内 訳	国庫補助金	736,983 千円
	地方債	1,214,100 千円
	自主財源	3,473 千円

表 2 雨竜町穀類乾燥調製貯蔵施設（雨竜町カントリーエレベータ）の概要

名 称	雨竜町穀類乾燥調製貯蔵施設			
所 在	雨竜町字満寿28番地の83 外4筆			
敷 地 面 積	18,019m ²	(粳穀膨軟化処理施設敷地含む)		
施 工 管 理	ホクレン農業共同組合連合会			
設 計 施 工	ヤンマー農機株式会社			
建 設 面 積	2,823m ²			
建 設 事 業 費	1,655,283千円			
主 要 機 械 設 備	荷受処理能力	30t／h×2系列	4ホッパー	
	乾燥機容量	20t×6基		
	プールタンク容量	20t×12基		
	粳摺処理能力	4t×h×3基		
	玄米タンク容量	20t×6基		
	屑米タンク容量	20t+10t+10t		
	出荷装置能力	1tフレコン	20t／h×1基	
		30kg紙袋	6t／h×1基	
		60kg樹脂袋	7t／h×1基	
	サイロ貯蔵容量	480t×12基		
	精選売渡能力	12t／h×2基		
	処 理 内 容	処理面積	1,200ha	
		処理量	8,208t (18%半乾粳)	
		荷受水分	18%(w.b., 105℃)	

写真 1 雨竜町カントリーエレベータの外観



図1に雨竜町カントリーエレベータの平面図を示した。サイロは、鋼板溶接構造であり、サイロ1基はホッパ部を含めた高さが23.3m、直径が7.4mである。サイロの壁面は、厚さ4.5mmから8mmの鋼板（サイロの下部では8mm、上部では4.5mm）である。サイロ群全体の外周は鋼板外側に厚さ75mmの硬質ウレタンフォーム、さらに厚さ0.4mmのサイロ外壁面の角波カラー鋼板を通して外気に接している。サイロ間には断熱材は施されておらず、空間となっている。サイロ下部のホッパ部外側には断熱材は施されていない。サイロの天井は、厚さ4.5mmの鋼板、厚さ50mmの硬質ウレタンボード、厚さ100mmのコンクリートであり、このコンクリートがサイロ上屋の床となっている。サイロ1基の粉貯蔵能力は480tであり、12基のサイロ全体で5760tの粉貯蔵が可能である。

サイロ12基のうち、図1のM9サイロとM10サイロを用いて貯蔵試験を行った。M9サイロは外周が完全に他のサイロに囲まれているが、M10サイロは外周の3分の2程度が南西向きの外壁に接しており、それぞれの周囲環境は異なる。

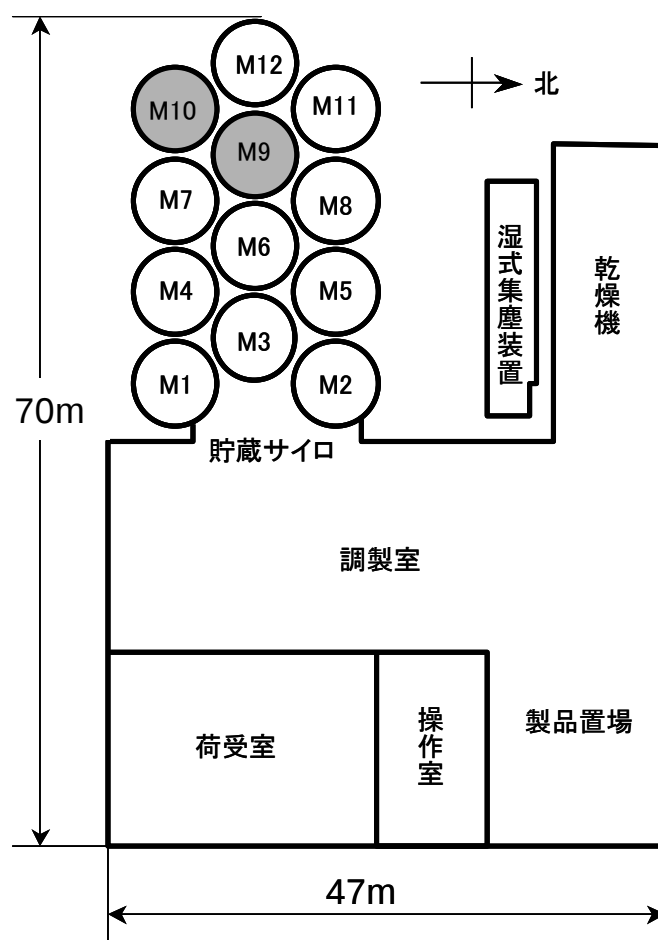


図1 雨竜町カントリーエレベータ平面図

サイロ内空間の結露を防止するために、サイロ内空間自動換気装置 (Dry air generator: DAG) がサイロ上屋に2台設置されている。写真2に自動換気装置の外観を示した。サイロ内では上部空間の気温と相対湿度およびサイロ内壁表面温度を測定している。サイロが周囲から冷却されサイロ内壁表面温度が低下して、サイロ内空間の気温と相対湿度から計算される露点温度に近づくと、換気装置が自動的に始動しサイロ上屋の空気を除湿しサイロ内空間に送風するシステムである。換気装置を自動運転するための設定温度 (サイロ内壁表面温度－サイロ内空間露点温度) は任意に調整可能である。

各サイロには下部から上部へと外気を通風する設備がある。写真3にサイロ通風装置の外観を、表3に送風機 (ターボファン) の仕様を示した。12基のサイロに対して送風機は1台設置されており、通風ダクトのダンパの切替えにより各サイロ個別ないしは並列に外気の通風が可能である。



写真2 サイロ内空間自動換気装置



写真3 サイロ通風装置

表3 サイロ通風装置送風機の仕様

形 式	昭和電気製 ターボファン SZGFL(Ⅱ)-352AM
風 量	126m ³ /min
静 圧	500 mmAq
軸 動 力	19 kW
回 転 数	3300 min ⁻¹
原 動 機	東芝製 22kW 4P
周 波 数	50 Hz
電 圧	200 V

(2) 試料

試料は、1999 年北海道雨竜町産「きらら 397」と 1999 年北海道雨竜町産「ほしのゆめ」である。M9 サイロにきらら 397 を 500.0t, M10 サイロにほしのゆめを 494.1t 貯蔵した。

(3) 貯蔵期間

M9 サイロへの粳（きらら 397）の投入は 1999 年 11 月 22 日～11 月 23 日、粳の排出は 2000 年 7 月 21 日～7 月 23 日であり、約 8 ヶ月間貯蔵した。

M10 サイロへの粳（ほしのゆめ）の投入は 1999 年 11 月 24 日～11 月 25 日、粳の排出は 2000 年 7 月 19 日～7 月 20 日であり、約 8 ヶ月間貯蔵した。

貯蔵試験中の経過を表 4 に示す。

(4) 粳投入時の測定と試料採取

サイロへの粳投入は、風力選別機、比重選別機、インデントシリンダ型選別機を用いた粳の精選別と並行して行った。精選別後の粳をサイロに投入する際の流量は、約 20t/h であった。サイロへの粳の投入は M9 サイロは 25 時間、M10 サイロは 30 時間を要した。

精選別後でサイロ投入直前の粳を約 10t に対して 1 点の割合で採取し、粳温度と水分を測定した。粳温度は、試料を魔法瓶にとり T 型熱電対で測定し、データロガーに記録した。また、採取した試料の水分を測定した。

水分は農業機械学会の標準法である炉乾法 10g, 粒, 135℃, 24 時間法（以下 135℃法）を用いて測定し、その測定値を食糧庁の標準法である 5g, 粉碎, 105℃, 5 時間法（以下 105℃法）による値に換算し、湿量基準（%, w. b.）で表した。なお、105℃法の水分値は、135℃法による水分値に比較して約 1%低い値となる。

また、10t 間隔で採取した試料を取りまとめ、後に述べる貯蔵前の品質測定用試料及び対照貯蔵区の試料とした。

粳を全量投入した後にサイロ内に入り、人力で粳の堆積表面を水平にならした。

写真 4 粳投入時の試料採取

サイロ投入直前の粳を約 10t に対して 1 点の割合で採取し、貯蔵前の品質測定用試料及び対照貯蔵区の試料とした。



表4 貯蔵試験中の経過(1999—2000)

11月22日 籾精選別, サイロ内投入開始	M9サイロ(きらら397)500.0t
11月23日 籾精選別, サイロ内投入終了	
11月24日 籾精選別試験	
籾精選別, サイロ内投入開始	M10サイロ(ほしのゆめ)494.4t
11月25日 籾精選別, サイロ内投入終了	
12月15日 風量測定(通風テスト)	
1月19日 サイロ内サンプリング 対照区サンプリング	・M4サイロ内で結露発生の痕跡 籾投入口に水滴 その下の籾が変色 籾表面がはしごから遠くてサイロ内に入らず ・M11サイロ内で結露発生の痕跡 北西内壁面に一部(約400cm²)結露 その下の籾が濡れていた ・換気ダクト, 集塵ダクトを開放にする
1月20日 M9,M10サイロ通風冷却開始 風量測定(本通風)	・-7℃以下で送風するように設定 ・送風外気取込口の吸込風速が強すぎるため, 降っている雪を吸込んでしまう危険性あり
1月22日 DAG通風ダクトを排気を使う	・DAGの配管変更 サイロ内上部空間の空気をDAGの送風ダクトを 利用してサイロ上屋の外へ排気(自然排気) ・サイロへの送風機の吸気口を外気取り入れから サイロ下空気取入れへ変える
2月2日 サイロ内サンプリング	・サイロ内結露により水が付着し凍った籾(数kg)を取り出す
2月3日	・DAGの配管再変更 サイロ上屋の空気をDAGを使って外へ排気 DAGを換気ファンとして使用する
2月4日	・サイロ内上部空間の集塵装置の配管変更 ・サイロ下空気をサイロ内空間に圧送する
2月21日 サイロ内サンプリング 対照区サンプリング	
2月24日 湿度計測プログラム修正	・湿度計測プログラム(露点温度計算) にミスがあり, これを修正する。
3月22日 サイロ内サンプリング 対照区サンプリング	
4月21日 サイロ内サンプリング 対照区サンプリング	
5月10日 サイロ内サンプリング 対照区サンプリング	・サイロ内上部空間の相対湿度が80%を超えている ・DAGの配管付けかえ, 元の配管に戻す ・サイロ内上部空間の集塵装置の配管を元の配管に戻す
5月30日 サイロ内サンプリング 対照区サンプリング	
6月2日	・DAGの設定露点温度差を5℃にする
6月15日	・DAGの設定露点温度差を4℃にする
6月19日 サイロ内サンプリング 対照区サンプリング	
6月27日	・DAGの設定露点温度差を3℃にする
7月5日	・DAGの設定露点温度差を5℃にする
7月19日 貯蔵終了, 排出開始	M10サイロ
7月21日 貯蔵終了, 排出開始	M9サイロ

(5) 籾貯蔵中の測定と試料採取

図2、図3にM9サイロとM10サイロの平面図、断面図と温度、湿度測定位置を示す。ここに示すように、銅-コンスタンタン熱電対（T型熱電対、直径0.6mm）をサイロ内壁面から約10cmおよび中心部の位置で上下方向に2.2m間隔で取り付け、サイロ内の籾温度および上部空間の温度を測定した。温度の測定間隔は4時間とし、サイロ上屋に設置した江藤電気製データロガー（THERMODAC-EF）に記録した。さらにM10サイロには籾堆積表面、サイロ外壁からの熱移動を詳しく測定するために、熱電対をサイロ内壁から中心に向かって0.0m（サイロ内壁表面に熱電対を貼り付ける）、0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、3.7m（サイロ中心）の7点、サイロ堆積表面から深さ0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、3.6mの6点、合計42カ所設置し、同様にデータロガーで記録した。また、同時に各サイロの排出口付近、サイロ送風入口の温度を測定した。さらに、サイロ全体、周辺温度測定用として、外気、北側外壁表面、南側外壁表面、サイロ上屋、送風外気取入口、送風機前、送風機後の各位置でも温度を測定した。

上記の温度測定と並行して、籾中の温度と湿度をタバイエスペック製サーモレコーダー（RS-11）に1時間間隔で記録した。測定位置は、サイロ中心部及びサイロ内壁から約10cm内側で、堆積表面からの深さ約10cmの籾中である。同時に籾表面から約1m上方のサイロ内上部空間の温度と湿度を測定した。

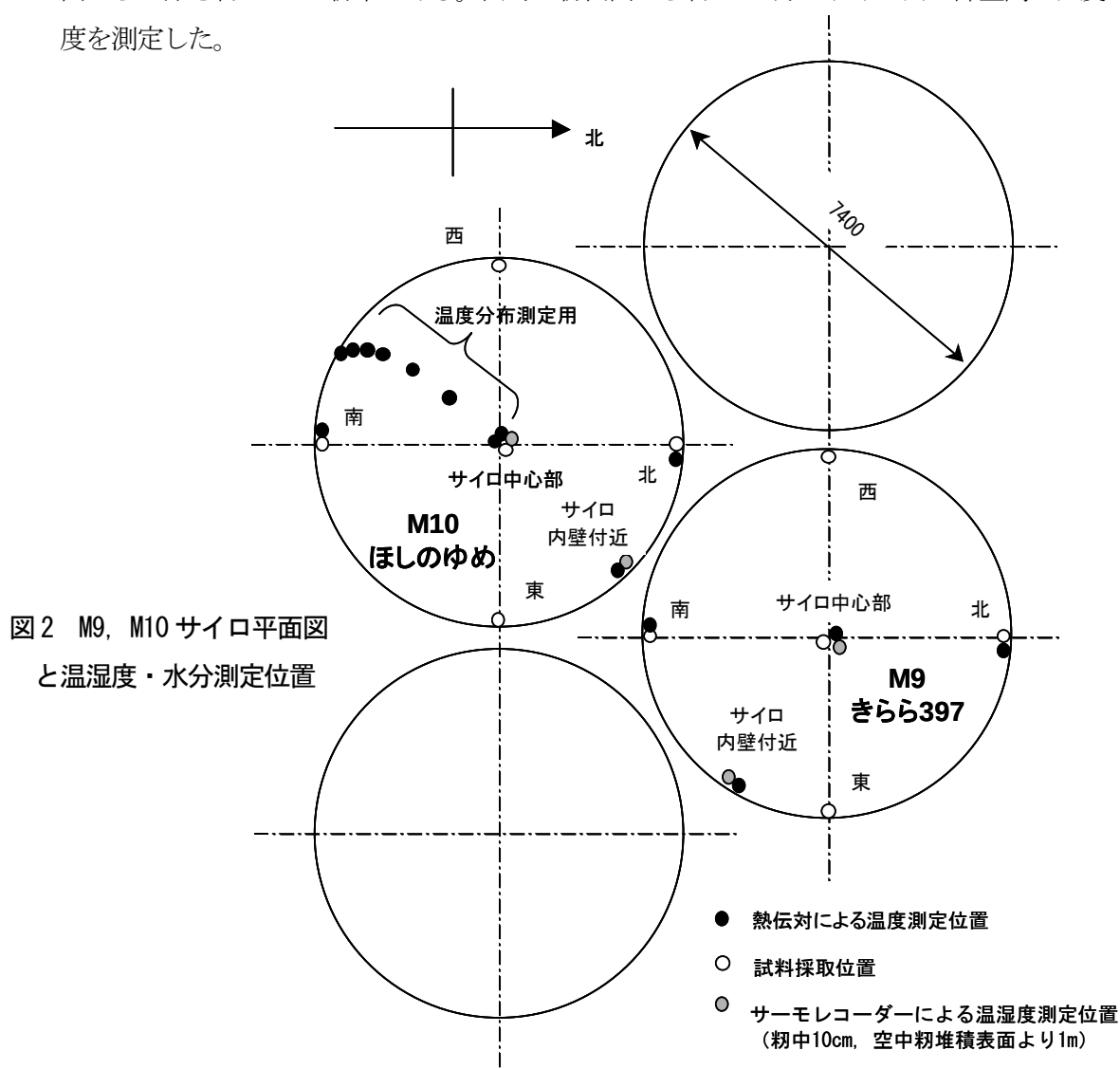


図2 M9, M10 サイロ平面図
と温湿度・水分測定位置

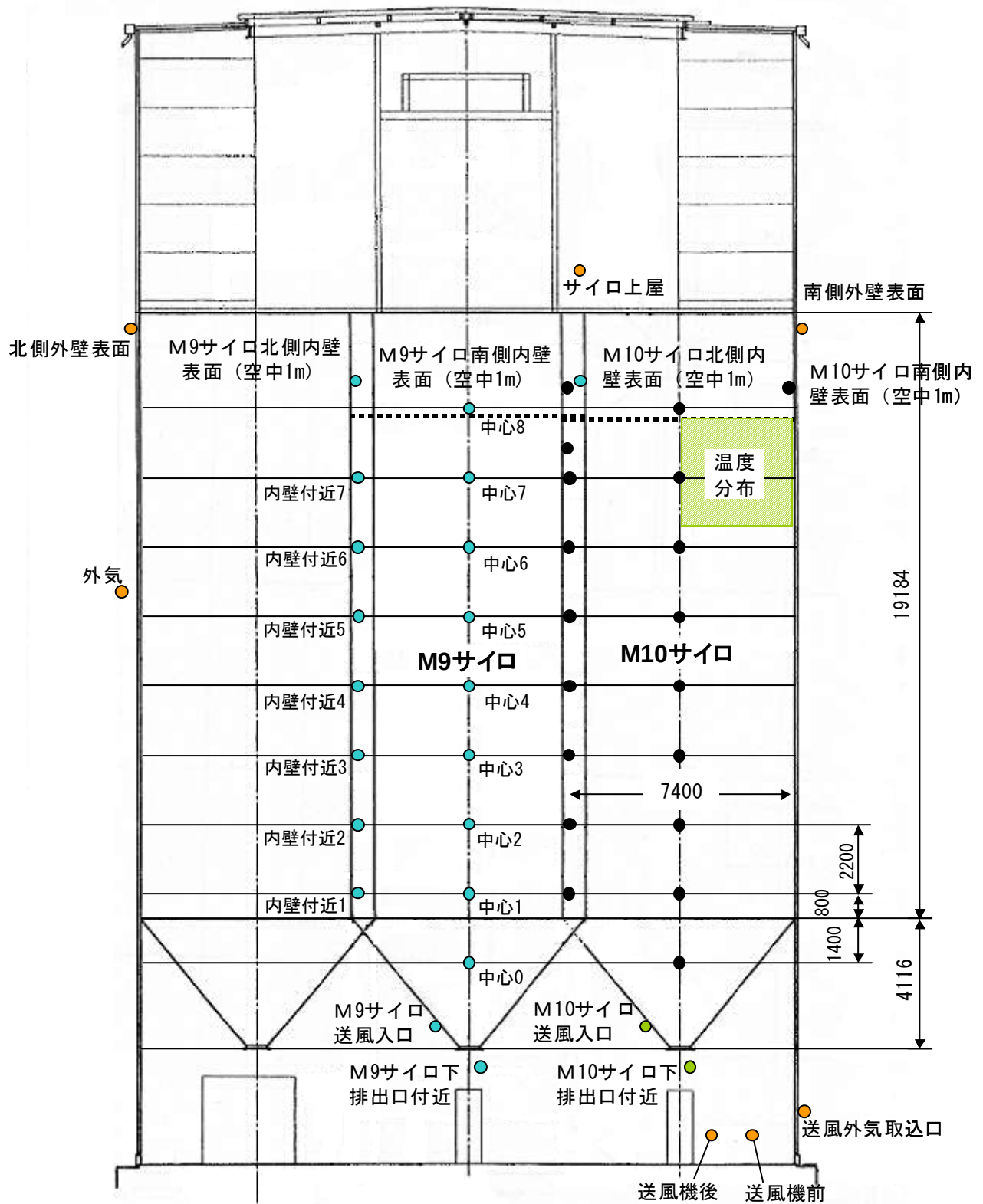


図3 サイロ断面図と温湿度・水分測定位置

サイロ内試料の採取を貯蔵期間中に約3週間に一度行った。また、貯蔵終了時にサイロから粃を排出する前日にも同様に試料の採取を行った。試料の採取位置は、サイロ中心部およびサイロ東西南北4ヶ所の壁際から約10cm内側の点において、粃表面から深さ約0.1m, 0.5m, 1m, 2m, 4mの位置でそれぞれ試料を採取した。試料は、直径約4cmの鉄パイプで作成した粃サンプルを所定の深さまで挿入して、電気掃除機で吸引し採取した。写真5にサイロ内での試料採取の様子を示した。

採取した試料の水分を測定した。また排出直前のサイロ貯蔵中心部と内壁付近の温度差が粃の品質に与える影響を明らかにするために、排出前日に採取した試料では、水分、脂肪酸度、発芽率を測定した。

(6) 通風冷却

貯蔵中の粃温度を氷点下の温度まで冷却するために2000年1月20日から27日の間に断続的に通風冷却を行った。送風静圧による温度上昇、送風機羽根と空気の摩擦熱、軸受けやモーターの発熱等による送風空気の温度上昇が予想された。サイロに送風する空気が氷点下になるように、外気温度が -7°C 以下になった時に自動的に通風するようにサイロ送風機を設定した。通風はM9サイロとM10サイロを同時に並列で行い、サイロ内粃温度がすべて氷点下になるまで断続的に通風した。サイロ下方からの通風と同時に、サイロ内空間の除塵ファンが自動的に作動し、サイロ内空間の空気を吸引排気した。



写真5 サイロ内での試料の採取

試料の採取位置は、サイロ中心部および
サイロ東西南北4ヶ所の壁際から約15cm内側の点において、
粃表面から深さ約0.1m, 0.5m, 1m, 2m, 4mの位置で
それぞれ試料を採取した。

(7) 粳排出時の測定と試料採取

図4に貯蔵後の排出・粳摺・出荷のフローチャートを示した。排出から出荷までの工程をM10サイロでは2000年7月19日から7月22日までの4日間、M9サイロでは2000年7月21日から7月25日までの5日間でおこなった。

春から夏にかけて外気温度が高い時期に低温の粳を排出する場合、排出直後の冷たい粳を直ちに粳摺すると、玄米表面に結露を起し胴割が発生する危険性がある。そこで、乾燥機による常温通風を利用して粳の昇温を行った。サイロから計量機を通し、一時貯留サイロ（もしくはプールタンク）に粳を入れ、その後乾燥機に送った。乾燥機の容量は20tである。1時間で20tの粳を乾燥機に張込み、常温通風を行いつつ1時間で粳を1循環させ、その後1時間で粳を排出した。乾燥機3台を並列に使用した。乾燥機への搬入、乾燥機からの排出ラインは20t/hのベルトコンベアが1系列であるため、乾燥機3台以上の並列使用はできなかった。排出した粳はプールタンクに投入した。数時間～数日間粳をプールタンクに静置した後に粳摺を行い、選別後の玄米を玄米タンクに投入して出荷した。

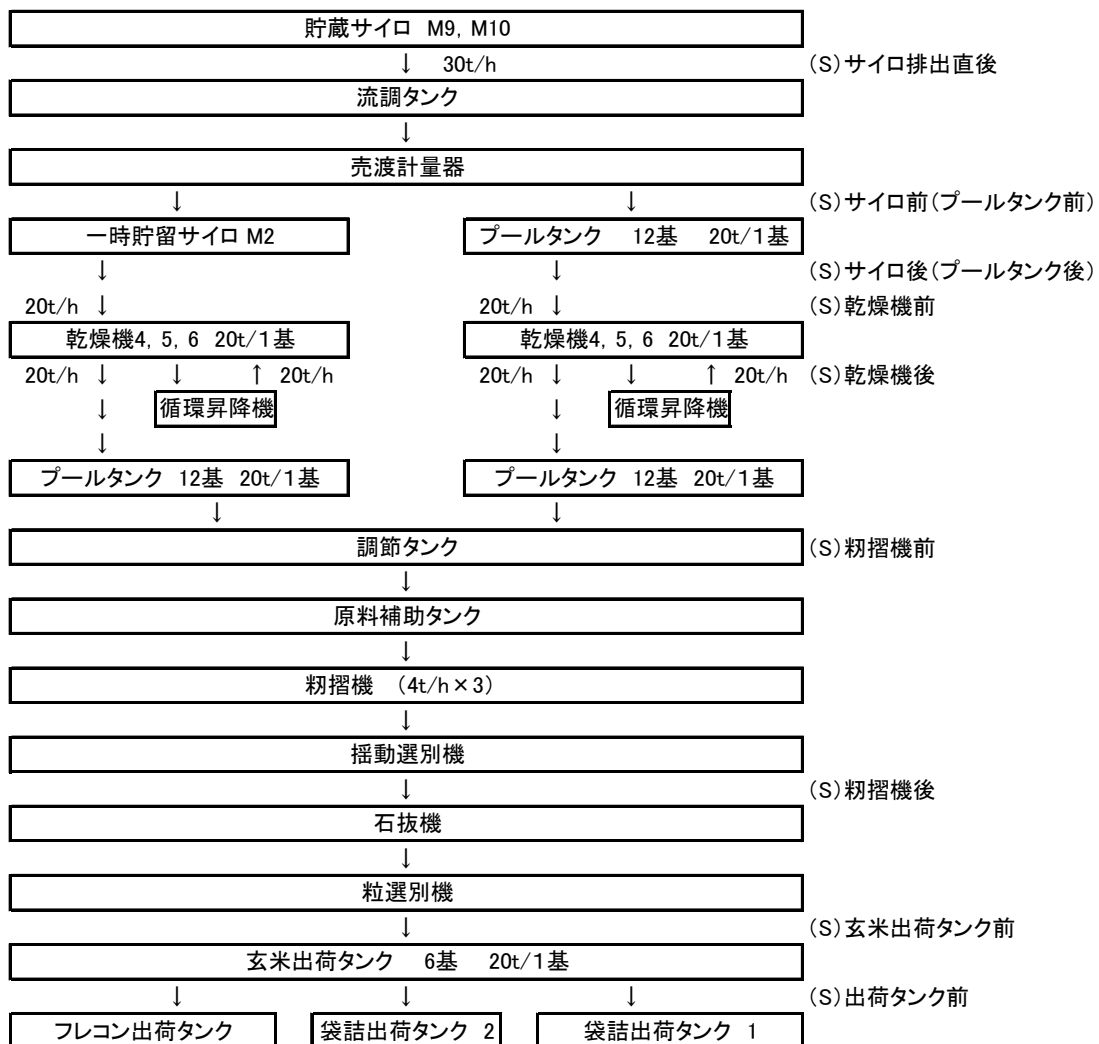


図4 貯蔵後の排出・粳摺・出荷のフローチャート

図4中に(S)：Samplingの印を付した位置で試料採取を行った。各部の流量に合わせて、試料を約10t毎に1回採取した。採取した試料を魔法瓶に入れ、熱電対を差し込み穀温を測定した。また、サイロ排出口付近の空気と乾燥機通風空気および籾摺機周辺の空気について乾球温度と湿球温度を測定し、相対湿度と露点温度を算出した。温度の測定にはT型熱電対とデータロガーを用い、測定間隔を5分間とした。

採取した各試料の水分を測定した。サイロ排出直後の籾については、品質のばらつきの有無を明らかにするために、水分に加えて脂肪酸度と発芽率を測定した。また排出から出荷までの工程で胴割発生の有無を確認するため試料の胴割率を調べた。籾摺機前で採取した試料を貯蔵後の試料として各種の品質測定に供試した。

(8) 対照貯蔵区

雨竜町カントリーエレベータにおけるサイロ貯蔵と並行して温度条件の異なる対照区において籾および玄米の貯蔵をそれぞれ行った。試料籾はサイロへの籾投入時に採取した(写真4参照)。また、採取した籾の一部を佐竹製作所製試験用籾摺機で籾摺し、これを玄米貯蔵した。対照区では、籾または玄米を約20kgずつ入れた紙袋を、二重にしたポリエチレン袋(厚さ：0.045mm)に入れて貯蔵した。

対照区は以下の3区である。

① -5℃貯蔵

超低温貯蔵を行う対照区として北海道大学農学部共同実験棟の低温実験室を用い、実験室内の温度を-5℃に制御した。

② 低温貯蔵

きたそらち農業協同組合雨竜支所の政府指定低温倉庫にて貯蔵した。当倉庫は外壁に断熱が施されており、貯蔵開始から2000年6月16日までは外気温度に応じて庫内温度が変化する(庫内温度の制御をしない)状態に置き、6月16日以降は冷却機により庫内温度を12.5℃以下に制御した。

③ 室温貯蔵

北海道大学農学部内の農産物加工工学研究室に貯蔵した。研究室は11月から翌年4月までは適宜に暖房されているが、貯蔵のために温度や湿度を制御することはしなかった。

また、対照区の籾または玄米中の温湿度を測定した。温湿度の測定にはタバイエスパック製サーモレコーダー(RS-10)を用い、測定間隔を1時間とした。貯蔵期間中の定期的な試料採取をサイロからの採取と同じ日に行った。



写真6 対照貯蔵（低温貯蔵）の様子

(きたそらち農業協同組合雨竜支所の政府指定低温倉庫)

(9) 貯蔵前後の品質

貯蔵前の粳，貯蔵後の粳もしくは玄米に関して，粳および粳摺後の玄米，さらに玄米を搗精した精白米の試料について，貯蔵前後の品質を測定した。

粳の品質として水分を測定した。玄米の品質として水分，発芽率，胚芽の酵素活性 (TZ 値)，白度，透光度，脂肪酸度，胴割率，肌ずれ率，を測定した。精白米の品質として水分，テクスチャログラム特性を測定し，食味試験を行った。食味試験は日本穀物検定協会および北海道大学でそれぞれおこなった。日本穀物検定協会の食味試験では，基準米を滋賀県湖南地方産の日本晴とし，貯蔵前に食味試験を行い，同一の基準米（日本晴の玄米）を冷蔵庫に置き，貯蔵後の食味試験の基準米とした。北海道大学の食味試験は貯蔵後のみ行い，玄米で低温貯蔵した，きらら 397 またはほしのゆめをそれぞれの基準米とした。

3. 結果と考察

(1) サイロ投入時の粳温度と粳水分

サイロ投入時の粳温度を図 5，図 6 に示した。粳は精選別を行った上でサイロへ投入した。粳の精選別の際，とくに比重選別機では下から吹き上げる空気により選別板上で粳が浮動するため，粳の温度が比重選別機周囲の気温と同じとなる。サイロへ投入した粳の平均温度は約 11℃であった。粳の精選別に要した時間は M9 サイロで約 25 時間，M10 サイロで約 30 時間であった。この間，比重選別機周囲の気温が昼夜で変化したため，M9 サイロで穀温に 4.1℃，M10 サイロでは 5.5℃の温度差が生じた。

精選別を行いサイロに粳を投入してから通風冷却を行うまでの期間は，外気温の低下にともないサイロ内壁近くの粳温度は低下する。ところがサイロ中心部の粳は投入時とほぼ同じ温度で推移する。したがって貯蔵開始時の粳温度は低いほうが望ましい。精選別を行い，貯蔵を開始する時期を遅らせると，より低温の粳を貯蔵することがで

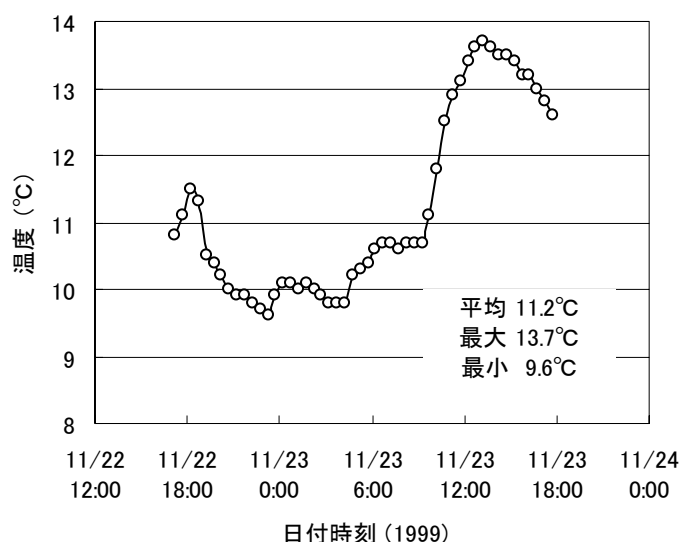


図5 M9サイロ（きらら 397）投入時粳温度

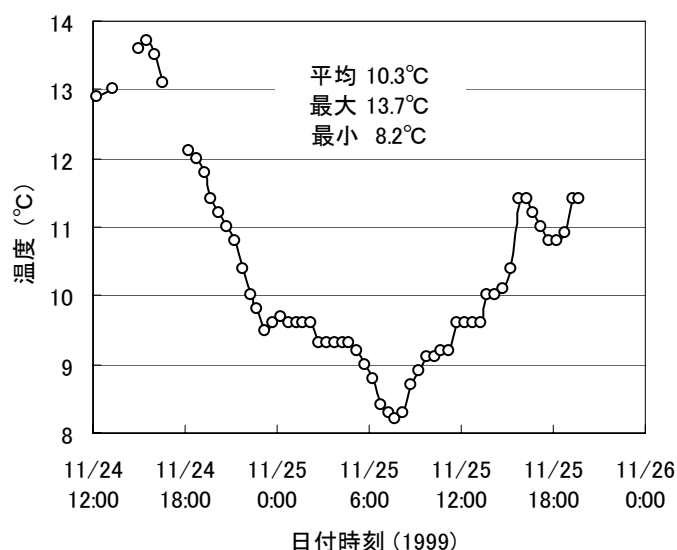


図6 M10サイロ（ほしのゆめ）投入時粳温度

きる。しかし、精選別・貯蔵開始時期を遅らせることは精選別前の貯留の期間（精選別前の籾温度が高い期間）を延ばすことであり、籾の品質に悪影響を与える可能性もある。

したがって、施設全体の工程の進捗状況（特に乾燥工程）や、施設のある地域の気象状況、その年の気温の変化などを考慮に入れて、収穫、乾燥終了後から時間をあけないように早い時期で、なおかつ気温が低下する時期に精選別を行うのが望ましい。さらに、外気温度の低下する夜間に精選別を行うことで、より低温の籾を貯蔵することが可能であると考えられる。今回の雨竜町カントリエエレベータの場合は、仕上げ乾燥した籾を精選別してサイロ貯蔵を始める時期は、今回行った11月の下旬が適期であったと考えられる。

図7、図8にサイロ投入時の水分を示す。M9サイロ、M10サイロともに平均水分は14.4%であり、標準的な仕上げ乾燥後の水分値であった。また、採取した試料間の水分の差は最大で0.7%であり、ばらつきは小さかった。

(2) 貯蔵中の周辺環境の温度

図9と図10に外気温度とサイロ南側外壁表面温度の日最高温度と日最低温度をそれぞれ示す。なお、5月10日から5月30日までのデータが欠けているのは、データロガーの不備によりデータが保存できなかったためである。

外気温は、12月下旬から最低気温が -10°C 以下となることが多くなり、1月27日に最低気温 -23.4°C を記録した。1月上旬から2月下旬までの2ヶ月間は、最高気温が氷点下を下回る真冬日が多かった。3月中旬からは最低気温、最高気温とも上昇し、7月下旬には最高気温が 30°C 近くに達した。

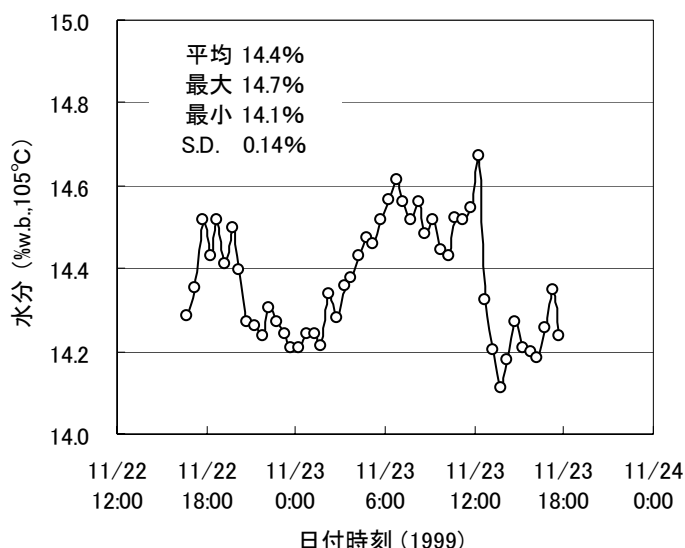


図7 M9サイロ(きらら 397)投入時籾水分

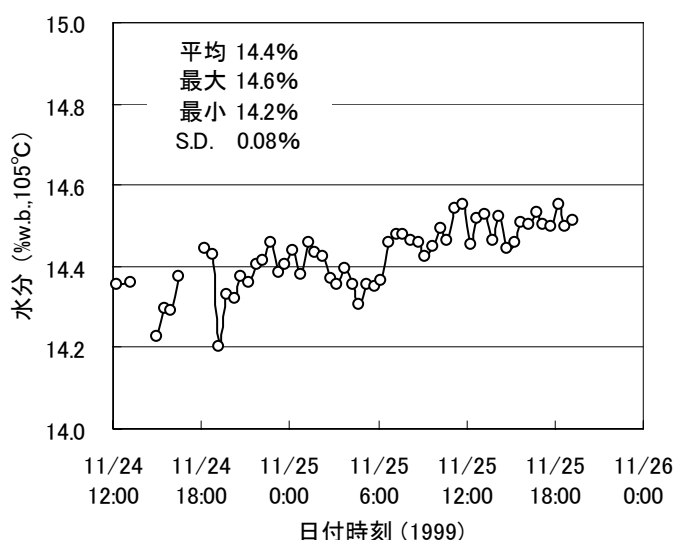


図8 M10サイロ(ほしのゆめ)投入時籾水分

サイロ南側外壁表面は一日の最高気温と最低気温の差（日較差）が大きかった。特に太陽からの直射日光があたるとサイロ南側外壁表面の温度が上昇し、1月17日の日最高温度は39.5℃まで上昇した。また、2月22日は、日最高温度は32.6℃、日最低温度は-21.2℃であり、日較差は53.8℃となった。

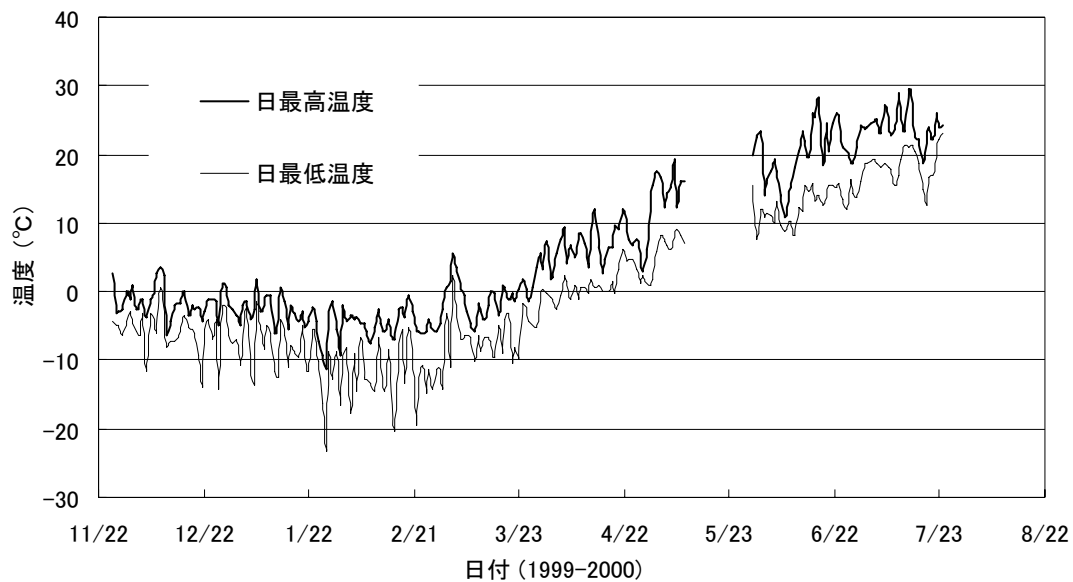


図9 外気温度

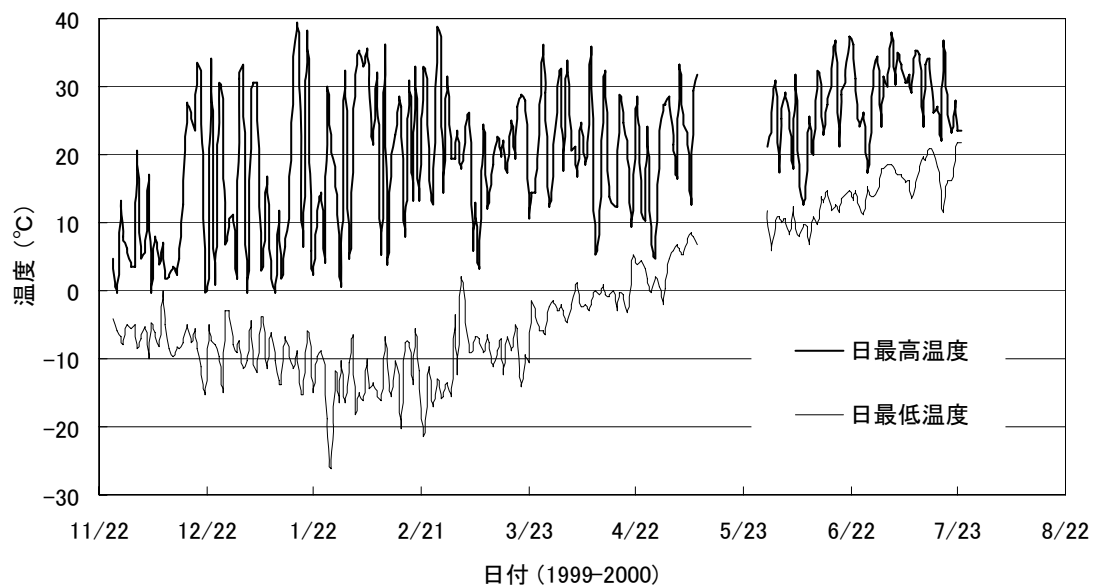


図10 サイロ南側外壁表面温度

(3) サイロ冬期通風冷却

サイロへの冬期通風冷却は、M9、M10 の 2 基のサイロへ同時に並行して 2000 年 1 月 20 日から 2000 年 1 月 27 日の間に断続的に延べ 91 時間行った。

表 5 にサイロ通風時の

表 5 サイロ通風時の状況

	通風サイロ	静圧 (mmAq)	各サイロへの通風量 (m^3/min)	粉質量 (t)	風量比 ($\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$)
雨竜町CE貯蔵試験	M9サイロ	268	80.0	500.0	0.160
	M10サイロ	250	82.5	494.1	0.167
雨竜町CEテスト通風	サイロ1基	365	110.0	494.1	0.223
	サイロ2基同時通風	235	77.0	994.1	0.155
	サイロ3基同時通風	150	57.0	1487.1	0.115
上川RT貯蔵試験	サイロ1基	270	43.0	378.0	0.114

状況をまとめた。送風空気の静圧は M9 サイロが 268mmAq, M10 サイロが 250mmAq, サイロ内堆積粉表面の平均風速は M9 サイロが 0.03m/s, M10 サイロが 0.03m/s, 送風量は M9 サイロが 80.0 m^3/min , M10 サイロが 82.5 m^3/min , 風量比は M9 サイロが 0.160 $\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$, M10 サイロが 0.167 $\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$ であった。

図 11 にサイロ通風装置周辺温度を示した。通風中の送風機後の温度は、送風機前の温度に比べて 5～7℃上昇した。温度上昇の原因は、静圧、送風機の羽と空気の摩擦熱、軸受けの摩擦熱、モータの発熱などが考えられる。上川ライスターミナルの通風冷却では、送風機前後での空気の温度上昇は 4～5℃であった。上川ライスターミナルの送風機の消費電力は 11kW であり、本試験で使用した送風機の消費電力 22kW より小さい。そのため、上川ライスターミナルでは送風による温度上昇も少なかった。

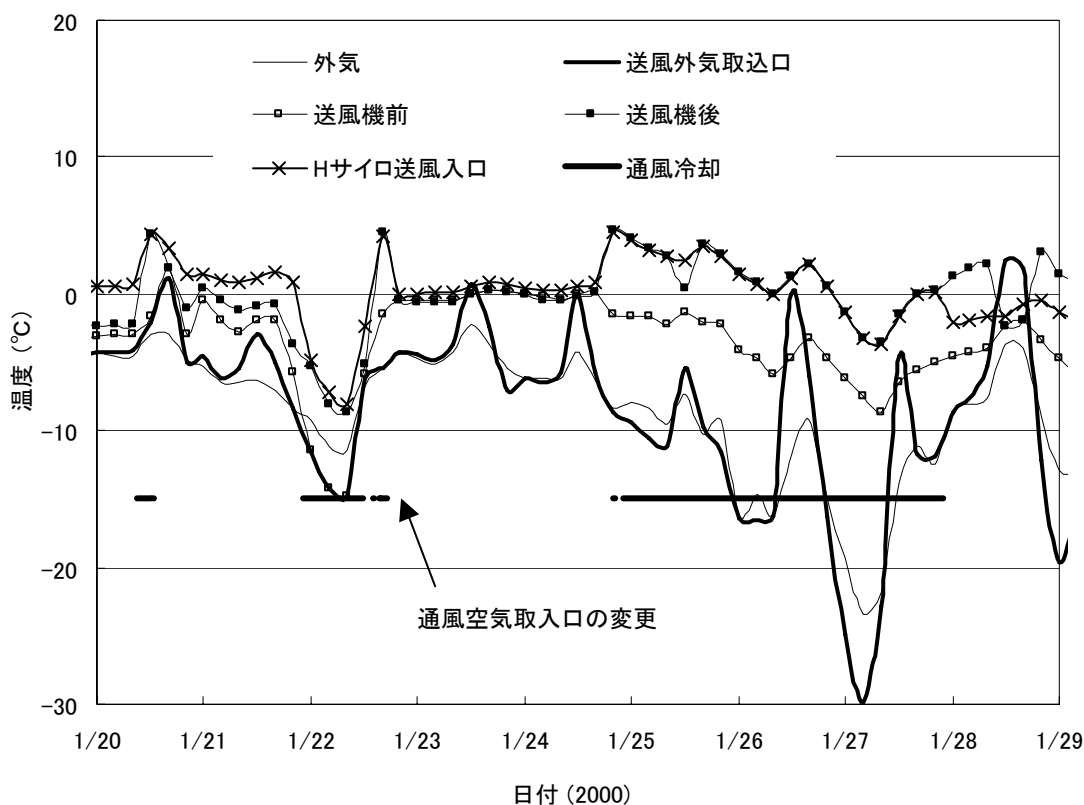


図 11 通風冷却時の M10 サイロ送風機周辺温度

送風機の外気取入口は当初サイロ南側の屋外にあった。したがって、取入口の温度は昼夜で大きな変動があった。また、取入口は覆い等がなく剥きだしであり、さらに吸込み風速が大きい（平均 30m/s, 最大 34m/s）ために、降雪を吸込む危険性があった。そこで、1 月 22 日に外気取入口から送風機へつながるダクトを取り外し、送風機周囲の空気をサイロへ送ることとした。



写真7 通風空気取入口の変更後の様子（変更前の写真3を参照）

写真7に通風空気取入口の変更後の様子を示した（写真3参照）。送風機はM1サイロのホップの下に設置しているため、サイロ下の空気をサイロへ送風することとなった。したがって、1 月 22 日以前は外気取入口と送風機前の温度がほぼ同じであるが、1 月 23 日以降は送風機前温度が外気取入口温度よりも高い。また、1 月 27 日に外気取入口の温度が約 -30°C まで低下したが、その低い温度を有効利用することはできなかった。また、送風機の外気取入口があるサイロ下の温度は、サイロ内に珪が充填されている場合には珪の保温効果により下がりにくい。以上の点より、通風空気取入口の理想的な設置場所は、雪を吸い込まず、かつ、できる限り低い温度の外気を取り入れることが可能な場所である。これに基づき、この珪貯蔵試験終了後に、空気取入口をサイロ下から施設内調製室の気温が低下する場所に移設した。上記のような通風空気取入口の変更があったが、通風冷却によりサイロ内の珪は下部から徐々に冷却された。その結果、図12に示したように、通風冷却後の珪は氷点下となった。

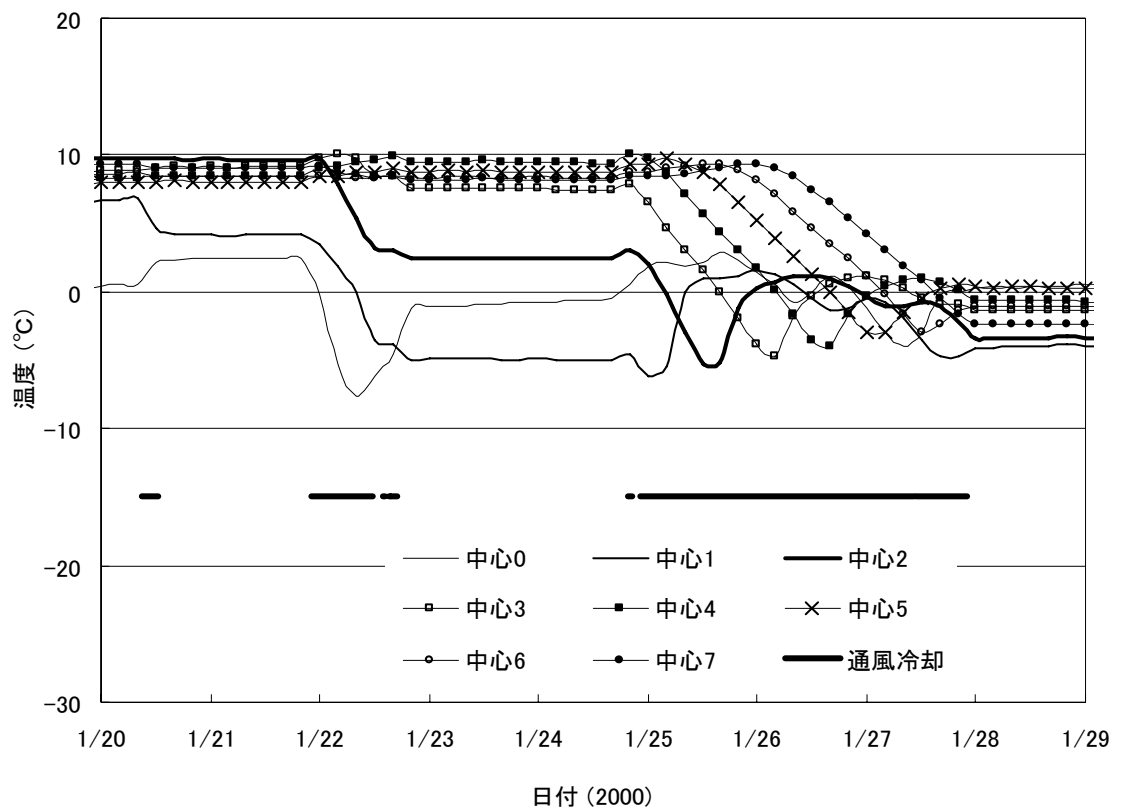


図12 通風冷却時のM10サイロ中心部の珪温度

(4) サイロ貯蔵中の籾温度

図13にM9サイロ内中心部の籾温度（中心0から中心7まで、図3参照）を示す。中心8のセンサはサイロ堆積表面上に出ており、サイロ内空間の温度を測定していたのでここには表示していない。中心0はホップ部にあり、貯蔵開始時から徐々に穀温が低下し、12月15日に短時間のテスト通風を行った際にも最初に穀温が低下した。その後、1月下旬の通風冷却を経て、氷点下に冷却された。

中心0（ホップ部）の温度は4月下旬までは氷点下の温度を保っていたが、それ以降は、中心部の他の部分の温度に比較して温度上昇が早かった。これはホップ部が円錐状になっていること、またホップ部には断熱が施されていないことにより、周辺環境の影響を受けやすいためである。また、堆積表面近くの中心7の籾温度も、サイロ内上部空間の温度の影響を受けて、6月以降の温度の上昇が大きかった。しかし、これらを除く垂直方向の籾温度差は、3℃程度と小さかった。また、垂直方向の一定の温度勾配も認められなかった。M10サイロでも同様の傾向が見られた。

図14にM9サイロ内壁付近の籾温度を示す。サイロへの籾投入時の衝撃によりセンサが断線したもの、もしくはセンサが籾堆積表面上に出ていたものは、データを表示しなかった。

通風冷却を行う以前は、サイロ周辺部の籾はサイロ外壁付近から自然放冷により冷却されたため、中心部の籾温度より低く推移した。内壁付近の籾温度は通風冷却で氷点下に冷却された後、3月下旬までは氷点下を維持したが、4月に入るとサイロ外壁からの熱移動により徐々に籾温度が上昇し、排出直前の7月下旬には最高で約23℃となった。貯蔵期間中の垂直方向の籾温度差は3℃程度と小さく、また垂直方向の一定の温度勾配も認められなかった。M10サイロでも同じ傾向が見られた。

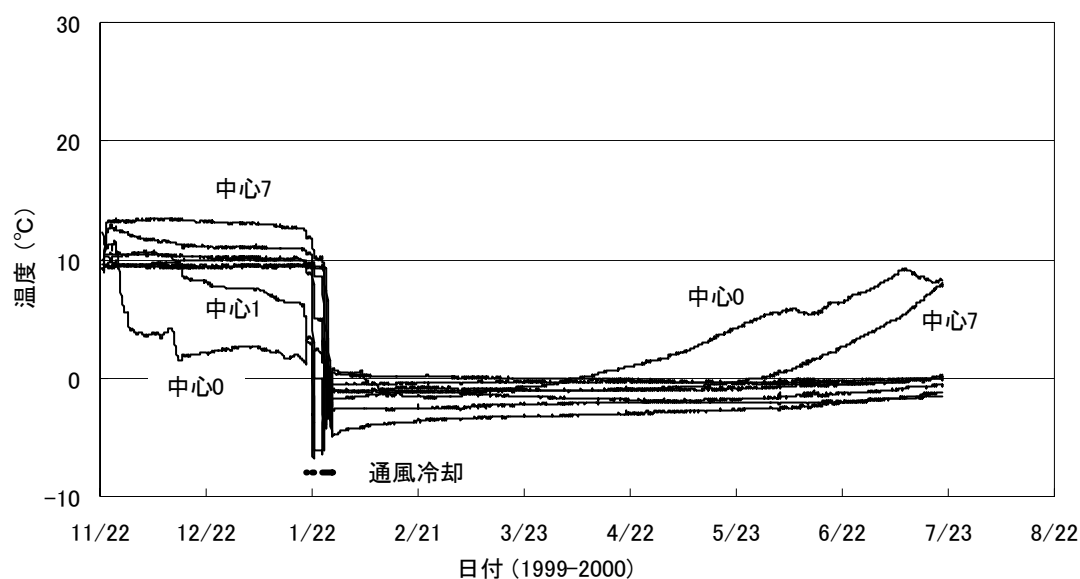


図13 M9サイロ中心部の籾温度

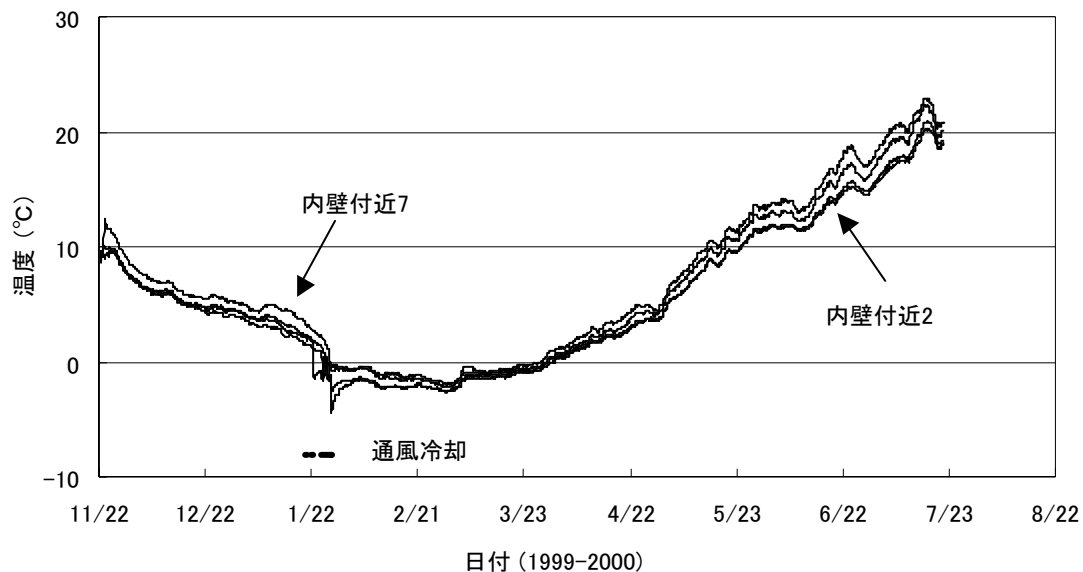


図 14 M9 サイロ内壁付近の珪温度

図 15 と図 16 に、M9 サイロと M10 サイロのサイロ中心部とサイロ内壁付近の珪温度の上下方向の温度を平均した図をそれぞれ示す。通風冷却前は自然放冷によりサイロ内壁付近の珪は徐々に冷却され、約 2°C 程度まで冷却された。通風冷却により内壁付近および中心部の珪は約 -2°C まで冷却され、サイロ内すべての珪が氷点下の温度になった。3 月上旬以降、外気温の上昇にともなうサイロ外壁からの熱移動によってサイロ内壁付近の珪が徐々に暖められて穀温が上昇し、3 月下旬に 0°C 以上になった。

通風冷却を行った 1 月下旬からサイロ内壁付近の珪温度が 0°C 以上になった 3 月下旬までの約 2 ヶ月間、サイロ全体の珪温度が氷点下であった。これは「貯蔵中の穀温が 1 ヶ月以上の期間、氷点下の温度となる」という実用施設での超低温貯蔵の定義に当てはまる。寒冷外気を利用して冬期通風冷却を行うことにより、実用規模のサイロで超低温貯蔵が可能であることが、上川ライスターミナルでの実証試験と同様に、改めて確認された。

珪の比熱は $1.7 \text{ J / (g} \cdot \text{K)}$ であり、木材 ($1.3 \text{ J / (g} \cdot \text{K)}$)、コンクリート ($0.8 \text{ J / (g} \cdot \text{K)}$)、鉄 ($0.5 \text{ J / (g} \cdot \text{K)}$) などと比較して比熱が大きい。そのため珪が一旦冷却されると、珪自身が保冷材の役割を果たす。また、珪の熱伝導率は $0.09 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$ であり、鉄 ($80 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$)、コンクリート ($1 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$) などと比較して熱伝導率が小さく、木材 ($0.15 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$)、ポリスチレン ($0.1 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$)、グラスウール ($0.04 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$) に近い熱伝導率である。そのため、珪自身が断熱材の役割を果たす。サイロ中心部の珪温度は、珪自身の保温性と断熱性により、内壁付近の珪温度が上昇しても大きく上昇することはない、排出時の 7 月中旬まで氷点下の温度を保持した。

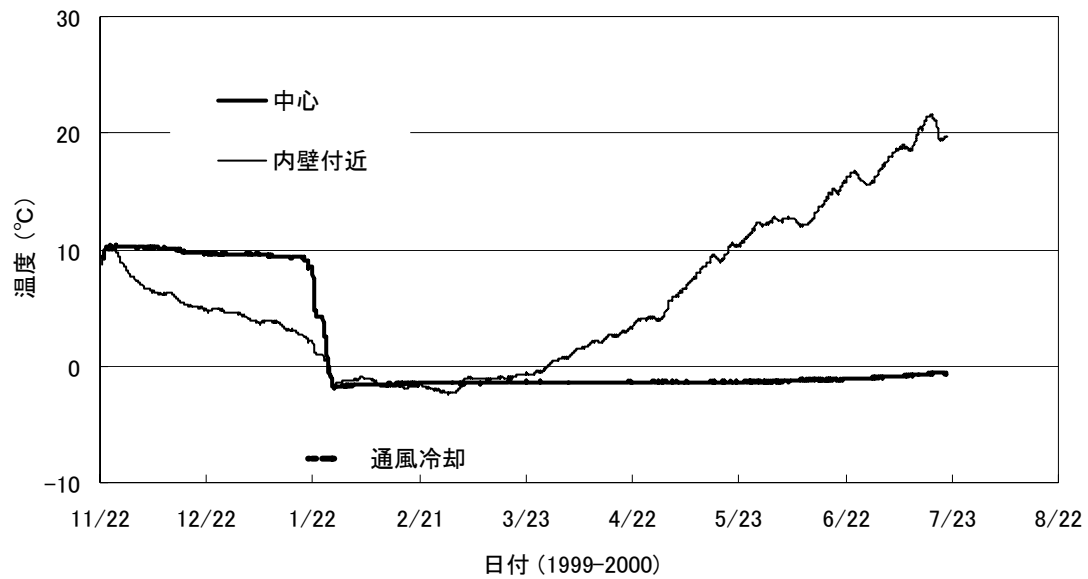


図 15 M9 サイロ貯蔵中の粉温度（上下方向をそれぞれ平均した温度）

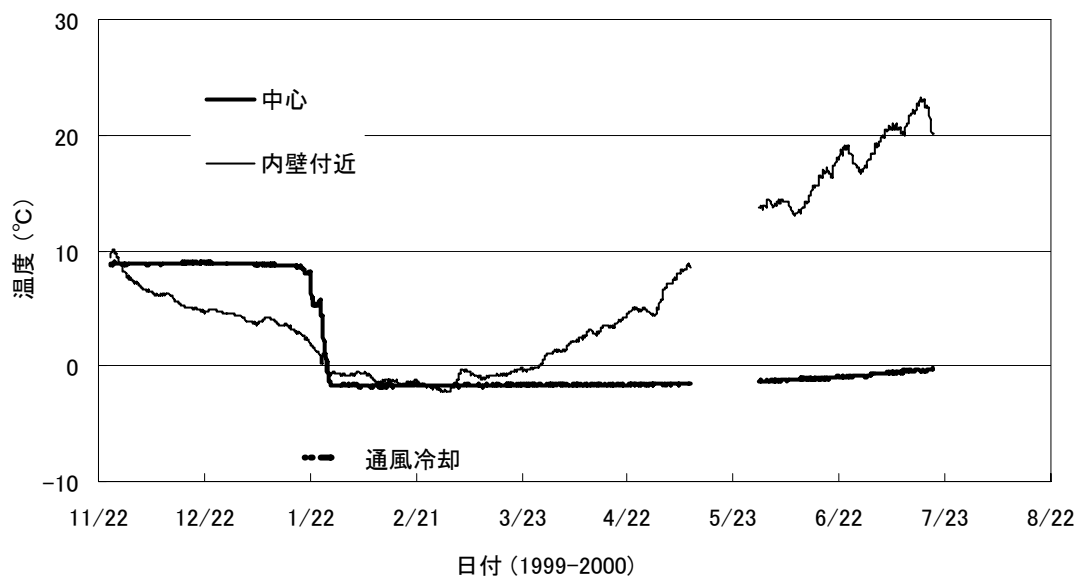


図 16 M10 サイロ貯蔵中の粉温度（上下方向をそれぞれ平均した温度）

(5) M10 サイロ貯蔵中の温度分布

M10 サイロでは籾堆積表面，サイロ外壁からの熱移動を詳しく測定するために，熱電対をサイロ内壁表面から中心に向かって 0.0m (サイロ内壁表面に熱電対を貼り付ける)，0.1m，0.2m，0.5m，1.0m，2.0m，3.7m (サイロ中心) の 7 点，サイロ堆積表面から深さ 0.1m，0.2m，0.5m，1.0m，2.0m，3.6m の 6 点，合計で 42 カ所の籾の温度分布を測定した (図 3 参照)。

図 17 に M10 サイロのサイロ内空間，内壁表面 (籾堆積表面から深さ 3.6m の内壁表面)，外気，サイロ南側外壁表面の温度をそれぞれ示した。外気温度は日較差が大きかった (図 9 参照)。サイロ南側外壁表面温度は，外気温度よりもさらに日較差が大きく，1 月 2 月には最低温度が -20°C 以下となる日があり，同時に晴れた日では最高温度が 30°C 以上となる日もあった (図 10 参照)。このような外気温度やサイロ外壁表面温度の日較差に比較して，サイロ内上部空間の温度や内壁表面の温度は日較差が小さかった。また，サイロ内上部空間と内壁表面の温度はほぼ同じであった。

内壁表面の温度測定位置はサイロの南側に面している。この位置は籾堆積表面から 3.6m の深さにあるため，サイロ内空間の温度の影響は受けず，外気温の影響のみを受けると考えられる。サイロの壁面は，鋼板の外側に厚さ 75mm の硬質ウレタンフォーム，さらに厚さ 0.4mm のサイロ外壁面の角波カラー鋼板を通して外気に接している。サイロの天井は，鋼板の上に厚さ 50mm の硬質ウレタンボード，さらにその上に厚さ 100mm のコンクリートとなっている。このようなサイロの断熱構造により，外気温度やサイロ外壁表面温度の大きな日較差がサイロ空間や内壁表面の温度に与える影響を小さくすることができたと考えられる。

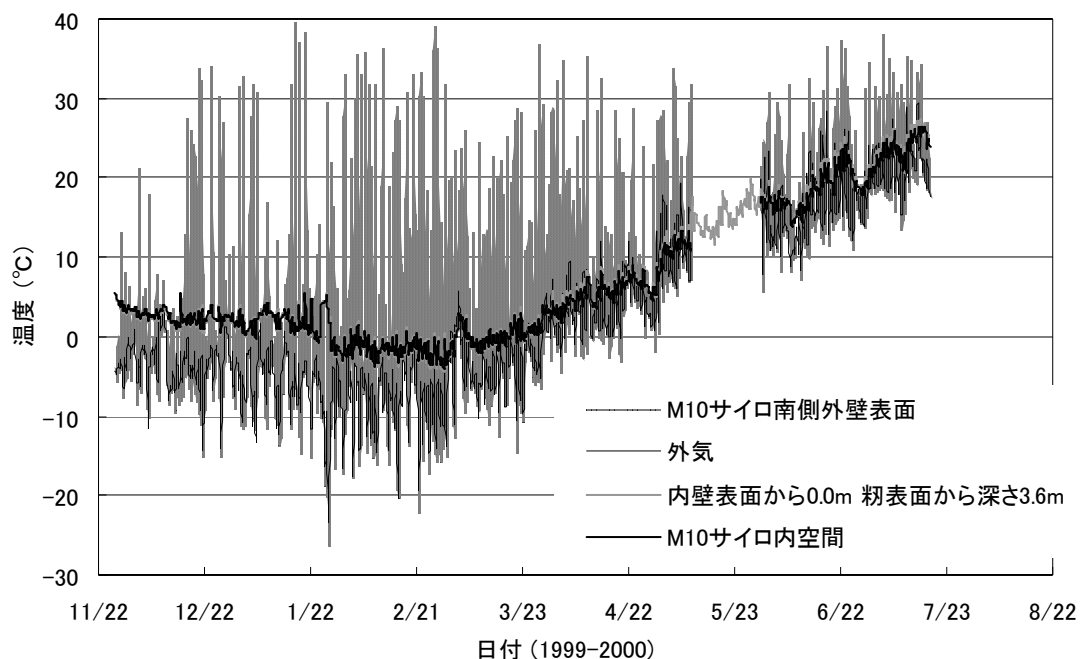


図 17 M10 サイロ内上部空間，内壁表面，外気，サイロ南側外壁表面の温度

図18から図21に、2000年1月1日、3月1日、5月1日、7月1日の粉温度の分布を示した。図において、左側はサイロ内壁表面、上側は粉堆積表面を示し、横軸は右方向にサイロ内壁表面からの距離を、縦軸は下方に粉堆積表面からの深さを示している。冬の通風冷却前（1月1日）は、自然放冷により粉の温度が低下し、粉堆積表面およびサイロ内壁から徐々に粉が冷却された。通風冷却後（3月1日）は、すべての部分の粉が氷点下となった。その後、春（5月1日）には、外気温度の上昇とともに粉堆積表面、サイロ内壁近くの粉温度が徐々に上昇した。夏（7月1日）には表面近くの粉温度は20℃を越えたが、中心部の粉温度は氷点下に保たれた。

粉堆積表面の粉およびサイロ内壁から0.0mの粉（サイロ内壁表面に接する粉）は、サイロ上部空間やサイロ外部からの温度の影響を最も受けやすい位置である。一方、粉堆積表面から深さ3.6m、サイロ内壁から距離3.7mの位置の粉は、外気温度の変化を最も受けにくいと考えられる。

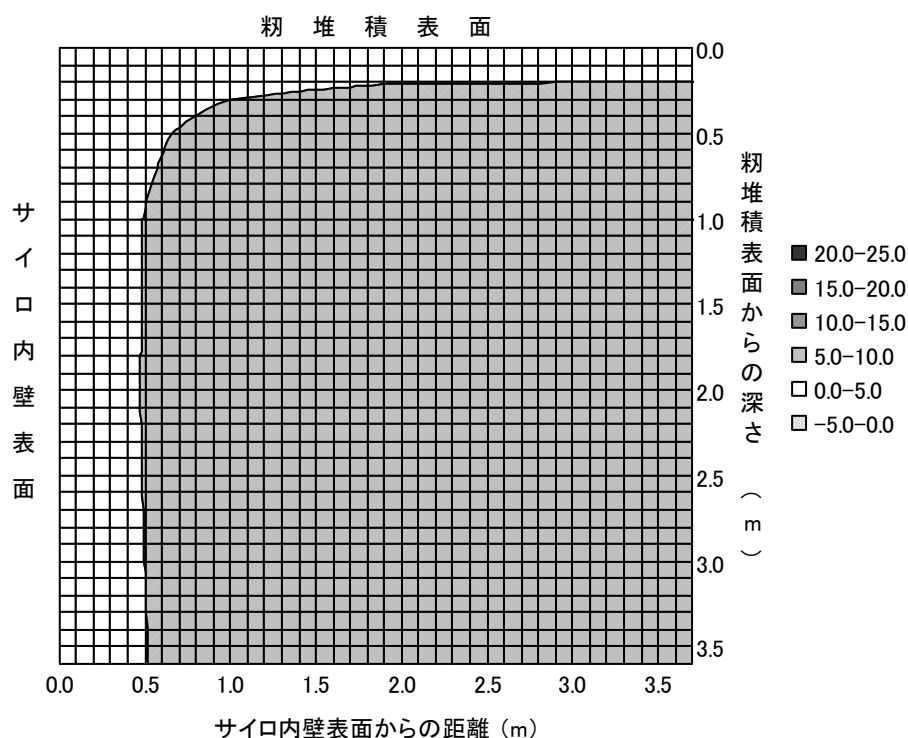


図18 2000年1月1日のM10サイロ内の粉温度分布

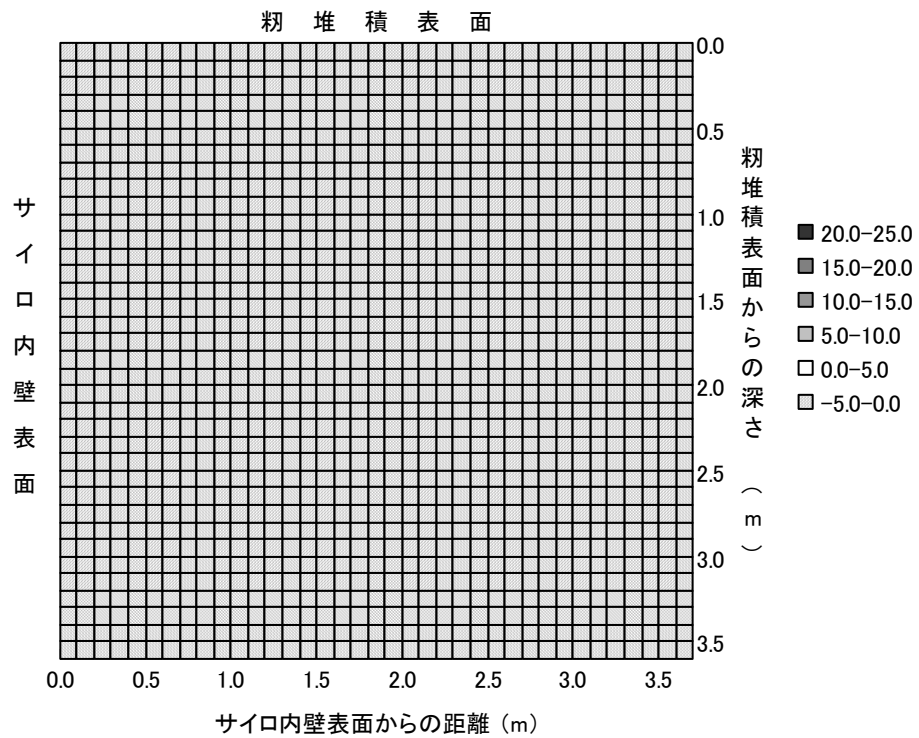


図 19 2000 年 3 月 1 日の M10 サイロ内の粉温度分布

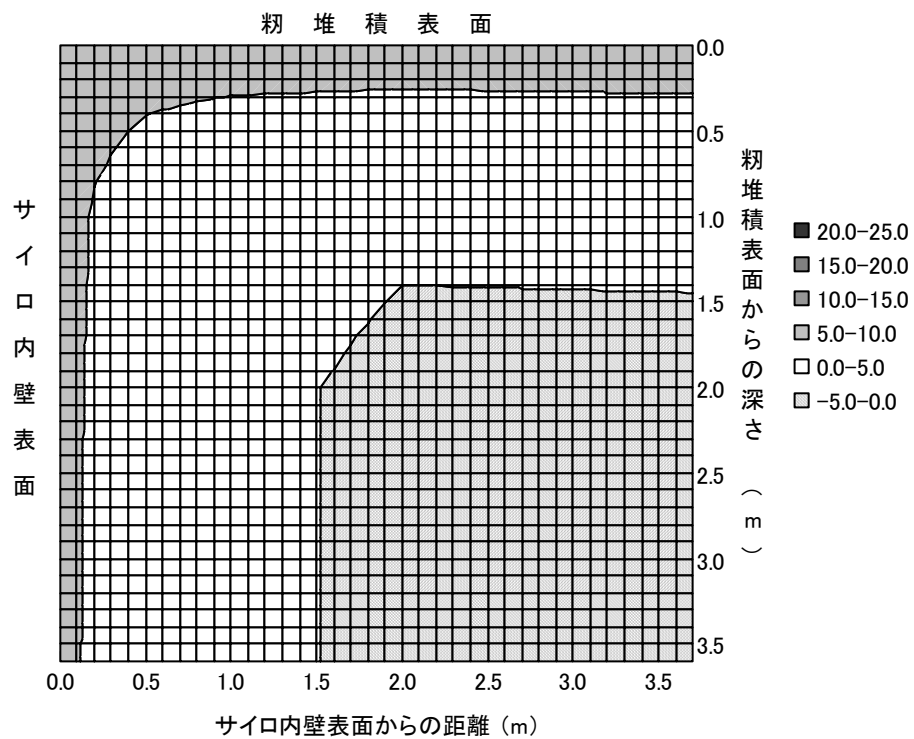


図 20 2000 年 5 月 1 日の M10 サイロ内の粉温度分布

貯蔵期間中のサイロ内各部の籾温度の平均値を表6に示した。貯蔵期間中の籾温度の平均値は、サイロ内壁近くおよび籾堆積表面近くの籾で約7℃であった。サイロ中心付近の籾（籾堆積表面から深さ3.6mでサイロ内壁から距離3.7mの籾）の平均温度は1.9℃であった。

貯蔵終了時（2000年7月）、籾堆積表面近くの籾とサイロ中心付近の籾の温度差は25℃以上であったが、それぞれの位置の貯蔵期間中の籾温度平均値の温度差は、約5.0℃と小さかった。これは、籾堆積表面近くやサイロ内壁近くの籾は、春から夏にはサイロ中心付近の籾に比較して温度が高いが、逆に冬には（とくに通風冷却以前には）サイロ中心付近の籾よりも温度が低く、その結果、貯蔵期間中の平均温度では両者の間に大きな温度差が生じなかった。

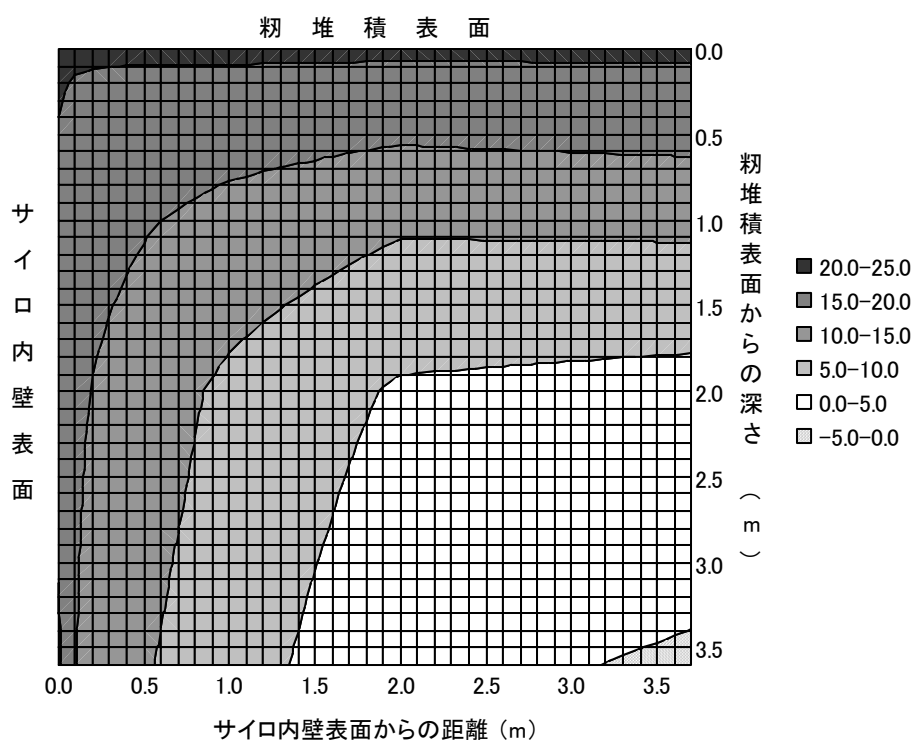


図21 2000年7月1日のM10サイロ内の籾温度分布

表6 貯蔵期間中のM10サイロ内各部の籾温度の平均値

		平均温度(℃)						
		サイロ内壁表面からの距離(m) (サイロ直径7.4m)						
		0.0	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.7
籾堆積表面からの深さ(m)	0.1	6.9	6.9	7.1	6.9	7.2	7.1	7.2
	0.2	6.8	6.8	6.9	6.7	7.0	7.0	7.1
	0.5	6.6	6.5	6.5	6.1	6.3	6.0	6.3
	1.0	6.2	6.0	5.6	5.3	5.2	4.5	4.6
	2.0	5.8	5.5	5.0	4.4	3.8	2.6	2.5
	3.6	7.2	5.3	4.3	3.9	3.2	1.8	1.9

(6) 貯蔵中のサイロ内空間の温度と湿度

図 22 から図 25 にサイロ内空間（空中 1m）と、堆積粉中（粉堆積表面から深さ約 10cm）の温度と湿度をそれぞれ示した。サイロ内空間の温度湿度と堆積粉中の温度湿度は、それぞれサイロ中心部とサイロ内壁付近の 2 ヶ所の平均である。

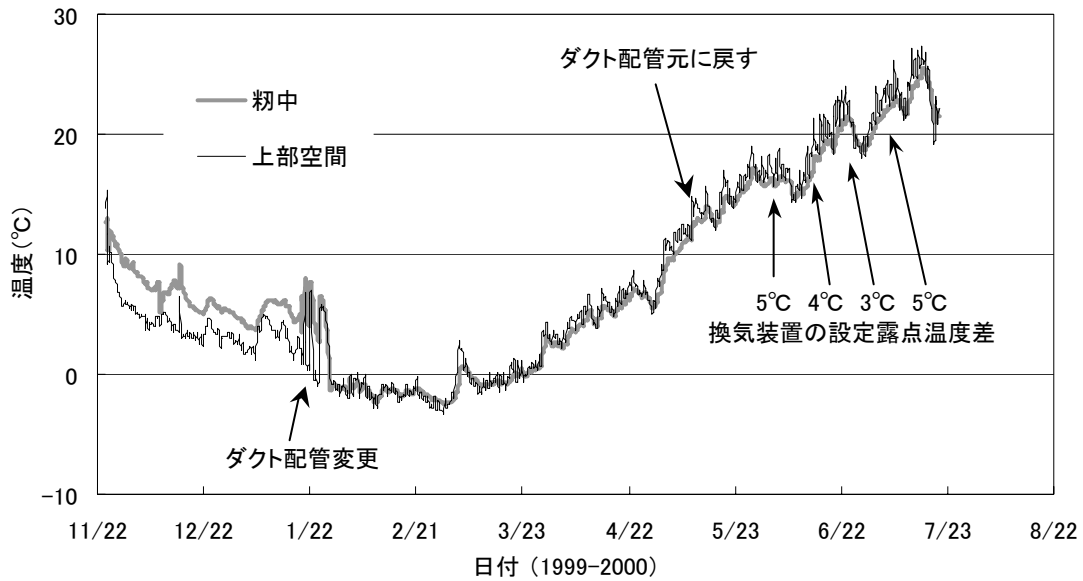


図 22 M9 サイロ内空間と粉中の温度

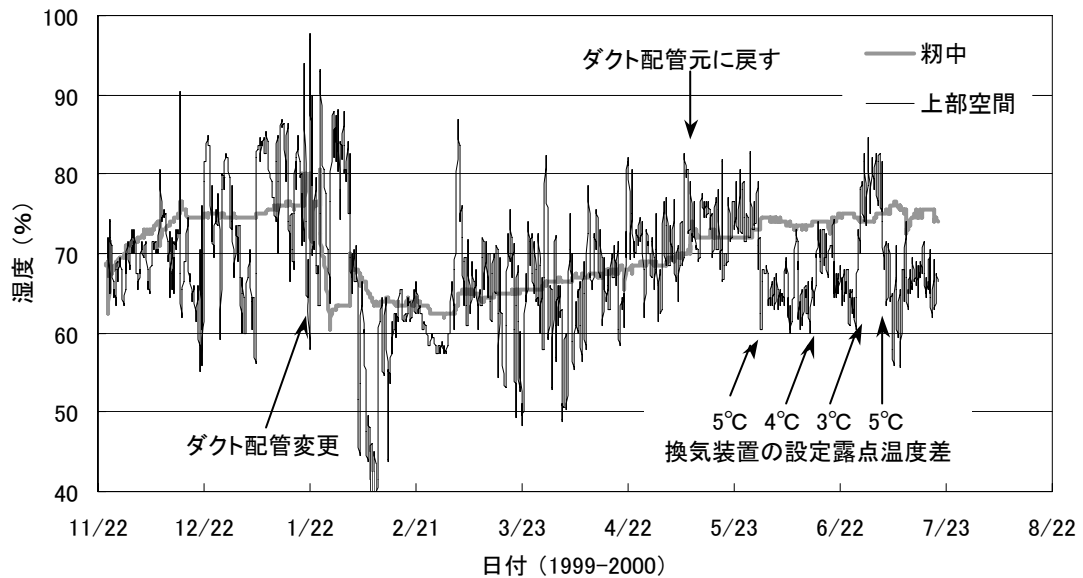


図 23 M9 サイロ内空間と粉中の湿度

上川ライスターミナルの実証試験において、サイロ内空間の湿度は昼夜の温度差にともなう短期的な日変動が大きかった。しかし、貯蔵期間中の長期的な変動は小さく、サイロ内空間の湿度は50%から80%程度であった。また籾中の湿度の変動はサイロ内空間に比較して小さく、60%から70%の範囲であった。

一方、雨竜町カントリーエレベータの試験では湿度の短期的な日変動が大きいと同時に、長期的な湿度の変動も大きく、さらに湿度が80%以上となる場合や50%以下となる場合があった。貯蔵開始後12月中旬からM9サイロとM10サイロへの通風を開始する1月20日までの間、サイロ内空間の湿度が80%以上となることが多く、一時的に90%を超える場合もあった。

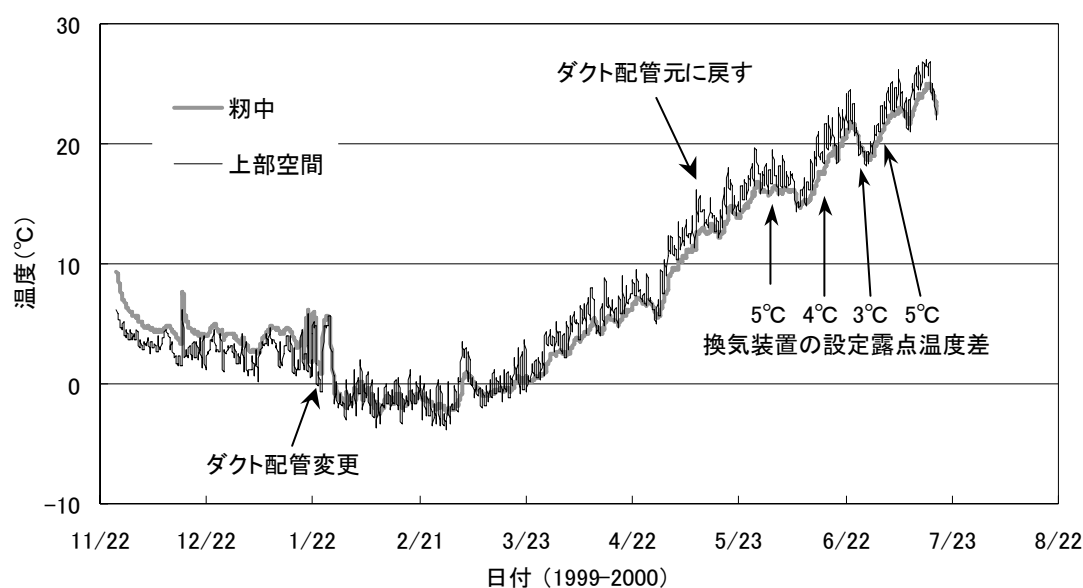


図 24 M10 サイロ内空間と籾中の温度

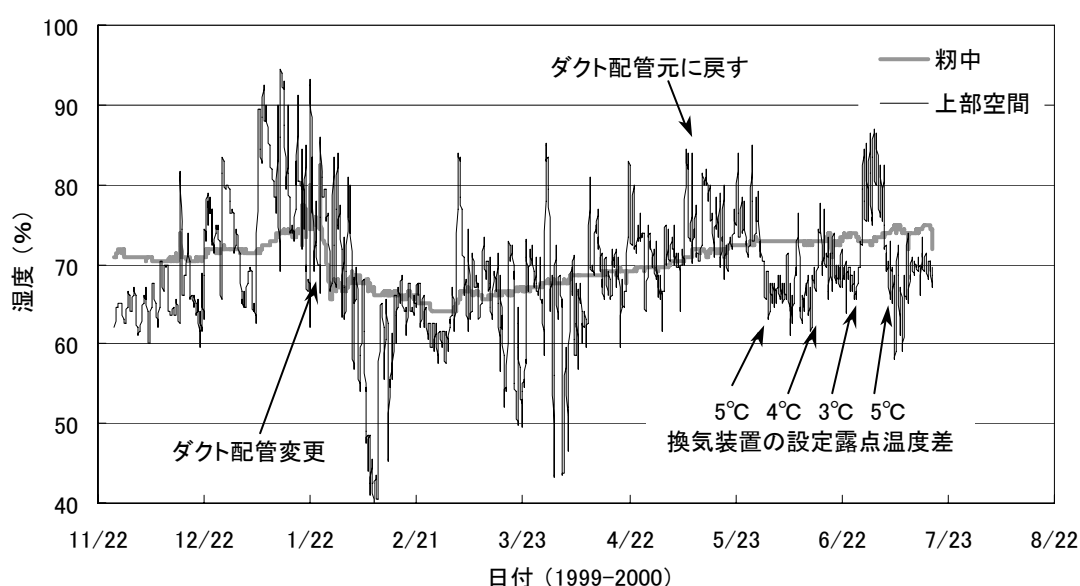


図 25 M10 サイロ内空間と籾中の湿度

(7) サイロ通風設備とその改良

雨竜町カントリーエレベータでは 12 月中旬から試験対象サイロ以外のサイロの通風冷却を順次行っていた。この時期の貯蔵中の籾温度は、内壁近くの籾では外気温の低下に伴い温度が徐々に低下しているが、サイロ内の大部分の籾は貯蔵開始時の籾温度をそのまま保持しており、この温度は、外気温やサイロ内空間の温度、サイロ上屋の温度よりも相対的に高い。

サイロ下方から通風冷却すると、その時の籾温度と籾水分に応じた平衡相対湿度を持つ空気がサイロ内空間に押し出される。この時、籾の間からサイロ内空間に押し出された暖かい空気は周囲から冷却され相対湿度が上昇し、その空気の露点温度以下に冷却されるとサイロ内壁に結露水として付着する。このサイロ内空気の湿度の上昇や結露の発生を防止するために、サイロ内空間の自動換気装置を設置している。

ところが図 26 に示したように、サイロ送風機（定格風量： $126\text{m}^3/\text{min}$ ）と自動換気装置（定格風量： $60\text{m}^3/\text{min}$ ）に対してサイロ内空間除塵（排気）装置（定格風量： $80\text{m}^3/\text{min}$ ）の風量が相対的に不足していたため、サイロ内空気の排気が充分に行えず、サイロ内空間からサイロ上屋へ湿度の高い空気が押し出された。サイロ内空間自動換気装置はサイロ上屋の空気を吸引しサイロ内空間に送風している。自動換気装置は通風冷却しているサイロ以外のサイロへも条件に応じて適宜に換気を行う。そのため他のサイロからの影響を受けて、試験を行った M9, M10 サイロ内の上部空間の湿度が、通風冷却を開始する 1 月 20 日以前の間にも 80% 以上の高い値を示すことが多かった（図 23 と図 25 の 12 月、1 月の上部空間の湿度を参照）。また、サイロ内で測定した温度と湿度から露点温度を算出するプログラムにミスがあり、正しい露点温度を計算することができなかった。そのため適切な時に自動換気装置を運転することができなかった。

以上の 2 点の理由（①サイロ通風設備の風量バランスが適切でない、②自動換気装置が適時に運転されない）により、試験サイロも含めた多くのサイロ内およびサイロ上屋内で結露が発生した。

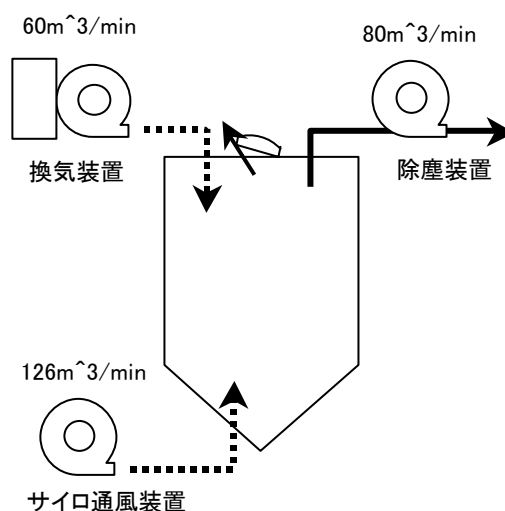


図 26 結露問題発生時のサイロ通風設備 (2000 年 1 月)

試験サイロへの通風冷却開始時（2000 年 1 月 20 日）に上記の問題発生に気づき、応急的な対策を順次行った。まず、通風設備のダクトの配管を図 27 のように変更した。

すなわち、

- ① サイロ内空間自動換気装置の送風機を利用して、サイロ上屋の空気を外部へ排気する。
- ② サイロ内空間除塵装置の送風機を利用して、サイロ下の乾いた空気をサイロ内へ圧送する。
- ③ サイロ内空間が正圧となるので、これを利用してサイロ内空間の空気を外部へ自然排気する。
- ④ 通風冷却のためのサイロ送風機は本来どおりに利用する。

写真 8 に自動換気装置のダクト配管変更後の様子（応急処置）を示した（写真 2 参照）。これらの対策によりサイロ内空間の湿度は低下し、時には湿度が 50%以下となることもあった（図 23 と図 25 のダクト配管変更以降の上部空間の湿度を参照）。

貯蔵中において湿度が低下することは、湿度が高く結露が発生することに比較すると、大きな問題ではないと判断した。以上の結果、サイロ内およびサイロ上屋における結露はなくなった。その後、露点温度計算プログラムを修正し、5 月 10 日にダクトの配管を当初の図 26 のように戻した。

サイロ内空間除塵装置は本来サイロへ籾を投入する時にサイロ内で発生するホコリを吸引除去する排気装置であり、サイロへの通風冷却とサイロ内空間の自動換気装置の排気のために設置されたものではなかった。

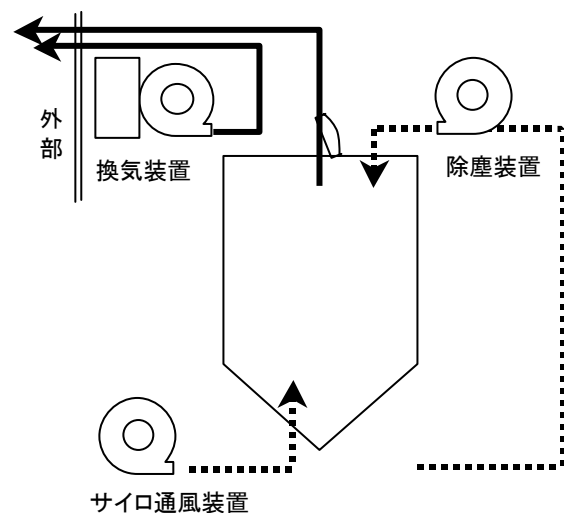


図 27 結露問題発生後に行った
応急処置（2000 年 1 月、2 月）



写真 8 サイロ内空間自動換気装置のダクト配管
変更後の様子（応急処置）

すなわち上記の結露発生の原因は、サイロへの通風冷却およびサイロ内空間の自動換気とその排気との風量バランスを考慮しなかったことによるものであった。

粳貯蔵終了後にサイロに関する通風設備などを 図 28 のように改良した。この改良により、その後サイロ貯蔵中の結露の問題は発生していない。

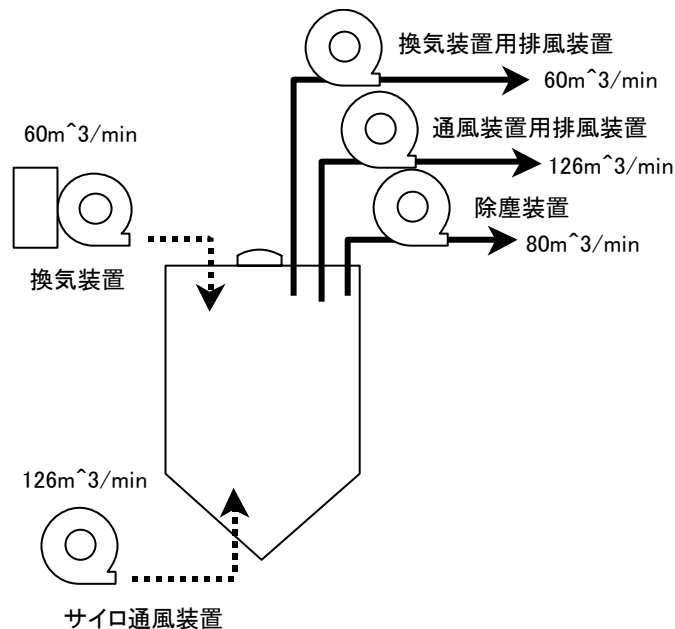


図 28 貯蔵終了後に行った通風設備の恒久改良 (2000 年 8 月)

(8) サイロ内空間自動換気装置の適正運転条件（露点温度差の設定）の検討

サイロ内空間自動換気装置は露点温度差（サイロ内壁表面温度－サイロ内空間露点温度）が設定した温度以下になると自動的にサイロ上屋の空気をサイロ内へ送る。この露点温度差を 5℃、4℃または 3℃にそれぞれ設定し、サイロ内上部空間の湿度を調べた。

露点温度差を 5℃、4℃、3℃に設定したときの湿度の変化をそれぞれ図 23、図 25 に示した。換気装置が作動してから停止するまでの時間は、設定温度に関係なく 10 分から 20 分程度であった。すなわち、換気装置が作動すると 10 分から 20 分程度で換気は完了する。露点温度差が 3℃では換気が不十分であり、湿度が 80%以上となることが多かった。一方、露点温度差が 5℃では換気装置が頻繁に作動する。したがって、露点温度差の設定は 4℃が適切であった。

本試験では貯蔵した粳の水分は 14.4%(w. b. 105℃)であり、その平衡相対湿度は 70%程度である。平衡相対湿度は粳の失湿過程（水分が減少する時）と吸湿過程（水分が増加する時）とで異なり、また粳の水分と温度とにより異なる。本試験の粳の場合、湿度がおよそ 65%から 75%の範囲では粳の水分変化はないと考えられる。図 23 および図 25 に示した湿度の変化によれば、湿度が 80%以上または 60%以下となることがあった。したがって、貯蔵中に粳水分の増減が生じたことが予想された。

(9) 貯蔵中の籾水分

貯蔵開始時と貯蔵終了時にサイロ内で採取した各試料の水分を図 29 から図 32 に示した。また、同じくサイロ内で採取した、貯蔵中におけるサイロ中心部の籾水分の変化を図 33、図 34 に示した。

貯蔵開始時の水分は、M9 サイロ M10 サイロとも、ばらつきは小さかった。貯蔵終了時の水分は、堆積表面から 10cm の籾とサイロ内壁付近の籾の水分が低い傾向があった。

図 33 と図 34 に示したように、堆積籾表面から深さ 0.1m の籾水分が貯蔵初期に（通風冷却を開始する前に）増加する傾向が見られた。これは、通風装置の風量バランスの不具合によりサイロ内空間の湿度が上昇したためであると考えられる。その後、堆積籾表面から深さ 0.1m の籾水分は低下した。これは、換気装置のダクト配管を付替え、サイロ内空間の湿度が 40～70%に下がったためであると考えられる。

4 月下旬から 5 月上旬にかけては、サイロ内空間の湿度がやや高かったため、堆積籾表面から深さ 0.1m の籾水分に再び増加傾向が見られた。5 月中旬以降は、換気装置の配管を当初の状態に戻したこと、露点温度差 5℃以下で自動換気装置が運転するように設定したことなどにより、サイロ内上部空間の湿度は 60～70%になったため、堆積籾表面から深さ 0.1m の籾水分は再び低下した。

貯蔵初期（通風冷却を開始する前）の水分上昇は大きく、そのまま放置すると品質事故を起こした可能性がある。しかし、サイロ内の湿度の上昇を早期に発見し、ただちに適切な対策を行ったために、品質事故には至らなかった。また、貯蔵終了時の籾水分は貯蔵開始時に比べて低下した。上川ライスターミナルの試験においても、貯蔵前の水分に比較して貯蔵後の水分はわずかに低下する傾向があった。しかし、貯蔵中に結露などにより水分が上昇し品質事故を起こすことに比較すると、貯蔵中に水分がわずかに減少することは問題ないとする。なお後述するように、貯蔵後の排出時の籾への水分吸着により籾水分はわずかに上昇し、貯蔵前の水分とほぼ同じ水分となった。

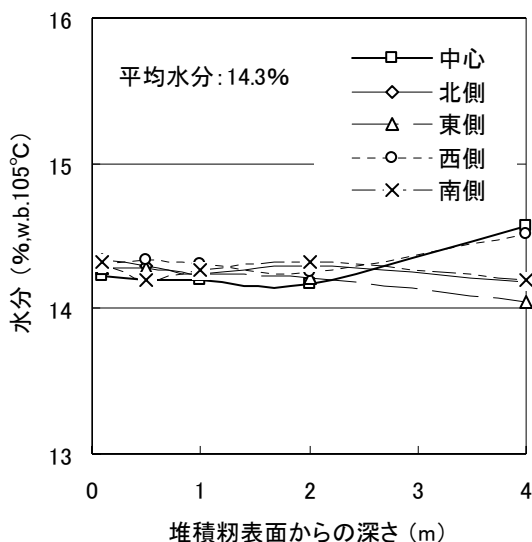


図 29 M9 サイロ貯蔵開始時籾水分

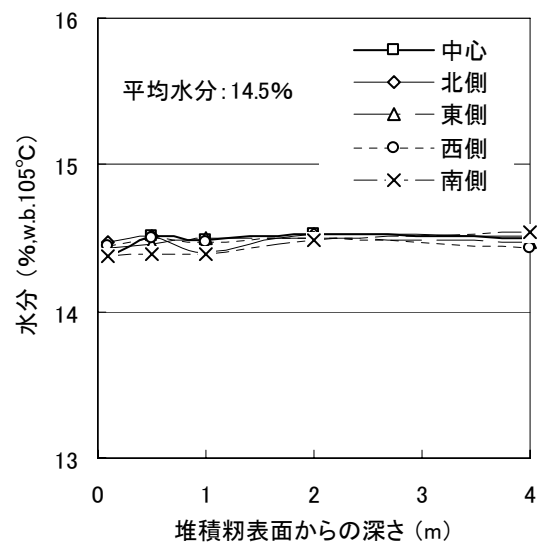


図 30 M10 サイロ貯蔵開始時籾水分

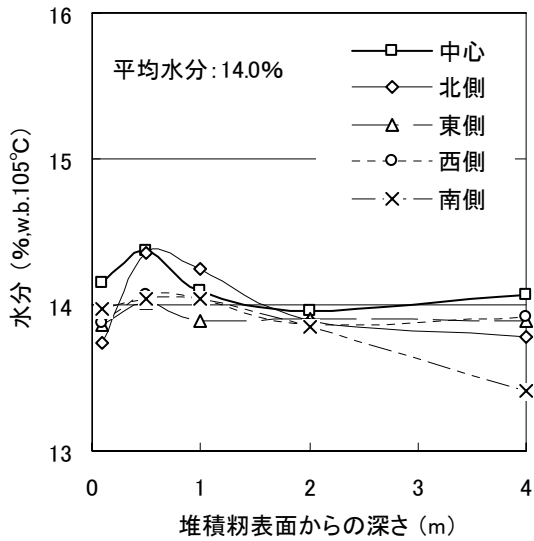


図 31 M9 サイロ貯蔵終了時粉水分

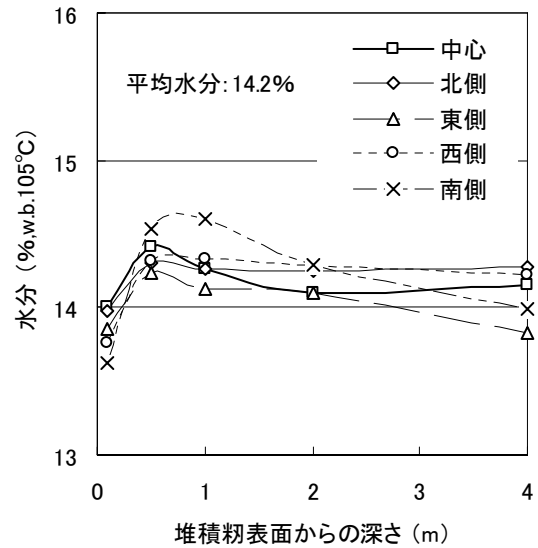


図 32 M10 サイロ貯蔵終了時粉水分

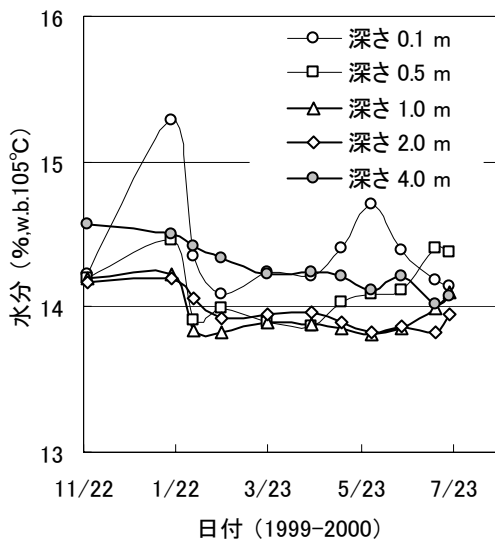


図 33 M9 サイロ中心部の粉水分の変化

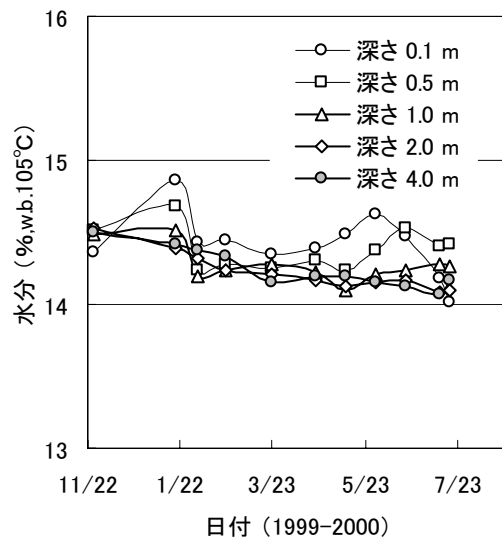


図 34 M10 サイロ内中心部の粉水分の変化

(10) 貯蔵終了時のサイロ内の粉温度差が品質に与える影響

記述したように、貯蔵終了時はサイロ内壁付近および堆積粉表面付近の粉温度は20℃程度であり、一方、サイロ中心部の粉温度は氷点下であり、温度差は25℃程度である。この温度差、とくに内壁付近および堆積表面付近の粉温度が高いことが粉の品質に悪影響を与える可能性が懸念された。

そこで、貯蔵終了時（粉排出直前）にサイロ中心部およびサイロの東西南北4ヵ所の内壁面から約10 cm内側の点において、堆積粉表面から深さ0.1 m, 0.5 m, 1 m, 2 m, 4 mの位置の粉を採取し、粉摺して玄米の発芽率と脂肪酸度を測定し、サイロ内各部の粉の品質を調べた。

サイロ内各部の籾の発芽率を図 35 と図 36 に、脂肪酸度を図 37 と図 38 に示した。発芽率は、サイロ内の東西南北の位置や堆積表面からの深さによる差はなく、いずれも 95%以上であり、良い品質が保持されていた。脂肪酸度の最大値は、きらら 397 で 16.3mg、ほしのゆめで 14.9mg であり、いずれも品質上問題となる脂肪酸度の上昇は認められなかった。サイロ内壁付近や堆積表面付近の穀温は、貯蔵終了時の 7 月中旬では 20℃程度であるが、冬では約 2 ヶ月間氷点下であり、貯蔵期間中の平均穀温は約 7℃であった。そのため、サイロ内壁付近や堆積表面付近の籾の品質劣化はなかったと考えられる。

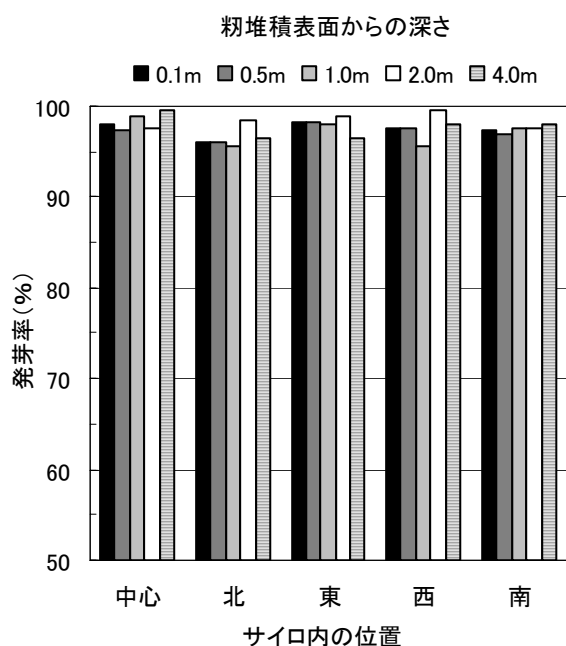


図 35 M9 サイロ内各部試料の発芽率
(きらら 397)

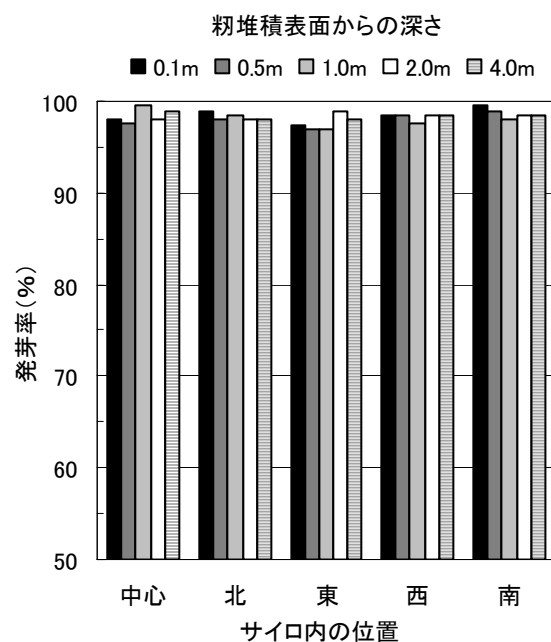


図 36 M10 サイロ内各部試料の発芽率
(ほしのゆめ)

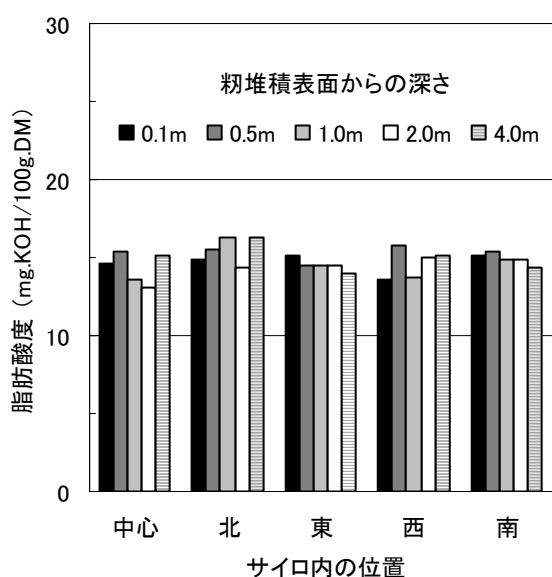


図 37 M9 サイロ内各部試料の脂肪酸度
(きらら 397)

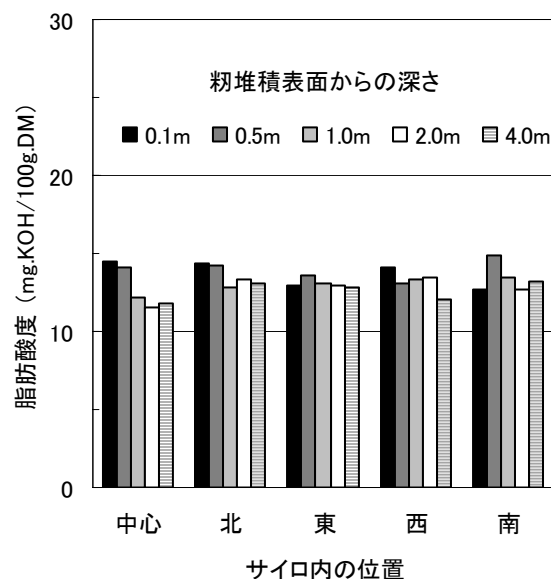


図 38 M10 サイロ内各部試料の脂肪酸度
(ほしのゆめ)

(11) サイロ排出時の籾温度と籾水分および品質

貯蔵終了後にサイロからの籾の排出および出荷までの工程を M10 サイロでは 2000 年 7 月 19 日から 7 月 22 日までの 4 日間, M9 サイロでは 2000 年 7 月 21 日から 7 月 25 日までの 5 日間で行った。

M10 サイロから計量器を経由して一時貯留サイロ (M2 サイロ) へ籾を投入し, さらに乾燥機で常温通風して籾の温度を常温に戻し (これを籾の昇温と呼ぶ), プールタンクへ籾を移動した。その後徐々に籾摺を行った。M2 サイロの籾が全量乾燥機に移動した後に, 引き続き M9 サイロの籾の排出を行った。サイロからの排出流量は約 30t/h であった。

図 39 に M9 サイロ (きらら 397) と M10 サイロ (ほしのゆめ) の排出直後の籾温度を示した。サイロ排出開始直後はホップ部から 15℃程度の比較的暖かい籾が少量排出された。その直後に 5℃以下の冷たい籾が約 3 時間, およそ 90t 排出された。排出された籾の最低穀温は 1.0℃であった。その後籾温度は一旦 17℃程度まで上昇したが, さらに, その後排出される籾温度は 5℃から 15℃までの間で変動した。

M10, M9 サイロともに籾全量を乾燥機で常温通風し, 昇温した。M10 サイロ (ほしのゆめ) 排出時は, 天気も良く露点温度が低かった。そのため排出直後の籾温度が 5℃を超える程度の際は, 一時貯留サイロを経て乾燥機前まで移動する間に穀温が籾摺機周辺露点温度を超えていた。この場合, 一時貯留サイロから直接籾摺を行っても籾摺後の玄米に結露を起こす心配はないため, 乾燥機による昇温工程を省略することも可能であった。しかしこの試験では, 乾燥機による昇温効果の確認をおこなうために, すべての籾を乾燥機に通過させた。

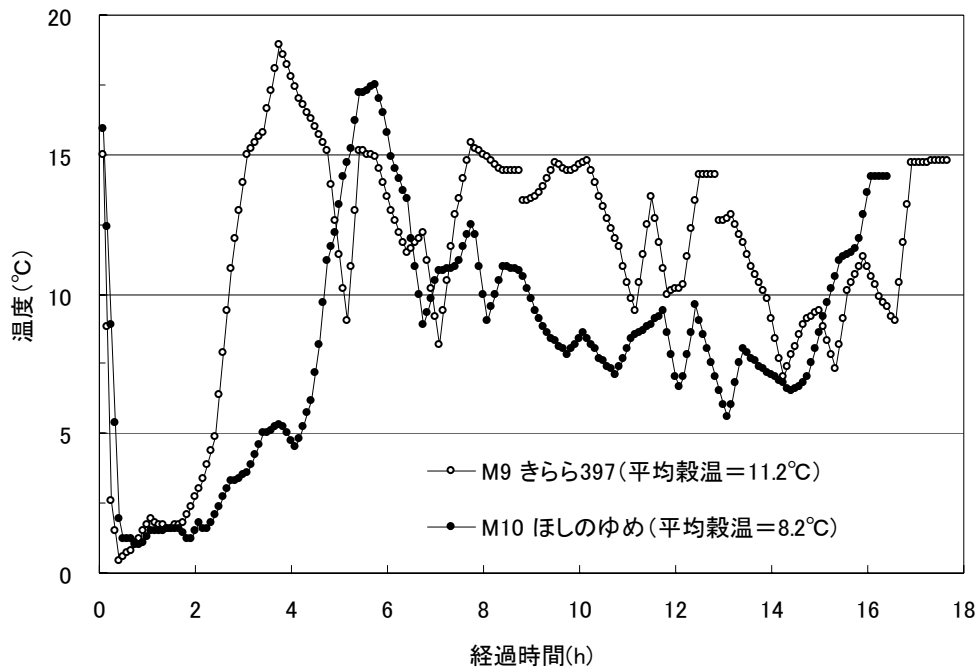


図 39 サイロ排出直後の籾温度

M9 サイロ（きらら 397）の場合、サイロ排出開始の数時間後から雨が降りはじめ、露点温度が上昇した。このため、一時貯留サイロ（もしくはプールタンク）後での穀温が露点温度よりも 5℃ 以上低い状態が続いた。この状態で直接籾摺ると、籾摺後の玄米に結露を生じる危険性が高いため、すべての籾を乾燥機で昇温することにした。この昇温工程の結果、籾摺後の穀温はすべて籾摺機周辺空気露点温度より高くなり、籾摺後の玄米に結露が発生することはなかった。

貯蔵後の冷たい籾を気温の高い時期に籾摺する際の、結露に伴う玄米の胴割発生を防止するために、安全な籾摺温度条件の指針を以下に示す。また、安全な籾摺温度条件の目安を図 40 に示す。

この安全な籾摺温度条件は、「北海道における新規籾貯蔵技術の確立—貯蔵のための籾精選別システムおよび寒冷気候を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術—、北海道農業施設、P63-66, 2000」と同じ内容である。

① 籾摺直後の玄米温度（大原則）

籾摺前の籾に結露水が付着することは、胴割発生にはつながらない。籾摺後の玄米表面に直接結露水が付着すると、胴割が発生する可能性がある。すなわち、籾摺直後の玄米温度が籾摺機周辺空気の露点温度より高ければ、胴割発生はない。

② 揺動選別前後の玄米温度（現場で安全な籾摺温度条件を判断するための最も簡単で重要な基準）

籾摺後で揺動選別前後の玄米温度が、籾摺機周辺空気の露点温度より高ければ、胴割発生はない。簡単に判断するには、揺動選別直前の籾玄米混合物調整タンクの金属部分の外側または、揺動選別直後の玄米排出口の金属部分の外側に結露水が付着していなければ、胴割発生はない。

③ 籾摺機周辺の気温とサイロ排出直後の籾温度

実際の現場において露点温度の測定が困難な場合には、籾摺機周辺の気温を基にした次の簡単な基準で判断する。

1) 雨の時（相対湿度が約 90%）、サイロ排出直後の籾温度が、[籾摺機周辺の気温－5℃] より高ければ、胴割発生はない。

2) 曇りの時（相対湿度が約 70%）、サイロ排出直後の籾温度が、[籾摺機周辺の気温－10℃] より高ければ、胴割発生はない。

3) 快晴の時（相対湿度が約 50%）、サイロ排出直後の籾温度が、[籾摺機周辺の気温－15℃] より高ければ、胴割発生はない。

また、籾摺時の玄米肌ずれの発生や碎粒の発生を防止するために、以下の基準も同時に加えて判断する。

4) 籾温度が 30℃以上の時は、籾摺してはいけない。（乾燥直後の温かい籾は放冷して籾温度を下げてから籾摺する。）

5) 籾温度が 25℃以上の時は、籾摺しない方が望ましい。

6) 籾摺機周辺の気温が 30℃以上でかつ雨が降っている時は籾摺してはいけない。

- 雨の時(相対湿度約90%), サイロ排出直後の籾温度が,
[籾摺機周辺の気温-5℃]より高ければ, 胴割発生はない。
- 曇りの時(相対湿度約70%), サイロ排出直後の籾温度が,
[籾摺機周辺の気温-10℃]より高ければ, 胴割発生はない。
- 快晴の時(相対湿度約50%), サイロ排出直後の籾温度が,
[籾摺機周辺の気温-15℃]より高ければ, 胴割発生はない。

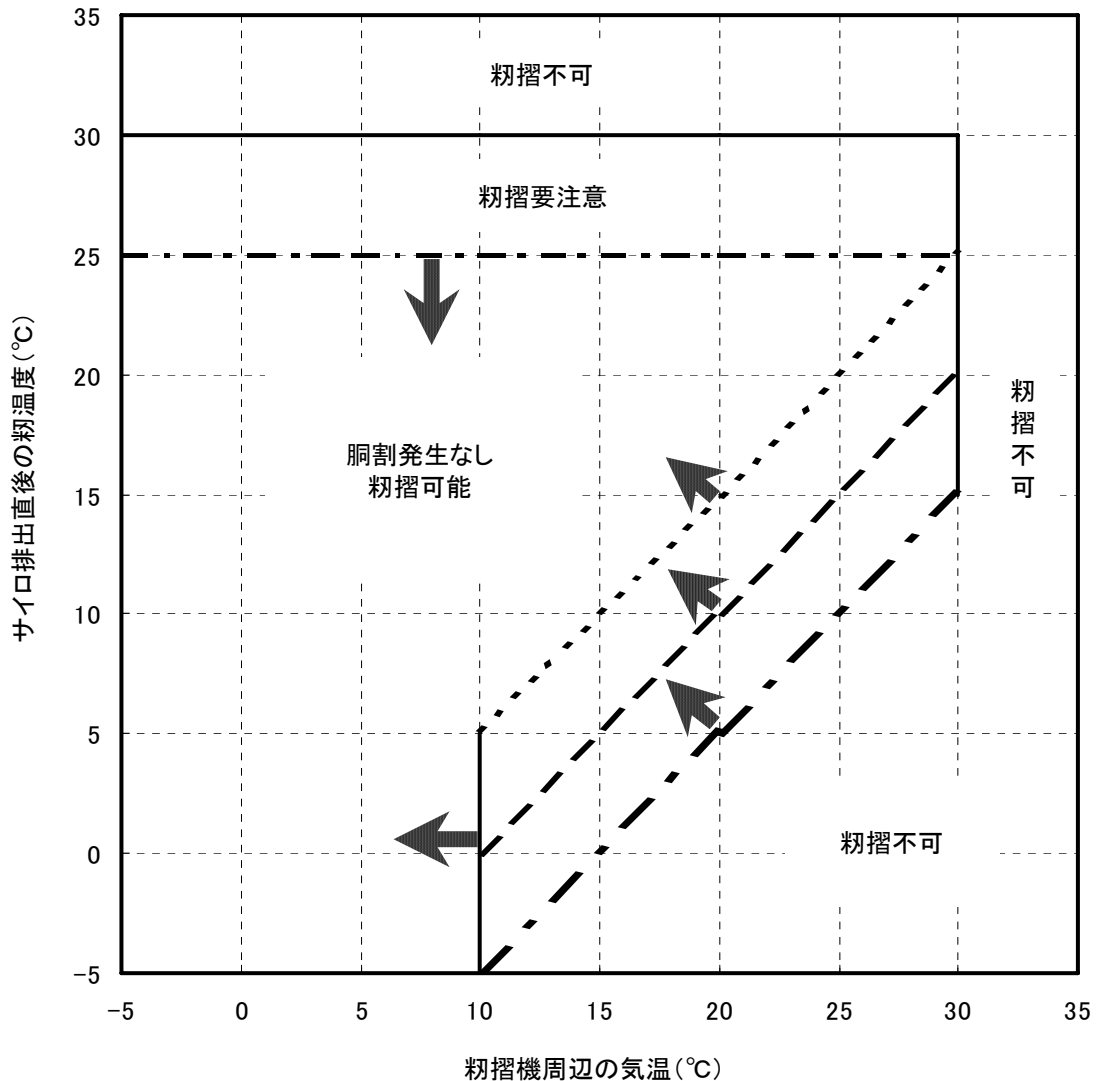


図 40 安全な籾摺温度条件

(籾摺時において結露による玄米の胴割発生を防ぐための穀温の判断基準)

この図は、あくまでも目安である。籾摺時の胴割発生防止の大原則は、籾摺後の玄米表面に結露水を付着させないことである。籾摺直後の玄米温度が籾摺機周辺空気の露点温度よりも高いと、胴割は発生しない。揺動選別前の籾玄米混合物調整タンクの金属部分の外側、または揺動選別後の玄米排出口の金属部分の外側に結露水が付着していないことを確認し、籾摺することが大事である。

サイロから粳を排出する際に、粳 10t に 1 点の間隔 (20 分毎) で粳を採取し、粳摺して玄米の発芽率と脂肪酸度を測定し、図 41 と図 42 に示した。

発芽率はいずれも 95%以上であり、排出される粳の品質は良く、品質のばらつきもなかった。脂肪酸度はきらら 397 では 11.4mg から 16.1mg、ほしのゆめでは 11.6mg から 15.7mg の範囲であった。脂肪酸度の平均はきらら 397 で 13.5mg、ほしのゆめで 13.6mg であり、いずれも脂肪酸度が低く、良い品質であった。

サイロ内壁付近の穀温が春から夏にかけて上昇するため、この穀温上昇が粳の品質に悪影響を与えることが懸念されていた。しかし、貯蔵終了時にサイロ内各部から採取した粳の品質およびサイロ排出時に粳 10t に 1 点の間隔で採取した粳の品質を測定した結果、サイロ内の粳の品質低下は認められず、排出される粳の品質も均一であることが確認された。

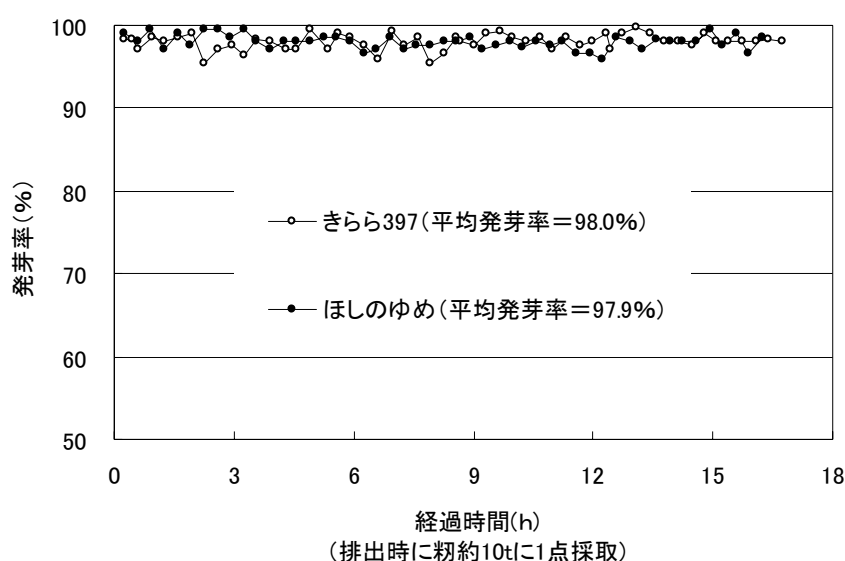


図 41 サイロ排出時に採取した試料の発芽率

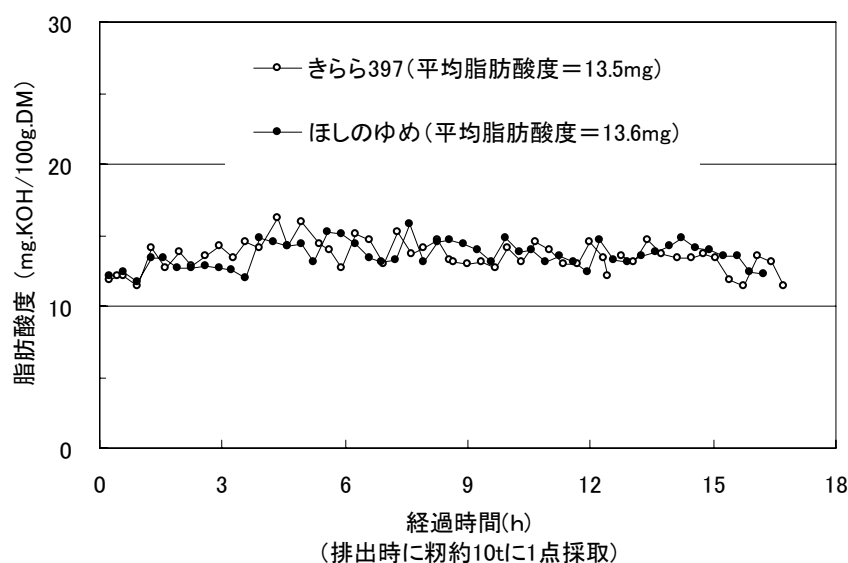


図 42 サイロ排出時に採取した試料の脂肪酸度

サイロから籾を排出する際に、籾 10t に 1 点の間隔で採取した籾の水分を測定し、投入時に同じく籾 10t に 1 点の間隔で採取した籾の水分と合わせて図 43 と図 44 に示した。

サイロ排出開始直後の籾と、サイロ排出終了直前の籾の水分が共に低い値であった。排出開始直後の籾と排出終了直前の籾とはホップ部の籾であると考えられる。ホップ部、サイロ内壁付近および籾堆積表面付近など外周部の籾は、サイロ中心付近の籾よりも春以降の温度上昇が大きく、水分減少が起こりやすかった。また通風冷却時にはホップ部から通風するため、ホップ部の籾の水分が低下したと考えられる。しかし、排出開始時と排出終了時の水分が低い籾は、その後の工程で他の籾（または玄米）と混合され、その結果、出荷時の玄米水分は均一であった。

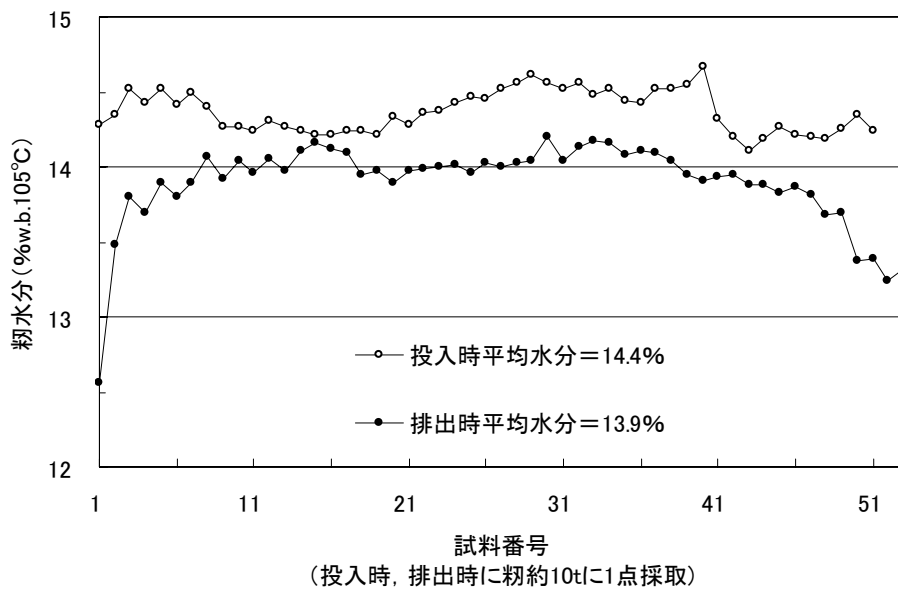


図 43 M9 サイロ投入時および排出時に採取した籾の分（きらら 397）

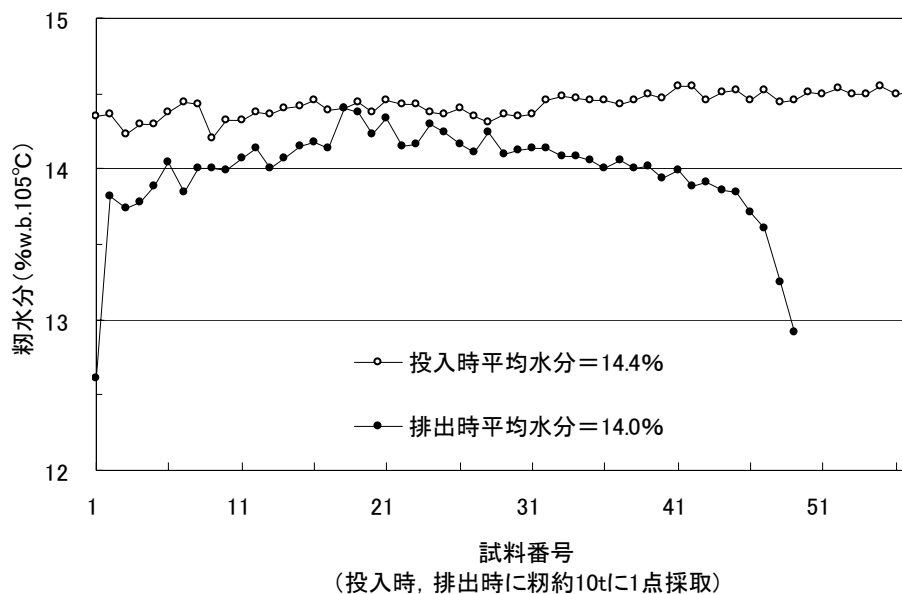


図 44 M10 サイロ投入時および排出時に採取した籾の分（ほしのゆめ）

表7に貯蔵前および貯蔵後サイロ排出から出荷までの各工程で10tに1点の間隔で採取した試料の平均水分を示す。貯蔵前の水分は、M9、M10サイロ共に14.4%（w.b., 105℃）であったが、貯蔵中に水分が低下し、貯蔵後サイロ排出直後の水分はそれぞれ13.9%と14.0%となった。しかし、サイロから排出し、乾燥機で粳を昇温させる工程で粳に結露（水分吸着）が発生し、粳摺前の試料ではM9サイロで14.4%、M10サイロで14.2%と増加していた。すなわち、貯蔵中に粳水分は低下したが、粳摺前には貯蔵前の水分に近い粳水分になった。

表8に貯蔵前および貯蔵後サイロ排出から出荷までで採取した試料の胴割率を示した。胴割率は各工程でほぼ同じ値であった。サイロから粳を排出し、乾燥機で粳を昇温させる工程で結露による水分吸着が発生した。しかし、粳に吸着した水分は粳殻を通して徐々に玄米に移動するため、玄米の胴割を発生させることはなかった。また、粳摺時には玄米穀温は露点温度よりも高かったため、粳摺後に新たに玄米に結露することはなく、胴割は発生しなかった。すなわち、冬期通風冷却した冷たい粳を乾燥機で常温通風し、粳を昇温することで、夏に低温の粳を粳摺り出荷する際の胴割発生を防止できることが改めて確認された。

表7 貯蔵前および貯蔵後サイロ排出から出荷までの水分

	粳水分(%w.b.105℃)							玄米水分(%w.b.105℃)		
	貯蔵前	サイロ 排出直後	一時貯留 サイロ前	一時貯留 サイロ後	乾燥機前	乾燥機 後	粳摺機 前	粳摺機 後	玄米出荷 タンク前	出荷前
M9サイロ (きらら397)	14.4	13.9	13.9	14.0	14.0	14.3	14.4	15.0	15.1	15.1
M10サイロ (ほしのゆめ)	14.4	14.0	14.0	14.1	14.0	14.2	14.2	14.9	14.9	14.8

表8 貯蔵前および貯蔵後サイロ排出から出荷までの胴割率

	胴割率(%)									
	M9サイロ(きらら397)					M10サイロ(ほしのゆめ)				
	貯蔵前	サイロ 排出直後	乾燥機後	粳摺機前	出荷前	貯蔵前	サイロ 排出直後	乾燥機後	粳摺機前	出荷前
軽胴割率	12.9	12.2	10.8	11.0	11.3	9.7	6.8	8.7	6.0	8.1
重胴割率	2.6	2.4	2.5	1.9	2.5	1.4	1.7	1.6	1.5	1.3
全胴割率	9.1	8.5	7.9	7.4	8.2	6.3	5.1	6.0	4.5	5.4

(12) 貯蔵後の品質

図 45, 図 46 にサイロ貯蔵中の珞温度および対照貯蔵のきらら 397 (M9 サイロ), ほしのゆめ (M10 サイロ) の珞温度を示す。

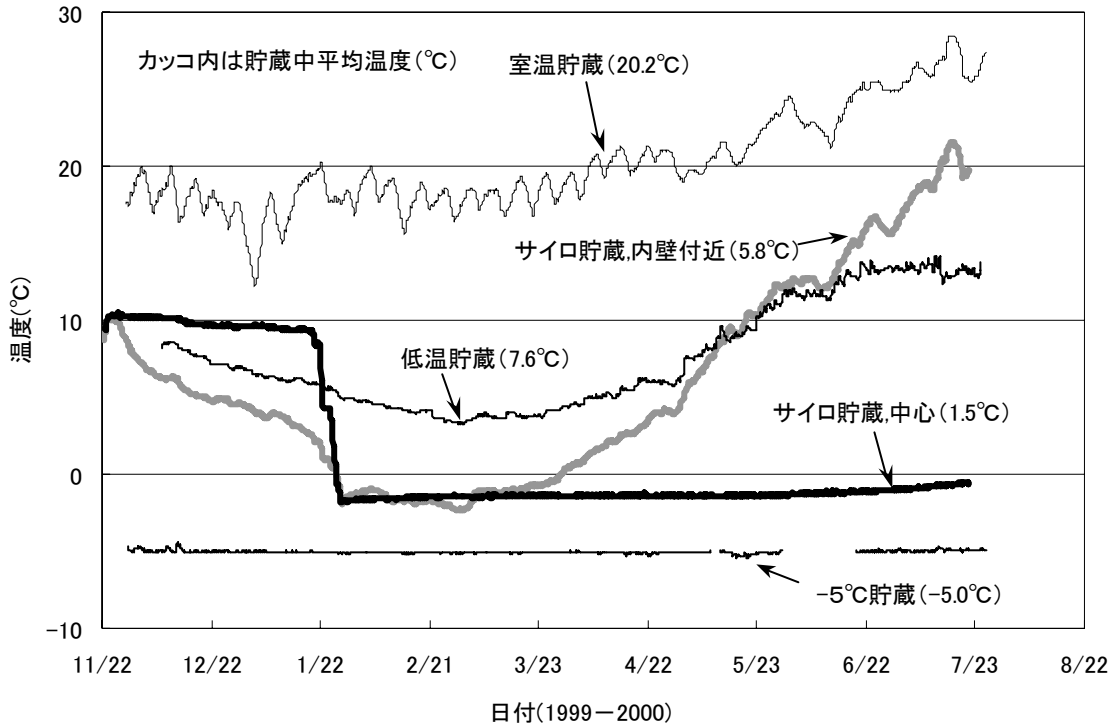


図 45 M9 サイロ貯蔵および対照貯蔵の珞温度 (きらら 397)

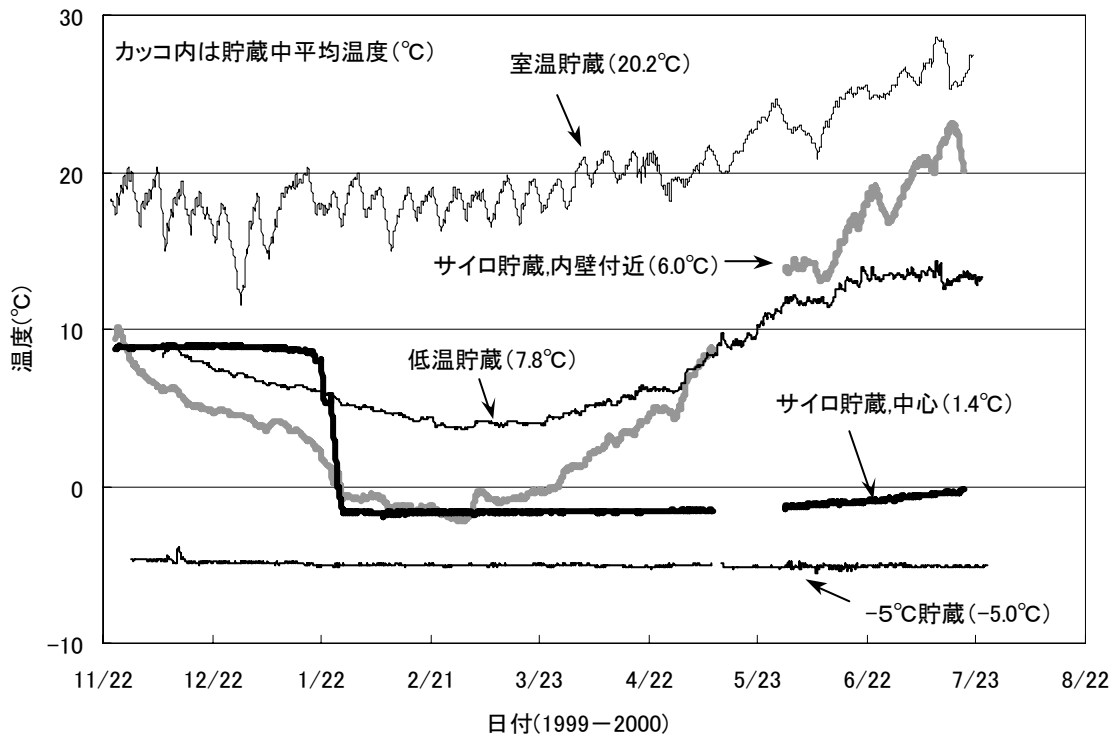


図 46 M10 サイロ貯蔵および対照貯蔵の珞温度 (ほしのゆめ)

−5℃貯蔵を行った試料の貯蔵期間中の平均穀温は−5.0℃であった。低温貯蔵を行った試料は倉庫に施された断熱材と、供試試料とともに倉庫内に置かれていた大量の玄米の熱容量が大きいことにより緩やかな温度変化を示した。倉庫は冬に外気温の低下により徐々に冷却され、3月初旬に最低温度が約4℃まで低下した。その後、外気温の上昇に伴い徐々に穀温が上昇した。6月12日以降には倉庫内の冷却装置を作動させ、穀温は14℃以下に制御された。低温貯蔵を行った試料の貯蔵期間中の平均穀温（きらら397が7.6℃、ほしのゆめが7.8℃、以下同順）より、サイロ内壁付近の平均穀温（5.8℃と6.0℃）およびサイロ中心部の平均穀温（1.5℃と1.4℃）の方が低かった。すなわち、サイロ貯蔵は低温貯蔵よりも全体的に低い温度で貯蔵をおこなったことが分かる。室温貯蔵を行った米は、温度制御を行わなかったため、特に7月以降は穀温が上昇し、28℃程度まで上昇し、平均穀温は20.2℃であった。

また、対照貯蔵区では試料をポリエチレン袋で密封したため、籾間の湿度は籾水分と温度に対応した平衡湿度となり、貯蔵中の平均湿度は−5℃貯蔵で61%、低温貯蔵では70%、室温貯蔵では71%であった。

図47、図48に発芽率の結果を示した。貯蔵前の発芽率は、きらら397、ほしのゆめとも99.7%であった。貯蔵後の発芽率はサイロ貯蔵（籾貯蔵）、−5℃貯蔵（籾貯蔵および玄米貯蔵）、低温貯蔵（籾貯蔵および玄米貯蔵）ではいずれも97.7%から100%の範囲であり、貯蔵による発芽率の低下はなかった。一方、室温貯蔵ではきらら397、ほしのゆめとも明らかに発芽率が低下し、きらら397の籾貯蔵で61.0%、玄米貯蔵で37.0%であり、ほしのゆめの籾貯蔵で88.0%、玄米貯蔵で76.0%であった。これから、室温貯蔵のように貯蔵温度が高い場合および玄米貯蔵の発芽率の低下が大きいことが分かった。

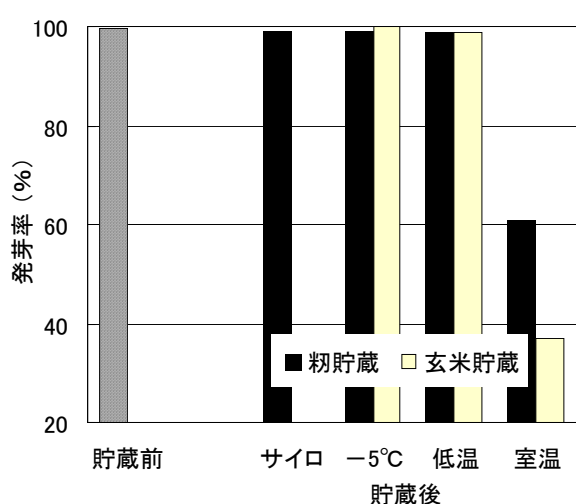


図47 玄米発芽率（きらら397）

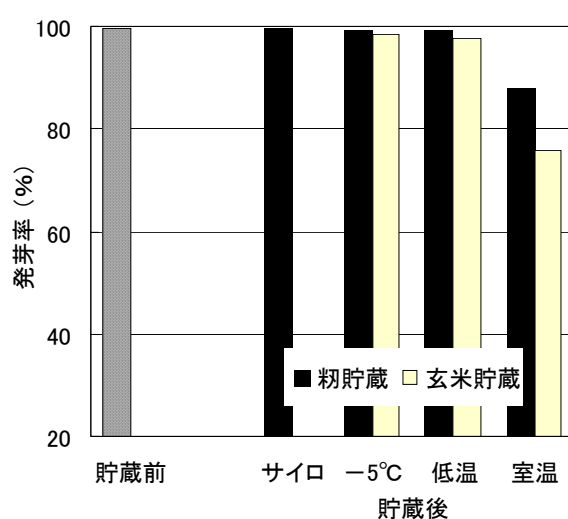


図48 玄米発芽率（ほしのゆめ）

図 49, 図 50 に脂肪酸度の結果を示した。脂肪酸度はリパーゼにより脂質が加水分解されて生じる遊離脂肪酸の量を示す。遊離脂肪酸は米の古米臭や米飯の硬さの原因の一つであると考えられている。そのため、脂肪酸度は従来から米の貯蔵における品質劣化の指標とされており、20mg 以上で変質の注意信号となり、25mg 以上で変質の兆候を示すとされている。

サイロ貯蔵を行ったきらら 397 の脂肪酸度は 13.3mg, ほしのゆめの脂肪酸度は 14.1mg と低い値であり、いずれも良い品質であった。一方、低温貯蔵の玄米および室温貯蔵では、脂肪酸度が増加した。ほしのゆめの低温玄米貯蔵では脂肪酸度は 21.7mg に増加した。きらら 397 の室温玄米貯蔵では 25.2mg, ほしのゆめの室温玄米貯蔵では 26.8mg と 25mg を超えた。玄米貯蔵は粳貯蔵に比較して脂肪酸度の増加が大きかった。また、粳貯蔵のなかでも貯蔵温度が低い方が脂肪酸度の増加が少なく、品質劣化が抑制された。すなわち、低温での粳貯蔵が品質の劣化が抑制された良い貯蔵であり、サイロ貯蔵は、低温玄米貯蔵よりも高品質保持が可能であることが明らかになった。

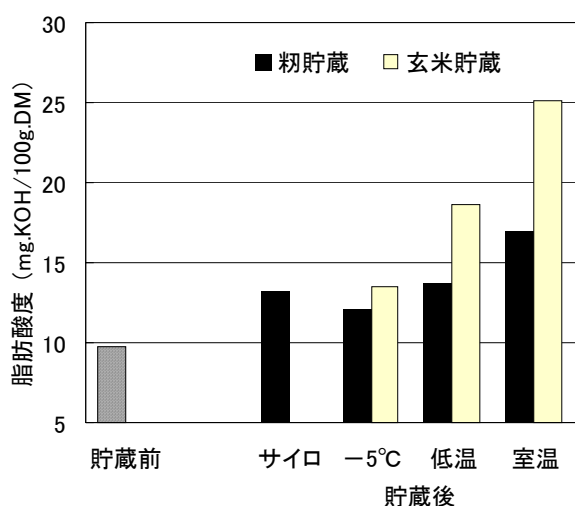


図 49 玄米脂肪酸度 (きらら 397)

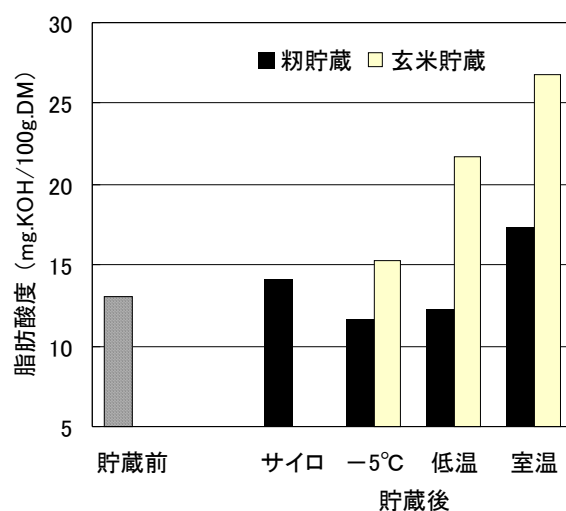


図 50 玄米脂肪酸度 (ほしのゆめ)

図 51, 図 52 にテクスチャログラム特性の硬さ粘り比 (硬さ/粘り比) を示した。一般に、貯蔵により古米化が進むと米飯の硬さが増加し粘りが減少する。したがって、硬さを粘りで割った比が低いほど良い貯蔵が行われたことを意味する。

粳貯蔵よりも玄米貯蔵の硬さ粘り比が増加し、米飯のテクスチャが悪化した。また、貯蔵温度が高いと硬さ粘り比が増加し、米飯のテクスチャが悪化した。

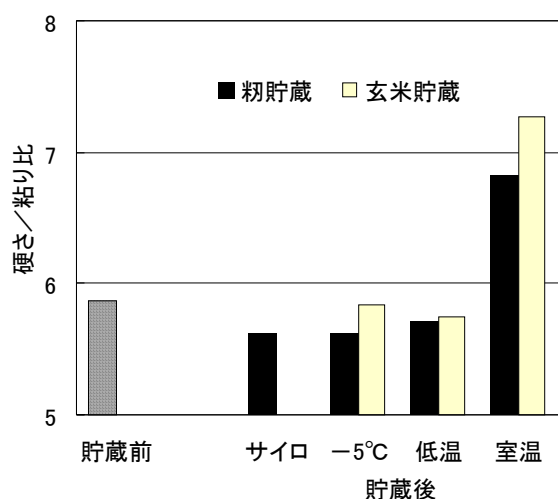


図 51 米飯テクスチャログラム特性
(きらら 397)

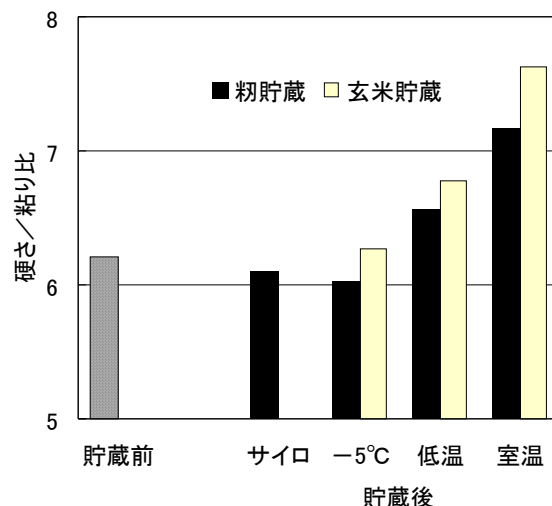


図 52 米飯テクスチャログラム特性
(ほしのゆめ)

図 53 から図 56 に食味試験の結果を示した。食味試験の結果は、試験場所の違い（食味試験パネルの違い）や米の品種（きらら 397 とほしのゆめ）の違いにより結果がやや異なるが、貯蔵温度が低い方が食味の総合評価が高いことがわかった。また、穀物検定協会で行ったきらら 397 の結果を除くと、サイロ貯蔵を行った籾は基準米（北大の試験では低温玄米、穀物検定協会の試験では日本晴）よりも高い評価であった。

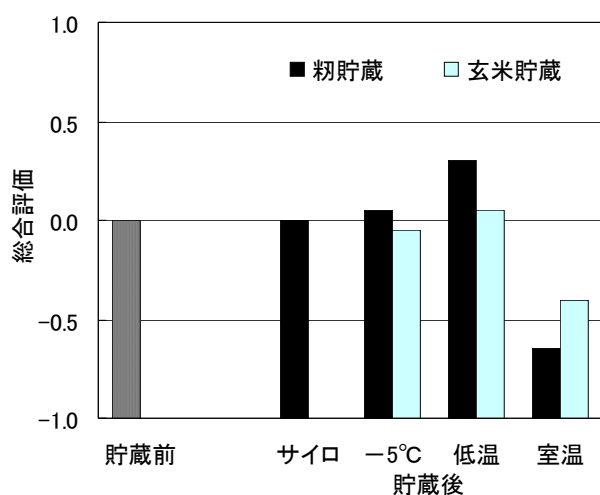


図 53 食味試験総合評価（穀物検定協会）
(きらら 397)

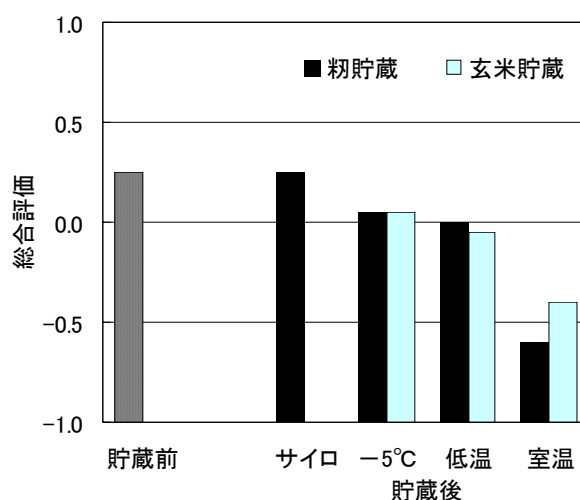


図 54 食味試験総合評価（穀物検定協会）
(ほしのゆめ)

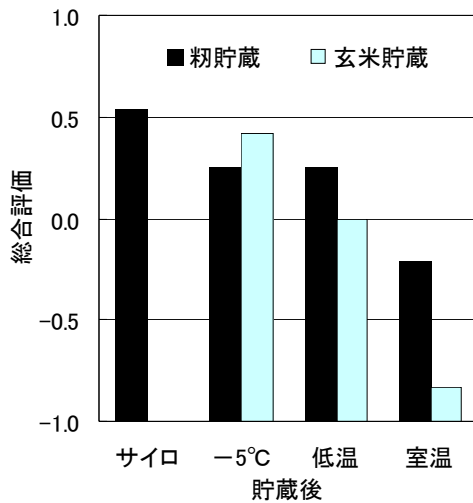


図 55 貯蔵後の食味試験総合評価 (北大)
(きらら 397)

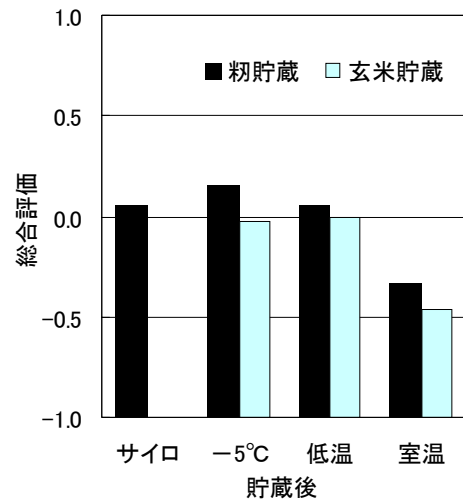


図 56 貯蔵後の食味試験総合評価 (北大)
(ほしのゆめ)

品質測定結果を総合的に判断すると、玄米貯蔵に比較して、籾貯蔵は品質劣化が抑制され高品質保持が可能であった。また、貯蔵中の平均温度が低いと品質保持効果が高く、新米に近い状態で貯蔵可能であった。すなわち、米を貯蔵する場合、籾で貯蔵を行い、貯蔵中平均温度は低いことが望ましい。しかしながら、実用的には、米の温度を低下させるために多くの電気エネルギー(コスト)を使うことはできない。

北海道のような寒冷地では、冬季の寒冷な外気という自然エネルギーを利用することにより、低コストで米を冷却することが可能である。この技術は、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、低温であるため貯蔵中のコクゾウムシやコクガの発生もなく、殺虫剤も不要である。すなわち寒冷外気を利用した超低温貯蔵は、低コストで省エネルギー、かつ安全に米の高品質保持が可能な貯蔵技術である。

本州以南でおこなわれるカントリーエレベータでの籾貯蔵や低温倉庫での玄米低温貯蔵は、北海道に比べて冬の温度低下が少ないため、貯蔵中平均温度が高い。そのため、春から夏にかけて出荷される北海道の超低温貯蔵米は本州以南の米に比較して品質劣化が抑制されており、相対的に品質が向上すると考えられる。

4. まとめ

1999年に稼動開始した雨竜町カンントリーエレベータで、寒冷外気の通風冷却による籾の超低温貯蔵技術の実証試験を行った。

1) サイロ貯蔵中の籾温度と籾水分

実用施設のサイロにおいて冬期通風冷却を利用した籾貯蔵を行い、貯蔵中の穀温変化や穀温分布、水分変化を調査した。

サイロ投入時の籾温度は外気温度とほぼ等しかった。その後、サイロ内壁付近の籾温度は、外気温度の影響を受けて最低で約 -3°C まで低下した。サイロ中心部の籾温度は通風冷却後に約 -2°C となり、中心部の籾温度は7月下旬の排出時まで氷点下に保たれた。冬期通風冷却により実用サイロで超低温貯蔵が可能であることが実証された。

2) 貯蔵終了時のサイロ内の籾温度差が品質に与える影響

貯蔵終了時（夏）には、サイロ内壁付近および籾堆積表面近くの籾温度は 20°C 程度に上昇した。しかし、この部分の籾は、冬の通風冷却前に自然放冷により温度が低下していた。その結果、貯蔵中の内壁付近籾温度の平均は 6°C 程度であり、中心部の平均温度 2°C 程度と大きな違いはなかった。サイロ内壁付近および籾堆積表面近くの籾を貯蔵終了時に採取して品質を測定した結果、サイロ中心部と同様に良い品質であった。

3) 貯蔵後の籾排出と籾摺

夏に低温の籾をサイロから排出し籾摺をする際の昇温技術を検討した。その結果、低温の籾を乾燥機で常温通風することにより、胴割を発生させることなく籾摺が可能であることを確認した。

4) 貯蔵前後の品質

サイロ貯蔵した籾および対照貯蔵した籾と玄米の品質測定を行い、それぞれの品質保持効果を比較した。その結果、籾貯蔵で貯蔵中の温度を氷点下に低下させる超低温貯蔵により新米に近い品質が保持できることが分かった。すなわち、寒冷外気を利用した超低温貯蔵は、低コストで省エネルギー、かつ安全に米の高品質保持が可能な貯蔵技術であることが実証された。

カントリーエレベータの稼動運営状況の調査

ー雨竜町カントリーエレベータ（平成 11 年産米，1999 年産米）ー

1. 目的

1996 年に当時北海道で唯一のカントリーエレベータ（上川ライスターミナル）が建設された。このカントリーエレベータで，1996 年から 1998 年にかけて寒冷地における籾貯蔵技術の確立を目的に実証試験を行った。この実証試験以前は，「北海道のような寒冷地にはカントリーエレベータ（籾貯蔵）は適さない」とされていた。しかし，この実証試験の結果，寒冷地では冬の自然の寒さを利用することにより低コスト省エネルギーで高品質な籾貯蔵が可能であり，寒冷地は籾貯蔵に最適な自然環境であることが明らかとなった。この実証試験以後，北海道では籾貯蔵施設（カントリーエレベータやサイロ付ライスセンタ）の普及が進み，2001 年末の時点で籾貯蔵可能な設備を持つ施設は 22 ヲ所であり，合計で約 9.9 万 t の籾貯蔵能力である。

上川ライスターミナルでの実証試験に引き続き，雨竜町カントリーエレベータで 1999 年から 2000 年にかけて最終的な実証試験を行った。この試験では貯蔵前の籾の精選別から，貯蔵中の冬期通風冷却，貯蔵後の昇温工程と籾摺出荷までを，とくに技術的な面を中心に詳細に試験検討した。しかし，北海道のカントリーエレベータ全体の技術の確立と今後の普及のためには，さらに籾の荷受，自主検査，乾燥，稼働率，米の販売，経営収支など，カントリーエレベータの運営全般にわたって検討する必要がある。そこで，雨竜町カントリーエレベータを対象に，実証試験を行った米穀年度（平成 11 年産米，1999 年産米）の稼動運営状況の全般的な調査を行った。

2. 方法

(1) 調査対象施設

雨竜町ライスコンビナート内の雨竜町穀物共同乾燥調製貯蔵施設（雨竜町カントリーエレベータ）を調査対象とした。

(2) 調査対象年度および調査実施日

調査は平成 11 年産米（1999 年産米）の荷受から出荷までを対象とし，2000 年 12 月 21 日，22 日の 2 日間実施した。

(3) 調査内容

雨竜町カントリーエレベータが処理した 1999 年産米に関して、以下の項目について調査を行った。

① 荷受と自主検査、稼働率

荷受工程について、荷受ロットごとの荷受日、組合員番号、荷受水分、荷受質量、自主検査用サンプル質量、自主検査サンプルの粒厚選別結果、品位、組成分析結果、近赤外分光法による水分、タンパク、アミロース、脂肪酸度の測定結果について調査を行った。

自主検査における製品、中米、屑米の設定基準、品位の格付けおよび製品規格、製品仮渡金単価について調査を行った。

計画処理量と実績処理量から、施設の稼働率を求めた。

② 仕上乾燥

仕上乾燥工程について、張込数量、乾燥開始・終了時刻、外気温度、バーナー（熱風）温度、乾燥中穀温、水分、乾燥速度について調査を行った。

③ サイロ貯蔵

カントリーエレベータのサイロには、穀温監視用にサイロ中心部に測温ケーブルおよびサイロ内空間の温湿度センサが設置されており、オペレータ室で常時監視可能である。雨竜町カントリーエレベータの場合、測温ケーブルで上下方向 8 点の温度を計測している。1 日 2 回（8:00 と 15:00）に印刷された資料から、全サイロの温湿度変化を調べた。各サイロに貯蔵した米の品種、品位、食味スコア、質量を調査した。

④ 出荷実績

期中出荷、米貯蔵後の今摺出荷などを調査し、施設の全体の製品出荷歩留を求めた。

⑤ 収支決算と人員配置

収支決算および施設を運営するに当たっての作業内容と人員配置に関して調査を行った。

⑥ その他

施設のオペレータ（作業責任者）に、施設の利用率、利用形態、運営上のトラブル、生産者からの意見要望などの聞き取り調査を行った。

3. 結果と考察

(1) 施設の概要および運営方式

表 9 に、施設能力の試算書を示した。雨竜町カントリーエレベータの対象水田面積は 1200ha、荷受米は半乾米とし、荷受水分は 18% (w. b. 105°C) としている。これらの条件から荷受、乾燥、調製、貯蔵などに必要な処理速度、処理容量などを試算した。施設の概要を表 10、表 11 に示した。施設の平面図を図 57 に示した。本施設は、雨竜町が事業主であり、施設を JA きたそらち雨竜支所に貸出し、運営を JA きたそらち雨竜支所が行うものである。

表9 雨竜町ライスコンビナート施設能力試算書

処 理 条 件						
処理面積	1200 ha					
出荷反収	684 kg/10a	18%半乾籾				
	660 kg/10a	15%乾燥籾	684 kg/10a	×	$(100\%-18\%) \div (100\%-15\%) \div$	660 kg/10a
	528 kg/10a	粗玄米	660 kg/10a	×	80%	= 528 kg/10a
	480 kg/10a	精玄米	528 kg/10a	×	90%	= 480 kg/10a
処理量	8208 t	18%半乾籾	684 kg/10a	×	$1200 \text{ ha} \times 10 \div 1000$	= 8208 t
	7919 t	15%乾燥籾	8208 t	×	$(100\%-18\%) \div (100\%-15\%) \div$	7919 t
	6336 t	粗玄米	7919 t	×	80%	= 6336 t
	5760 t	精玄米	6336 t	×	90%	= 5760 t
籾摺歩留	80 %					
屑米混入率	10 %					
荷受水分	18 % (w.b., 105℃ (半乾籾荷受))					
仕上水分	15 %					
荷受日数	25 d					
1日荷受量	329 t/d	(18%半乾籾)	8208 t	÷	25日間	≡ 329 t
施 設 内 容						
荷受	30 t/h	2 系列	(1系列 2ホッパー方式)			
乾燥機	20 t/基	6 基	(循環式 乾減率 0.6%)			
放冷タンク	20 t/基	12 基	(乾燥容量に対し 2回分)			
貯蔵	480 t/基	12 基	(貯蔵5280t ローテーション480t)			
比重選別機	12 t/h	2 基	(サイロ1基に対し 3日)			
調製	4 t/h	3 基	(10インチ 籾摺機)			
玄米タンク	20 t/基	6 基	(出荷量に対し 1.5日分)			
籾殻庫	640 m3	1 基	(調製に対し 3日分)			
出荷装置	20 t/h	1 基	(フレコン計量機)			
	7 t/h	1 基	(60kg計量機)			
	200 袋/h	1 基	(紙袋自動給袋機)			
荷 受 能 力						
荷受時間	8 h/d					
稼動効率	70 %					
必要能力	58.8 t/h		329 t/d	÷ (8h × 70%)		≡ 58.8 t/h
機械能力	60 t/h		30 t/h	×	2 系列	= 60 t/h
乾 燥 能 力						
乾減率	0.6 %					
乾減水分	3 %					
乾燥時間	5 h		$18\% - 15\% = 3\%$			
張込排出	2 h		$3\% \div 0.6\% = 5\text{h}$			
クーリング	1 h		$1\text{h} + 1\text{h} = 2\text{h}$			
1サイクル	8 h		$5\text{h} + 2\text{h} + 1\text{h} = 8\text{h}$			
乾燥容量	120 t	(半乾籾)	$20\text{t} \times 6\text{基} = 120\text{t}$			
乾燥回数	2.8 サイクル		$329\text{t/d} \div 120\text{t} \div 2.8\text{サイクル}$			
所要時間	22.4 h		$8\text{h} \times 2.8\text{サイクル} = 22.4\text{h}$			
放 冷 タ ン ク						
必要容量	240 t		$20\text{t} \times 6\text{基} \times 2\text{回} = 240\text{t}$ (乾燥機2回転分)			
放冷タンク	240 t		$20\text{t} \times 12\text{基} = 240\text{t}$			
貯 蔵 能 力						
貯蔵容量	5280 t		$480\text{t} \times 11\text{サイロ} = 5280\text{t}$			
ローテーション	480 t		$480\text{t} \times 1\text{サイロ} = 480\text{t}$			
精 選 能 力						
精選日数	3 d		サイロ1基分の精選基準日数			
精選時間	8 h/d					
稼動効率	90 %					
必要能力	22.3 t/h		$480\text{t} \div (8\text{h/d} \times 90\% \times 3\text{日}) \div 22.3\text{t/h}$			
機械能力	24 t/h		$12\text{t/h} \times 2\text{基} = 24\text{t/h}$			
調 製 能 力						
期中出荷	2639 t		$7919\text{t} - 5280\text{t} = 2639\text{t}$			
調製日数	25 d					
1日調製量	105.6 t/d		$2639\text{t} \div 25\text{日} \div 105.6\text{t/d}$			
調整時間	10 h/d					
稼動効率	90 %					
機械能力	108 t/d		$4\text{t/h} \times 3\text{基} \times 10\text{h/d} \times 90\% = 108\text{t/d}$			
玄 米 タ ン ク						
必要容量	115.2 t		$105.6\text{t/d} \times 80\% \div 110\% \times 1.5\text{d} = 115.2\text{t}$ (1.5日分保留容量)			
玄米タンク	120 t		$20\text{t} \times 6\text{基} = 120\text{t}$			
出 荷 能 力						
フレコン計量	20 t/h		標準機械仕様			
60kg袋計量	7 t/h		標準機械仕様			
30kg紙袋計量	200 袋/h		標準機械仕様			

表 10 雨竜町ライスコンビナートの概要

建設場所		穀類乾燥調製貯蔵施設 雨竜町字満寿28番地の83 外4筆
		穀類膨軟化処理施設 同 上
		穀類堆肥化施設 雨竜町字満寿26番地の107 外6筆
敷地面積		
		穀類乾燥調製貯蔵施設
		穀類膨軟化処理施設
		合計 18,019 m ²
		穀類堆肥化施設 8,791 m ²
総事業費		1,954,556 千円
内 訳	国庫補助金	736,983 千円
	地方債	1,214,100 千円
	自主財源	3,473 千円

表 11 雨竜町穀類乾燥調製貯蔵施設（雨竜町カントリーエレベータ）の概要

名 称	雨竜町穀類乾燥調製貯蔵施設	
所 在	雨竜町字満寿28番地の83 外4筆	
敷 地 面 積	18,019m ²	(穀類膨軟化処理施設敷地含む)
施 工 管 理	ホクレン農業共同組合連合会	
設 計 施 工	ヤンマー農機株式会社	
建 設 面 積	2,823m ²	
建 設 事 業 費	1,655,283千円	
主 要 機 械 設 備	荷受処理能力	30t／h×2系列 4ホッパー
	乾燥機容量	20t×6基
	プールタンク容量	20t×12基
	穀摺処理能力	4t×h×3基
	玄米タンク容量	20t×6基
	屑米タンク容量	20t+10t+10t
	出荷装置能力	1tフレコン 20t／h×1基
		30kg紙袋 6t／h×1基
		60kg樹脂袋 7t／h×1基
	サイロ貯蔵容量	480t×12基
	精選売渡能力	12t／h×2基
	処理面積	1,200ha
	処理量	8,208t (18%半乾穀)
	荷受水分	18%(w.b., 105℃)

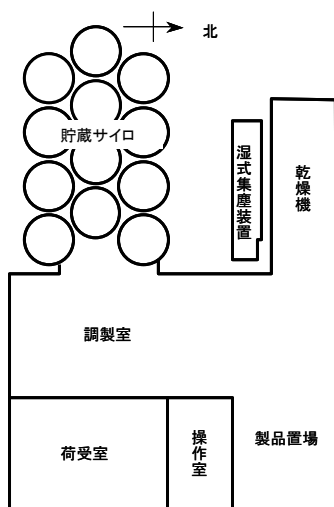


図 57 雨竜町カントリーエレベータの平面図



写真 9 雨竜町カントリーエレベータ

(2) 荷受状況 と自主検査結果

荷受は1999年9月6日から10月14日まで、途中2日間の荷受停止日をはさみ、37日間にわたり行われた。図58に荷受量の移り変わりを示した。荷受は9月後半に集中し、9月18日のピーク時には1日に758tを荷受した。カントリーエレベータでは農家に荷受順番チケットを配り、荷受が集中しないように調整をしたが、天候などの都合で収穫適期に荷受が集中してしまう結果となった。これに対して施設では乾燥作業を昼夜連続して行い、カントリーエレベータのサイロやタンクなどの他に、隣接する青果物選果施設のスペースも利用し乾燥後の籾をコンテナで一時貯留するなど、計画一日荷受量329tを超える荷受を9月12日から連続して行った。しかし、計画量を超えた荷受を連日行ったため、施設の処理能力を超え対処しきれなくなり、9月25日、26日の2日間は荷受を停止し乾燥作業のみを行った。

雨竜町カントリーエレベータでは、半乾籾のみを荷受しており、生籾の荷受をしていない。計画では荷受半乾籾の水分は18%となっている。しかし、実際に荷受される籾の水分のばらつきを考慮して、荷受する籾は水分17%以下としており、荷受時検査を行い水分18%以上の籾は農家が持ち帰り再乾燥を行うことになっている。

図59に荷受単位毎（荷受ロット毎）の籾の水分を示した。大部分の籾が水分18%未満に一次乾燥されていた。図60に1日の荷受籾の平均水分を、図61に1日に乾燥すべき水分質量を示した。荷受水分は、荷受開始初期を除きほとんどが16.5%程度で一定していたため、乾燥すべき水分量のピークは、荷受量のピークと同じであった。生籾は荷受け後直ちに乾燥する必要があるが、半乾燥籾の場合はある程度の期間半乾貯留を行うことが可能であるため、ピーク時の荷受量を一時的に多くすることが可能である。

本施設の計画段階での処理量は8,208t（18%半乾籾）であるが、1999年度の処理実績は12,991tであり、カントリーエレベータの稼働率は158%であった。また、1999年度はJAきたそらち雨竜支所管内の295戸の農家がカントリーエレベータを利用し、農家のカントリーエレベータ利用率は95%であった。

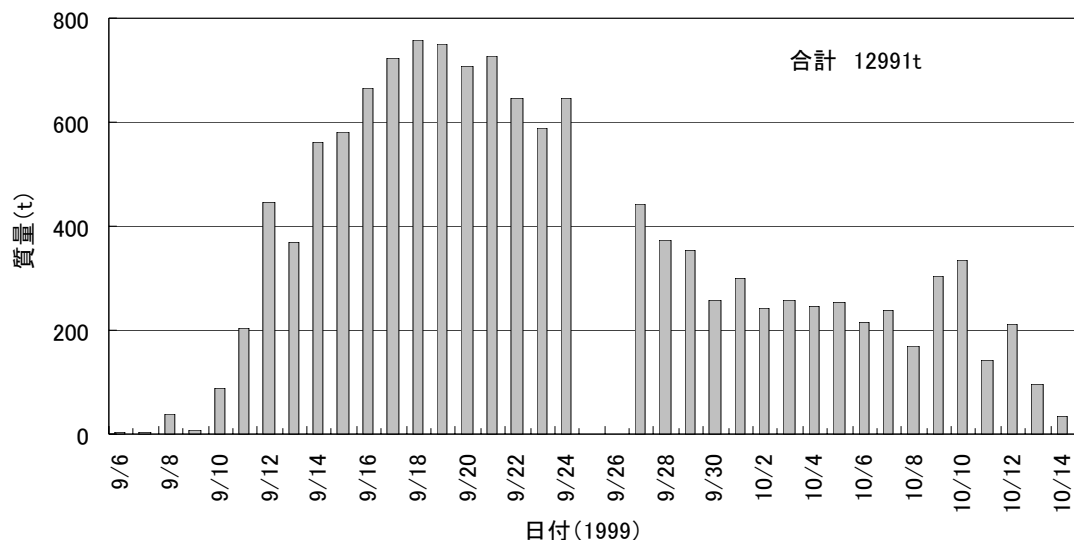


図58 荷受籾質量

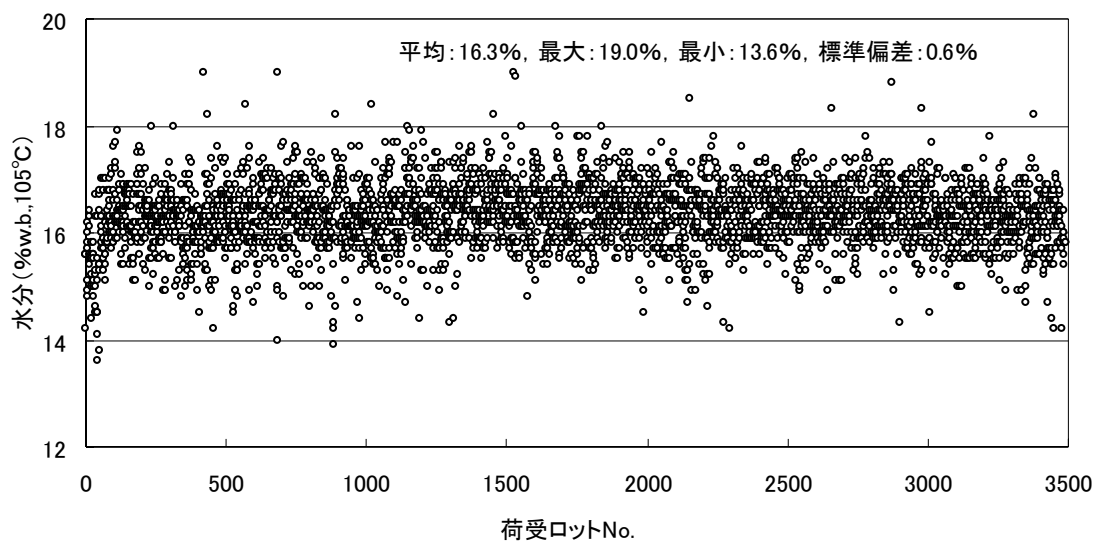


図 59 荷受籾水分（荷受単位毎）

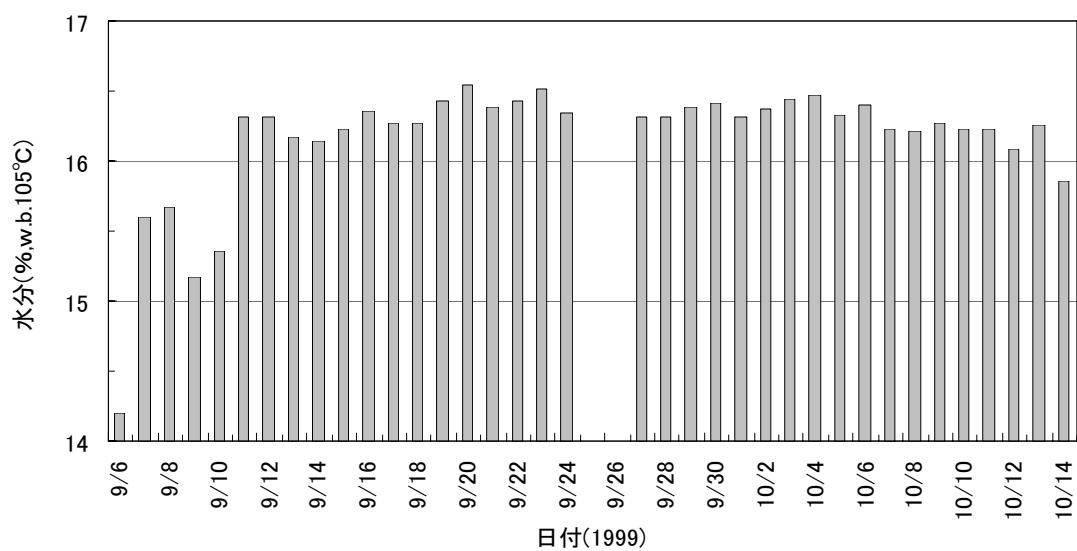


図 60 荷受籾水分（1日の平均水分）

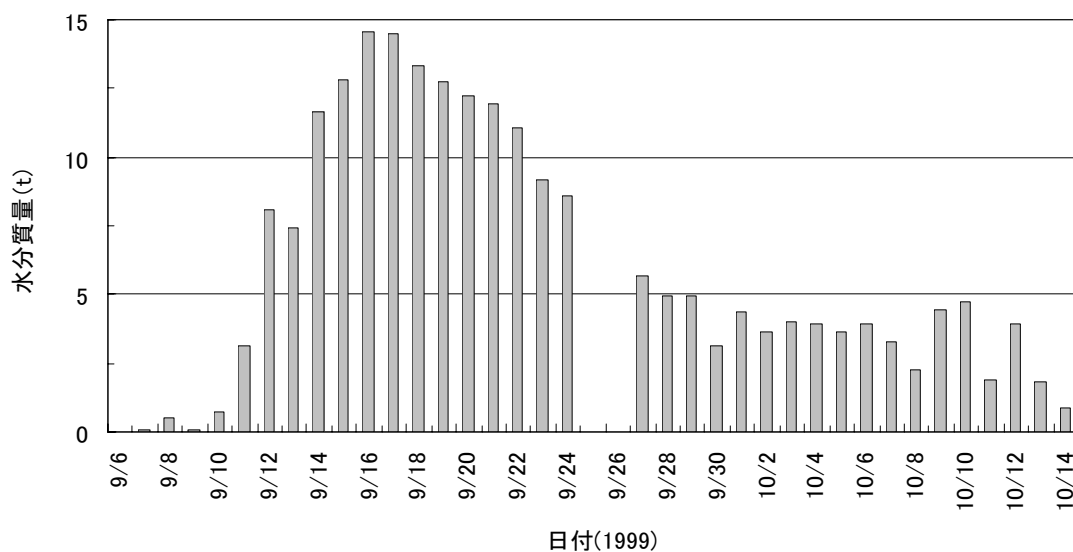


図 61 1日に乾燥すべき水分質量

荷受した粳の品種の内訳を表12に示した。荷受した品種はきらら397が67.1%を占め、ほしのゆめがおよそ29.2%であり、ゆきまる、あきほなど他の品種はごくわずかであった。

雨竜町カントリーエレベータで行っている自主検査の要領を表13から表15に示す。この施設では、玄米の粒厚選別を行い、きらら397では2.0mm以上、その他の品種では1.95mm以上のものを製品としており、それ以下の粒厚のものを中米、屑米として販売している。粳摺後の玄米のうち、中米、屑米として除かれるものが15%程度存在する。図62、図63に荷受ロットごとの自主検査の良質米の割合とタンパク質含量を、図64、図65に一日毎の良質米の割合とタンパク質含量の平均を、表16に、きらら397とほしのゆめの自主検査結果の平均を示した。

表12 雨竜町ライスコンビナート荷受粳の品種と重量、平成11年

品種名	きらら397	ほしのゆめ	あきほ	ゆきまる	はなぶさ	ゆきひかり	その他	合計
粳荷受重量(t)	8723	3790	129	147	144	30	28	12991
割合(%)	67.1	29.2	1.0	1.1	1.1	0.2	0.2	100.0

表13 製品及び中米・屑米の設定基準

自主検定基準	大粒重量	中粒重量	小粒重量	屑粒重量
玄米仕分基準	2.00mm以上	2.00mm未満1.95mm以上	1.95mm未満1.90mm以上	1.90mm未満
網目設定	2.00mm		1.95mm	1.90mm
「きらら397」のみ	製品基準	中米基準		屑米基準
「きらら397」以外	製品基準		中米基準	屑米基準

平成11年度 自主検定要領 (雨竜町ライスコンビナート)

表14 品位の格付及び製品規格

品位	精米蛋白	形質	品位係数	該当品種
1	6.3%以下	1等規格相当品	100.0%	きらら397・ほしのゆめ・あきほ・ゆきまる
2	6.4%～6.8%			
3	6.9%以上	2等規格相当品	95.0%	全品種
4	基準なし			全品種
5	基準なし	規格外相当品	90.0%	全品種

平成11年度 自主検定要領(雨竜町ライスコンビナート)

表15 製品仮渡金単価

品位	制度	形質	仮渡金俵単価	仮渡金kg単価	該当品種
1～3	自主流通米	1等品相当	12000円	200円	全品種
4		2等品相当	12000円	200円	
5		規格外品	12000円	200円	
1～3	加工用米	1等品相当	8000円	—	全品種
4		2等品相当	8000円	—	
5		規格外品	8000円	—	

平成11年度 (雨竜町ライスコンビナート)

表16 自主検査時の品質

	玄米粒厚割合（％）				組成分析結果（％）						タンパク 質 （％）
	粳質量基準				良質粒	未熟粒	被害粒	死米粒	着色粒	胴割粒	
	大粒	中粒	小粒	屑粒							
きらら397	71.3	4.8	3.5	4.3	85.0	9.9	0.1	1.1	0.0	2.9	7.2
ほしのゆめ	60.0	10.0	7.1	6.3	88.5	7.0	0.2	1.3	0.1	1.8	7.1

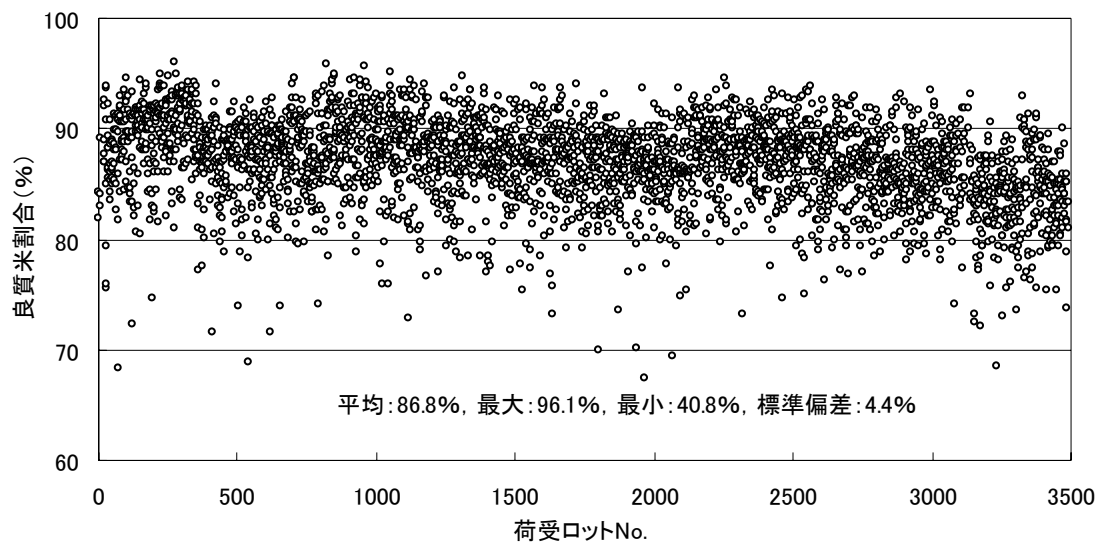


図 62 良質米割合

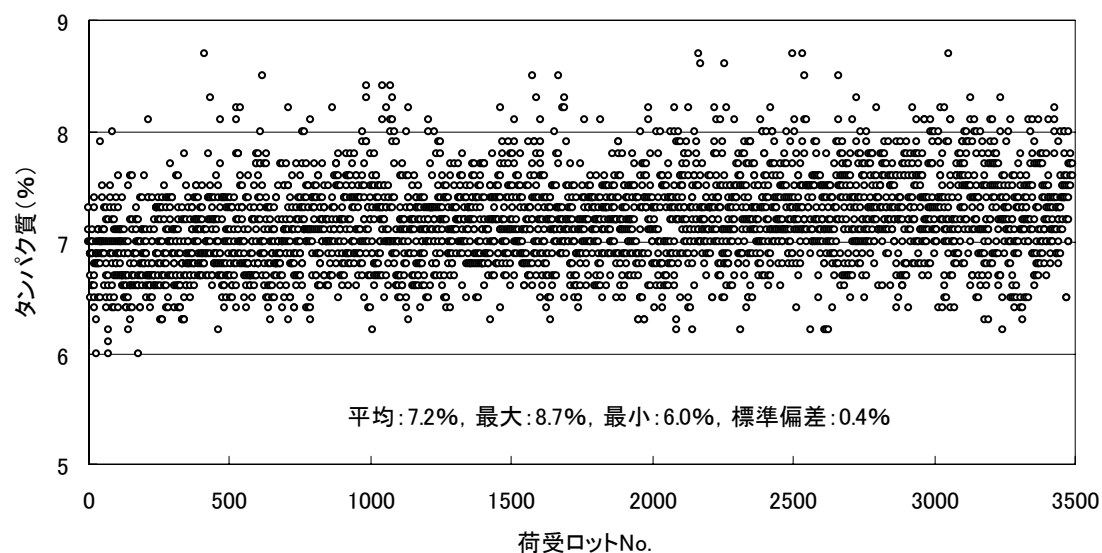


図 63 タンパク質

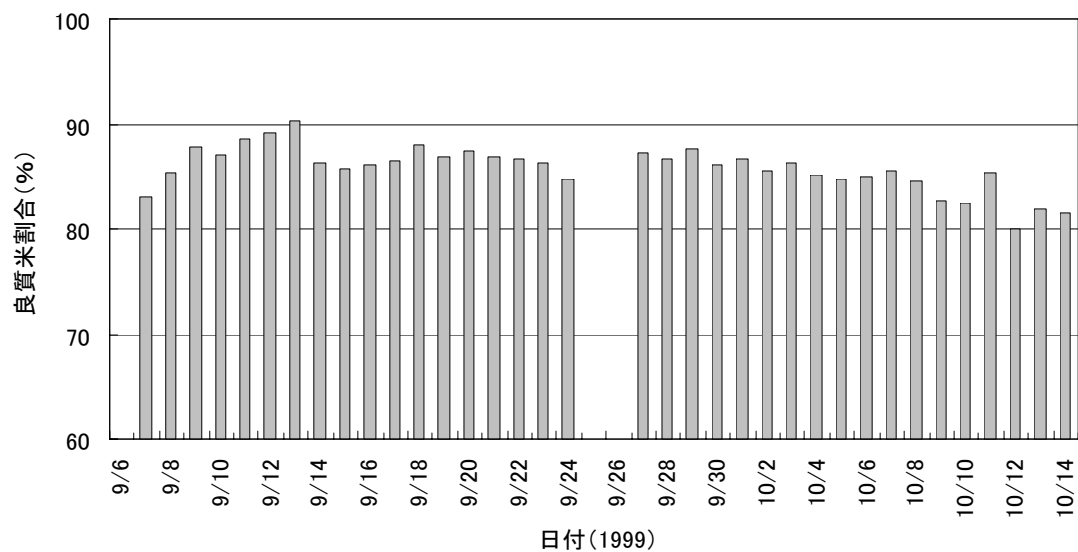


図 64 良質米割合(1日の平均)

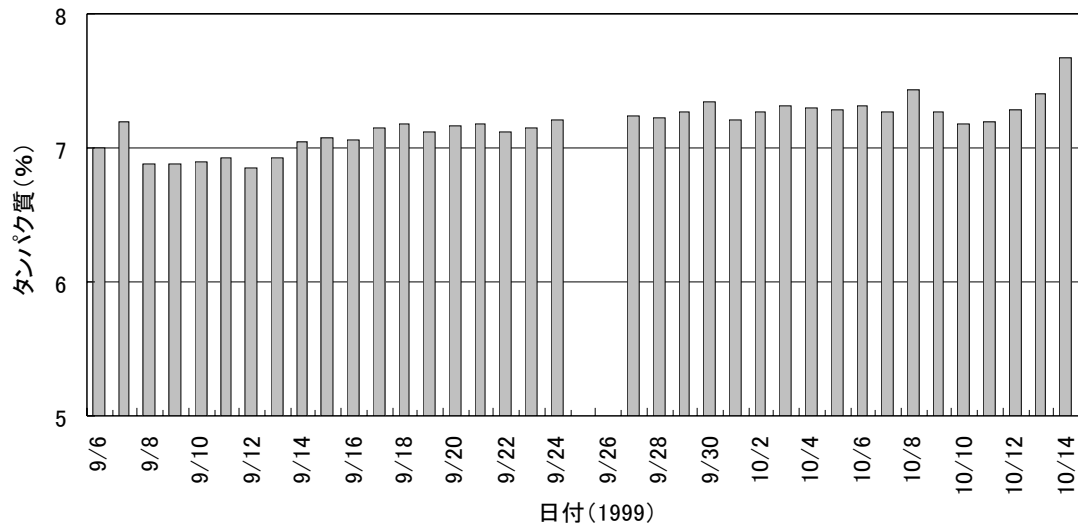


図 65 タンパク質 (1日の平均)

(3) 仕上乾燥

表 17 に 586 バッチ行われた仕上乾燥工程のうちの 213 バッチ分の乾燥記録を無作為に抽出し、データを平均した値を示した。乾燥は、9 月 10 日から 10 月 14 日まで 35 日間行われた。乾燥機への張込数量は常に満量の 20t であった。計画段階では水分 18%の籾を 8,208t 荷受し、これらの籾を 25 日間かけて 20t ずつ 5 時間乾燥し水分 15%まで乾燥する予定であった。この場合、乾燥すべき水分の合計は 246t である。

実際は、荷受した籾の総質量は 12,991t と計画のおよそ 1.5 倍であったが、荷受籾水分の平均が 16.3%であり、乾燥除去した水分の合計は 218t であった。このため、1 回の乾燥にかかる時間も平均 2 時間 42 分と計画より短かった。乾燥中のバーナーの温度は最高 45.0℃で、乾燥中の穀温は、最高で 34.0℃であった。乾燥中の品質劣化を防ぐために、乾燥中の穀温は 35℃以下にする必要があるが、本施設では穀温は 35℃以下に保たれていた。

また、オペレータからの聞き取り調査によると、雨竜カントリーエレベータでの半乾貯留日数は、最短 0 日、最長 30 日であり、荷受け後直ちに乾燥する場合もあるが、平均は 7 日から 10 日間程度の半乾貯留を行い、仕上乾燥を行った。

表 17 仕上げ乾燥

	乾燥時間 (h:mm)	外気温度 (℃)	バーナー(熱風)温度		乾燥 穀 温		水 分		乾燥速度 (%/h)
			最低 (℃)	最高 (℃)	開始時 (℃)	最高 (℃)	開始時 (%,w.b.)	終了時 (%,w.b.)	
平均	2:42	16.0	36.5	39.8	20.9	29.0	17.2	16.2	0.38
最大	6:45	25.0	40.0	45.0	31.1	34.2	18.2	16.7	1.73
最小	0:45	5.0	22.0	34.0	14.0	15.8	16.5	15.2	0.00
標準偏差	0:54	3.76	2.50	1.47	3.21	2.33	0.29	0.21	0.15

乾燥記録表より無作為抽出 (213/586) 平成11年

(4) サイロ貯蔵

表 18 にサイロに貯蔵した籾について示した。籾の精選別を 10 月 21 日から 11 月 30 日にかけて順次行い、精選別後の籾をサイロに投入し貯蔵を開始した。貯蔵した籾はサイロ 7 基にきらら 397 が 3376t、サイロ 5 基にほしのゆめが 2152t であり、合計 5,528 t の籾の貯蔵を行った。全サイロの標準貯蔵容量は 5280t であり、標準容量の 105%の籾を貯蔵した。

貯蔵中の外気温度を図 66 に示した。籾貯蔵を行った 12 基のサイロの籾温度の一例を図 67 と図 68 に示した。12 月下旬から 2 月下旬までの期間で、全てのサイロで寒冷外気を利用した通風冷却を行った。その結果、ほぼすべての籾が氷点下の温度まで冷却された。サイロ内壁付近の籾温度は測定していないが、M9 サイロと M10 サイロを対象として同時におこなった実証試験の結果から推察すると、1 月下旬から 3 月下旬の間はサイロ内壁付近の籾温度は氷点下であったと考えられる。したがって、籾貯蔵を行った 12 基のサイロ全てが超低温貯蔵（氷点下での貯蔵）をおこなったこととなる。サイロ内空間の湿度の一例を図 69 と図 70 に示した。貯蔵開始から 1 月下旬までは、サイロ内空間の換気が不十分であったために、湿度が 80%を超えることが多かった。特に、通風冷却時には湿度が 90%を超える場合があり、M4, M11, サイロでは湿度が 100%になった。そこで、2 月 2 日にサイロ内に入り、サイロ空間の内壁表面および籾堆積表面を観察した結果、M2, M4, M5, M8, M9, M10, M11, M12 のサイロで結露が確認された。

M4 サイロの中央部籾堆積表面の一部分の籾水分は 22.4%まで上昇していた。そこで、結露、凍結し、品質劣化の恐れのある籾（全体で 5kg 程度）をサイロ内から取り除いた。また、換気装置のダクトの配管を改造し、応急処置を行ったためにその後サイロ内空間の湿度は 60%から 80%となり、結露は発生しなかった。結露を早期発見し同時に適切な対処を行ったため、結露による品質事故を未然に防ぐことができた。

表 18 平成 11 年産米 雨竜町ライスコンビナートのサイロ貯蔵籾

サイロ No.	精選 月日	品種名	品位	食味 スコア	種別	貯蔵 籾質量 (t)	自主検査玄米粒厚割合 (%) 籾質量基準			
							2.00mm 以上	1.95mm 以上	1.90mm 以上	1.90mm 以下
M-1	10/23	きらら397	5	68	高整粒	493	73.3	4.8	3.3	2.4
M-2	10/27	きらら397	3	73	一般	426	73.0	5.2	3.3	2.3
M-3	10/25	きらら397	2	73	低蛋白	490	73.6	4.8	3.0	2.4
M-4	10/28	ほしのゆめ	5	69	高整粒	354	63.2	9.9	7.1	4.1
M-5	11/30	ほしのゆめ	5	67	有機米	321	61.9	10.4	7.1	4.7
M-6	10/21	きらら397	5	69	高整粒	487	71.9	5.2	3.7	3.5
M-7	10/29	ほしのゆめ	5	67	高整粒	490	60.6	10.9	8.1	4.3
M-8	10/30	ほしのゆめ	5	68	高整粒	493	62.4	10.1	7.3	4.3
M-9	11/22	きらら397	3	70	一般	500	73.9	5.2	3.0	2.3
M-10	11/24	ほしのゆめ	3	70	一般	494	63.2	10.0	6.2	4.6
M-11	10/22	きらら397	5	68	高整粒	490	72.5	5.2	3.6	3.0
M-12	10/26	きらら397	2	75	低蛋白	490	73.2	5.6	3.0	2.0
		きらら397	2		低蛋白	980				
		きらら397	3		一般	926				
		きらら397	5		高整粒	1,470				
		品種計				3,376				
		ほしのゆめ	3		一般	494				
		ほしのゆめ	5		高整粒	1,337				
		ほしのゆめ	5		有機米	321				
		品種計				2,152				
		総合計				5,528				

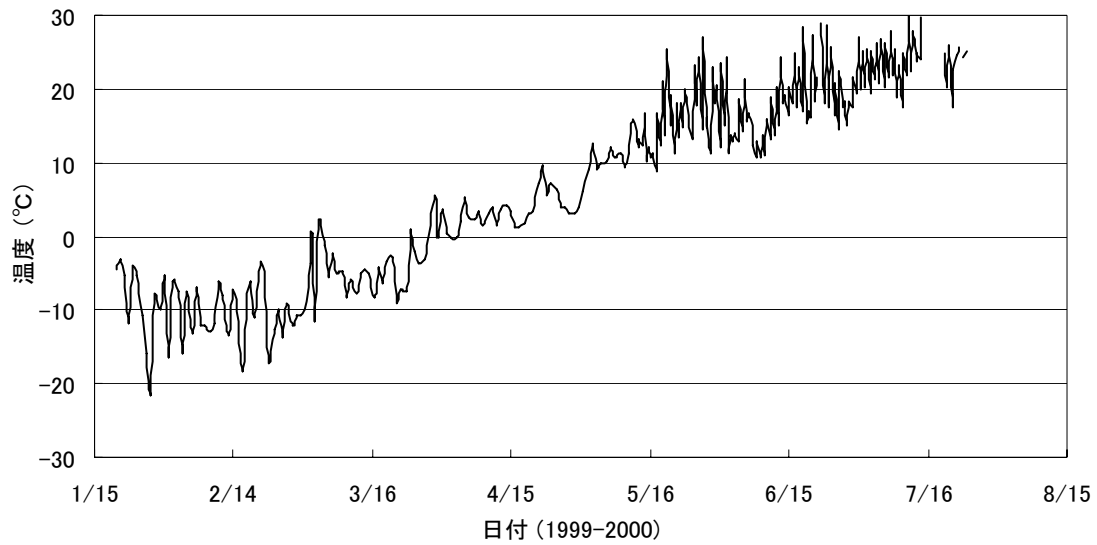


図 66 外気温度

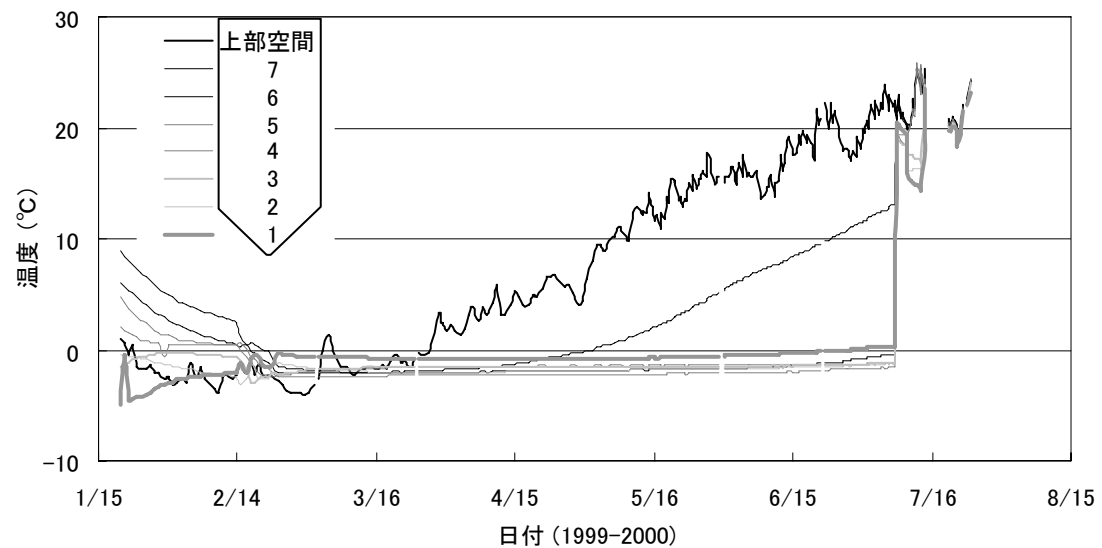


図 67 M3 サイロ貯蔵中の珩温度

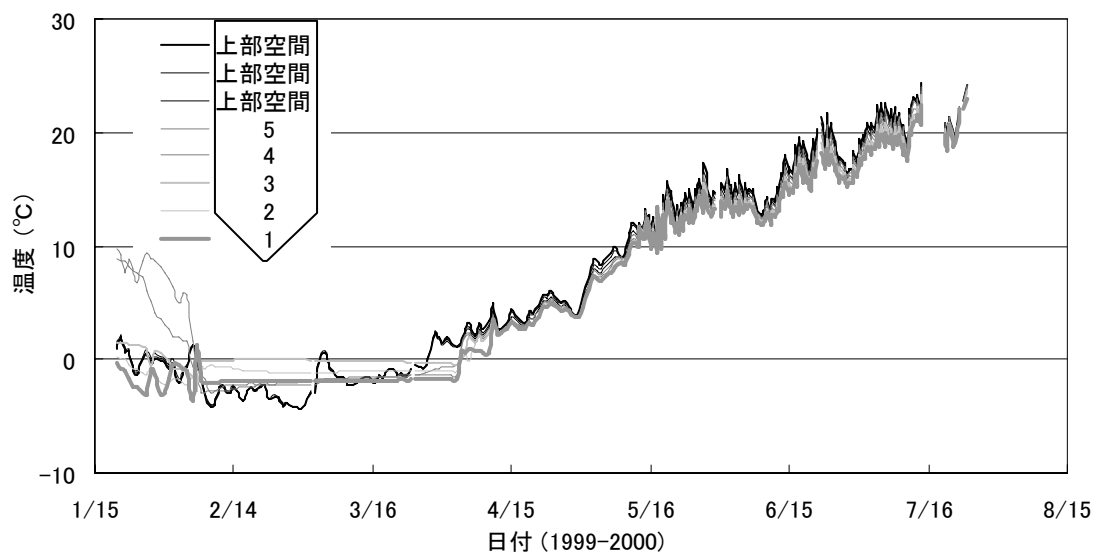


図 68 M4 サイロ貯蔵中の珩温度

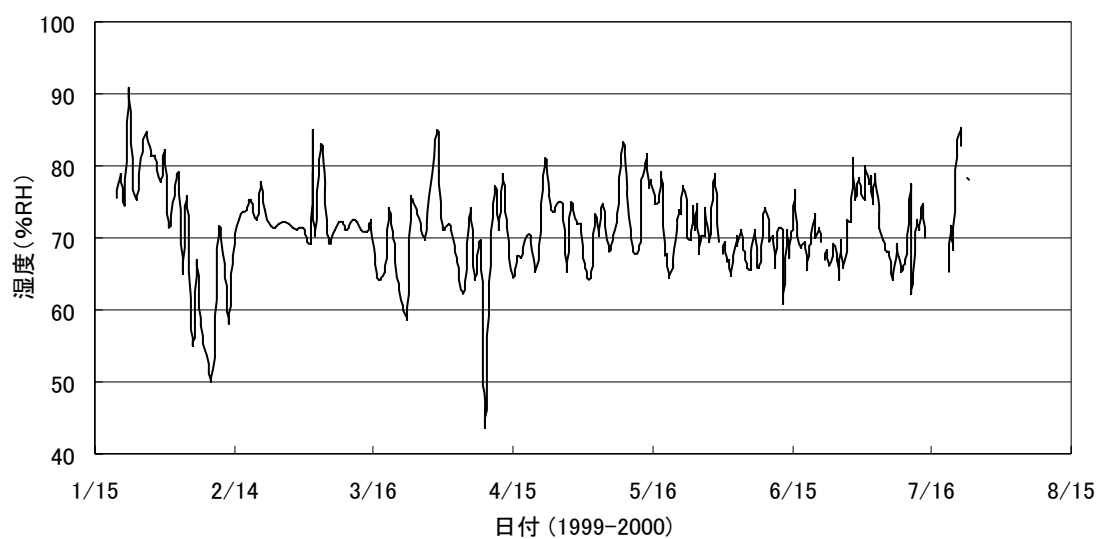


図 69 M3 サイロ貯蔵中のサイロ内湿度

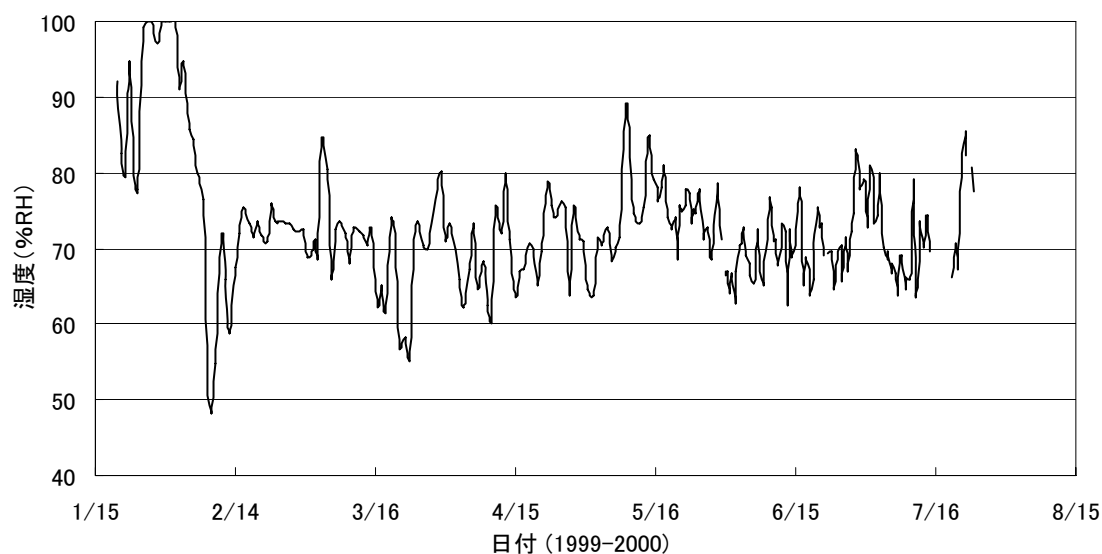


図 70 M4 サイロ貯蔵中のサイロ内湿度

(5) 出荷実績

表 19 に出荷実績を示した。出荷合計は 10,634t であった。そのうち 6,006t の玄米を期中出荷した。期中出荷とは半乾粳で荷受し、仕上げ乾燥した後、粳を貯蔵せず荷受乾燥期間中に粳摺調製し、出荷することである。残りの 4,374t 分（粳質量では 5,528t）をサイロで貯蔵した。

製品玄米重量と特定米穀重量の合計を乾燥後粳質量で除した粳摺歩留は 82.8%であり、製品玄米重量を乾燥後粳質量で除した製品歩留は 68.3%であった。

実際に出荷した製品玄米と特定米穀の合計は 10,634t であり、自主検査による籾摺歩留予想値よりも大きかった。このうち、82.5%が製品として出荷され、17.5%が特定米穀として出荷された。全出荷玄米に占める製品の割合 (82.5%) は、自主検査時の予想製品割合 (81.7%) よりも多かった。雨竜町カントリーエレベータではホクレン農業協同組合の指図のもと、玄米の多くを関東、中京、関西、九州に出荷した。一部の玄米を JA きたそらち雨竜支所が消費者契約栽培米として直接販売した。全ての玄米を 7 月下旬までに販売した。

籾摺後に粒厚選別を行った玄米は、さらに色彩選別機により選別が行われる。以前は色彩選別機は選別機自体の価格が高価であり、また、共乾施設に設置する場合、補助がつかなかったために普及していなかった。

色彩選別機を設置していない施設で玄米の品質を向上させるためには、玄米の充実度、つまり粒厚による選別が重要である。各カントリーエレベータでは、産地間競争を勝ち抜くために選別基準を徐々に厳しくし、大きな網目で選別を行い「高品質米」として売り出すようになった。一方で粒厚の小さい玄米を価格の低い中米、屑米として、加工用などに販売していた。

しかし、1999 年に北海道でカメムシの食害が大発生し、その年に収穫された米は着色粒割合が大変多く、色彩選別を行わないと 1 等にならない状況であった。それ以降、とくに大規模共乾施設には色彩選別機が広く導入されるようになってきた。そのため、最近では出荷する玄米の全量を色彩選別することが可能であるカントリーエレベータが増えている。粒厚選別と色彩選別を併用し、2 段階選別を行う場合は、一次選別である粒厚選別の篩目を小さくすることが可能である。粒厚選別で粒厚の小さい死米、未熟粒などを除去し、色彩選別でさらに未熟粒、被害粒、着色粒などを除去する。そうすると、今まで粒厚選別により中米、屑米に混入していた整粒を製品として出荷することが可能であり、製品歩留が向上すると考えられる。

表 19 雨竜町ライスコンビナート出荷実績

品種名	籾荷受 質量	乾燥後 籾質量	自主検 査算出 重量	実出来高実績							
				期中出荷	今摺出荷	計画外	籾	飯米	出荷合計	過不足	比率
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	%
きらら397	8,723	8,619	5,779	3,440	2,339	74	6	0.1	5,859	80	101.4
ほしのゆめ	3,790	3,747	2,403	1,062	1,333	166		8	2,569	166	106.9
あきほ	129	127	87	90					90	3	103.4
製品 ゆきまる	147	144	99	103					103	4	104.0
はなぶさ	144	141	100	102					102	2	102.0
ゆきひかり	30	30	20	21					21	1	105.0
その他	28	27	19	20					20	1	105.3
製品合計	12,991	12,835	8,507	4,838	3,672	240	6	8	8,764	257	103.0
特定米穀 中米			971	457	349				806	-165	83.0
屑米			610	495	180				675	65	110.7
色下			320	168	160				328	8	102.5
脱ぶ・色屑				47	14				61	61	
特定米穀計			1,901	1,167	703				1,870	-31	98.4
総体合計	12,991		10,408	6,005	4,375	240	6	8	10,634	226	102.2

(6) 収支決算と人員配置

表 20 に収支決算を示した。収入で一番大きい割合を占めるのは利用料金である。利用料金（372 円/出荷玄米 60kg）は、他のカントリーエレベータの例（たとえば半乾籾で荷受の場合、992 円/出荷玄米 60kg）に比べて低料金である。これは、雨竜町ライスコンビナートが事業主を雨竜町とし、運営を JA きたそらち雨竜支所に委託するという形態をとることで、減価償却費が掛からなくなり固定資産税の支払いが免除になるなど、カントリーエレベータの負担が減るため、利用料金を低くすることができるためである。

また、カントリーエレベータを農業協同組合から独立した会社経営とした場合、職員を雇用する必要がある。ところが、カントリーエレベータの運営を農業協同組合が行う場合、農協職員が操業をおこなうこととなり、繁期と閑期の人員の移動が流動的に行えるなどの利点を活用し、人件費を節約できる。表 21 に人員配置を示した。稼働人員合計は 43 人であるが、そのうち 27 人は農協職員であり、カントリーエレベータが支払う人件費は、パートの 16 人分であり、人件費を大幅に縮小できた。

1999 年決算の収支差引残高は 0 円である。しかし、支出において、機械更新積立金として約 1150 万円を積立しており、運営初年度から実質的に黒字であった。

(7) その他

オペレータに直接聞き取り調査を行った結果、以下のような点を問題として提起した。

① 大きな問題点

乾式集塵に関するトラブルがあった。乾式集塵の能力（風量）が不足していた。籾摺り、籾精選別を行うときは他の集塵ファン、サイロ上部空間排塵ファンなどを停止しなければいけなかった。現在は集塵機の能力を増加することで改善された。

② 生産者（農家）の声

カントリーエレベータに籾を出すと選別（籾精選別、玄米色彩選別機）などにより品質の良い均質な玄米を出荷できるとの評価があった。しかし、「選別することにより製品歩留が低下し、農家の経営を圧迫している、何か良い手立ては無いものか」という意見もある。

③ カントリーエレベータのオペレータからの要望

カントリーエレベータを建てるだけでなくアフタケアも充実させてほしい。北海道内のカントリーエレベータ全体で各種運営技術情報などを交換する組織を立ち上げてほしい。どんな（最新の）カントリーエレベータでも運営技術に関する問題点やトラブルを抱えている。トラブルや疑問点が生じた場合、現在は知り合いのいる他のカントリーエレベータと電話などで個別に情報交換しているだけである。

表 20 雨竜町ライスコンビナート収支決算（単位：円）

項目	内訳	1999年計画	1999年決算	摘要
利用料	賦課金	24,200,000	24,714,245	水稻 940円/10a 転作 470円/10a
	利用料金	54,680,000	58,332,181	製品 372円/俵 屑米 186円/俵
	小計	78,880,000	83,046,426	
籾殻販売代	摺落籾殻	80,000	163,044	一般 300円/m3（利用者 70円/m3）
	膨軟籾殻	1,850,000	3,924,873	一律 800円/m3
	堆肥原料	340,000	53,715	一律 1200円/m3
	完熟堆肥	4,400,000	137,714	一律 1800円/m3
	小計	6,670,000	4,279,346	
雑収益	コンテナレンタル	—	1,060,001	貯留用コンテナ貸し出し 7000円/基
	特殊収益	—	9,206,161	個体調製運賃・色選委託料・堆肥賠償金
	その他	—	82,458	籾殻堆肥運搬料 1000円/台
	小計	—	10,348,620	
収入合計		85,550,000	97,674,392	
保険料	建物機械	560,000	812,997	建物機械火災保険料
	籾内容物	1,660,000	954,000	施設内籾火災保険料
	警備保障	240,000	306,666	警備保障料 20000円/月
	小計	2,460,000	2,073,663	
電気料	常備電力	20,050,000	18,930,766	施設本体常備電力料
	季節電力	—	2,167,111	施設本体季節電力料
	堆肥場	—	223,292	堆肥施設電気料
	保安点検	590,000	1,029,880	電気保安協会点検料
	小計	20,640,000	22,351,049	
燃料費	乾燥灯油	2,130,000	1,308,000	乾燥機用灯油代金
	小計	2,130,000	1,308,000	
上下水道料	上水道料	950,000	810,000	施設本体上水道料金
	下水道料	30,000	31,200	施設本体下水道料金
	堆肥場	—	71,520	堆肥施設上水道料金
	小計	980,000	912,720	
光熱費	暖房灯油	40,000	306,712	暖房灯油代金
	給湯ガス	—	71,856	給湯用ガス代金
	小計	40,000	378,568	
修理費	修理部品	12,100,000	543,789	機械修理及び部品代金
	保守点検	200,000	—	
	小計	12,300,000	543,789	
包装費	新PP袋	—	2,522,445	新PP袋代金
	紙袋	—	3,869,500	紙袋代金
	一空PP	—	885,752	一空PP袋代金
	小計	—	7,277,697	
堆肥資材費	ウロンC	480,000	258,000	堆肥添加剤ウロンC代金
	石灰窒素	1,320,000	1,146,180	堆肥添加剤石灰窒素代金
	小計	1,800,000	1,404,180	
減価償却費	減価償却	10,080,000	17,223,103	減価償却農協振替
	小計	10,080,000	17,223,103	
車輛費	車輛燃料	—	2,138,282	車輛燃料代
	車輛維持	—	909,284	車輛保険・車検
	レンタル	2,880,000	1,848,640	リフト・トラックレンタル料
	車輛修理	—	265,870	車輛修理及び部品代
	小計	2,880,000	5,162,076	
運搬費	運搬依頼	1,920,000	2,140,770	倉入運搬委託料 30円/俵
	パレット料	—	324,666	パレットレンタル料
	小計	1,920,000	2,465,436	
労務費	パート	5,780,000	5,866,405	パート労賃
	賃金振替	—	1,520,000	賃金農協振替分
	自主検員	500,000	900,000	自主検定員報酬
	長期臨時	3,000,000	450,000	長期臨時給与農協振替
	小計	9,280,000	8,736,405	
消耗備品費	機械備品	1,500,000	1,920,420	コンテナシート 280000円 他
	機械消耗	3,000,000	3,250,582	籾摺ゴムロール 1400000円 他
	機械伝票	—	358,700	荷受伝票類
	一般備品	—	137,780	
	小計	4,500,000	5,667,482	
負担金	ライスターミナル	4,000,000	3,156,440	ライスターミナル負担金
	土地償還	—	2,175,000	用地取得年賦償還金
	小計	4,000,000	5,331,440	
事務通信費	事務費	—	566,118	キャビネット他 424890円
	通信費	—	225,030	電話料
	小計	—	791,148	
雑費	操業経費	5,200,000	2,097,573	操業にともなう諸経費
	委員会費	—	1,250,631	施設運営委員会日当
	研修費	—	299,597	研修視察経費
	その他	—	875,912	
	小計	5,200,000	4,523,713	
機械更新積立金		5,000,000	11,523,923	
支出合計		83,210,000	97,674,392	
収支差引残高		2,340,000	0	

表 21 雨竜町ライスコンビナート稼働に伴う職員・パート担当配置一覧表

項目	作業内容	勤務時間体制及び交代内容	必要人員			
			職員		パート	
			男	女	男	女
操業責任者	施設稼働状況の監督及び生産者対応	5:00～22:00の17時間2交代	2			
荷受整理担当員	生産者・運搬業者に対する荷受対応及び出荷伝票の確認・各ホッパーへの誘導	5:00～22:00の17時間2交代	2			
			2			
荷受リフト作業員	コンテナのトラック荷降ろし・ホッパー張込作業及びコンテナ貸し出し対応	5:00～8:30の3.5時間早朝 8:30～17:30を基本に毎日			2	
荷受回り掃除員	ホッパー内残量粉掃除及び出荷伝票確認	8:30～17:30を基本に毎日			2	
下見検査担当員	下見検査装置操作及び品位格付入力	5:00～22:00の17時間2交代	2			
自主検査検定員	自主検査での目視判定による品位格付	8:30～17:30を基本に毎日				
自主検査補助員	自主検査パック詰めサンプル整理	8:30～17:30を基本に毎日			1	
主操作盤オペレーター	主操作盤による荷受・乾燥・中抜・粉摺調製製品出荷ライン操作及び施設内貯留数量管理	8:30～8:30の24時間2交代	2			
			2			
荷受モニターオペレーター	荷受データーチェック及び伝票整理	8:30～17:30を基本に毎日 17:30～21:00の3.5時間程度			1	
乾燥水分担当員	日中荷受補助員及び夜間乾燥手動水分測定	8:30～8:30の24時間2交代	2			
乾燥水分補助員	乾燥機よりサンプリングし手動水分測定	8:30～17:30を基本に毎日			1	
粉中抜作業員	粉のコンテナ中抜または荷受・製品出荷作業	8:30～作業終了までの毎日	2			
粉摺調製担当員	粉摺調製機及び屑米再選別機操作監視	8:30～8:30の24時間2交代	2			
持分売渡事務員	個人持分データー集約及び検査売渡経理事務	8:30～17:30を基本に毎日			2	
電算買入事務員	電算入力処理及び米買入電算業務	通常業務と併用				
出荷袋詰作業員	フレコン詰め・紙袋押印・補給またはミシン掛	8:30～17:30を基本に毎日 17:30～21:00の3.5時間程度			3	
出荷リフト作業員	フレコン・紙袋移動及びトラック積み込み	8:30～17:30を基本に毎日			2	
製品運搬業者	フレコン・紙袋を倉庫までトラックで運搬	製品出荷状況による委託				
検査対応担当員	所前検査・施設検査対応及び製品チェック	8:30～17:30を基本に毎日	1			
倉庫対応担当員	個体・フレコン倉入れ積み込み及び雑穀集荷	8:30～17:30を基本に毎日	2		3	
適期下見指導員	刈り取り適期指導及び個体調製下見指導	8:30～17:30を基本に毎日	1			
運搬配車担当員	施設・個体出荷受付及び運搬依頼時の配車	通常業務と併用				
粉穀処理担当員	プレスパンダー操作及び混入資材補給	8:30～8:30の24時間2交代	2			
粉穀運搬作業員	粉穀運搬・堆肥切り返し及び雨竜米の精米	8:30～17:30を基本			1	
稼働人員合計			24	3	8	8

4. まとめ

1999年に操業を開始し、寒冷外気を利用した超低温貯蔵を実施する雨竜町ライスコンビナートで、1999年度産米の稼働運営状況の実態調査を行った。

雨竜町カントリーエレベータでは、水分17%以下の半乾粉の荷受を行い、計画荷受量8,208tの約1.5倍の12,991tの荷受を行った。乾燥後の粉の約6割を期中出荷し、残りの約4割をサイロ貯蔵した。サイロ貯蔵では、12月下旬から2月下旬に順次低温外気による通風冷却を行い、粉を氷点下の温度まで冷却し超低温貯蔵を行った。期中出荷、今摺り米ともに全ての玄米を7月下旬までに販売した。

雨竜町カントリーエレベータの稼働率は158%、地域内農家の利用率は95%であった。雨竜町を事業主体とし、JAきたそらち雨竜支所がカントリーエレベータの運営することにより、運営コストを削減でき、操業初年度において実質的な黒字になり、良好な運営を行っていた。

総 括

1. 北海道における籾貯蔵技術

北海道では1965年と1971年に、米の共同乾燥調製貯蔵施設（籾貯蔵を行うカントリーエレベータ）が2ヵ所に建設された。

しかし当時は、

- ① 貯蔵前の籾の精選別技術が確立されていなかった、
- ② 貯蔵中のサイロ内空間での結露防止技術が未熟であった、
- ③ 貯蔵後の籾摺時において穀温の低い籾に対応する技術が不十分であった、

などの理由により、やがて籾貯蔵を行うことを取りやめた。それ以後、北海道のような寒冷地においてはカントリーエレベータでの籾貯蔵は適さないとされてきた。

そのため1995年までは、北海道における米の共同乾燥施設（共乾施設）は共同乾燥調製施設（籾貯蔵を行わないライスセンタ）が中心であった。

ところが、1995年に食糧管理法が廃止され、新たに新食糧法が施行された。その結果、米の商取引が自由になり産地間競争が一段と厳しくなった。そこで北海道では、米の乾燥調製貯蔵出荷作業の合理化と均質大ロットでかつ高品質な北海道産銘柄米の確立を目指して大規模なカントリーエレベータの建設に着手した。そして1996年秋に北海道上川郡鷹栖町に、当時としては北海道唯一のカントリーエレベータ（上川ライスターミナル）が竣工し、北海道で本格的な籾貯蔵が開始された。

北海道は寒冷地であり、本州以南の各地と比較して籾貯蔵時の環境が異なる。そこで、このような北海道の特徴を考慮したうえで、これを最大限に生かした籾貯蔵を行う北海道独自の新技術確立することを目的に、基礎試験を行い、その上で1996年から1998年に上川ライスターミナルで超低温貯蔵技術（氷点下での籾貯蔵技術）の実用化試験を行った。さらに、1999年から新たに稼動開始した雨竜町カントリーエレベータを利用して、冬期通風冷却による籾の超低温貯蔵技術の実証確認試験を行った。

その結果、北海道のような寒冷地では、冬季の寒冷な外気という自然エネルギーを利用することにより、米を氷点下に冷却することが可能であることが分かった。この新技術は、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。そのうえ低温であるため、米の呼吸や生理活性を抑制し高品質保持が可能であり、同時に貯蔵中の殺虫剤なども不要である。すなわち、寒冷外気を利用した超低温貯蔵は、低コストで省エネルギー、かつ安全に米の高品質保持が可能な新規籾貯蔵技術である。

2. 米の超低温貯蔵技術の普及

北海道においては、米の超低温貯蔵技術の実用化以降、カントリーエレベータの建設が急速に進んでいる。図71に示したように、1996年から2001年末までに22ヵ所の籾貯蔵設備を持つ施設が建設され、約9万9千tの籾貯蔵能力となっている。

1996 年以降に北海道で新たに建設されたカントリーエレベータの一部を，写真 10 から写真 13 に紹介する。

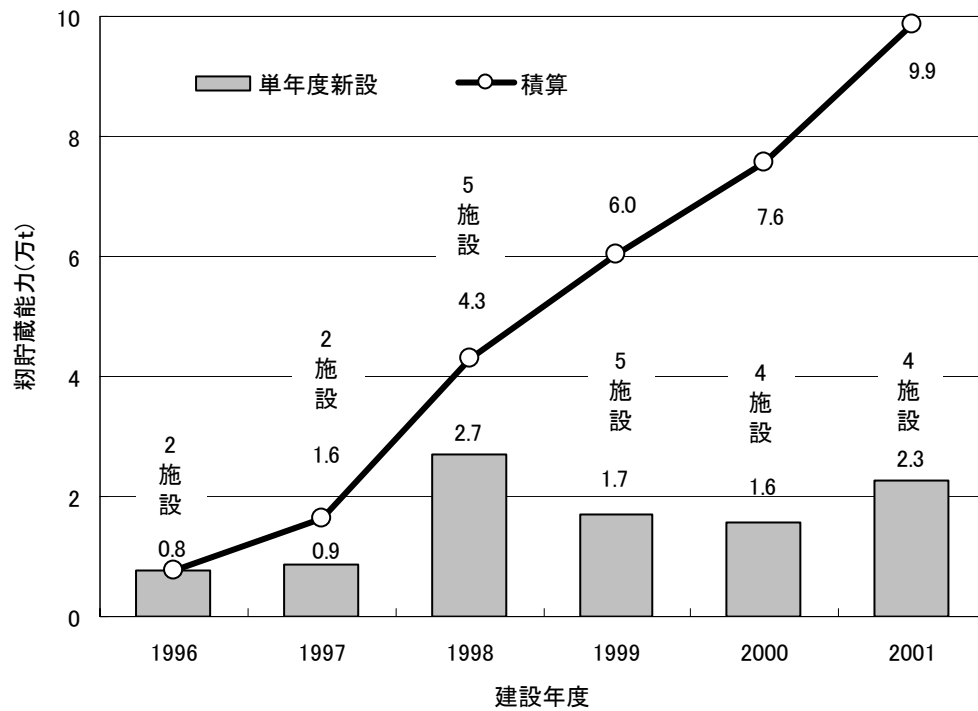


図 71 北海道における貯蔵能力



写真 10 鷹栖町，上川中央部米穀広域集出荷施設（上川ライスターミナル）

左側 1996 年建設，貯蔵能力 5000 t，右側 1999 年増設，貯蔵能力 5000 t



写真 11 栗沢町，超低温貯蔵 未来来る米ステーション，1999 年建設，粳貯蔵能力 3900 t



写真 12 大野町，函館育ちライスターミナル，2000 年建設，粳貯蔵能力 6300 t



写真 13 月形町，こめ工房，2000 年建設，粳貯蔵能力 2400t

3. 北海道産米の品質向上を目指して

「北海道の豊かな自然と広い大地、そして、そこから産み出される新鮮で美味しい農産物」

消費者は北海道の農産物に良いイメージを抱いている。ところが、北海道の農産物の中で品質評価の低い唯一のものが米であった。これは、北海道が寒冷地であるために本州産の米に比較して品質が劣るためであった。

しかしながら、北海道において生産される米は、近年その品質が大きく向上しつつある。

その主な理由として、

- ① 「きらら397」や「ほしのゆめ」に代表される良食味品種の改良、
- ② 適切な栽培管理技術の向上、
- ③ 選別や貯蔵などのポストハーベスト技術の向上、

の三点が挙げられる。その結果、日本穀物検定協会が毎年公開する米の食味ランキングにおいても、きらら397とほしのゆめは、1999年産、2000年産、2001年産いずれもAランクとされている。Aランクは基準米（滋賀県湖南産「日本晴」）より食味が良好な米である。

今後の更なる品種改良、栽培管理技術の向上、ポストハーベスト技術の向上により北海道産米の品質がなお一層向上し、消費者からの評価がますます高まることが期待される。

謝 辞

北海道における新規貯蔵技術の確立と普及は、研究室での基礎研究および、いわゆる現場での実証試験により成された成果である。とくに現場での試験は北海道農業施設協議会が実施したものである。試験にあたっては北海道大学農産物加工工学研究室が中心となり、北海道立農業試験場、専修大学北海道短期大学、全国農業協同組合連合会札幌支所、ホクレン農業協同組合連合会などが連携協力し、さらに農業協同組合や企業など、数多くの機関や組織から多大なる助力を得て行った。北海道における新規貯蔵技術の確立と普及は、このような産官学の連携と、それに携わった数多くの方々の協力により達成された努力の成果であることをここで強調し、関係各機関へのお礼の言葉とする。

また、この新規貯蔵技術に関して以下の各機関からの表彰を受けた。ここに記して謝意を表す。

- 1) 第6回ホクレン夢大賞 研究普及部門 大賞：「寒冷気候を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術の確立と普及」ホクレン農業協同組合連合会，2000年3月3日
- 2) 2001 国際食品工業展 アカデミックプラザ 第3回 FOOMA AP グランプリ：「米は凍らない！－新米の美味しさを保つ超低温貯蔵－」社団法人日本食品機械工業会，2001年5月15日
- 3) 平成13年度 第5回農業機械学会 北海道支部 支部賞：「北海道における米のポストハーベスト技術に関する研究」農業機械学会北海道支部，2001年7月12日

なお、この報告書は川村周三（北海道大学 大学院農学研究科 農産物加工工学研究室）が取りまとめた。

参考文献

- 1) 川村周三：北海道の冬の冷気を利用した超低温貯蔵米で消費者にアピールをー北海道は「米穀の備蓄」基地としても最適な自然環境ー，ニューカントリー，498号，P73-75，1995
- 2) 川村周三，夏賀元康，河野慎一，谷口健雄，藤倉潤治：北海道産米の品質向上を目指してーポストハーベストテクノロジーの新しい試みとその応用ー，農業機械学会北海道支部会報，36号，P65-71，1996
- 3) カントリーエレベータ北海道仕様確立試験報告書，北海道農業施設協議会，P1-51，1997
- 4) Kawamura, S., M. Natsuga, S. Kouno, and K. Itoh: Super-low Temperature Storage for Preserving Rice Quality. (米の品質保持のための超低温貯蔵), *Proceedings of the Joint International Conference on Agricultural Engineering & Technology*, Dhaka, Volume III, P820-824, 1997
- 5) 川村周三，夏賀元康，河野慎一，伊藤和彦：寒冷気候を利用した米の貯蔵（第1報）ー超低温貯蔵による米の品質保持ー，農業機械学会第56回大会 講演要旨，P129-130，1997
- 6) 樋元淳一，川村周三，伊藤和彦：寒冷気候を利用した米の貯蔵（第2報）ー実用施設における籾貯蔵ー，農業機械学会第56回大会 講演要旨，P131-132，1997
- 7) 竹倉憲弘，沼田典夫，川村周三，伊藤和彦：寒冷気候を利用した米の貯蔵（第3報）ーカントリーエレベータでの自然放冷による籾貯蔵ー，農業機械学会第57回大会 講演要旨，P179-180，1998
- 8) 沼田典夫，竹倉憲弘，川村周三，伊藤和彦：寒冷気候を利用した米の貯蔵（第4報）ーカントリーエレベータで貯蔵した籾の品質ー，農業機械学会第57回大会 講演要旨，P181-182，1998
- 9) 竹倉憲弘，沼田典夫，小河健伸，川村周三，伊藤和彦：寒冷気候を利用した米の貯蔵（第5報）ーカントリーエレベータでの冬期通風冷却による籾貯蔵ー，農業機械学会第58回大会 講演要旨，P179-180，1999
- 10) 川村周三，竹倉憲弘，沼田典夫，小河健伸，伊藤和彦：寒冷気候を利用した米の貯蔵（第6報）ー冬期通風冷却により貯蔵した籾の品質および寒冷気候を利用した米の貯蔵に必要な設備の検討ー，農業機械学会第58回大会 講演要旨，P181-182，1999
- 11) 北海道における籾貯蔵技術の確立，北海道農業施設協議会 試験結果報告会資料，P1-35，1999
- 12) 寒冷気候を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持，ホクレン農業協同組合連合会，北海道米販売拡大委員会 発行，P1-12，1999
- 13) 川村周三：低温外気を利用した米の新規貯蔵法，Hokkaido Technology Fair「農業技術セミナー」北海道の寒冷気候を利用した新しい農産物貯蔵法，日本工業新聞社，P1-12，1999
- 14) Kawamura, S., K. Takekura, N. Numata, T. Ogawa, K. Itoh: Rice Storage below Ice Point Using Natural Coldness to Preserve Its Quality. (自然冷気を利用した氷点下の貯蔵による米の品質保持), *1999 ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting*, Toronto, Ontario Canada, Paper No. 996044. P1-10, 1999
- 15) 北海道における籾調製貯蔵技術（バラ籾調製・貯蔵技術の確立），北海道農業試験会議資料，P1-90，2000

- 16) 小河健伸, 竹倉憲弘, 川村周三, 伊藤和彦: 籾の水分と凍結傷害および凍結温度, 農業機械学会第59回大会 講演要旨, 193-194, 2000
- 17) Kawamura, S., K. Takekura, T. Ogawa, K. Itoh: Long Term Storage of Rough Rice below Ice Point. (氷点下における籾の長期貯蔵), *2000 ASAE Annual International Meeting*, Milwaukee Wisconsin USA, Paper No. 006041. P1-9, 2000
- 18) 北海道における新規籾貯蔵技術の確立—貯蔵のための籾精選別システムおよび寒冷気候を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術—, 北海道農業施設, P1-72, 2000
- 19) 川村周三: 超低温貯蔵で新米のおいしさ長期保存, 現代農業, 79(12), P126-130, 2000
- 20) 伊藤和彦, 川村周三, 樋元淳一, 竹倉憲弘: 米は凍らない! — 新米の美味しさを保つ超低温貯蔵, 2001 国際食品工業展アカデミックプラザ研究発表要旨集 Vol. 8, P17-20, 2001
- 21) Kawamura, S., K. Takekura, K. Itoh: Development of On-farm Storage Technique for Rice at Temperature below Ice Point Using Ambient Naturally Cold Air in Winter. (冬季寒冷外気を利用した米の氷点下貯蔵技術の開発) *2001 ASAE Annual International Meeting*, Sacramento, California USA, Paper No. 01-6114, P1-10, 2001
- 22) Kawamura, S., Takekura, K., Itoh, K.: Rice Storage Controlled at Temperature below Ice Point for Preserving High Quality. (高品質保持のための米の氷点下貯蔵) *IFAC/CIGR 3rd Workshop on Control Application in Post-harvest and Processing Technology*, Tokyo, Japan, P101-106, 2001
- 23) 竹倉憲弘, 川村周三, 小河健伸, 伊藤和彦, 竹中秀行, 原令幸: 寒冷外気を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術の開発 (第1報) — 冬期通風冷却によるサイロ貯蔵と品質 —, 第60回農業機械学会年次大会 講演要旨, P467-468, 2001
- 24) 川村周三, 竹倉憲弘, 小河健伸, 伊藤和彦, 竹中秀行, 原令幸: 寒冷外気を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術の開発 (第2報) — サイロ内の温度差が品質に与える影響 —, 第60回農業機械学会年次大会 講演要旨, P469-470, 2001
- 25) 川村周三: 北海道における米のポストハーベストに関する研究, 農業機械学会北海道支部会報, 42, P1-7, 2002



北海道農業施設協議会

会長 伊藤和彦（北海道大学農学研究科教授）

北海道立中央農業試験場（農業機械科）
専修大学北海道短期大学（農業機械科）
北海道大学（農学研究科農産物加工工学研究室）
全国農業協同組合連合会札幌支所（施設資材課）
ホクレン農業協同組合連合会（施設課，財務課）

北海道農業施設
特別号

北海道における新規籾貯蔵技術の確立と普及

寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵
カントリーエレベータの稼動運営状況の調査

Journal of the Agricultural Structures of Hokkaido
Special Issue

Development and Extension of Novel Techniques for Storing Rough Rice in Hokkaido

On-Farm Storage Techniques for Rough Rice at Temperature below Ice Point
(i.e. Super Low-Temperature Storage) Using Aeration of Fresh Chilly Air in Winter

Investigations on Operation and Management of a Grain Elevator in Hokkaido

Agricultural Structures Council of Hokkaido
Sapporo 060 8651, Japan, 2002

発行年月日	平成 14 年(2002 年)4 月
発行機関	北海道農業施設協議会
事務局	〒060-8651 札幌市中央区北 4 条西 1 丁目 ホクレン資材事業本部 施設資材部施設課 電話 011-232-6165
印刷所	(株)千修アイテム 電話 011-752-2555
