

# 共乾施設の新技術設備に関する検証研究

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

博士（農学）学位論文

土方 享

## 目次

第1章 序論 .....	1
1-1 農業と消費をめぐる情勢 .....	1
1-1-1 農業従事者の高齢化・世代交代 .....	2
1-1-2 生産基盤の変化と現状 .....	2
1-1-3 生産規模の拡大 .....	4
1-1-4 生産と販売の集中化 .....	6
1-1-5 外国人による労働力の確保 .....	7
1-1-6 消費構造の変化 .....	8
1-1-7 制度・政策の変化 .....	9
1-2 農業施設を取り巻く情勢 .....	9
1-2-1 稲作における共同利用施設の設置 .....	9
1-2-2 共乾施設の設置状況 .....	11
1-2-3 共乾施設の課題 .....	13
1-2-4 共乾施設をとりまく環境の変化と課題 .....	16
1-3 本検証研究の目的 .....	18
第2章 多品目対応型自主検定装置の性能調査 .....	19
2-1 はじめに .....	19
2-2 供試検定装置および方法 .....	20
2-2-1 供試機の概要 .....	20
2-2-2 検証試験および試験条件 .....	22
2-2-3 測定方法 .....	23
2-3 結果と考察 .....	24
2-3-1 供試原料の基本物性と組成 .....	24
2-3-2 装置の計量精度 .....	26
2-3-3 自主検定装置の選別精度 .....	28
2-3-4 ニュートン効率 .....	31
2-3-5 処理能力 .....	33
2-4 結論 .....	34
第3章 省スペース型循環式乾燥機の実稼働性能調査 .....	36
3-1 はじめに .....	36
3-2 供試乾燥機および方法 .....	37

3-2-1	供試乾燥機の概要 .....	37
3-2-2	検証試験および試験条件.....	41
3-2-3	測定項目 .....	41
3-3	結果と考察 .....	44
3-3-1	張込み量と乾燥時間.....	44
3-3-2	水分と毎時平均乾減率 .....	44
3-3-3	温度・湿度 .....	45
3-3-4	穀温 .....	47
3-3-5	送風機性能・風量比.....	48
3-3-6	循環量.....	49
3-3-7	燃料および電気消費量 .....	50
3-3-8	品位 .....	52
3-3-9	経済評価 .....	53
3-4	結論 .....	53
第4章 OEM 遠赤外線乾燥機の実稼働性能調査 .....		55
4-1	はじめに .....	55
4-2	供試乾燥機および方法 .....	56
4-2-1	供試乾燥機の概要 .....	56
4-2-2	検証試験および試験条件.....	60
4-2-3	測定項目 .....	61
4-3	結果と考察 .....	64
4-3-1	乾燥時間 .....	64
4-3-2	水分と毎時平均乾減率 .....	64
4-3-3	温度・湿度 .....	64
4-3-4	穀温 .....	68
4-3-5	送風機性能・風量比.....	68
4-3-6	循環量.....	69
4-3-7	燃料および電気消費量 .....	70
4-3-8	品位 .....	72
4-4	まとめ.....	73
第5章 サイロ冷却システムの実稼働性能調査.....		75
5-1	はじめに .....	75
5-2	供試設備および方法.....	76

5-2-1 供試システムの概要.....	76
5-2-2 検証試験および試験条件.....	79
5-2-3 測定項目.....	80
5-3 結果と考察.....	82
5-3-1 供試粉量と冷却時間.....	82
5-3-2 外気温度・湿度、冷却空気温度・湿度.....	84
5-3-3 穀温.....	87
5-3-4 冷却速度.....	88
5-3-5 送風量.....	89
5-3-6 水分.....	90
5-4 まとめ.....	92
第6章 総合考察.....	94
6-1 はじめに.....	94
6-2 汎用型自主検定装置の能力検証.....	96
6-3 省スペース型循環式乾燥機の能力検証.....	99
6-4 OEM 遠赤外線乾燥機の能力検証.....	101
6-5 サイロ冷却システムの性能検証.....	104
Summary.....	108
参考文献.....	112
謝 辞.....	120

## 図表一覧

- 図 1- 1 農業従事者の年齢構成と全産業の年齢階級別就業者数
  - 図 1- 2 耕地面積と耕作放棄地の推移
  - 図 1- 3 一定規模以上の販売農家数と全販売農家数の推移
  - 図 1- 4 販売金額規模と経営体数・総販売額の関係
  - 図 1- 5 農業分野・食品製造業分野における外国人研修生等の推移
  - 図 1- 6 米の購入動向
  - 図 1- 7 静置型乾燥機を用いた RC の例
  - 図 1- 8 施設の設置数と累積割合の推移
  - 図 1- 9 水稻作付面積と共乾施設の普及率の推移
  - 図 1-10 気温の旬別平均気温と平年値との差（2010 年）
- 
- 図 2- 1 供試自主検定装置
  - 図 2- 2 供試装置の処理フロー
  - 図 2- 3 供試原料（粳）の組成と質量
  - 図 2- 4 供試原料（大豆）の組成と質量
  - 図 2- 5 装置出力値とサンプルパック内試料測定結果の関係（玄米の整粒歩合及び屑粒率）
  - 図 2- 6 供試機出力結果とサンプルパック内試料実測結果の関係（玄米）
  - 図 2- 7 玄米を対象としたふるい分け測定結果と装置出力の関係（上段；整粒歩合, 下段；屑粒率）
  - 図 2- 8 大豆の装置出力結果とふるい分け測定結果の関係（上段；大粒, 中段；中粒, 下段；小粒）
  - 図 2- 9 玄米・小麦のふるい分け試験による整粒歩合とニュートン効率の関係
  - 図 2-10 大豆のニュートン効率と各パックの目的品回収率の関係
- 
- 図 3- 1 供試乾燥機概要
  - 図 3- 2 供試乾燥機と従来機の乾燥機投入部及び排出部の比較
  - 図 3- 3 温度・湿度・風速・静圧測定点
  - 図 3- 4 乾燥時の各部温湿度の変化（端量運転時）
  - 図 3- 5 乾燥部の温度変化（端量運転時）
  - 図 3- 6 水分と穀温の変化（端量運転時）
  - 図 3- 7 電力量と燃料消費量の変化（満量運転時）

- 図 4- 1 供試乾燥機概要
- 図 4- 2 乾燥部模式図
- 図 4- 3 乾燥機内温湿度測定位置
- 図 4- 4 乾燥時の吸入空気・排風温湿度の変化（満量区）
- 図 4- 5 熱風胴各部の温度変化（満量区）
- 図 4- 6 乾燥時の水分と穀温の変化（満量区）
- 図 4- 7 電力量と燃料消費量の変化（満量区）
  
- 図 5- 1 サイロ冷却システムの概要
- 図 5- 2 冷却装置の概要
- 図 5- 3 温湿度測定位置
- 図 5- 4 穀層表面の計測用網袋
- 図 5- 5 冷却運転時の外気・冷却空気・排気の温湿度（Ⅲ区）
- 図 5- 6 冷却運転時のサイロ内の温度変化（Ⅲ区）
- 図 5- 7 ルーバからの堆積量と目標とする温度に到達した時間の関係（Ⅲ区）
- 図 5- 8 冷却時間とサイロ内表層の水分変化の関係
  
- 表 2- 1 試験条件
  
- 表 3-1 供試乾燥機的主要仕様
- 表 3- 2 風量・風量比
- 表 3- 3 除水量と投入エネルギー
- 表 3- 4 組成分析結果
  
- 表 4- 1 供試乾燥機的主要仕様
- 表 4- 2 風量・風量比
- 表 4- 3 除水量と投入エネルギー
- 表 4- 4 組成分析結果
  
- 表 5- 1 冷却装置的主要仕様
- 表 5- 2 運転経過
- 表 5- 3 風量と静圧

## 第1章 序論

食糧の生産と確保は生物がその生命を維持するために必要な営みである。農業は主として食糧の生産を目的とした産業であり、必要とされる量と品質を合理的かつ経済的に確保することは世界的にも歴史的にも課題となってきた。

わが国も昭和年代から2つの世界大戦を経て食糧難を経験した先達は一貫して食糧増産にとりくんできた。特に主食である水稲作の労働負荷軽減と増産は当時の重要な課題であり、田植機の開発・コンバインの開発は、これに大きく貢献し、今なおその位置づけは変わっていない。

また、作業の合理化が進んだ水田農業は、労働力の軽減効果による余剰労働力が工業製品を作り出す人員の供給源にもなっていた。高度成長期におけるわが国の経済発展の背景には農作業の効率向上があり、これに農業機械が寄与してきたことは異論の余地が無いと考えられる。

その中で、コンバインの組織的な利用と大型の乾燥機機械設備を共同利用する形態の組合せは収穫・乾燥・調製・貯蔵に至る工程における省力化をさらに進めたものとなっていると考えられている。

一方、最近の農業情勢として、農業者の高齢化、耕作放棄地の増加、消費構造の変化などが指摘されている。これらを背景として、近年は共同利用施設の課題も施設設置の普及期とは異なるものとなっていると考えられる。本章では、農業と消費をめぐる情勢、稲作の省力化と共乾施設の普及、最近の共乾施設がもつ課題を提示し、その対策として開発された複数の技術について調査・検証した本研究の背景を述べる。

### 1-1 農業と消費をめぐる情勢

わが国の農業は生産基盤の現状として、農家戸数の減少、農業者の高齢化、生産規模の大規模化、耕作面積の減少、耕作放棄地の増加等が指摘されている。また、世界的な食糧不足が懸念される一方で、国内の食品の消費構造は、消費量の減少、加工食品の増加などその内容が変化している。

ここでは生産者の年齢構成、生産基盤として耕作面積、販売額規模でみた経営体数の分布、外国人労働力の導入傾向について俯瞰した。その結果、生産者の高齢化に伴い耕作放棄地は増加傾向にあること、経営規模は大型化している傾向にあること、少数の高販売額の生産者の販売額合計が全体販売金額の大きな割合を占めること、外国人労働力の農業への投入は年ごとに増加傾向にあること、これは農村地区の人手不足が背景にあることが想定されることと、などが確認された。

### 1-1-1 農業従事者の高齢化・世代交代

農業従事者の年齢構成と一般産業に従事する労働者の年齢構成を図 1-1 に示す。図の左側には農林水産省農業動態調査(2014)にもとづく農業従事者数を、同図の右側には総務省労働力調査(2014)から全産業をあわせたわが国の全就業者の年齢構成を示した。

図の左側によると基幹的農業従事者<sup>\*1</sup>の年齢構成は、70歳以上の世代が農業従事者<sup>\*2</sup>総数の約半数(47%)を占めている。この世代が現在のわが国の農業を支えているといっても過言ではない。右側に示した全就業者の年齢構成では、70歳以上の就業者数は、全就業者数の5%であり、先に示した基幹的農業従事者のそれを大きく下回っている。農業に定年は無いとされていることも一因であろうが、国内の全産業から見ると農業就業者の高齢化は非常に進んでいると考えられる。また、農業従事者の50歳台および40歳台の合計で約3割(29%)あることからこれらの世代への世代交代の促進が重要となると考えられる。(たとえば、内田(2008)は、50歳台の農業経営者の割合は、70歳台の基幹的農業従事者と拮抗しており、潜在的な次世代が総数として存在すること、この状況は地域によって大きく異なること、農協組合員である農業経営者は高齢傾向が強いこと、世代交代の重要性を提唱している。)

### 1-1-2 生産基盤の変化と現状

次いで生産基盤として耕地面積と耕作放棄地の近年の動向を述べる。耕地面積は農産物の生産力を直接的に現す指標の一つであることから取り上げるものである。

図 1-2 の耕地面積と耕作放棄地の推移によれば、耕地面積は減少傾向にあり、耕作放棄地は増加傾向にある。2010年の経営耕地面積は、田が1794千ha、畑が1193千ha、樹園地が204千ha、合計3354千haであった。1990年は経営耕地が4361千haであったことからそれぞれ1990年と2010年を対比すると、20年間で経営面積は2割減となっている。

耕作放棄地は2010年で総合計396千haとなっている。その内訳は、農家合計で214千ha、土地持ち非農家分181千haである。農家分は、田・畑がそれぞれ52千ha、樹園地17千haとなっている。1990年は耕作放棄地が212千haであったことから1990年と2010年を対比すると、20年間で放棄地は8割増となった。

\*1 「基幹的農業従事者」とは、農業就業人口(自営農業に主として従事した世帯員)のうち、ふだん仕事として主に自営農業に従事している者をいう。

\*2 「農業従事者」とは、15歳以上の世帯員のうち、調査期日前1年間に1日以上自営農業に従事した者をいう。



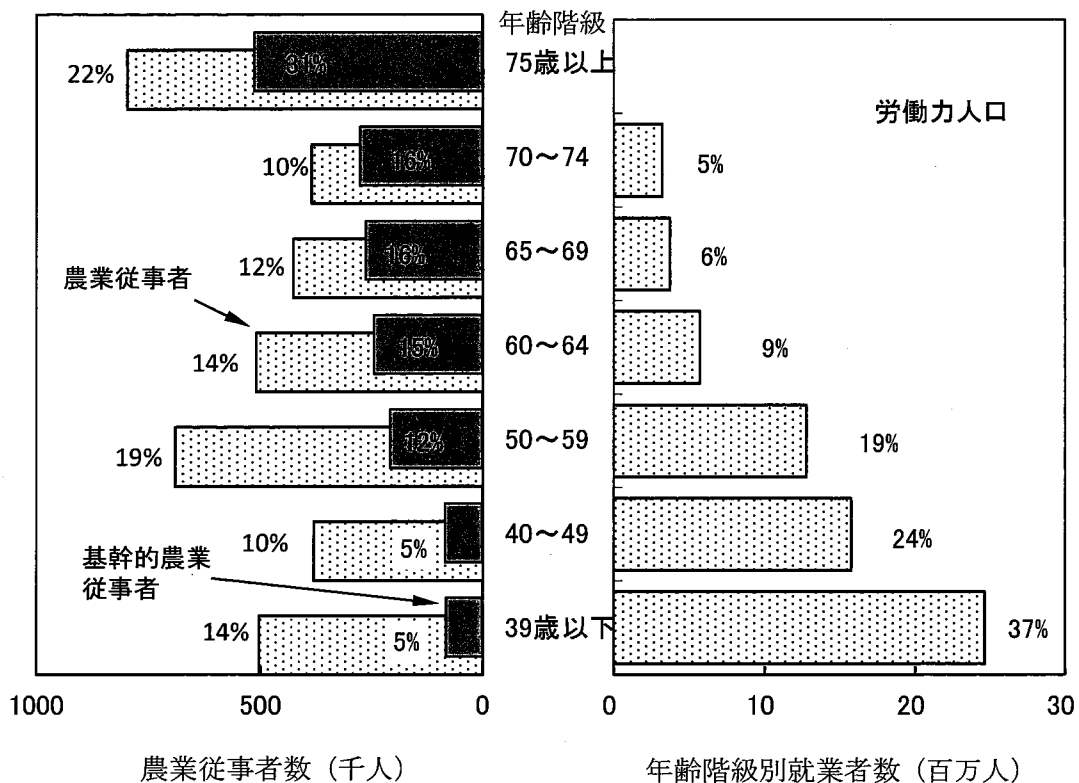


図 1-1 農業従事者の年齢構成と全産業の年齢階級別就業者数 (2014)

図中の数値は全ての農業従事者数・基幹的農業従事者数・全就業者数に対する各階級の割合 (%) を示す。

労働力人口の区分 70~74 歳欄は、70 歳以上を示す。

(農林水産省「農業構造動態調査平成 26 年度」、総務省統計局「労働力調査平成 26 年次」より)

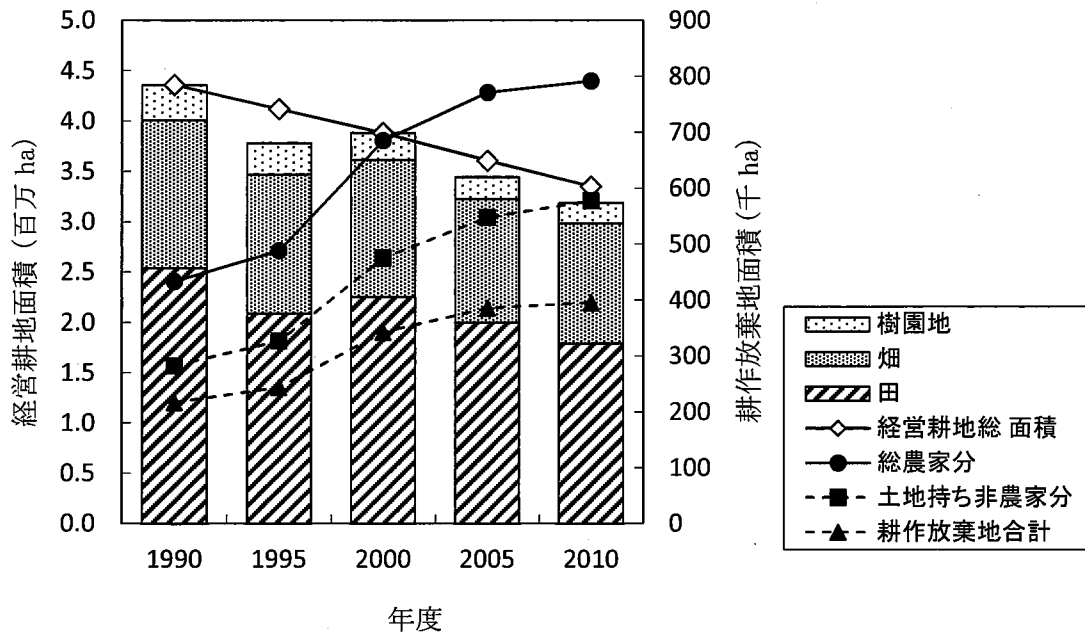


図 1-2 耕地面積と耕作放棄地の推移

- 注：1) 「農家」とは、経営耕地面積が 10 a 以上又は農産物販売金額が 15 万円以上の世帯をいう。
- 2) 「土地持ち非農家」とは、農家以外で耕地及び耕作放棄地を 5 a 以上所有している世帯をいう。
- 3) 「耕作放棄地」とは、以前耕地であったもので、過去 1 年間以上作物を栽培せず、この数年の間に再び耕作するはっきりとした考えのない土地をいう。

(農林水産省「農林業センサス」1995・2000・2005・2010 年度より)

### 1-1-3 生産規模の拡大

一定規模以上の販売農家数の推移を全体数の推移と重ねて検討したものが図 1-3 である。これによると、販売農家総数は減少傾向にあるが、大規模販売農家は増加傾向にあり、明らかに大規模化が進んでいると考えられる。

これは、都府県における販売農家数が 2013 年時は 1990 年の 49 %、北海道では同様に 46 %となっていることから、2013 年の販売農家数が 1990 年時に

対して半減していること、一方で府県における 5 ha 以上の販売農家数は 2013 年の 1990 年対比が 2.5 倍、北海道における 50 ha 以上の販売農家数は同年比で約 2 倍になっていることによる。

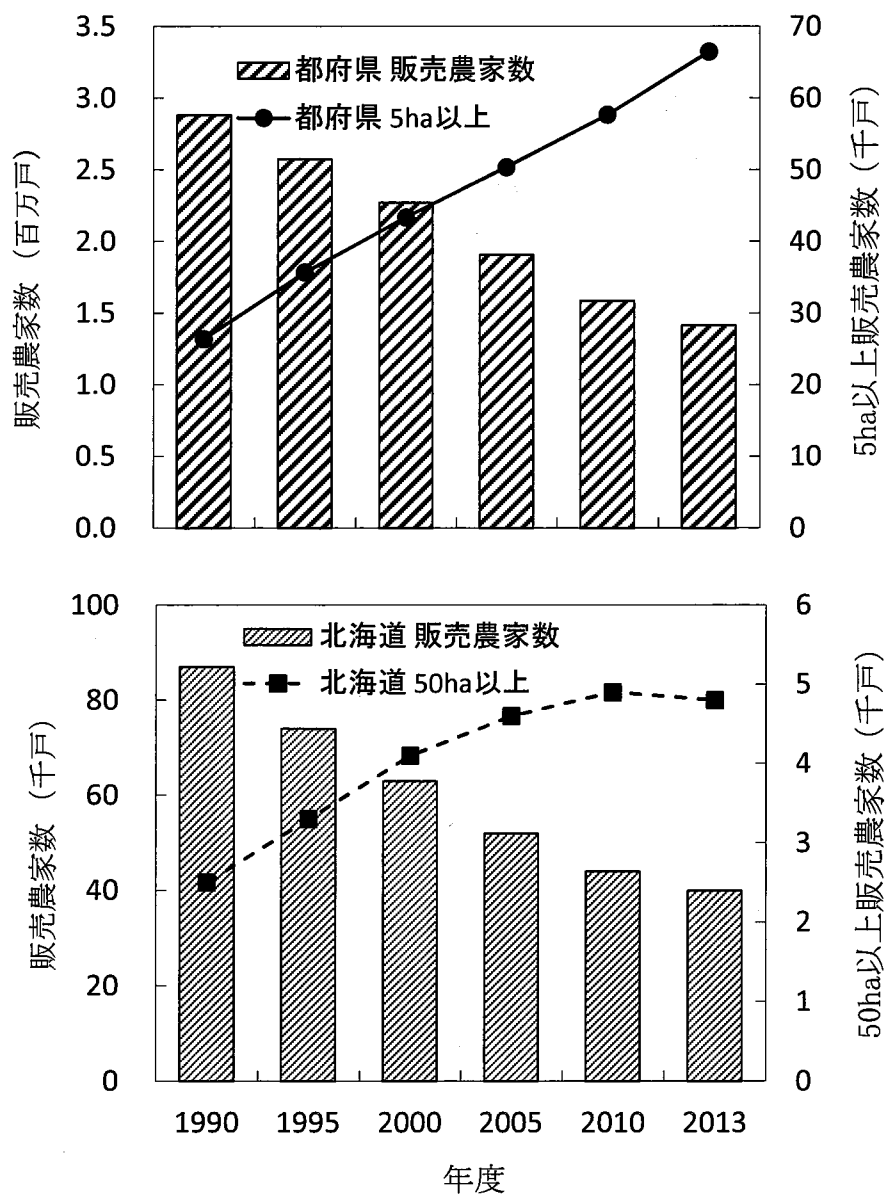


図 1-3 一定規模以上の販売農家数と全販売農家数の推移

上段：都府県・下段：北海道

(農林水産省「農業構造動態調査」2000年・2010年・2013年版より)

### 1-1-4 生産と販売の集中化

農産物の販売金額の総体に大きく影響しているのは、小数の販売金額が高い経営体によるものと考えられる。

2010年の世界農林業センサスにおける「農産物販売金額規模別経営体数」では、合計1679千経営体を販売金額によって一定の区分で分け、その区分ごとに該当する経営体数が示されている。

図1-4は、区分された販売金額の中央値とその区分の経営体数の積から当該区分ごとの総販売額を参考値として算出し、販売金額の規模が高い順に並べたものである。その結果、参考総販売額が高い販売経営体は、金額2千万～3億円および1千万～1千5百万円を販売する規模であり、この5区分の参考販売金額の合計は3兆5千億円となった。販売金額の総合計が6兆7890億円であることから、この5つの区分で全体の5割を占めている。その部分の経営体数は、244千経営体であり、これは経営体数合計1679千経営体の約15%に相当する。すなわち、2割に満たない高額販売経営体の総販売額が全経営体の販売額の過半を占める結果となっている。

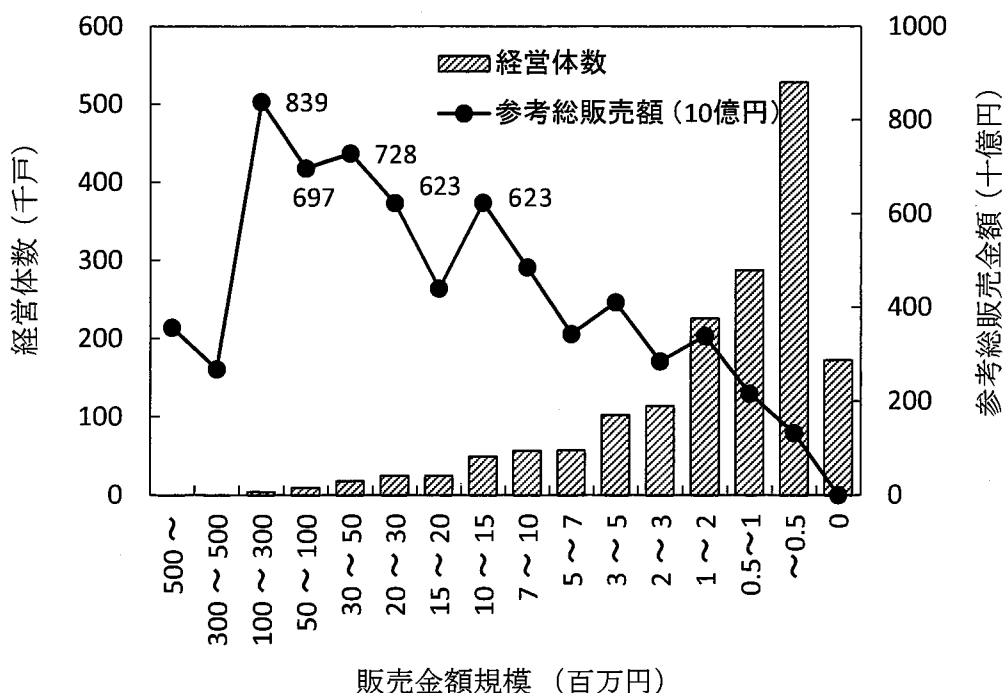


図 1-4 金額規模と経営体数・総販売額の関係

(農林水産省「世界農林業センサス」(2010年)より)

販売金額が高い経営体は小数であるが、それら経営体による販売額の合計は総販売額の太宗を占める、という状況を示している。

### 1-1-5 外国人による労働力の確保

生産者の高齢化に伴い、法人化や協業組織の増加傾向にあることは先に述べた。耕作放棄地が増加傾向にある一方で、経営体当りの耕作面積も増加傾向にあり、農地の貸借や作業委託が活発化していることが考えられる。

しかし地域の担い手も「人手不足」により面積拡大が十分にできない現状も同時に聞かれる（(公社)日本農業法人協会(2015)）。人手不足の解消の方法の一つに外国人労働力の活用があるが農業分野への参入数が増加傾向にあることもこのことを裏付けていると考えられる。

図 1-5 に「農業および食品製造分野の外国人研修生数」の変化を示した。2001年には3,516人であった農業分野の研修生数は2005年には6,606人となり、2001年の1.9倍となっている。この傾向は食品製造分野についても同様となっている。また、研修生として来日し、技能実習への移行（最長3年間の滞在）を申請した者は、平成2005年に2,758人となった。これは平成2001年の5.4倍に急増している。

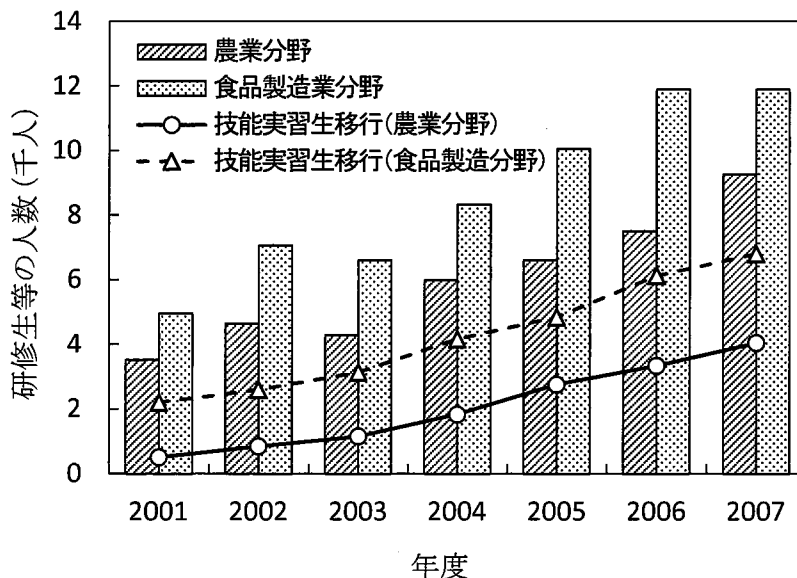


図 1-5 農業分野・食品製造業分野における外国人研修生等の推移

(農林水産省「食糧・農業・農村白書 平成18年」より)

### 1-1-6 消費構造の変化

消費構造のうち、米について取り上げたものが図 1-6 である。米の消費が減退基調にあるが、スーパー等で精米として消費される「家計消費」は減少し、外食や弁当・惣菜等の形態で提供される中食での米需要の割合が 1990 年代から 5 割を超え、伸長している。これは消費という観点からみると米を「精米」から購入して買う形態よりも、外食や弁当・惣菜として消費者の口に入る割合が増加している傾向にあることを示している。

家計消費における購入元は、スーパーマーケットから、とする人が過半を占めるが、インターネットからの購入も 2011 年度から増加し、2014 年度では 1 割程度を占めるなど、購入源が多様化する傾向がみられる（米穀安定供給確保支援機構（2014））。

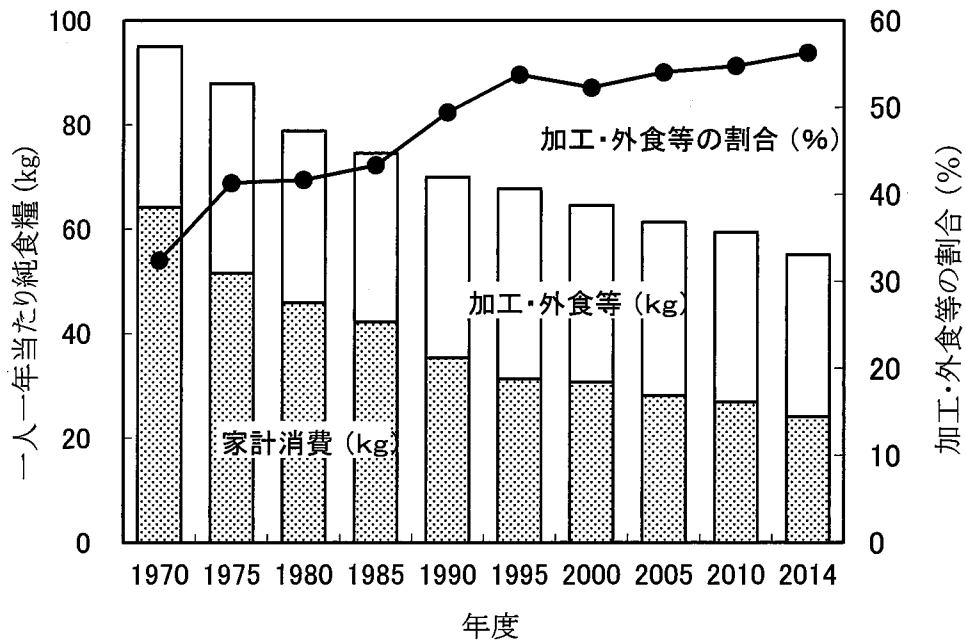


図 1-6 米の購入動向

（米穀安定供給確保支援機構「米の家庭内消費、加工・外食等消費別の消費量の変化（平成 2～平成 26 年）」より）

### 1-1-7 制度・政策の変化

米の生産調整は、需給ギャップの段階的な解消を図り稲から他作物への作付転換を推進する目的で1971年に発足した。1978年からの「水田利用再編対策」では自給率の向上の必要が高い大豆、麦への転作を推進し、2000年には食糧・農業・農村基本法の成立を受け、需要に応じた米の計画的生産を目的として、麦・大豆に加え飼料用作物の作付けを本格的に推進する制度となった。1995年の食糧管理法廃止と食糧法の制定、2004年の食糧法改正によって、計画流通制度が廃止され、原則として流通規制が撤廃された。こうして政府による米の買い入れは備蓄米のみで行われ、基本的に廃止された。

これに連動して全国一律の転作推進を転換し、地域の工夫による生産調整を図ることとして産地づくり対策が実施されている（農林水産省（2008））。2010年度からは「農業者戸別所得補償制度」として販売価格が生産費を恒常的に下回っている作物について差額を交付すると共に、麦・大豆への転作を推進する制度が実施されている。この制度は2013年度から「経営所得安定制度」として継続されているが、2018年度までにこれらの米の直接支払い制度は廃止されることとなっている。

## 1-2 農業施設を取り巻く情勢

このような背景にあるなか、農業共同利用施設の設置普及の背景や役割を述べ、最近の設置状況やそのおかれている課題を考える。

### 1-2-1 稲作における共同利用施設の設置

穀物の乾燥は古くから地干し・はざ掛け・棒掛け・蕤干しなどの自然乾燥が行われていたが、収穫期に天候不順な地域では乾燥不良による品質事故が絶えなかったとされている。国は穀物の品質の向上を目的として1925年から、穀物火力乾燥機の共同設置に対する半額補助を行って設置を奨励した。その結果、1950年代後半には乾燥機を複数台併置し、粳摺り機を組み合わせた簡易な米麦共同乾燥調製施設（ライスセンタ；以下「RC」と記す。図1-7）が普及した。

1961年に農業基本法が制定され、農業構造改善事業が発足した。その中で大型機械による農業合理化の一環として共乾施設が取り上げられ、従来の小規模な施設に代わってコンバインによる刈り取りを前提とした大規模施設が設置されるようになった。しかし、RCは乾燥作業と同時に粳摺り・調製を行うことから作業を合理化する点で課題があった。大量の穀物を早く安全に処理する、省力化施設の開発に対する要求が高まっていたのである。このような背景からア

アメリカで普及していた米麦共同乾燥調製貯蔵施設（カントリーエレベータ；以下「CE」と記す）をわが国に導入することとし、当時の農林省農産課が中心となって導入に向けた検討が図られることになった。

CEの特徴は、①サイロを用いて半乾貯留を行う2段乾燥によって乾燥機の能力を小さくできること、②ばら粳貯蔵することから粳摺り・調製が荷受期間後にできること③貯蔵粳は出荷の指示の都度、粳摺り調製できることから今摺り米などの品質のよい米の出荷が可能であること、④ばら出荷による流通の合理化が可能なこと、等であった。

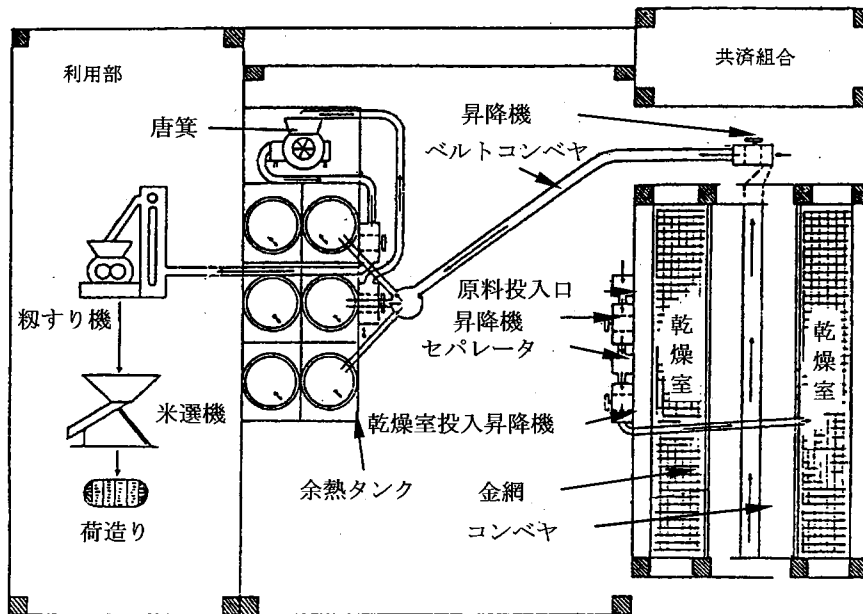


図 1-7 静置型乾燥機を用いた RC の例  
(海老沢 (1992) より)

連続流下式乾燥機を採用し、1000 t 規模でばら粳貯蔵するモデルプラント 3 基が建設されたのは 1964 年である。この頃の乾燥方法は、一次乾燥で生粳 24 % w. b. を 1 パスで 18 % w. b. まで乾減し、テンパリング後当日中に二次乾燥を行う方式であった。しかしこの方式では胴割れ米が多発し、その後の仕様見直しにおいて流量を下げた 3 %/パスとし、パス回数、テンパリング時間を増やすこと、



間隙サイロを利用したテンパリングの実施等が検討された。

1970年に「カントリーエレベーター標準仕様研究会」が農林省（農政局，食糧庁，技術会議），関係団体（全国米麦改良協会，全中，全販連）および学識経験者で組織された。ここでの検討結果が国の通達となり，これに基づいて施設が建設されるようになった。その内容は「標準仕様」と呼ばれ，この時点で連続流下式乾燥機の通過時間は30分とし，風量比 $0.25\text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ ，穀温 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 以下とすること等の基本事項が定められた。

1975年の改正において貯蔵乾燥ビンを併設したCEが標準仕様に加わった。この背景には1973年（昭和48年）に農林水産省が開催した「貯蔵乾燥方式確立のための検討会」の検討成果がある。検討成果として当時の農業機械化研究所の研究成果からまとめられた「風量比と静圧の関係図」，「品質を保持するために必要な推定風量比」および「風量比と乾減水分」などが示されたが，これらはドライストアを設計するのに必要不可欠であり，現在でも設計のための基礎数値となっている。

1984年には麦を対象とした仕様の明確化や荷受変動が大きい地域への対応を図ることから乾燥工程前の処理として貯留タンクを有する方式，貯留乾燥ビンを有する方式など複数の方式を設けるなどの改正がなされた。

その後循環式乾燥機の導入（1992年），貯蔵乾燥方式の導入（1993年）も認められた。2005年の通知の改正により籾殻混合乾燥方式，サイロ冷却装置などが加えられた。

このように，農林水産省と乾燥機メーカー各社，全国農業協同組合連合会（以下，本論文では全農という）等はCEの設置基準の作成にあたり，アメリカにおける施設の仕様をわが国へ導入普及する検討を重ね，最善と考えられる仕様として設定し，現在に至っている。

### 1-2-2 共乾施設の設置状況

2014年のCEの設置総数は全国で約770基，RCは3700基とされている（図1-8）。施設の受益面積総合計を総作付面積1701千ha（2005年）で除した共乾施設普及率は，27.8%である。これを示した図1-9によれば，CEの約9割は15年経過，RCの約9割は20年経過しているとみられる。

共乾施設のうち，特にCEの設置目的は，その普及の当初から，①乾燥調製作業の合理化，②貯蔵の合理化，③高品質，大量均質な米麦の供給④検査の合理化⑤流通の合理化にある，とされてきた。RCも貯蔵機能が無いことを除けばCEとほぼ同様の機能を有している。

昨今では，生産体系や販売環境の変化に応じ，①小ロット，多品種対応②トレーサビリティ対応③コンタミ対策④新用途米（飼料米等）対応ラインの設置

等新たな機能を求められている。

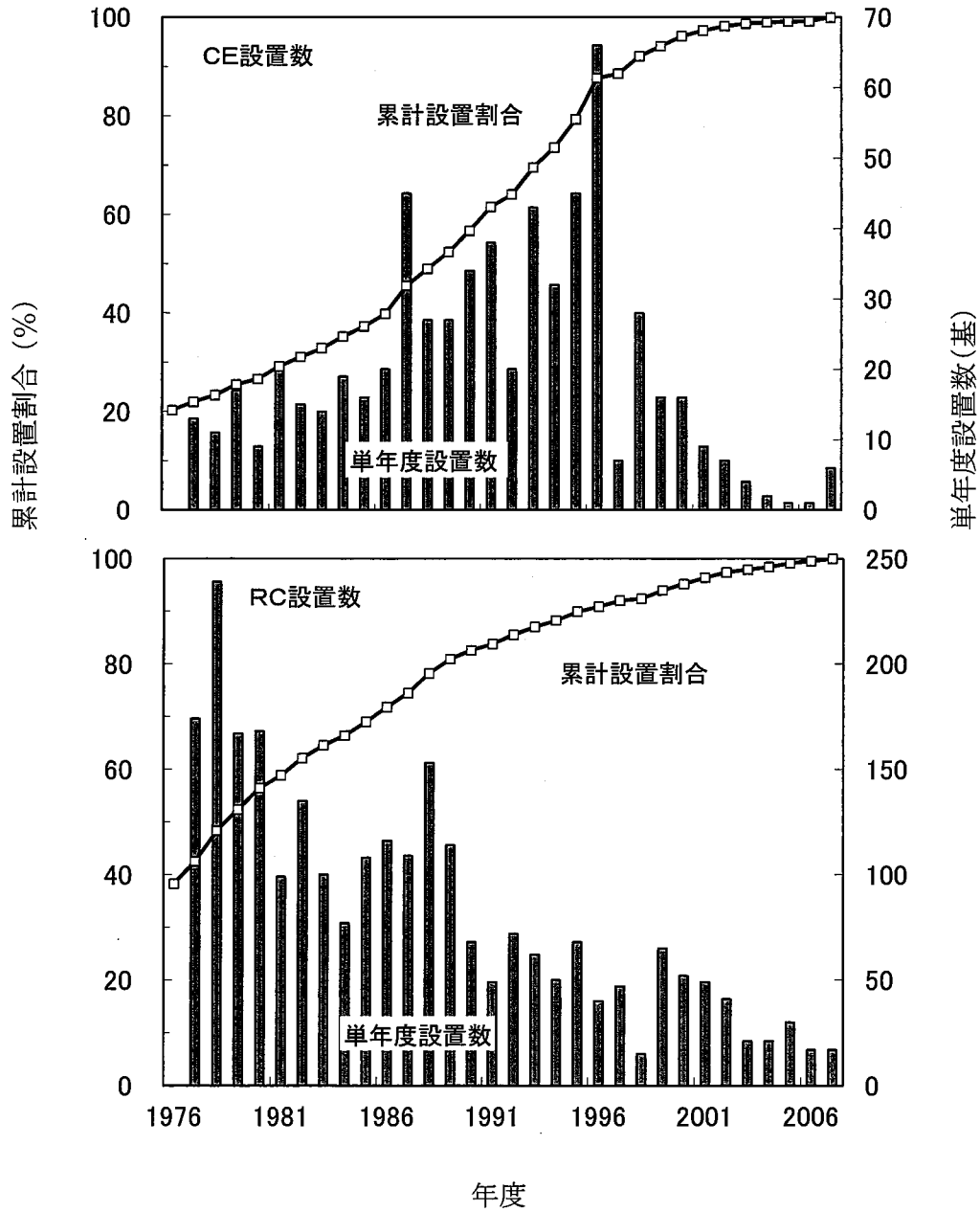


図 1-8 施設の設置数と累積割合の推移  
(農林水産省農産課資料他より)

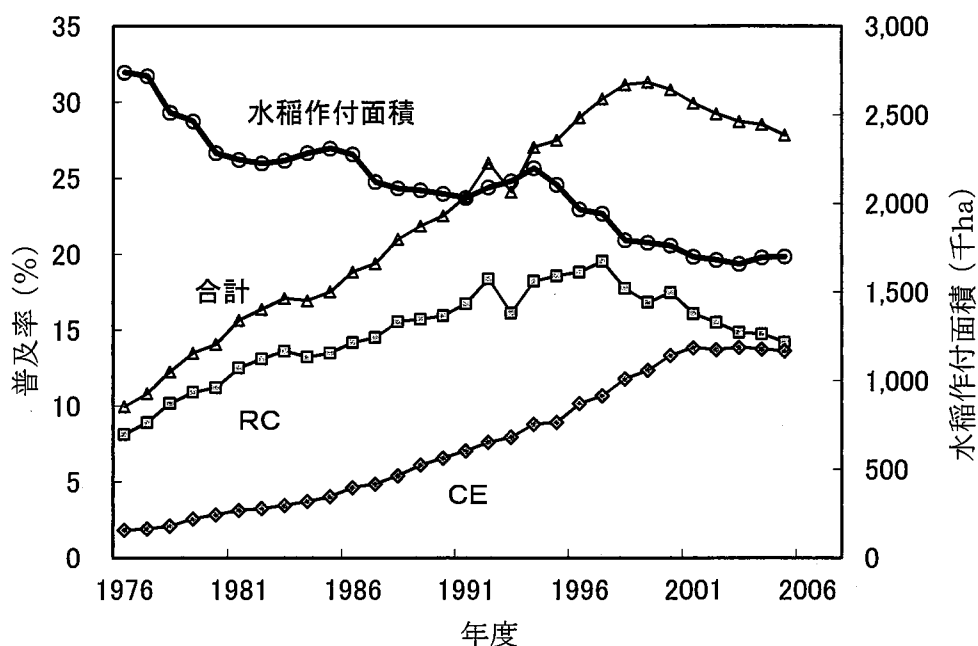


図 1-9 水稻作付面積と共乾施設の普及率の推移  
(農林水産省農産課資料 (2005) 他より)

### 1-2-3 共乾施設の課題

これまで述べた背景にあるなかで最近の共乾施設そのものがおかれている現状と課題を概観する。

#### 1) 運営収支

共乾施設の運営収支を考える場合、その収入の主なものは「利用料金」とし、支出のうちの固定費として主に減価償却費と人件費等を、変動費として燃料費・電気料金等を計上して算出することが行われる (向井 (1993), 全農 (1991))。全国農協カントリーエレベーター協議会 (2012) によれば、約4割のCEが赤字の運営収支 (すなわち、支出総額が利用料金総額を上回る状態) になっているとされている。その要因として、①老朽化が進み、設備の増強, 更新, 修理費がかかること, ②施設の利用率が低いこと, ③減価償却費の負担が大きいこと, ④利用料金の値上げができないこと, ⑤電気代, 燃料代が高騰していること, を挙げる施設が多いとしている。

運営収支を悪化させている原因に補改修費用の増が指摘されているが、その費用はCEの場合、年間1基あたり概ね3百万~5百万円程度かけている施設が多いとされている。比較的大規模な改修を行う場合は、年間換算で20千万円程

度を支出している例もみられるが、これらは年による変動も大きいことが想定される。

補改修は多くの場合、部品交換などの単なる補修のみが実施されている。乾燥機の入替等の大規模な補改修は費用がかさむため、補修しながら施設を利用している施設が多いものと考えられる。

このように、多くの施設で収支を圧迫する主要因が補改修費用にあるとしているが、施設が果たすべき機能の維持は後述の品質事故防止の観点からも避けて通れない。必要な保守管理と費用負担の抑制のバランスをとることが課題である。

## 2) 運転体制

CE の荷受期間には荷受作業、乾燥作業、糲摺り調製出荷作業等が同時に行われる。乾燥作業については、作業にかかわる従事者が 1 施設あたり平均 3 名程度在籍し、複数名による 3 交代の勤務体制としている施設もある一方で、勤務時間を「荷受開始から終了まで」として荷受期間中は連続して勤務する例も散見される。

「乾燥設備作業主任者」は、所定の規模以上の乾燥設備における作業に配置が義務付けられている厚生労働省所管の資格であり、その資格取得を目的として実施される全農の技能講習は毎年 180 名程度が受講している。同様な資格である酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者の技能講習では年間で 40～70 名が受講している。これら講習会の受講者はここ 10 年程度漸増していることから、各農協等の担当者の異動により人材の流動化が行われていることが反映されていることが考えられ、3 交代制が組めない施設が多いことはオペレーター不足の実態にあることを示していると推定される。このことは、施設の運転に必要な技術の継承と維持（もしくは高度化）が課題であると考えられる。

## 3) 品質事故等の発生

CE, RC の運転にあたっては、その後の流通に大きな影響を与えることから、品質を保持する乾燥調製、貯蔵管理が必要となる。CE における保管中もしくは出荷後に発覚した品質事故等は、次のような要因が単独もしくは複合的に影響して発生している。

- ①作付体系の変化などによる建設時の設計条件と異なった運転の常態化
- ②機器の整備不良による処理能力低下、機能不全
- ③オペレーター不足や運転操作の未習熟による人為的ミス
- ④気候の変動による乾燥・貯蔵時の高温傾向

#### 4) 施設別収支管理

CE や RC の収入と支出が、施設毎に管理されていない施設もある。例えば、広域合併した JA の施設運営において、資本的支出は JA 本店の固定資産管理システムで把握し、人件費等は別システムで一括管理、修繕費は広域合併前から各支店単位で処理することとしている、などの場合である。施設単体で収入と費用の把握が行われず（もしくは把握しにくく）、経営者層が施設別の収支を確認・認識できないことがある。このような場合には、投資の内容とその効果測定が充分に行われ難いことが想定される。

#### 5) 収穫・貯蔵期の高温傾向と乾燥調製

乾燥工程に起因する胴割や、籾摺出荷後のヤケ米発生等の品質事故を防ぐための施設運転は、農林水産省の通知（農林水産省（2005））にその指針が示されている。この通知では、乾燥中の穀温を原則として 35℃以下にするよう指導している他、一定量の穀物に送る風量（風量比）や、乾燥速度（乾減率）が乾燥方式別に定められている。

施設の多くは火力乾燥機を設置している。その原理は、外気を加温することで相対湿度が低く乾燥した空気を作り、これを穀物に当てることで水分を蒸発させるものである。火力乾燥における乾減率は主に送風温度、送風量によって決まるが、乾減率が高すぎれば胴割れ、低すぎれば蒸れによる品質事故の要因となる。よって適正乾燥はその間を狙って行われる。

近年は、収穫期すなわち乾燥調製する時期の外気温が高く、送風温度を更に高く設定すると指導されている温度を超えてしまう例（無加温で 35℃近くになってしまっている）も散見され、施設を運転するオペレーターにとって適正な乾燥調製作業の難易度が上がっている場合もある。

例えば、2010 年は高温障害が多く発生したが、乾燥調製の時期にも外気温が高く推移した地域が多かった。刈取り時期は 8 月中下旬から 10 月中旬頃の産地が多いが、主要都市の旬平均気温でもても当時の平年値と比較して +3℃程度となっている。（図 1-10）

外気温が高い場合は、①夜間等外気温が可能な限り低い時間に乾燥する。②穀温は最高でも 40℃を目安に運転する、③外気温が 25℃以上の場合には原則として半乾貯留\*<sup>1</sup>は行わず、速やかに仕上げ乾燥\*<sup>2</sup>を行う、等を配慮して乾燥作

---

\*<sup>1</sup>半乾貯留：刈取後の生穀物を乾燥し、水分 17%以下になった時点で、一旦貯留すること。これにより、乾燥機を開放し、翌日荷受分の乾燥にあてることで、効率的な利用を行うもの。半乾貯留の期間は極力短くすることとし、35 日以内に仕上げ乾燥することが前提となっている。

\*<sup>2</sup>仕上げ乾燥：規定水分（水稲うるち玄米で 16.0%）まで乾燥すること。

業が行われる。

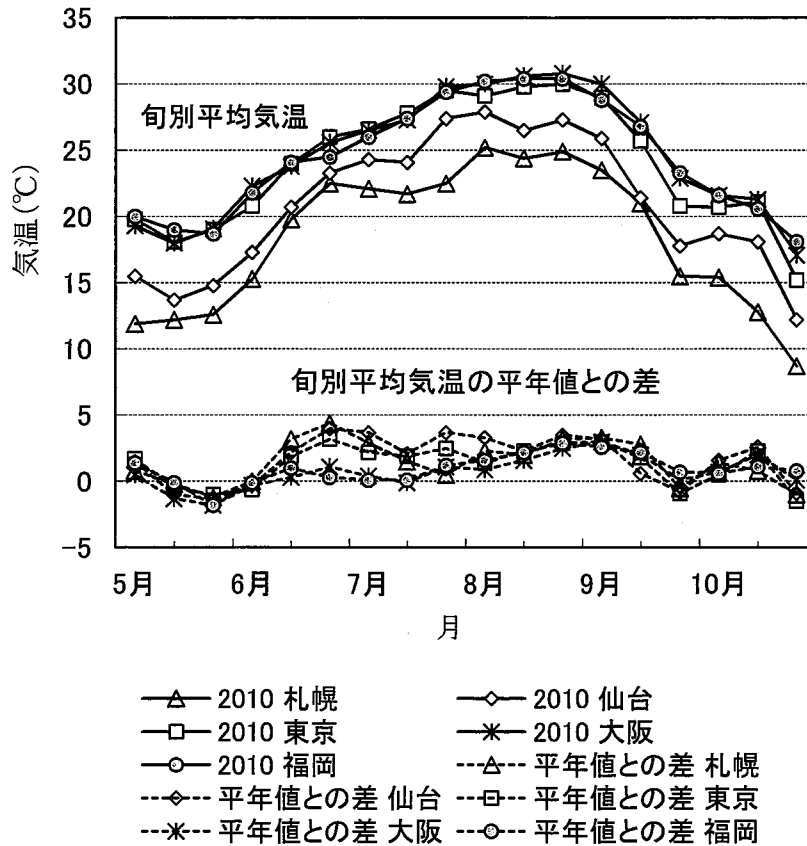


図 1-10 気温の旬別平均気温と平年値との差 (2010 年)

#### 1-2-4 共乾施設をとりまく環境の変化と課題

これまでに述べたように、共乾施設はコンバイン収穫を前提とした収穫・乾燥・調製の合理化を目的として、農産物生産構造の改善に寄与してきており、その役割も大きく変化していないと考えられる。

しかし施設をとりまく環境は、地域農業の生産構造や販売環境が変化すること、加えて施設そのものが老朽化することや、施設を運営する JA の組織変更などにより、建設時における設計の前提条件と異なってきている面も散見される。

その結果、現在施設に求められる機能と建設時の施設の機能とに差が発生していると考えられる場合もある。

また、老朽化に伴う修繕費の上昇が経営収支を圧迫している傾向にあること、それに起因して機能を維持するため、もしくは現在要求される機能や能力へ施設の能力を近づけるための投資が困難になっている傾向もみられる。そのため、利用料金を中心とした収入と減価償却費修繕費を中心としたコストとのバランスをとることが課題の一つとなっている。

乾燥調製にかかわる運転技術の継承や維持は、適正な乾燥調製を行い、品質事故のない保管業務を遂行し、地域で生産された米麦等を流通に乗せ、消費者へ届けることを実現するための重要な要素である。これらはオペレーターの異動や施設を運転する体制にかかわる課題として認識されている。

このような課題が指摘されている一方で、共乾施設の利点も再認識されている点もみられる。例えば地域の農業従事者の高齢化により担い手への耕作面積の集約化が進む一方で、労働力の確保が求められている。そのような地域では、共乾施設が乾燥調製を担うことで大規模農家との共存が図られていると考えられ、地域に必要不可欠なインフラとして機能している。また、共乾施設の処理特性である大量均一処理は外食産業などの季節を問わずに、一定品質の米麦を一定量、安定した需要に応えることが可能である。

しかし、共同利用施設向けの機械設備は、①一般にその処理量が大きく、仕様の負荷を掛けた状態の性能は、メーカー工場内で確認できないことがあること②個々の地域や作物別に個別に設計され、建築物を伴って据付工事し、引き渡すことから全てがオーダーメイドであること、③搬送機やその他の工程を担う多数の機器が相互に接続されて総体として機能すること、等の特徴がある。従って共同利用施設向けの機器は設計段階から工事完成時に至るまで所期の機能や能力が発揮されることが実質的に担保されておらず、工事完成後の実稼動時でなければ確認できない特性を本質的にもっている。

以上述べた背景から、共乾施設向けに新規開発・設計された設備機器について実負荷をかけた状態で機能を検証し、所期の機能や能力を確認するとともに、運転や運営上の留意事項を明らかにし、必要に応じてユーザーのニーズに充分応じる事ができるように設計にフィードバックすることが重要である。これにより、広く施設を設置・運営する農協等において施設の機能を十分に引き出す運転や運営を可能とし、全国各地で生じている施設の老朽化に伴うコスト増の抑制や、環境の変化に応じた機能の確保、さらには運転技術の維持によって合理性、経済性の高い施設の利用につなげることで、施設稼働の効果を継続して地域の農業生産・食品流通にもたらすことが期待される。

### 1-3 本検証研究の目的

共乾施設を設計・施工する各メーカーは、前節で述べた課題の一部に対応すべく機器設備を新規に開発・製造・設置しており、機器によっては導入・普及が進みつつある。そこで本検証研究においては、共乾施設、特に CE の主要な処理工程である荷受工程、乾燥工程、貯蔵工程に着目し、これらの工程での利用を目的に近年新たに開発された以下の機器について、実稼動時における機器の機能と効果を検証し、その評価を行うことを目的とした。

#### 1) 多品目対応型自主検定装置

従来、共乾施設の荷受・自主検定工程では、単品目対応の自主検査装置が用いられていたものの、更新・補改修時に新たな機能として米麦に加え大豆を対象に検定できる多品目対応の自主検定装置の導入が求められていることから、新型装置の性能の検証・評価を行う。

#### 2) 省スペース型循環式乾燥機

乾燥工程の主要機器である乾燥機は、CE の開発当初から連続送り式乾燥機が導入されてきたものの、運転技術の継承を容易にすること、建物を小さくすること等により、施設更新時のコストの抑制が求められていることから省スペース化した新型の循環式乾燥機の性能の検証・評価を行う。

#### 3) OEM 遠赤外線乾燥機

遠赤外線乾燥機は放射伝熱を用いることで乾燥効率が低いとされているが、新規に導入する際のコスト抑制が求められている。海外製乾燥機を国内メーカーが扱うことで低コスト化が期待される新型装置の性能の検証・評価を行う。

#### 4) サイロ冷却システム

外気温が高い時期に籾の収穫・乾燥が行われる例が増加していることから、サイロ冷却システムの活用によって貯蔵工程における品質保持の取り組みがなされている。しかし、実稼動時の検証報告例が少なく、運転にあたって品質事故を避ける観点の必要性も指摘されてきていることから、実稼動時の運転状況を調査・確認し、その機能と性能の検証・評価を行う。

本検証研究の実施により、施設建設時から変化している要求性能への適応、低コスト化、運転技術の継承等の課題への対応が図られるとともに共同利用施設の設置・稼動の適正化が促進され、地域の農業生産への貢献が期待できる。



## 第2章 多品目対応型自主検定装置の性能調査

### 2-1 はじめに

前章で述べたように共乾施設には、①施設の老朽化に伴い修繕費の増加や機械設備の機能が低下している施設が増えていること、②地域の農業構造の変化に伴い施設に求められる機能と設計時の施設の機能とに差が発生していること。例えば刈取り時期の外気温の高温化に応じた乾燥調製貯蔵作業の適正化など品質事故を防ぐ取り組みが必要となってきたこと、③それらの機能や能力の維持や対応と必要な投資のバランスをとること、などが課題となっている。

これらの諸課題に対し、①機械設備の機能診断をもとに中長期の改修計画を立て、予算を確保して補改修をすすめること、②複数の施設の再編整備も視野に入れ、施設配置の最適化を判断しながら投資していくこと、③機器更新にあたって、初期投資額の低減や運転コストの低減が見込まれる機械装置の導入を計画すること、等の技術的あるいは運営上の対策がとられている。

共乾施設の運営形態には、荷口ごとの処理方法に着目した区分として、プール処理方式と個別処理方式とがある。

機械・施設の共同利用は合理的な稲作に効果的であるとされていることから、多くの共乾施設は複数の荷口からなる原料をまとめた単位で処理するプール処理方式が採用されている。そしてプール処理を行うために施設運営の観点から必須となる工程は自主検定である。

自主検定の作業は荷受工程において一定量の試料を取得することから開始される。すなわち、生（もしくは半乾）原料を荷受した時点で各荷口から一定量の試料を採取し、これを乾燥させる。籾は籾すり後に整粒歩合等を測定・算出し、その割合と荷受重量からその施設で処理した製品に占める割合（持ち分比）を算出し、これをもって荷口毎（生産者毎）の販売代金の精算を行うこととしている。このように、プール処理を前提とした共乾施設において、自主検定は、その利用者への精算代金に直接関与する基本データを作成する工程であることから、正確性、公平性、透明性が要求される極めて重要な作業である。

自主検定の工程を構成する主な機器は、試料採取装置（多くは荷受計量機に付設されている）、試験乾燥機、自主検定装置（乾燥試料を籾すり、選別、計量し、歩留りを算出する装置）とその間の搬送容器や機器である。

今般、施設の中で重要な役割をもつ自主検定装置について、処理対象品目を拡げることで補改修・入替需要に対応するなど、前述の共乾施設の課題へ対応するものが実用化され実稼働している。

そこで、単品目を対象とした自主検定装置の性能の検証は過去になされているが、多品目を対象とした当該自主検定装置の性能については評価例がないこ

とから、検証試験を行うこととした。本章では最新の多品目対応自主検定装置について米、麦、大豆を用いた検証試験を行い、その処理性能を評価した結果を述べる。

## 2-2 供試検定装置および方法

### 2-2-1 供試機の概要

調査対象とした装置は、H社製汎用型自主検定装置(外寸:高さ約2 200 mm, 幅約2 500 mm(転選機含む)奥行約1 100 mm)である。供試機は乾燥済みの原料に対して、品種ごとに必要な調製(粳すり・風選・粒選別)を行い、原料・整粒・屑粒を計量し、整粒歩合等を算出の上それらを記録・出力し、整粒または屑粒の入ったサンプルパックを作成する装置である。その構造は米麦用の自主検定装置に大豆特有の調製機器を組み込んで一体とした形態である。供試装置と同型機は複数の施設で稼働しており、一部は大豆用として利用されている。

装置の外観を図 2-1 に、処理フローを図 2-2 に示す。自主検定装置では、必要量の原料がホッパに投入され、荷受日・荷受番号等が入力された後に検定が開始される。

粳では供試原料の計量後、粳すりを2回行う。粳殻と玄米、小麦と軽量の夾雑物等は、粳すり機直下の風選機により分離される。粳すり時間は連続した処理能力に影響する。本機では粳すり時間を、供試原料が粳すり部上部に到達した時刻から、当該原料が粳すり機を經由し風選後の貯留部分の排出シャッターを開けるまでの時間として設定されている。なお、小麦は粳すり機のロール間隙を充分に開け素通しさせる。

大豆では供試原料を計量後、転選機によって異形、割れ粒等を選別する。

粳・小麦では粳すり、風選部通過後、筒状の縦目ふるいである粒選別機(粒厚選別機)によって整粒、屑粒に分離される。玄米で中間粒(通常は、1回のふるい分けにより、整粒と屑粒を仕分けるが、比較的大きな目の網で一旦ふるい、その網下を更に仕分けることがある。この場合、2回目の網上を「中間米」として扱うことがある。)を取る場合は、屑粒に分けた部分を2段目の粒選別機に掛け、これを網上と網下に分けることで中間米、屑米に仕分けする。大豆は供試装置では、転選機によって割れや変形粒が排除された後に筒状の丸目ふるいによって、大粒・中粒・小粒に仕分ける。本検定装置の筒状回転網は2本あり、順に試料を受けた後、それぞれタイマによって90秒間回転した後反転し、回転網内面に取り付けられた案内板の作用で試料は順次排出される機構となっている。玄米・小麦では2本の回転網を交互に運転することで処理時間の短縮を図っている。一方、大豆は3区分に分けるため、1番目の円筒回転網のふるい下試料を2番目の回転網にかける仕組みになっている。整粒・屑粒・中間粒はそれ

ぞれ計量され，原料および整粒・屑粒・中間粒（大豆では原料・大粒・中粒・小粒）として印字伝票と共にそれぞれパック詰めされ，装置外に排出される。

大豆の供試原料のうち，転選機により屑粒に仕分けられたものは計量およびサンプルパックされずに排出される。

標準的な処理能力は，選別時間の設定に依存するが，1工程に要する時間として粳で約3 min，大豆で約4分である。連続処理する場合は，粳で時間当たり試料40個，大豆で時間当たり試料25個の処理が可能となっている。小麦は，粳と同じ設定で運転することを基本としている。



図 2-1 供試自主検定装置

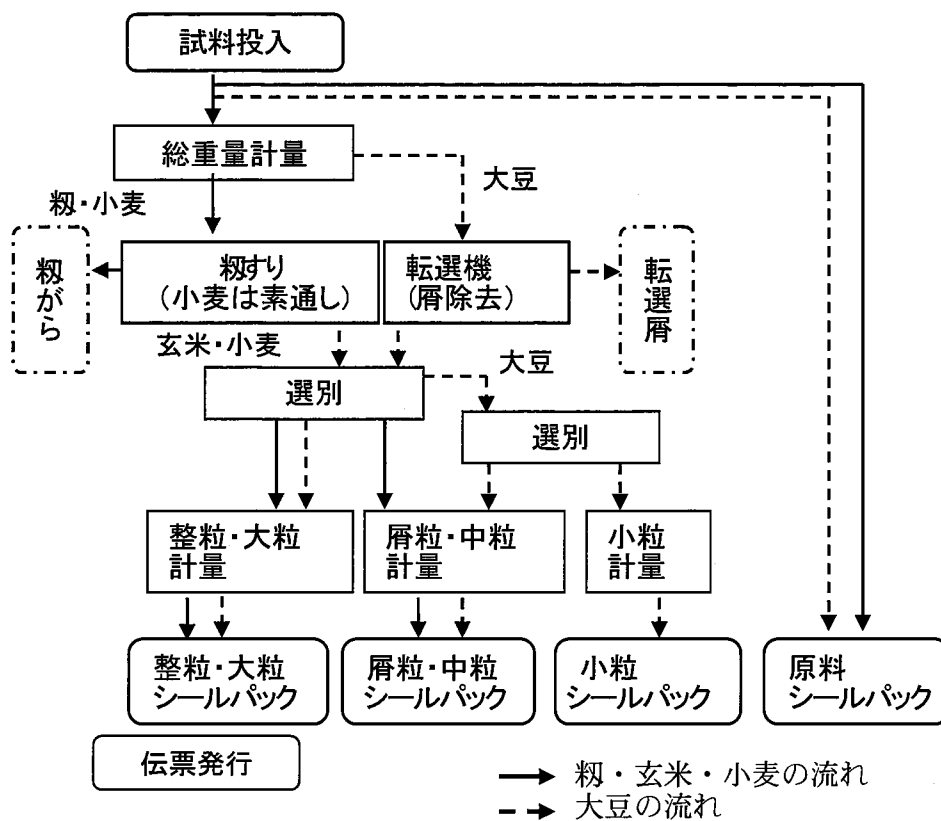


図 2-2 供試装置の処理フロー

## 2-2-2 検証試験および試験条件

### 1) 試験日と場所

2005年7月7～9日にN県Aカントリーエレベーター内において実施した。

### 2) 供試穀類

試料の準備にあたり、従来の自主検定装置の性能検証試験により、経験的に生産年・収穫地による影響が少ないことが明らかにされていることから、以下の試料を用いた。

粳は2003年愛知県産あきたこまち、小麦は2003年茨城県産フクユタカ、大

豆は 2003 年新潟県産エンレイをそれぞれ用いた。

### 3) 試験条件

供試装置の試験条件を表 2-1 に示す。ふるいの目幅は、農産物規格規定（全国瑞穂食糧検査協会,2001）に準じた設定とした。

## 2-2-3 測定方法

### 1) 供試原料の基本物性

供試原料の基本物性として、水分を誘電率式水分計（株）ケツト科学，PM-830-2），容積重をブラウエル穀粒計（株）藤原製作所），安息角を安息角測定器（筒井理化機器（株），三輪式円筒回転法安息角測定器）にて測定した。

### 2) 処理能力

粳，小麦は 20 荷口（供試原料 20 個；自主検定装置に投入される各々の試料を 1 荷口として表記）あたりの処理時間を測定した。大豆は 24 荷口（供試原料 24 個）の処理時間を実測した。一荷当りの質量は 250 g 程度とした。

### 3) 選別精度

各供試原料を供試装置で選別（粳は粳すり後選別）した後，玄米および小麦では原料・整粒・屑粒に，大豆では大粒・中粒・小粒にサンプルパックされ排出された試料を開封，再度ふるい分けし，電子天秤（株）エー・アンド・デイ，EK-6100i）によって各質量を測定した。

玄米のふるい分けは，整粒にパックされた試料を計量した後，縦目平面ふるい目幅 1.85 mm を用い，網目からの漏下が確認できなくなる状態まで手ふるいし，ふるい上，ふるい下の試料の計量を行った。屑粒にパックされた試料についても同様に行った。ふるいの目幅は供試装置のふるいと合わせたものである。また，小麦は同様に上記の縦目ふるいの目幅 2.2 mm を使用し手ふるいを行った

そのデータから粳・小麦では整粒歩合（供試粳に対する整粒（玄米は整玄米）の質量比）・屑粒率（供試原料に対する屑粒の質量比）を算出した。

大豆のふるい分けも同様に丸目ふるい 8.5 mm および 7.9 mm を用いてそれぞれのサンプルパック中の大粒・中粒・小粒を分け，それぞれの質量を測定し，大粒率・中粒率・小粒率（供試原料に対する大粒・中粒・小粒それぞれの質量比）を求めた。

表 2-1 試験条件

	粳	小麦	大豆
選別網	縦目ふるい	縦目ふるい	丸目ふるい
目開き	1.85 mm	2.2 mm	大粒 8.5 mm 上 中粒 7.9 mm 上 小粒 7.9 mm 下
粳すり回数	2 回	—	—
処理時間 計測荷口数	20 荷口	20 荷口	24 荷口

## 2-3 結果と考察

### 2-3-1 供試原料の基本物性と組成

供試粳は水分 13.7 %w.b., 容積重 840 g/L, 安息角 45° (いずれも玄米) であった。小麦は水分 12.2 %w.b., 容積重 826 g/L, 安息角 39°, 大豆は水分 13.1 %w.b., 容積重 699 g/L, 安息角 34° であった。

選別精度の測定におけるふるい分けの結果にもとづき, 供試粳中の整粒・屑粒の組成比率を算出した。

図 2-3 にその結果を示す。整粒歩合は 74.4~76.1 %, 屑粒率は 5.4~7.0 % であった。なお, 供試原料の投入質量は, 192.8~262.2 g/荷口であった。小麦は同様に, 整粒歩合 86.8~90.6 %, 屑粒率は 9.5~13.2 %, 供試原料の投入質量は, 261.4~326.4 g/荷口であった。

一方, 供試大豆の大粒・中粒・小粒および転選機から排出された屑粒の組成比率を図 2-4 に示す。大粒率は 63.4~89.6 %, 中粒率は 9.2~31.5 %, 小粒率は 1.3~5.4 %, 転選機屑率は 1.2~17.6 % であった。供試原料の投入質量は, 211~292 g/荷口であった。

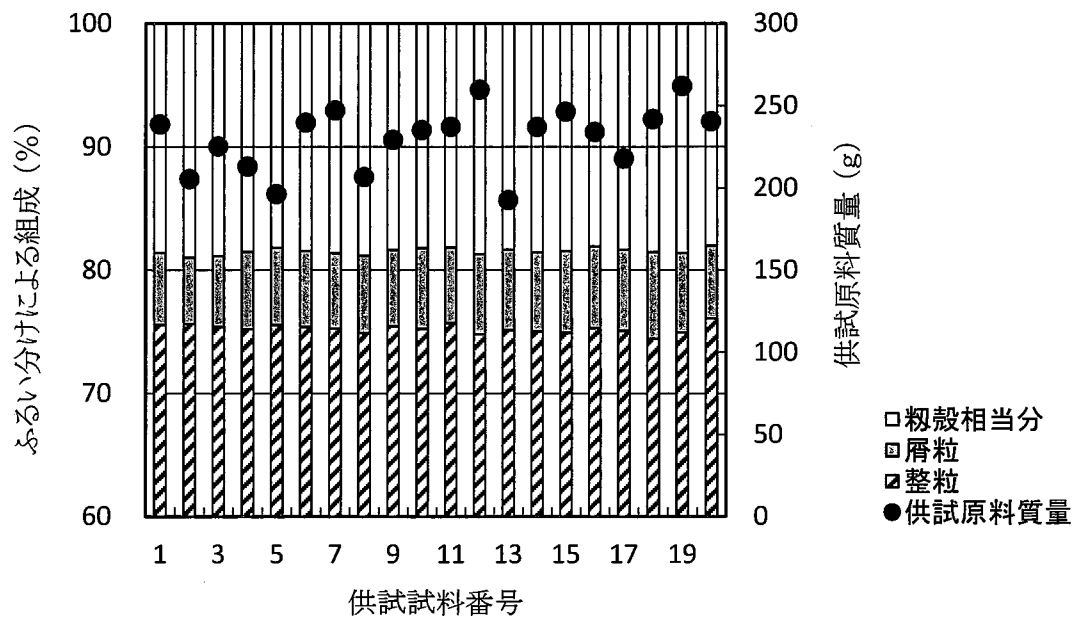


図 2-3 供試原料（小麦）の組成と質量

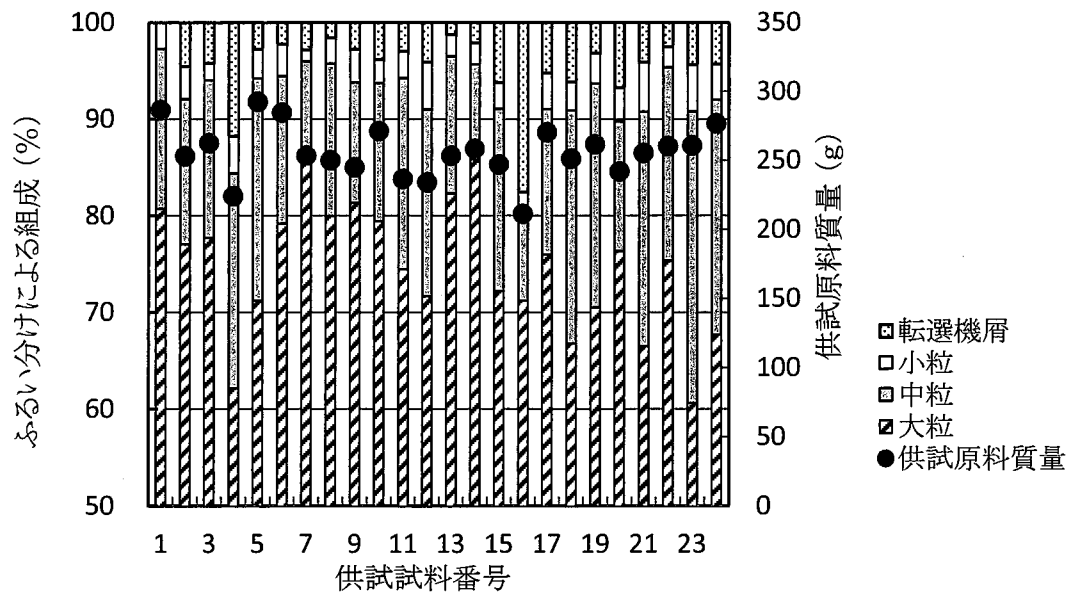


図 2-4 供試原料（大豆）の組成と質量

### 2-3-2 装置の計量精度

装置が計測した整粒歩合（出力値）と整粒サンプルパック内試料質量から算出した整粒歩合の関係を図 2-5 に示す。屑粒についても同様に同図に合せて示した。これは、装置の計測結果と電子天秤による実測値を比較し、自主検定装置の計量と演算に関する精度を評価するものであるが、この結果から供試装置の計量精度は十分に高いことが明らかである。小麦、大豆とも同程度の計測精度が認められた。

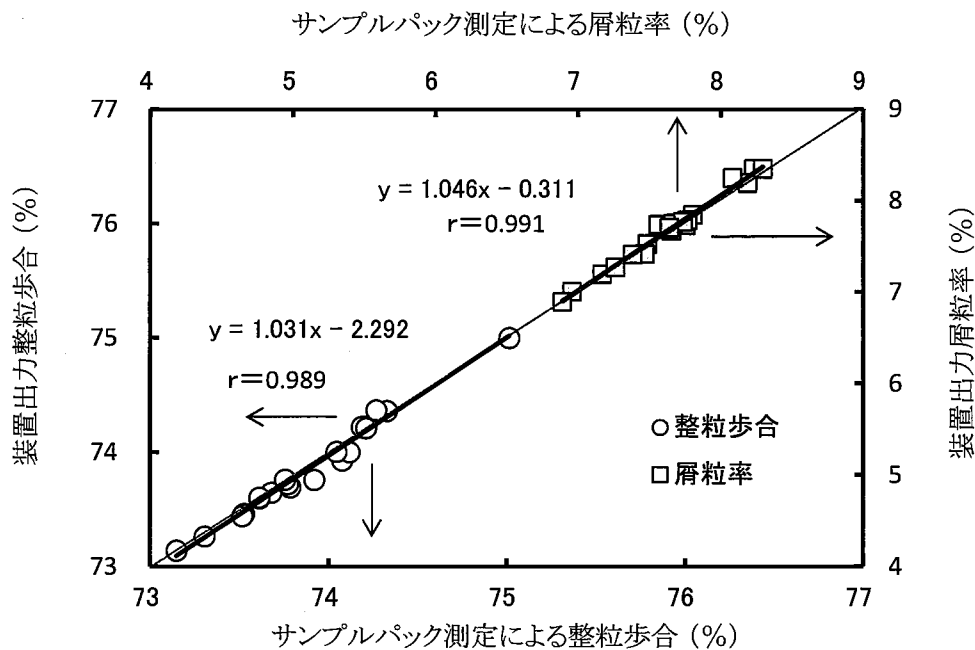


図 2-5 装置出力値とサンプルパック内試料測定結果の関係  
(玄米の整粒歩合及び屑粒率)

一方、装置の出力結果とサンプルパック内試料の実測値の差の絶対値をとると、その値は玄米の整粒で最大 0.4 g、屑粒で 0.4 g であった。また、次式で定義する差の割合では、整粒で最大 0.2 %、屑粒で同 2.3 % であった。(図 2-6)

$$Re = \frac{W_{out} - W_{sp}}{W_{out}} \times 100 (\%) \quad (2.1)$$



ここで、 $Re$ : 差の割合 (%),  $W_{out}$ : 自主検定装置出力結果 (g),  $W_{sp}$ : サンプルパック内試料実測結果 (g)

従来の単品目用自主検定装置における試験結果 (全農 (2000)) では、玄米を対象とした誤差の絶対値が整粒 0.3~1.1 g, 屑粒 0.4~1.0 g, 誤差の割合は整粒で 0.2~0.5 %, 屑粒で 4.8~7.8 %であることから、これらに比較しても充分に小さい値であった。

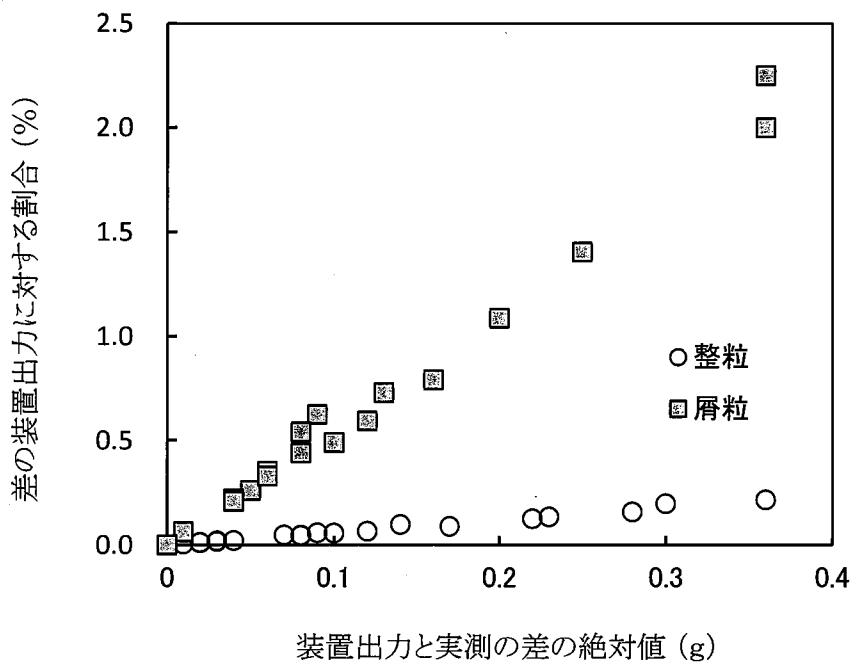


図 2-6 供試機出力結果とサンプルパック内試料実測結果の関係 (玄米)

一方、小麦における装置の出力結果とサンプルパック内試料の測定結果の差 (絶対値) は整粒で最大 0.6 g, 屑粒で 0.3 g であった。差の割合は、整粒の絶対値が最大 0.2 %, 屑粒で 1.0 % であった。また、大豆では同様に差の絶対値が大粒で最大 3.8 g, 中粒で 0.6 g, 小粒で 0.6 g, 屑粒で 15.3 g であった。差の割合では、大粒で 1.4 %, 中粒で 2.9 %, 小粒で 30.5 %, 屑粒で 31.1 % であった。総量が少ない小粒や屑粒は実測値との差やその割合が大きい場合があるが、大豆は 1~2 g/粒程度であることから、1 粒が機内残留するなどした場合が考えられた。

### 2-3-3 自主検定装置の選別精度

図 2-7 に、玄米を対象とした装置出力と各サンプルパックを再度ふるい分けして得られた整粒歩合ならびに屑粒率の関係を示す。再選別した結果から算出した整粒歩合、屑粒率は、玄米では装置出力に対してふるい分け結果が整粒で 1～1.5 % 程度高く、屑粒で 1～1.5 % 程度低くなった。ふるい分けで整粒として判定されたものの一部は本装置では屑粒として扱われ、その結果装置出力が低めに算出されたものと考えられた。屑粒は、整粒の混入によりパック重量が重くなり、結果として装置出力はふるい分け試験による屑粒率より大きく出力されたものと推定された。

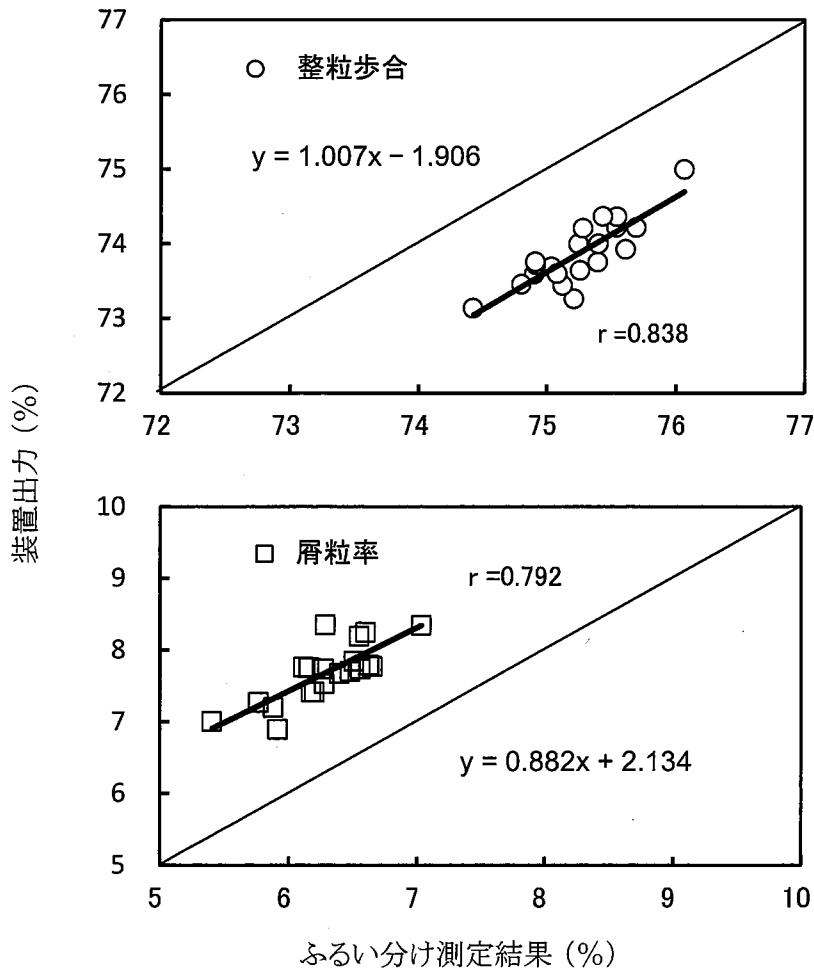


図 2-7 玄米を対象としたふるい分け測定結果と装置出力の関係（上段；整粒歩合, 下段；屑粒率）

一方、小麦では、整粒が1.5~2.0 %程度高く、屑粒で1.0 %程度低く、玄米と同様の傾向となった。

大豆では、大粒がふるい分け試験結果に対し、装置出力が0.5 %程度高く、中粒ではほぼ同じ、小粒では0.5 %程度低めになった(図2-8)。大豆ではふるい分けで中粒ないしは小粒に選別されるべき一部の粒が、装置選別では大粒区分に一部残留し、小粒区分にあっては、本来小粒に区分される粒が中粒ないしは大粒区分に排出された事が考えられた。

玄米・小麦と大豆が異なる傾向を示した要因については次のように考えられた。

整粒歩合(大豆の場合、大粒率)に対する影響因子としては、一般論としてふるい上物とふるいとの間の相対的な運動方向ならびに相対速度、ふるいの一定面積当たりのふるい目の開口率、ふるい選別対象物の比重をはじめ様々な要因が考えられる(岩尾(1991))。

小麦と玄米の整粒歩合については、装置出力がふるい分け測定の結果に比べてそれぞれ1.5~2.0 %、1.0~1.5 %程度低くなった。これは、先に述べた影響因子の内、ふるい上物の運動方向とふるいの縦目の方向が概ね一致している事が大きな要因として考えられる。また、大豆の大粒率は、装置出力がふるい分け測定の結果に比べて0.5 %程度高くなった。これは、先に述べた影響因子の内、ふるい上物とふるいとの間の相対速度が手ふるいに比べて検定装置では大きくなる事が大きな要因として考えられる。

なお、縦目ふるいは、網目が市松模様状に配列されている丸目ふるいに比べて、ふるい上物とふるいの相対的な運動方向の選別結果に対する影響が大きい事が考えられる。さらに、円筒ふるい内ではふるいの回転にともなう穀粒(特に大豆の場合)の跳ねや踊りも観察され、整粒歩合(大豆の場合、大粒率)に対して様々な影響を与えている事が考えられる。

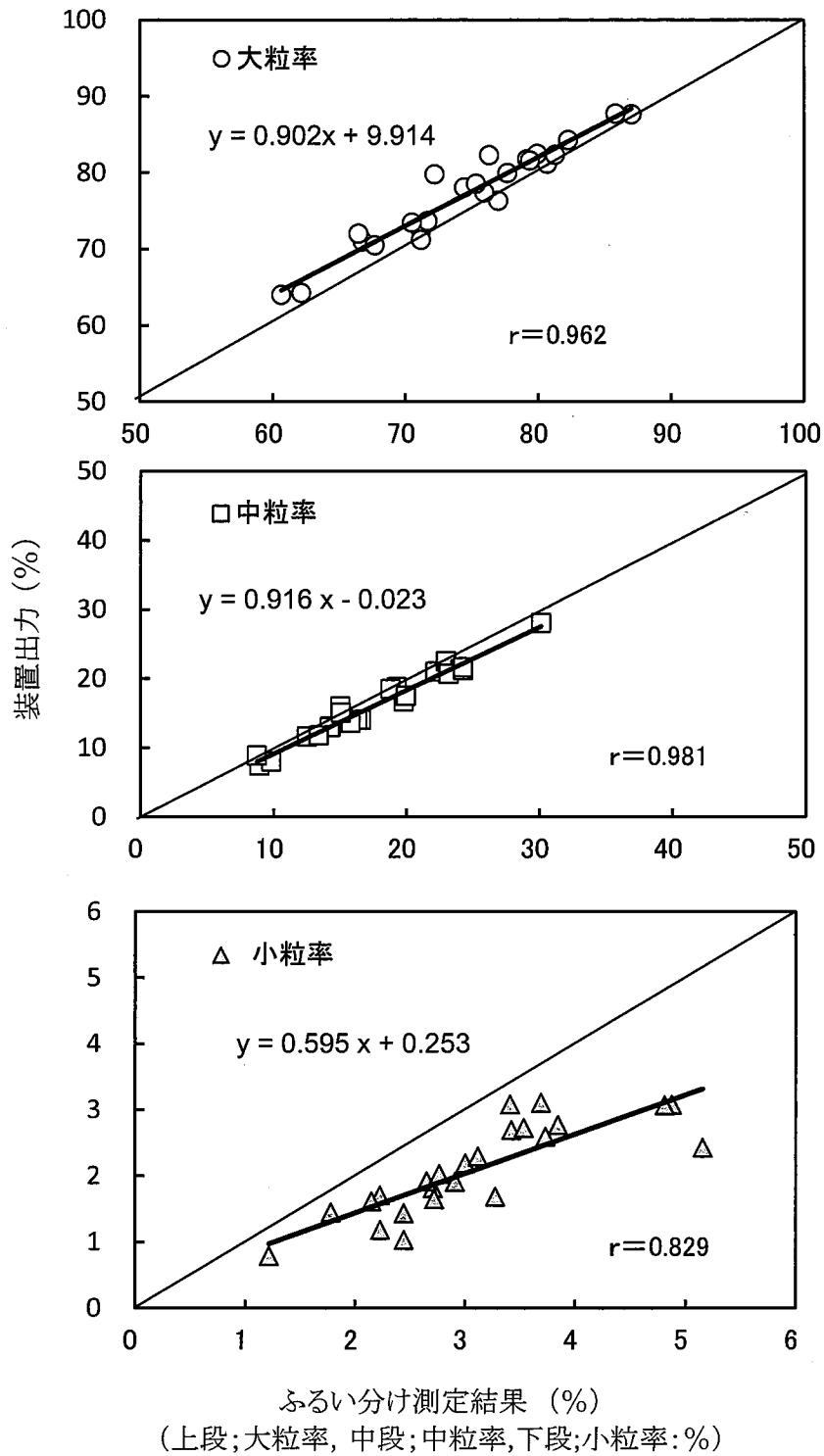


図 2-8 大豆の装置出力結果とふるい分け測定結果の関係  
(上段;大粒, 中段;中粒, 下段;小粒)

#### 2-3-4 ニュートン効率

図 2-9 に玄米を対象とした際の自主検定装置のニュートン効率を一例として示す。ニュートン効率  $\eta$  は、粒子の大きさなどを基準にそれより大きい粒子 a と小さい粒子 b からなる集合体を選別し、A または B の回収口に理想的には a は A に回収され、b は B に回収されるよう仕分けた場合に、回収口 A における a の回収率と b の混入率との差（回収口 A における a の回収率と回収口 B における b の回収率の和から 1 を減じたもの）で示される。選別機によって理想的選別が行われた比率である。（岩尾（1991））

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_{Aa} - (1 - \eta_{Bb}) \\ &= \eta_{Aa} + \eta_{Bb} - 1\end{aligned}\quad (2.2)$$

ここで、 $\eta$ ：ニュートン効率（-）、 $\eta_{Aa}$ ：整粒パック内の整粒回収率； $\eta_{Aa} = \frac{A_a}{A_a + B_a}$ （-）、 $\eta_{Bb}$ ：屑粒パック内の屑粒回収率； $\eta_{Bb} = \frac{B_b}{A_b + B_b}$ （-）  
 $A_a$ ：整粒パック内の整粒質量（g）、 $A_b$ ：整粒パック内の屑粒質量（g）、 $B_a$ ：屑粒パック内の整粒質量（g）、 $B_b$ ：屑粒パック内の屑粒質量（g）

その結果、整粒パックの整粒回収率は 0.97～0.98 となり、玄米に関するニュートン効率は 0.93～0.97 となった。

粳では、整粒歩合は概ね 75 %程度であり、屑粒の混入度合、品種、生育状況によって変動する。玄米・小麦における整粒歩合の変動と上述のニュートン効率の関係を検討した図 2-9 によれば、玄米選別の効率は、整粒歩合にかかわらず一定の選別精度が確保されていることが認められた。

小麦の整粒パックにおける整粒回収率は 0.97～0.99、ニュートン効率は 0.93～0.97 となり、玄米の場合と同様の傾向となった。

これらニュートン効率の水準は自主検定装置と選別原理は異なるが、玄米を対象とした色彩選別機の試験結果（全農（2004））から整粒回収のニュートン効率を試算した結果（0.95～0.99 程度）と同程度であった。色彩選別機は広く普及していること、ニュートン効率は整粒歩合（粳ベースの整玄米割合）がその算出根拠になっている事から、逆に類推して本自主検定装置は実用上十分な性能を有するものと考えられた。

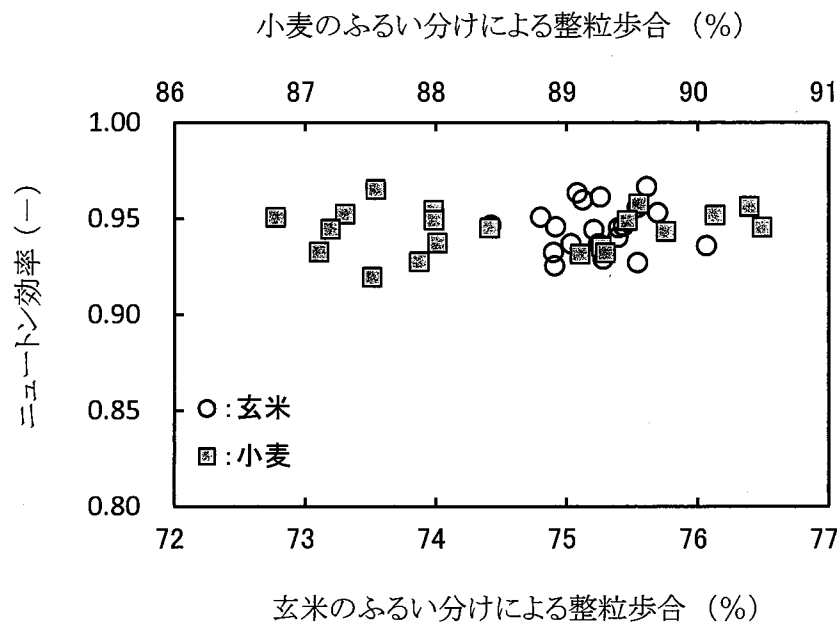


図 2-9 玄米・小麦のふるい分け試験による整粒歩合とニュートン効率の関係

大豆におけるニュートン効率を玄米・小麦と同様に評価した結果、0.24~0.81 となり、玄米・小麦の結果と比較してその値が広い範囲に分布した。その要因として、中粒および小粒パックのそれぞれが目的とする粒の回収率が影響している傾向とが認められた。図 2-10 は、大粒パック・中粒パック・小粒パックについて、それぞれが目的とする粒の回収率に対するニュートン効率との関係である。大粒パックにおける大粒回収率は、0.99~1.00、中粒パック内の中粒回収率は 0.76~0.98、小粒パックの小粒回収率は 0.44~0.83 であった。小粒パック、中粒パックの各々における目的とする粒の回収率はニュートン効率に影響を与えており、粒の小さいものほどその度合いが大きくなっている。これは前項での検討結果と同様に、自主検定装置に具備されているふるいの形状（円筒ふるい）、ふるい分け時間、粒の形状、表面の性状（粗さや滑らかさ）、ふるい内部で粒が流動する事などの要因によるものと考えられた。

なお、供試自主検定装置における大豆の選別精度は、選別原理は異なるが、大豆用ベルト式色彩選別機における整粒の選別性能が 0.86~0.89 であった（全農（2005））ことに對し大粒・中粒の選別精度は概ね同等もしくは上回る結果と

なっている。ベルト式選別機は既に実用に供されていること、大豆の取引上「産地品種銘柄」が指定され、その中心は大粒・中粒であること、小粒の選別は選別時間や処理量の調整により精度向上が期待されることから、計量精度も含め本研究対象の自主検定装置は実用に対し必要な精度をもつと考えられた。

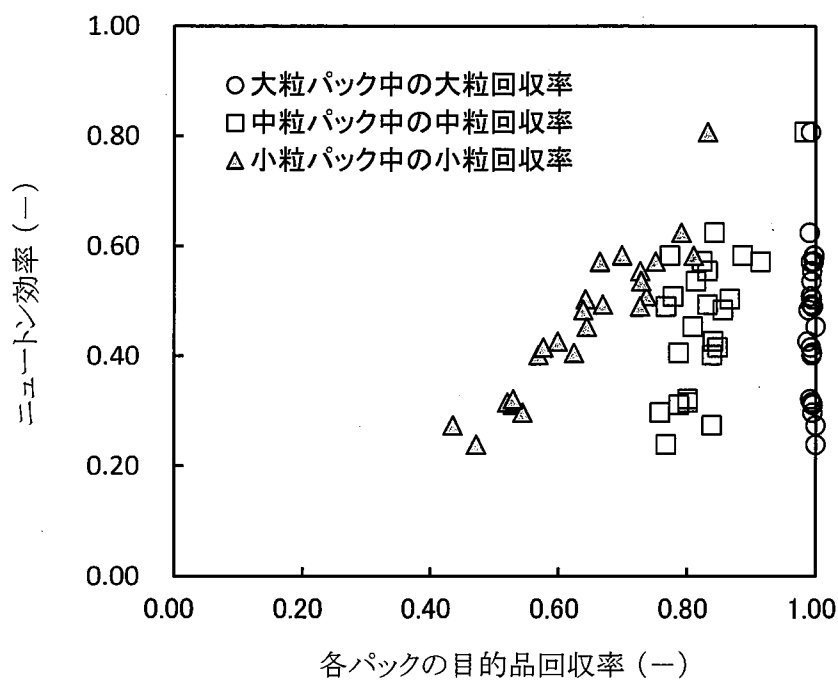


図 2-10 大豆のニュートン効率と各パックの目的品回収率の関係

### 2-3-5 処理能力

粳の供試サンプル 20 荷口の処理時間は 30 分であり、1 h 当りに換算すると 40 荷口/h である。小麦では、同様に供試サンプル 20 荷口の処理時間は 30 分となり、時間当りで 40 荷口/h となった。一方、大豆の時間当たり処理能力は 20 荷口/h であった。以上のことから、当該装置はいずれの品目に対しても概ね所期の処理能力を示すことが明らかとなった。

## 2-4 結論

汎用性を高め粳・小麦・大豆等多品目の処理を可能とすることで、共乾施設の再編整備等における適用性が高い自主検定装置が近年開発・実用化されている。本報ではその基本性能を検証することで、今後の運転や施設の導入計画の際の基礎資料を得た。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 粳および小麦を処理した場合の整粒、屑粒のサンプルパック内試料の供試装置測定質量は、実測値に対して0~0.6 g程度の差であった。差の割合は、最大で整粒 0.2 %程度、屑粒 2.2 %程度であった。絶対値でみた差は、小麦より粳（玄米の状態）が、屑粒より整粒が小さい傾向となった。
- 2) 大豆を処理した場合の大粒、中粒、小粒のサンプルパック内試料質量は、実測値に対して0.6~15 g程度の差があった。差の割合の最大値は、1.7~31 %となり、粳や小麦のそれと比較すると大きい傾向となった。一粒の質量が大きいことから、転選屑他の機内残留等の影響が想定された。
- 3) 粳、小麦、大豆の整粒歩合は、装置の測定値とサンプルパック内試料の実測値とで高い相関が確認された。
- 4) サンプルパック内の目的成分回収率、例えば供試原料中の整粒が整粒パックに回収された割合は、粳・小麦・大豆の大粒において97 %以上であった。
- 5) 粳と小麦を対象品目とした際の、本装置のニュートン効率は0.93~0.97であった。一方、大豆においては0.24~0.81となった。大豆の中粒および小粒が中粒パックおよび小粒パックに回収される割合の影響が確認された。
- 6) これらの結果は、単品目を対象とする従来機もしくは類似の装置の試験結果と同程度であった。

以上から、本自主検定装置の実用上の精度は従来機器と同程度であり、多品目荷受に対応した共乾施設での利用が可能な装置であることが確認された。すなわち、本装置を利用することで地域農業の生産動向から作付品目を拡大し、これを受け入れる共乾施設の設置を検討する場合において、複数台の自主検定装置を導入するなど機能の重複を回避することで合理的な施設運営が見込まれる。

共乾施設において荷受・計量に次ぐ工程は一時貯留・乾燥である。特に乾燥機は共乾施設において最も重要な機能を持った設備である。第1章でみたとおり、CEにおける初期の標準仕様では乾燥機として連続送り式乾燥機を用いるこ



ととしていた。連続送り式乾燥機は、乾燥機本体に加えて間隙サイロをテンパリングタンクとして利用するなど乾燥機およびサイロ（間隙サイロ）全体を乾燥機として利用する考え方をとっている。そのため一定のロットを連続して乾燥し、サイロへ投入した後に乾燥対象穀物の搬送経路を切り替える必要があるなど、運転がやや複雑である。一方で循環式乾燥機は、投入し運転開始後は乾燥機内部を循環して所定の水分にいたるまでほぼ自動で仕上げる。

施設の老朽化に伴う乾燥機の入れ替えなどの場合には、多くの場合に循環式乾燥機が採用されているのは主に運転の容易さ、オペレーターの異動に伴う技術の継承のしやすさに基づくものと考えられる。また施設の補改修や更新時には既設建物を利用して行われることも多いことから、新規に導入する乾燥機の大きさが課題となる場合もある。そこで、次章ではこのような、最近の課題に応える乾燥機として、張込み容量を保つ一方で従来機よりも小型化した共乾施設用乾燥機を取りあげ、その基本性能を調査しその結果を検討する。

### 第3章 省スペース型循環式乾燥機の実稼働性能調査

#### 3-1 はじめに

前章では、施設の老朽化に伴う機器の更新や改修・再編整備にかかわるコストを抑制する目的で開発された装置のうち、乾燥調製施設の荷受工程にかかわるものとして多品目対応型の自主検定装置をとりあげ、その性能を調査した。供試機は米麦に加え大豆を処理対象とすることで、機器を更新するなどの場合において個別に装置を整備することなく作業が可能となり、導入時の台数の削減が可能であることが確認された。

共乾施設において荷受工程に続く主要な工程は、乾燥工程である。施設の主たる機能を担う乾燥工程については、1991年以前に設置されたCEには当時の農林水産省指導により連続送り式乾燥機が設置されている。(農林水産省(1984), 同(1992)) 連続送り式乾燥機は間隙サイロをテンパリングタンクとして利用することで乾燥機容量を小さくできる利点があるが、乾燥ロット毎に穀類の行き先を切り替える必要があるなど、その運転には一定の技術と熟練が求められるとされている。一方で循環式乾燥機は、張込み後の乾燥はその乾燥機内で仕上げまで完結でき、その運転は自動化されている度合いが高い。

共乾施設の運転にかかわる課題のひとつにオペレーターの運転技術の継承がある。第1章で述べたように共乾施設の設置数は減少傾向にあるが、火力乾燥機を運転する際に必要となる「乾燥設備作業主任者」の資格取得者数は減少していない。これは要員の流動化が盛んになっていることが要因であると考えられ、乾燥調製にかかわる担当者が長期には定着していないことも考えられる。

CEの標準的な乾燥機の仕様には、連続送り式があるものの、このような背景から、近年の共乾施設の新設建設時や乾燥機の入替え・更新時には循環式乾燥機が採用されることが普通になっている。

こうした施設の運営実態に対応した共乾施設向け循環式乾燥機が近年開発・実用化された。その目的は小型・省スペース化することで、既存施設への入れ替え・改修のために必要な工事を削減することや新設にあっても建物を小さくできること、それに伴うコストを削減することにある。加えて穀物の流路が短くなることは清掃や装置の保守管理が容易になることに寄与することが想定されている。

従来、張込み容量が20tを超える循環式乾燥機の性能評価はその事例があるものの、張込み容量を維持した上で小型化を図った乾燥機について性能評価を試みた報告がない。そこで本章では機器の更新にあたってコストを抑えるため既存施設への入れ替え・改修を想定し、共乾施設の現状に対応した大型循環乾燥機について実稼働における検証試験を行い、その基本性能を検証する。

### 3-2 供試乾燥機および方法

#### 3-2-1 供試乾燥機の概要

調査対象とした装置は、T社製の大型循環式乾燥機(全高 11 710 mm, 全幅 3 530 mm 全長 4 419 mm (排風機除く))である。外観を図 3-1 に、主な仕様を表 3-1 に示す。

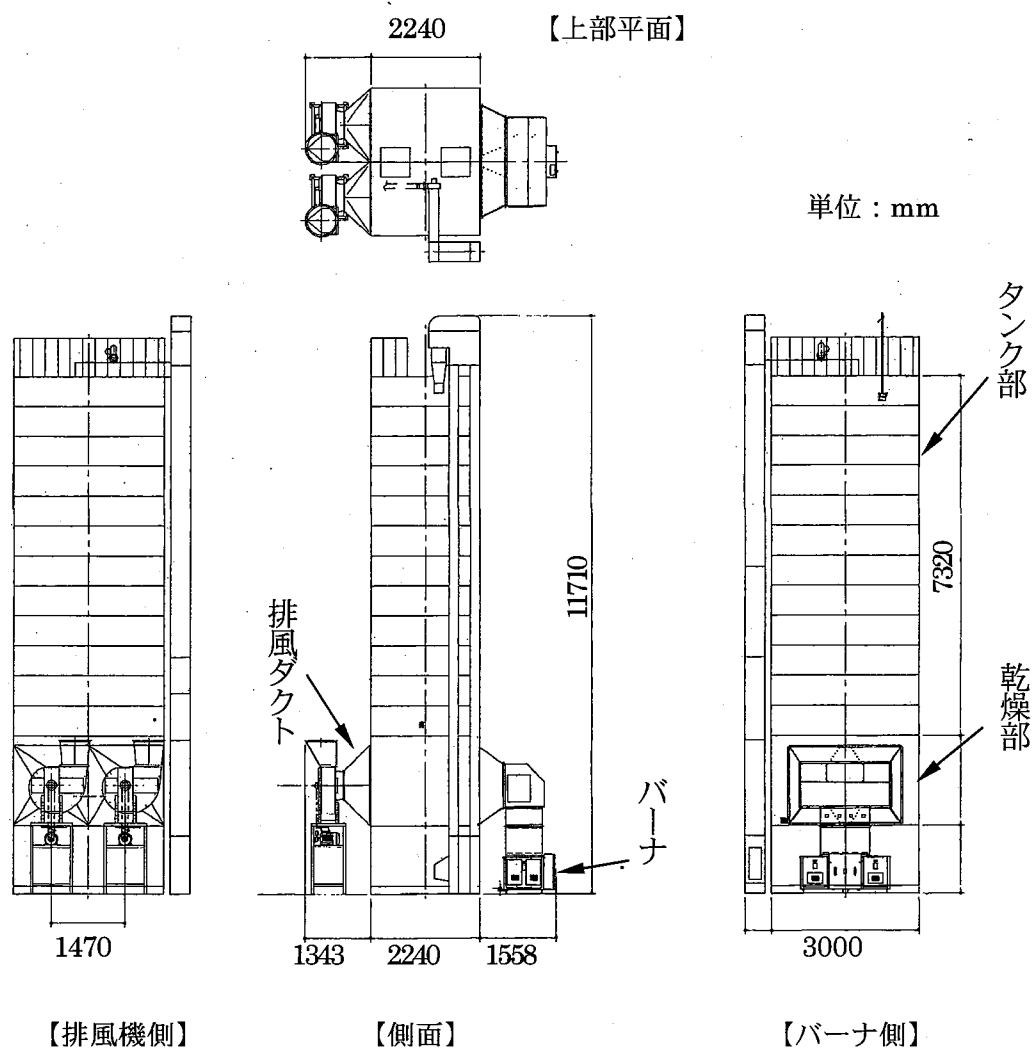


図 3-1 供試乾燥機概要

表 3-1 供試乾燥機的主要仕様

乾燥部形状	スクリーン式吸引型
張込み量	籾7.0~30 (t) *1
基本性能	
毎時乾減率	0.6~0.8 (%/h) *2
張込み能力	30 (t/h)
排出能力	30 (t/h)
排風機	
形式	遠心式
台数	2
風量	450 (m <sup>3</sup> /min)
動力	5.5×2 (kW)
バーナ	
台数	4 (台)
燃焼量	3.5~48 (L/h)
動力	0.20 (kW)
型式	ガンタイプ噴霧式
所要電力	
電源	三相200 (V) (操作盤: 単相200 (V))
総合動力	16.05 (kW)
全幅×全長×全高	3530×5141×11710 (mm)
付帯装置	
安全装置	
	①フレイムロッド ②サーマルリレー ③感震装置 ④満量検知 レベル計 ⑤高温サーモスタット ⑥アラーム検知及び停止装置
運転制御装置	
	マイコン制御(乾燥速度制御または定温制御)
標準装備	
	①自動単粒水分計 ②操作室集中制御 ③デジタル表示 (温度・水分・残時間・アラーム)
その他	
	乾燥機の運転状態の信号出力

\*1 水分 24 %w.b., 見掛け密度 600 kg/m<sup>3</sup>, 枝梗付着粒・  
穂切れ粒 2 %以下, その他の夾雑物混入率 1 %時の籾

\*2 籾: 水分 24 %w.b.から 15 %w.b.まで乾燥する際の仕様

供試乾燥機は貯留ビン付の既存 RC 内に増設したものであり、供試乾燥機への原料投入には一旦貯留ビンを経由するライン構成としている。排気はφ600mm のダクト 2 本を経由して屋外に設置した乾式集塵機から排出させている。

### 1) 構造

本装置は上部にテンパリングタンク（容量：生粳 28 t）、下部にスクリーンタイプの乾燥部（容量：同 2 t）を配置しており、総張込み容量は生粳 30 t である。

乾燥機投入部には従来機のシュート配管に代えてタンク部中央までの投入用スクリーコンベヤ（搬送能力 30 t/h、動力 1.5 kW）を設置し横搬送とすることで、シュート角を確保するための昇降機高さが不要となり、全高が低く抑えられている。また、従来機の排出部分は乾燥部下のロータリーバルブから送り出された穀類を下部スクリーコンベヤにて水平搬出し、昇降機受け口に接続することから昇降機受け口の高さを確保する必要があったが、下部排出スクリーコンベヤ（搬送能力 30 t/h、動力 1.5 kW）に登り角度を付けて昇降機受け口へ接続することで、スクリーコンベヤ下部の高さを抑えている。これらにより従来機と比較して投入昇降機を含めた高さが 3 157 mm 低くなり（20%削減）、省スペース化が図られている。（図 3-2）

乾燥部は 8 層の穀層（穀層厚 140 mm）を持つスクリーン構造（φ2 mm、開口率 41 %）で、通風は 2 台のファン（遠心式、駆動モータ 5.5 kW×2 台）による吸引方式である。通風空気は乾燥機正面に設置された 4 台のバーナにより加温される。

### 2) 循環速度

張込み量に応じて 1h に 1 循環を目安にロータリーバルブの駆動時間を調整する。張込み量の設定は 8 段階となっており、乾燥運転中の循環速度は一定である。

### 3) バーナ

ガンタイプ（最大燃焼量 12 L/（h・台））で、燃焼量は無段階調整可能（0～99 段階）となっている。4 台のバーナはすべて同じ燃焼量制御を行い、低温設定時には運転台数を減らして低温域の温度制御を行う。燃焼量は乾燥条件設定や外気温度、水分計による推定乾減率により決定される。バーナ、ファンは量産機種と共通であり、コスト低減を目指している。

### 4) 水分計

付設している単粒水分計は、8 分間隔で計測し、直近 4 回分の平均値を表示す

る。表示している水分の推移から乾減率を推定し、目標乾減率（0.6 %/h）となるように送風温度（バーナの燃焼量）が制御される。

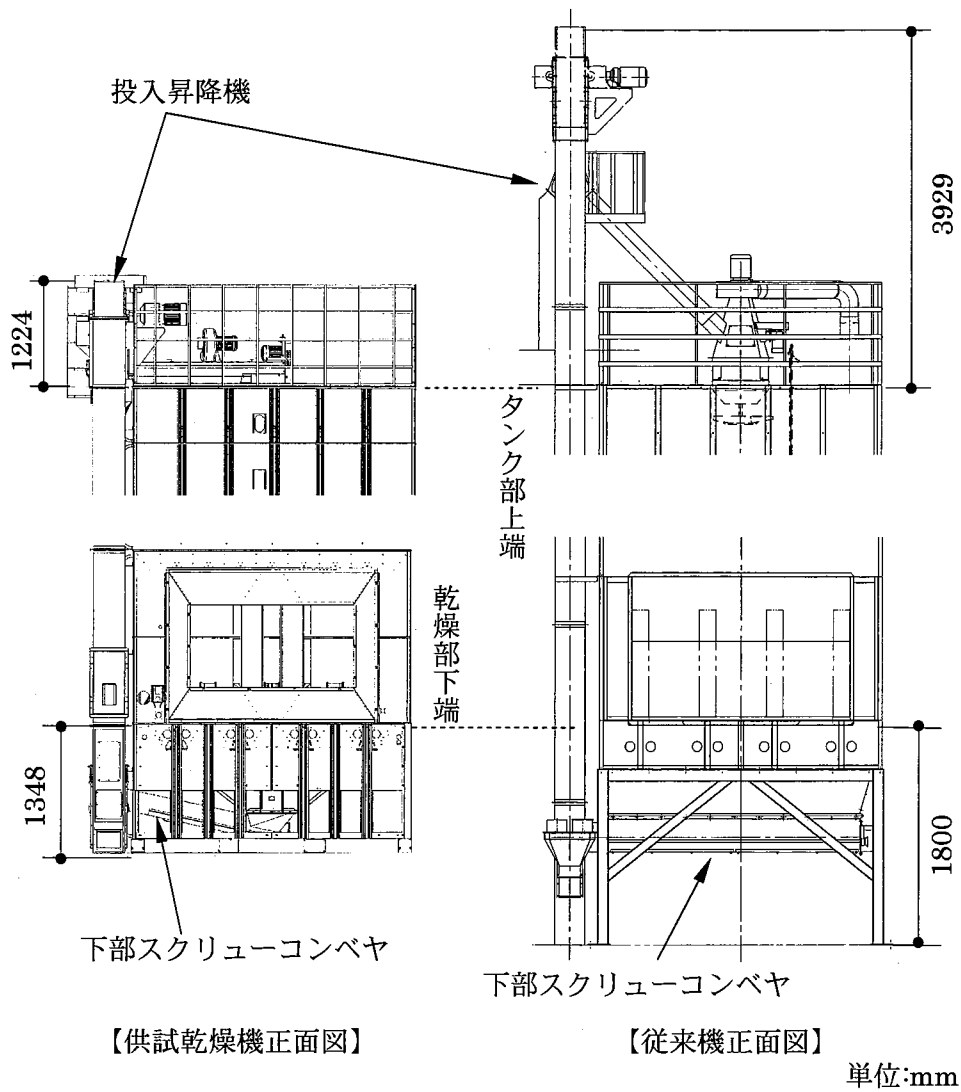


図 3-2 供試乾燥機と従来機の乾燥機投入部及び排出部の比較

### 3-2-2 検証試験および試験条件

#### 1) 試験日と場所

2007年10月20～30日にS県Uライスセンター内において実施した。

#### 2) 試験条件

供試乾燥機の試験条件として端量時と満量時を設定した。これは、実際の運転において乾燥機は、荷受量によって必ずしも満量で運転されないためである。本報ではそれぞれを試験区として端量区及び満量区と呼ぶ。供試試料は当該RCで荷受・乾燥調製されている水稻うるち粳（コシヒカリ）である。

### 3-2-3 測定項目

#### 1) 乾燥機張込み重量

施設付設の荷受計量機により貯留ビン張込み重量を測定し、貯留ビンの通風による水分低下分を差し引いて求めた。

#### 2) 水分

水分は乾燥前、乾燥中、乾燥後に試料を採取し、絶乾法（10g粒・135℃・24h）により測定し、標準法（5g粉碎・105℃・5h）に換算した。1回の採取量は他の分析用も含めて150g程度とした。

乾燥前は、貯留ビンから排出した粳を供試乾燥機に張込む際に5分間隔で採取した。乾燥中は1h毎に粳を採取した。乾燥終了時は排出される粳を5分間隔で採取した。乾燥中・終了後の試料は乾燥機排出ロータリーバルブ直後の乾燥機張込み用バケットエレベータ手前から採取した。乾燥における除去水分量は次式によって算出した。

$$W_w = W_p \times \left( 1 - \frac{100 - m_p}{100 - m_f} \right) \quad (3.1)$$

ここで、 $W_w$ ：乾燥によって供試粳から除去された水分（kg）、 $W_p$ ：乾燥前粳重量（kg）、 $m_p$ ：乾燥前粳水分（%w.b.）、 $m_f$ ：乾燥後粳水分（%w.b.）

#### 3) 毎時平均乾減率

毎時平均乾減率は、乾燥前後の平均水分と乾燥所要時間から算出した。

#### 4) 供試粳の品位

容積重は乾燥前・乾燥後の供試試料について一斗升を用いて重量を計測し、容積（18L）で除して算出した（充填重量計測法）。次いで採取した試料を均分

器で合成縮分し、安息角の測定および組成分析をした。

安息角は安息角測定器（筒井理化機器（株）、三輪式円筒回転法安息角測定器）により測定した。組成分析は試料を7項目（①整粒、②枝梗付着粒、③穂切粒、④未熟粒、⑤被害粒、⑥脱ふ、⑦糲・その他）に手選別し、それぞれの重量割合を求めた。胴割れ率は手選別で「整粒」区分されたものについて、日本精米工業会ら（1997）を参照して200粒を手剥きし、米粒透視器（株）ケツト科学研究所）により目視測定した。乾燥後のサンプルについては粳状態のまま24h以上放置した後に測定した。

#### 5) 送風・排風・雰囲気温湿度

図 3-3 に外気がバーナで加温された後、乾燥部を経て吸引送風される部分を示した。図に示す測定位置において、送風胴温度は熱電対、排風・雰囲気・熱風温湿度はデータロガー（（株）ティアンドデイ、TR-72U）を用いて10分ごとに自動計測した。

#### 6) 穀温

穀温は試料を採取して断熱容器に入れて密閉し、約10分後の平衡状態時にサーミスタにより測定した。試料の採取は、水分測定と同時に行った。

#### 7) 風量

風量は図 3-3 に示す測定点において熱線式風速計（（株）テストー、testo425）を用い、ダクト内（丸ダクト20点、角ダクト16点）の風速を測定し、ダクト断面積と風速の平均値を乗じて算出した。また、参考値として送風機前後の静圧をデジタルマノメータ（（株）岡野製作所、POP202）により測定した。回転速度は接触式回転計により測定した。

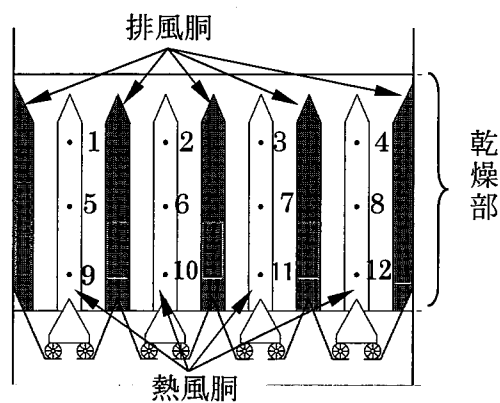
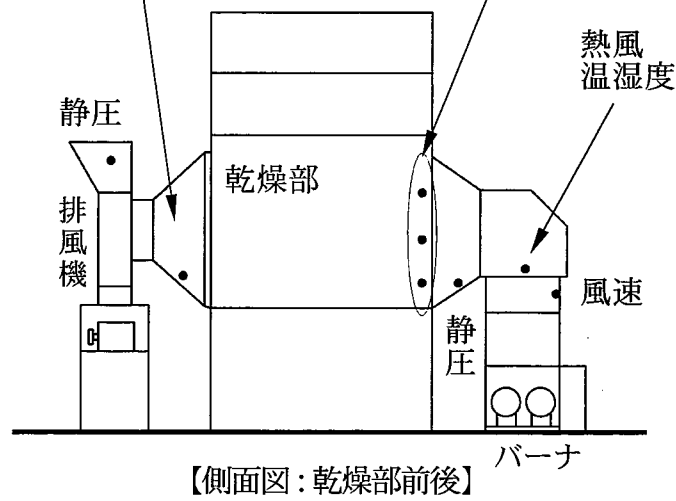
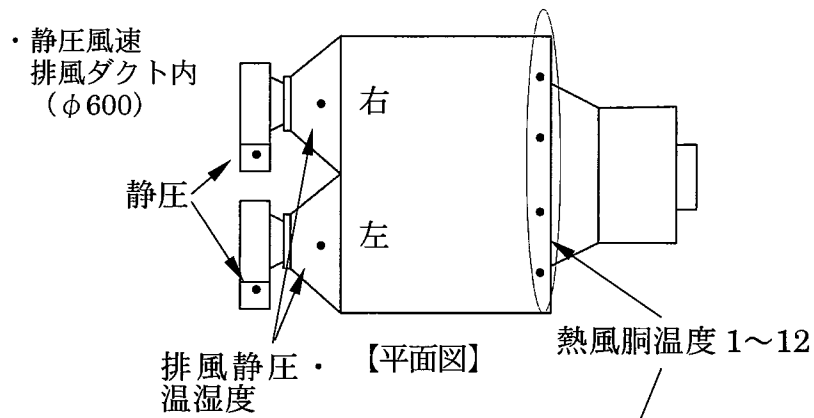
#### 8) 循環量

循環量は、試験開始前と終了直後に一定時間の循環運転を行い、その間に排出重量を計測し時間当たりの循環量（連続運転時）を算出した。さらに、乾燥中のロータリーバルブの回転数（間欠運転の状態）を確認し実循環量を求めた。

#### 9) 燃料消費量

燃料消費量は、燃料である灯油配管に設置した積算油量計を1h毎に読みとった。また粳の水分除去および穀温上昇に要した熱量と灯油消費量の理論発生熱から熱効率を算出した。算出にあたり灯油発熱量はエネルギー源別標準発熱量（資源エネルギー庁（2002））による発熱量を使用した。





【正面図：バーナ側からの乾燥部内部】

単位:mm

図 3-3 温度・湿度・風速・静圧測定点

$$\eta = \frac{W_w \cdot H_e + W_g \cdot C_g \cdot \Delta T}{w \cdot q \cdot \rho} \times 100 \quad (3.2)$$

$$W_g = \frac{W_p + W_f}{2} \quad (3.3)$$

$$C_g = \left( \frac{m}{100} + 0.3 \times \frac{100-m}{100} \right) \times 4.2 \quad (3.4)$$

ここで、 $\eta$ :熱効率 (%),  $W_w$ :乾燥によって供試粉から除去された水分量 (kg),  $W_g$ :平均粉重量 (kg),  $W_p$ :乾燥前粉重量 (kg),  $W_f$ :乾燥後粉重量 (kg),  $H_e$ :水の気化熱 (=2.38×103 kJ/kg),  $C_g$ :粉の比熱 (kJ/kg),  $\Delta T$ :最大上昇穀温,  $w$ :灯油燃焼量 (L),  $q$ :灯油発熱量 (45.9 MJ/kg),  $\rho$ :灯油密度 (=0.80 kg/L),  $m$ :乾燥前後の粉水分の平均値 (%w.b.)

## 10) 消費電力量

積算電力計により電力および電力量を計測した。乾燥機消費電力測定のため、施設の通常電源と切り離し発電機からの電力で乾燥機を運転した。

### 3-3 結果と考察

#### 3-3-1 張込み量と乾燥時間

端量区の張込み量は 7.5 t, 満量区は 27.9 t での乾燥試験となった。端量区は本乾燥機の乾燥部容量が 2 t, 最低張込み量が 7 t としていることから乾燥機の乾燥部に完全に粉が充填され、性能評価に十分な量であると考えられた。

端量区は 9 月 21 日 17:45 にバーナを点火して乾燥開始し, 9 月 22 日 6:20 に乾燥を終了し, その後クーリングを行った。14.5 %w.b.の目標水分までの実乾燥時間は 12.58 h であった。満量区は 9 月 29 日 18:00 の乾燥を開始し, 9 月 30 日 2:50 に終了し, 実乾燥時間は 8.83 h となった。乾燥時間は端量区が長い, 循環量に依存したものである。穀温を 35 °C 程度に抑え, かつ定められた乾減率 0.6 %/h を確保するため, 端量区では循環量を落として通風部を通過する時間を確保していることから, 満量区よりも長時間の運転となっていると考えられる。

#### 3-3-2 水分と毎時平均乾減率

##### 1) 水分

端量区, 満量区の平均張込み水分はそれぞれ 21.8 %w.b., 19.2 %w.b.であった。端量区の最高水分と最低水分の差は 3.0 %w.b., 標準偏差 0.70 %w.b., 満量区は水分差 9.1 %w.b., 標準偏差 2.61 %w.b.であった。満量区の水分のばら

つきが大きいですが、これは特に満量区は乾燥機張込み前に数日間貯留ビンで通風貯留したことから水分ムラが生じた原料であったことが推察される。

平均仕上げ水分は端量区で 14.9 %w.b., 満量区で 13.9 %w.b.であった。水分差と標準偏差は満量区がそれぞれ 0.2 %w.b., 0.08 %w.b., 端量区がそれぞれ 0.4 %w.b., 0.09 %w.b.となった。乾燥後は端量区, 満量区とも標準偏差 0.1 %w.b.以下と均一な乾燥ができた。

乾燥による除去水分は, 端量区は除去水分 610 kg, 満量区は 1 690 kg となった。

## 2) 毎時平均乾減率

水分差と乾燥時間から毎時平均乾減率は端量区 0.59 %/h, 満量区 0.60 %/h とった。これは, 農林水産省 (2005) の乾減率 (0.6 %/h) およびメーカー仕様数値標準 (0.6~0.8 %/h) をほぼ満たす結果となった。

### 3-3-3 温度・湿度

乾燥運転中の各測定点における温度・湿度の経時変化は端量運転時を例として図 3-4 に, 乾燥機内の通風部の推移を図 3-5 にまとめた。

#### 1) 雰囲気

端量区の乾燥試験中の天候は晴れ, 平均気温 25.5 °C, 平均湿度 76.8 %RH であった。満量区試験中の天候は晴れ, 平均気温 19.8 °C, 平均湿度 74.0 %RH と端量区より低湿の環境であった。

#### 2) 送風

バーナ直後の平均送風温度は端量区, 満量区でそれぞれ 32.5 °C, 48.5 °C であった。外気温の平均値との差(加温温度)は, 端量区で+7 °C, 満量区で+28.7 °C となった。端量運転時は 4 層の熱風胴のうち右側 2 つが左側 2 層に比べ 5 °C 程度低めに推移し, 同一胴内の温度差も大きくなった。(図 3-5) これは端量運転時では 4 台のバーナのうち, 3 台を用い, 右側 2 層の熱風胴は 1 台で対応していることが要因であると考えられる。バーナ 4 台で通常運転を行った満量区では右側 2 胴と左側 2 胴が同様の経時変化を呈し, 熱風胴間の差はみられなかった。(最大で 3 °C 程度)。

#### 3) 排風

火炉直後の左右 2 点の平均排風温度は端量区, 満量区でそれぞれ 28.6 °C, 29.3 °C, 平均湿度はそれぞれ 68.9 %, 59.4 %であった。穀層を通過すること

で、端量区の温度の低下は平均で 3.9 °C、湿度は平均値で 20.7 %上昇した。満量区は温度が 19.2 °C低下し湿度は 50.6 %上昇した。

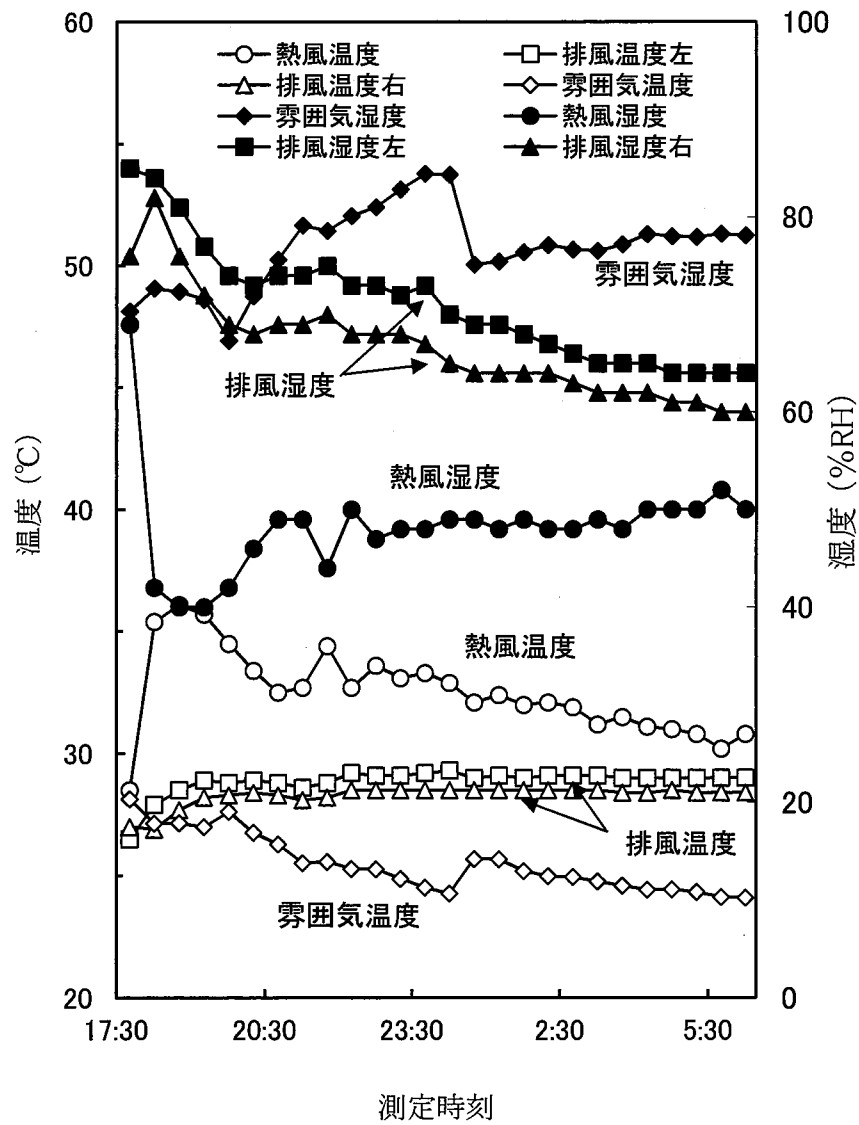


図 3-4 乾燥時の各部温湿度の変化 (端量運転時)

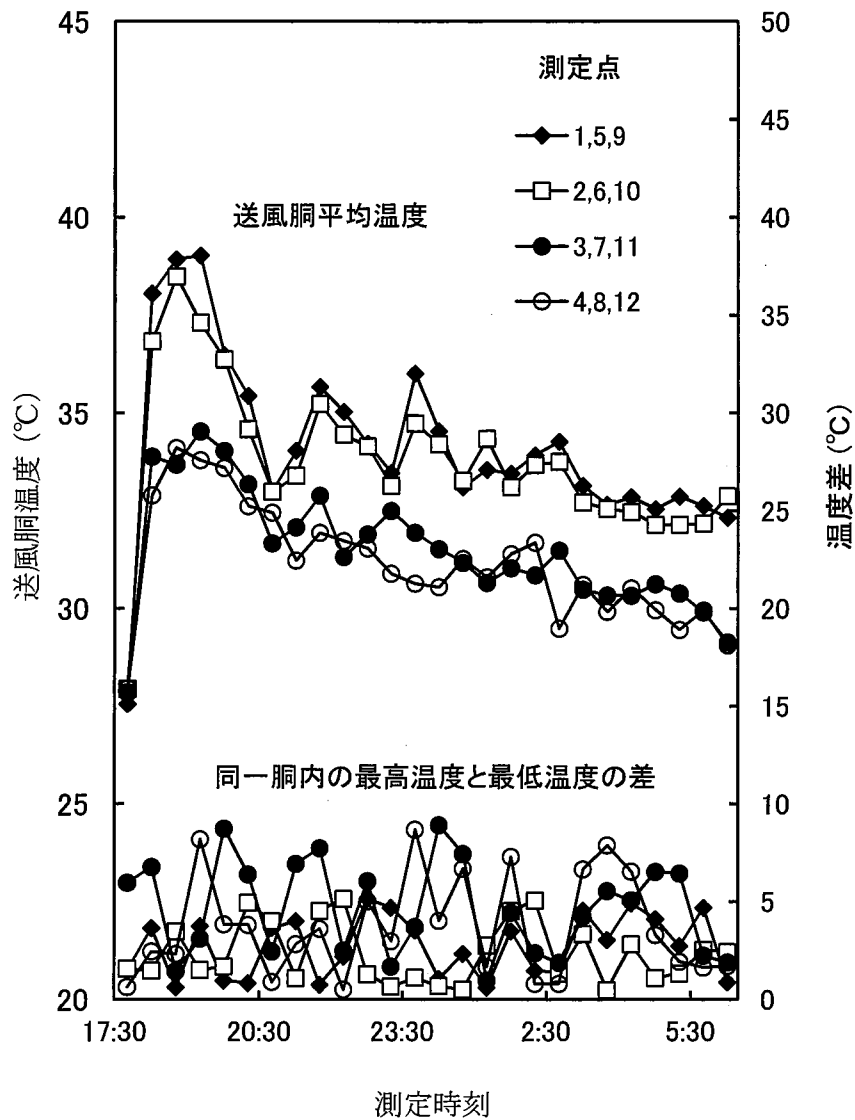


図 3-5 乾燥部の温度変化 (端量運転時)

### 3-3-4 穀温

乾燥部通過直後の最高穀温は端量区、満量区でそれぞれ 30.5 °C、35.1 °C であった。共同乾燥施設の穀類乾燥において品質保持のための乾燥時の穀温の上限値は通常 35 °C、最高でも 40 °C 以下とされている (農林水産省 (2005)) ことから、この基準を満たした結果となった。(図 3-6)

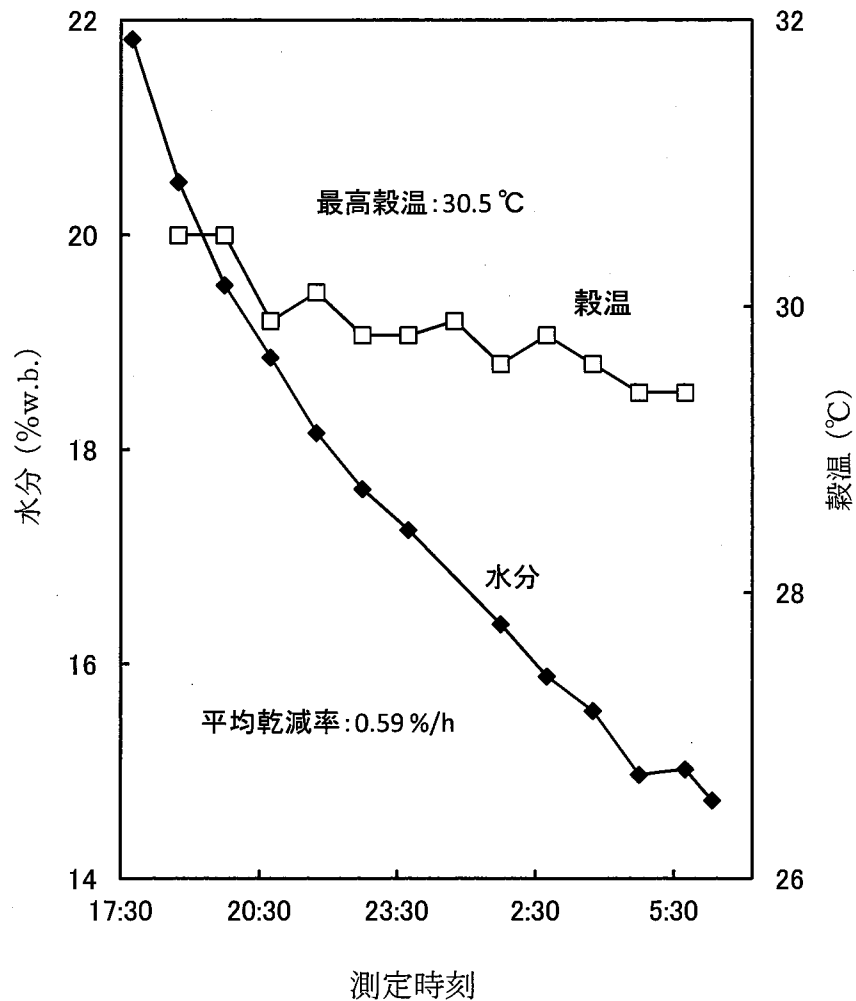


図 3-6 水分と穀温の変化 (端量運転時)

### 3-3-5 送風機性能・風量比

端量区、満量区の風量はそれぞれ  $374 \text{ m}^3/\text{min}$ 、 $409 \text{ m}^3/\text{min}$  であり、メーカー仕様数値の  $450 \text{ m}^3/\text{min}$  を若干下回る結果であった。

張込み量全体に対する風量比はそれぞれ  $0.083 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ 、 $0.024 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ 、通風部に対する風量比はそれぞれ  $0.312 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ 、 $0.340 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$  であった。従来型における調査結果によれば張込み量全体に対する風量比で満量時  $0.025 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$  であったことから概ね同等の風量であった。

通風部における風量比は連続送り式乾燥機の風量比は  $0.25 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot 100\text{kg})$  が標準であることから、1.2 倍程度の風量が出ていることが確認された。(表 3-2)

### 3-3-6 循環量

ロータリーバルブの駆動時間は、端量区で  $40 \text{ s/min}$  (1 分間に 20 秒休止) であった。端量区のロータリーバルブ連続運転時における排出能力は実測で  $20.1 \text{ t/h}$  であったことから、乾燥中の循環量は  $13.4 \text{ t/h}$  となった。同様に満量区は  $60 \text{ s/min}$  (休止時間なし)、排出能力は実測で  $32.2 \text{ t/h}$  となり、満量区でメーカー仕様数値 ( $30 \text{ t/h}$ ) を確認した。また循環量より算出した乾燥部通過時間はそれぞれ端量区 9 min, 満量区 4 分であった。

乾燥部が容量 2t であったことを配慮してタンク部の供試粉重を算出しこれを循環量で除してテンパリング時間を算出した。その結果、テンパリング時間は端量区で 0.41 h (25 min), 満量区で 0.80 h (48 min) となる。乾燥部通過時間に対するテンパリング時間は、端量区で約 3 倍、満量区で 12 倍となり端量区では循環量を落としているものの、テンパリング時間が満量区に比較して短くなった。(表 3-2)

表 3-2 風量・風量比

	端量区	満量区	備考
平均風速 (m/s)	11.0	12.0	排風ダクト測定
風量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	374	408	
張込み量に対する風量比 ( $\text{m}^3/(\text{s} \cdot 100\text{kg})$ )	0.083	0.024	
通風部に対する風量比 ( $\text{m}^3/(\text{s} \cdot 100\text{kg})$ )	0.312	0.340	通風部容量:2t
排気ファン静圧 (Pa)	838	878	吸込みと吐出しの差
送風機回転数 (rpm)	1562	1564	
循環量 (t/h)	13.4	31.9	
排出量 (t/h)	13.4	32.6	

### 3-3-7 燃料および電気消費量

#### 1) 燃料消費量

満量区における乾燥運転中の燃料消費と電力の経時変化を図 3-7 に示した。また、表 3-3 は端量区・満量区の燃料と電気の消費量等の結果を整理したものである。

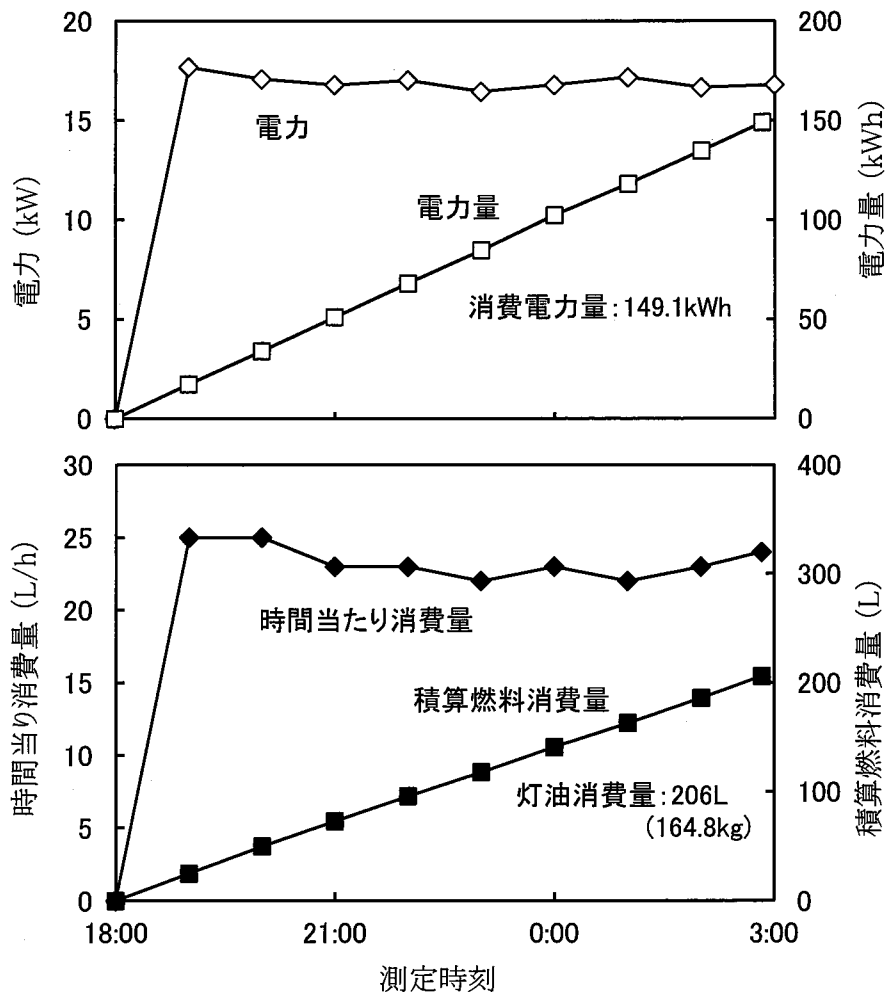


図 3-7 電力量と燃料消費量の変化 (満量運転時)



毎時燃料消費量は端量区で 5.8 L/h (4.6 kg/h), 満量区は 23.3 L/h (18.7 kg/h) であった。先に述べた除去水分量から除去水分 1 kg に要する燃料エネルギーを算出すると端量区で 4.39 MJ/kg・水, 満量区で 4.47 MJ/kg・水となった。従来機を対象とした試験結果では 3.88~5.10 MJ/kg・水であった(全農(2000))ことから灯油の燃焼による除水性能については概ね同等であると考えられた。

燃料消費量より算出した熱効率は端量区, 満量区それぞれ 56.1, 55.5 %であった。これも従来の乾燥機の試験結果(全農(2000))と比較して同程度の結果であった。

## 2) 消費電力量

クーリング工程を除く乾燥時の消費電力量は端量区で 182.3 kWh, 満量区は 149.1 kWh であった。端量区は運転時間が長いことから電力量は大きくなっている。乾燥機の運転時間で除した 1 h あたりの平均電力量は, 端量区 14.5 kWh, 満量区 16.9 kWh, 最大瞬間電力はそれぞれ 15.6 kW, 17.7 kW であった。

除去水分 1kg に要する電力量のエネルギー換算値は, 同様に端量区 1.08 MJ/kg・水, 満量区 0.32 MJ/kg・水であった。

## 3) 総エネルギー量

除去水分 1 kg に要する総エネルギー(燃料と電力量との合計)は 4.7~5.5 MJ/kg・水であり, 乾燥に要する燃料消費は既往の報告例の粗平均 5.69 MJ/kg・水(戸次(1999))に比較して低めに抑えられている。

表 3-3 除水量と投入エネルギー

項目	端量区	満量区	備考
除去水分重量 (kg)	610	1690	
燃料使用量 (kg)	58.4	164.8	比重 0.8
消費電力量 (kWh)	182.3	149.1	冷却工程を除く
除水量 1kg に要する エネルギー			
燃料エネルギー (MJ/kg・水)	4.39	4.47	灯油発熱量: 45.9 MJ/kg
電気エネルギー (MJ/kg・水)	1.08	0.32	1 kWh = 3.6 MJ
合計	5.47	4.79	

### 3-3-8 品位

端量区における供試籾の容積重は、乾燥前で 625 g/L、乾燥後で 640 g/L であった。満量区ではそれぞれ 630 g/L、636 g/L であった。安息角は端量区の乾燥前後で 44°、42°、満量区は同様に 44°、43° となった。組成分析の結果を表 3-4 に示した。乾燥前後において整粒は端量区で 3.7 %、満量区では 1.5 % 増加した。

胴割れ粒は乾燥開始前に 35 % 以上（軽胴割れ率）あった。これは立毛中に発生していたと思われる。重胴割れ粒は玄米検査において被害粒とされることからその割合の増加は乾燥作業の良否の指標となる。今回の試験では端量区満量区ともに重胴割れ粒の増加は見られなかった。軽胴割れ粒については端量区・満量区それぞれ 6.5 %、9.0 % 増とやや増加傾向がみられた。

脱ぶ率は端量区、満量区とも乾燥前後で増加した。これは、搬送等の物理的な影響の他、籾の生育中の温度をはじめ栽培履歴や土質等に由来する籾そのものの特性、乾減率、乾燥温度、乾燥時間等の乾燥条件、乾燥機の構造など様々な要因が影響していると考えられる。今回の試験結果のみではその要因について言及は困難であると考えられた。なお、スクリーンとケース間隙の穀粒は新たに搬入される穀粒に押し出されつつ順次搬送されること、品種替えの際は残粒を清掃する機構としていることから実用上の問題にはならないと考えられる。

表 3-4 組成分析結果

(単位: %)

	端量区		満量区	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
整粒	91.2	94.9	90.8	92.3
枝梗付着粒	5.1	0.8	5.4	1.8
穂切粒	0.3	0.0	0.3	0.0
未熟粒	1.2	0.9	1.0	2.5
被害粒	1.7	1.8	2.0	2.1
脱ぶ	0.2	1.3	0.2	0.8
糲・その他	0.4	0.3	0.2	0.4
胴割れ率				
軽胴割れ率	37.5	44.0	35.5	44.5
重胴割れ率	1.0	1.0	1.0	0.5

### 3-3-9 経済評価

コストには建物にかかわる建築工事費の他、乾燥機そのものの価格や乾燥機を含めた施設全体の機械設備の工事費、運営費等幅広い内容がある。

このうち本乾燥機単体では、従来機と比較して約 35 %のコスト低減が図られている。これは、全高を抑えコンパクト化したこと、バーナ、ファンを量産機型としたこと等によるものである。

建築工事部分は物件ごとに個別に設計されていることから個別事例をもって比較することは現実的ではない。山下（1992）は乾燥機等を屋外に設置することで建築面積が 7 割削減され、これに伴って建築工事費が 6 割削減された例を示している。今回の乾燥機の特長である全高が低くなることは、建築面積に直接影響を与えないこと、既設建物に納めることを前提として設計されていること、からこの例は参考になるものの前提が異なっている。しかし一般的には乾燥機（もしくは最も高くなる機器）の高さが低くなることで、当該高さに応じて建物の柱の長さ、四方の壁の面積が低減されるため、総論として建設費を低減することにつながると考えられる。

乾燥機を含む機械設備の設置・工事費は、乾燥機のほかに付帯する搬送機やタンク、その他荷受工程から貯蔵工程に至る各種の設備を伴って、入札によってシステム全体が価格決定される。その内容は施設ごとに異なることから建築部分と同様に具体的な事例をもってコスト削減効果を示すことは困難である。しかし施設の主要機器である乾燥機が従来型に比較して省スペース型となることは、例えば投入排出昇降機の機長短縮や工事における工数の減につながり、建築部分と同様に総論として低コストにつながると認識される。

### 3-4 結論

わが国の穀物生産・流通の合理化に重要な位置付けにある共乾施設においては、設備の老朽化に対する適正な管理、求められる機能の変化を配慮した補改修や利用体制の構築、運転技術の継承などの諸課題が提起されている。

これらの諸課題への対応の一つとして、機器の更新や新設にあたってコストを抑えるため、既存施設への入れ替え・改修を想定して小型化・省スペース化した共乾施設向け循環乾燥機が近年開発・実用化されている。小型化することにより再編整備に係る設置コストの低減が図られる。加えて穀物の流路が短くなることは穀物自体の品質劣化の低減や乾燥機本体の耐久性の向上に寄与することを想定している。本報ではその基本性能を検証することで、今後の運転や施設の導入計画の際の基礎資料を得た。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 供試乾燥機は投入、排出の機構を工夫することにより同容量の従来機に比較して全高で3 157 mm 低くしている。これにより、既設の共乾施設へ導入しやすくなっている。
- 2) 張込み量全体に対する風量比は端量区・満量区それぞれ  $0.083 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ ,  $0.024 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ , 通風部に対する風量比はそれぞれ  $0.312 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ ,  $0.340 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$  であった。
- 3) 原料水分が仕様条件の 24 %より低く、乾燥がある程度進んだ状態での試験であったが、乾減率は満量運転時 0.60 %/h, 端量運転時で 0.59 %/h となり、農林水産省の指導値である 0.6 %/h 以上、及びメーカー仕様値標準 0.6~0.8 %/h ともほぼ満たす結果となった。
- 4) 乾燥中の供試粉が乾燥部を通過した直後の穀温は農林水産省が指導する 35 °Cを概ね下回って推移した。
- 5) 供試粉の品質は、組成分析によって確認したところ、農産物検査に影響する重胴割れ粒は増加しなかった。
- 6) 除去水分 1 kg に要する総エネルギーは端量区 5.5 MJ/kg・水, 満量区 4.7 MJ/kg・水であった。これまでの報告例に比較して省エネルギーとなっていることが確認された。
- 7) 乾燥機単体では 35 %程度の削減が図られているほか、本機の導入における施設建設における建築工事部分や機械設備全体へのコスト削減が考えられた。

これらのことから、供試乾燥機は導入コスト低減と省スペース化が実現されつつも基本性能は要求水準を十分に満たすことが明らかとなった。

一方で脱ぶ率が乾燥前後で上がった原因は、今回の調査検証では明らかにされていないことから今後の課題である。また、傾斜スクリーンコンベヤによる搬送機構については、穀粒が順次押し出す効果によって搬送・排出されるが、品種切り替えや荷受・乾燥期間終了後においては清掃の徹底が運転上必要となる。機械設計上は、ある程度清掃を前提とした構造としておくことが求められる。

本章では、CE の処理工程のうち、乾燥工程を担う主要機器として、高さを抑え省スペース化した共乾施設向け乾燥機をとりあげ、その基本性能の検証結果について述べた。次章では、同様に CE の乾燥工程に導入が始まっている OEM 乾燥機の検証結果について述べる。

## 第4章 OEM 遠赤外線乾燥機の実稼働性能調査

### 4-1 はじめに

前章では、小型・省スペース化することで、既存施設への入れ替え・改修や新設のために必要な工事を削減すること、自動化されている度合いが高く、運転操作が比較的容易な省スペース型循環式乾燥機をとりあげ、その性能を調査した。従来機と比較して供試機は特に高さを低くした一方で、必要な機能を確保していることが確認された。

本章では、施設の主たる機能を担う乾燥設備のうち、特に外国製の OEM 遠赤外線乾燥機をとりあげる。

第1章で述べたように多くの共乾施設の設置年数が建設後15年以上経過し、老朽化が進んでいるとされ、これによって機器の更新や修理費等の増加を招くことが課題となっている。一方、米の作付面積に対する施設の受益面積の割合（共乾施設普及率）は3割程度あると考えられ（和田（2014））、稲作地域における役割は重要である。

そこで、要求される機能の維持とそれに費やすコストの平衡をとることが共乾施設の運営上必要となっている。（土方（2014））具体的な施設の経営収支では、利用料金を中心とした「収益」が乾燥調製を行う上で掛る「費用（コスト）」を下回らないことが求められる。収支均衡のためには収益の増もしくは費用の減、すなわち利用料金を上げて収益を確保することもしくは経費を低減すること、が必要である。しかし最近の米麦の販売環境の厳しさや稼働率低下の懸念を背景として利用料金を高く設定することが困難な施設も多い。そこで施設の収支均衡のためにコストの削減が広く行われている。

コストには処理量にかかわらず一定額を計上する固定費と処応して変動する変動費がある。固定費の主たる要素は共乾施設の機能維持、すなわち保守管理に要する投資ならびに建設後の地域農業構造や社会的な要求の変化に伴って派生する機能を付加するための投資などの建設コストであり、変動費の中心は燃料等の資材費や労務費などの運転コストである。

そのうち、建設コストの低減方法として乾燥機を屋外型とし、粗選機と精選機を兼用するなど設備面の合理化を図った施設建設とする例（全農（1991））や、貯蔵乾燥方式におけるコルゲートビンに断熱を施し、貯蔵機能を加えた丸ビンの実用化（農林水産省（1999））などが取り組まれている。運転コストの低減には除湿乾燥を利用することで夜間における労務費を削減することなどが行われている。（山下（1992））

このようなコスト低減策のうち、近年導入が進んでいる遠赤外線を利用した乾燥機は従来型の火力乾燥機に比較して燃料消費・消費電力量が少ないとされ

ており（農業・食品産業技術総合研究機構（1998））、乾燥機の更新や複数の施設の再編整備を行う場合にあって、施設の主たる機能を果たす乾燥機については、遠赤外線方式が採用される例も少なくない。

共乾施設の機能維持とコスト低減を図ることへの対応の一つとして海外製の遠赤外線乾燥機が国内メーカーの OEM 品（他社製品の自社ブランド販売、Original Equipment Manufacture）として導入されている。

OEM は、一般に委託者が設計や組み立てを受託者に指導して委託者のブランドで製品を製造することで委託者は生産のための設備投資が抑制又は不要となることから資金的な負担が軽減される特徴がある。OEM の発展した手法として、受託者側が設計・製造し、これを受託者側ブランドで販売・流通させる形態なども行われている。委託した企業は、自社工場をもつリスクを回避し、受託した企業は委託企業の流通や販路に製品を乗せることで広く普及が見込める利点があるとされている。

当初国内メーカーが開発した遠赤外線乾燥方式の共乾施設向け OEM 乾燥機は、本体価格を従来機比で概ね 4 割程度を低減させ導入時の固定費を抑えることが期待されている。遠赤外線を利用することで運転コストである燃料消費と電力量の削減を図り OEM 品を利用することでイニシャルコストの低減を目指すものである。

しかしながら、遠赤外線を利用した穀類乾燥機の性能評価には日高ら（2013）による報告、また遠赤外線を用いない共乾施設向け乾燥機の性能評価についても報告例があるものの、海外製の共乾施設向け遠赤外線穀類乾燥機についてはその性能評価を試みた報告は国内で認められない。

共乾施設における機器の更新においてコスト面の効果が期待される OEM 乾燥機は今後の普及もみこまれ、その基本性能を確認することは重要である。

本章では、このような背景から共乾施設の主要な工程のうち乾燥工程において遠赤外線を用いた OEM 品の共乾施設用乾燥機をとりあげ、その性能の検証試験を行うこととした。試験は実稼動時の運転実態に即して張込み量満量および端量の 2 条件で実施するとともに、既往の乾燥機を対象とした性能確認試験結果等との比較によりその乾燥性能を評価した。

## 4-2 供試乾燥機および方法

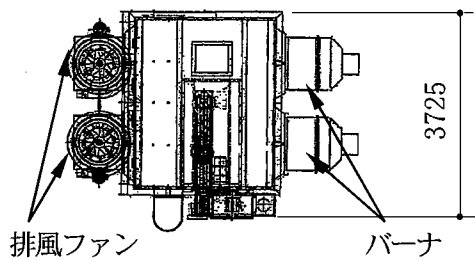
### 4-2-1 供試乾燥機の概要

調査対象とした装置は、共乾施設向けとして導入された M 社扱いの海外製遠赤外線乾燥機（全高 8 950 mm，全幅 4 190 mm，全長 5 170 mm）である。外観を図 4-1 に、主な仕様を表 4-1 に示す。供試乾燥機は既存の RC に設置され

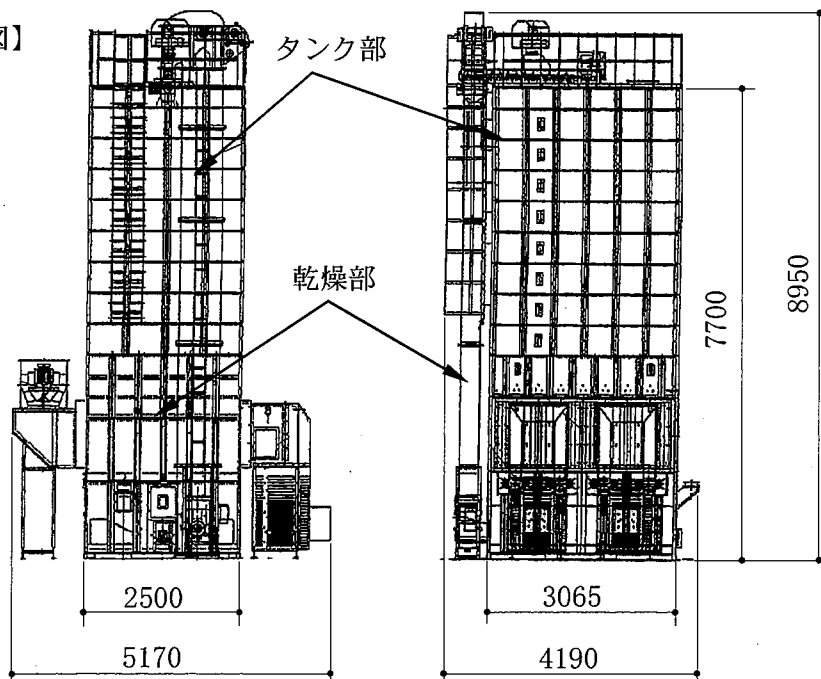
た5台×2系列, 合計10台(張込み容量5 t/台)のうち2台を撤去して設置したものである。

排気ダクト(φ500mm×2本)は既設の乾燥機3台とつながる集中ダクトに接続されている。排風は施設に付設されている重力沈降室を経由し湿式集塵装置機から大気放出されている。

【平面図】



【立面図】



(単位: mm)

図 4-1 供試乾燥機概要

### 1) 構造

供試機は上部にテンパリングタンク（容量 16.2 t, 29.0 m<sup>3</sup>）を配置し、下部にスクリーン型の乾燥部（容量 4.0 t, 7.2 m<sup>3</sup>）を配置した総張込み容量 20.2 t の循環式乾燥機である。

遠赤外線放射体はセラミック塗料が塗布されたステンレス管である。4つの熱風路内にそれぞれ設置されており、放射体 2 本につき 1 台、合計 2 台のガンタイプバーナにより放射体を加熱する。乾燥はバーナによる熱風と放射体からの遠赤外線により行われる。乾燥部は 8 層の穀層（穀層厚 113 mm）を持つスクリーン型（φ2 mm, 開孔率 30 %）であり、通風は 2 台のファン（斜流式 3.7 kW × 2 台）による吸引方式としている。（図 4-2）

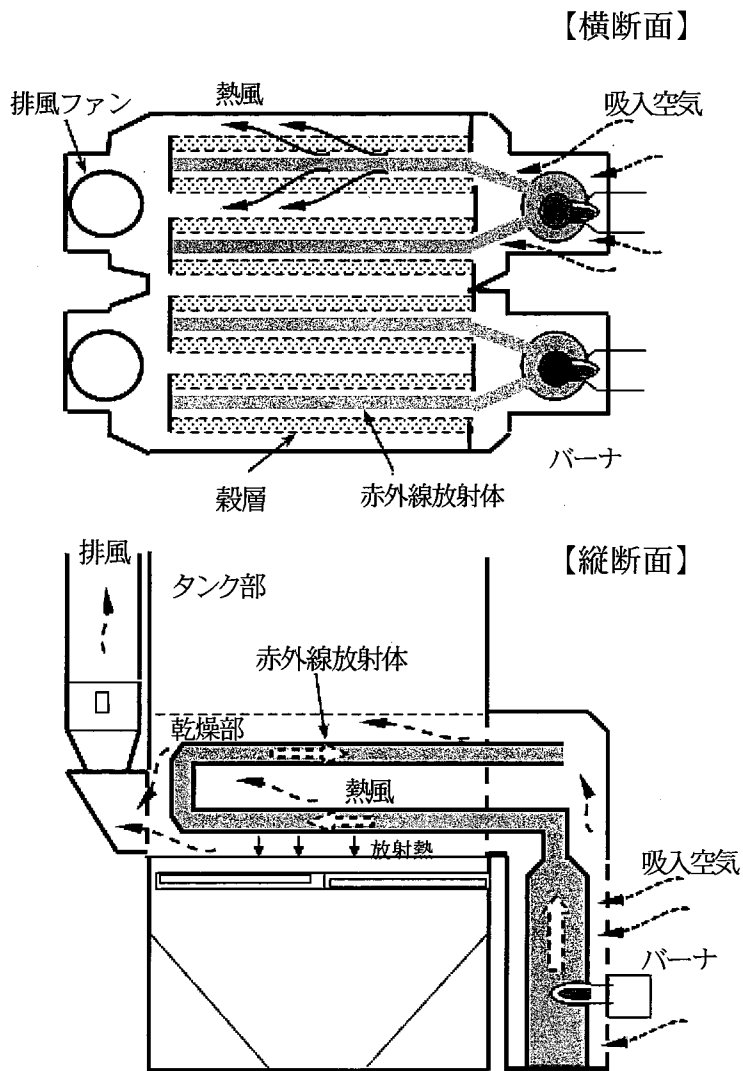


図 4-2 乾燥部模式図



表 4-1 供試乾燥機の主な仕様

乾燥部形状	スクリーン式吸引型
張込み量	粃 6~20 (t) * <sup>1</sup>
構造	上部:テンパリングタンク, 下部:熱風通風部(4 t)
基本性能	
毎時乾減率	0.6~0.9 (%/h) * <sup>2</sup>
張込み・排出能力	張込み能力 30 (t/h)・排出能力 20 (t/h)
排風機	
形式×台数	斜流式×2(基)
風量・動力	500 (m <sup>3</sup> /min)・3.7 (kW)×2
遠赤外線放射体	
放射材	高効率放射材:SUS430 セラミック塗料
設置位置	熱風路内
バーナ	
型式・台数	ガンタイプ×2(台)
燃焼量	最大 34 (L/h)
動力	0.12 (kW)×2
所要電力	
電源	三相 200 (V)(操作盤:单相 200 (V))
総合動力	最大 13.2 (kW)
全幅×全長×全高	4190×5170×8950 (mm)
付帯装置	
安全装置	
	①プロテクトリレー②炎センサ③加熱防止装置④電磁弁 ⑤過電流検出装置⑥満量センサ
運転制御装置	
	乾燥速度制御・水分自動停止制御・乾燥温度自動制御
標準装備	
	①自動水分計②排塵機③自動排出シャッター・投入口
その他	
	乾燥機の運転状態の信号出力

\*<sup>1</sup> 水分 24 %w.b., 見掛け密度 600 kg/m<sup>3</sup>, 枝梗付着粒・穂切粒 2 %以下、  
その他の夾雑物混入率 1 %時の粃

\*<sup>2</sup> 粃:水分 24 %w.b.から 15 %w.b.まで乾燥する場合

## 2) 循環速度

1 h に 1 循環を目安に乾燥機下部の回転式繰出し装置（シャッタドラム）の駆動時間を調整する。張込み量に応じて 12 段階の設定が可能となっており、乾燥運転中の循環速度は一定にしている。シャッタドラムは容量 0.212 m<sup>3</sup>/本（約 119 kg）であり、乾燥機 1 台あたり 4 本設置されている。

## 3) バーナ

ガンタイプ 2 台（最大燃焼量 17 L/（h・台））であり、目標とする熱風温度になるように自動的に 3 段階で制御され、熱風温度が調節される。それぞれのバーナに対応した熱風路内に温度センサが設置されている。

## 4) 水分計

付設している電気抵抗式水分計は 15 分間隔で測定する。約 3 分間サンプル採取し、100 回測定の平均値が表示される。

## 5) 乾燥制御

供試乾燥機では、熱風温度・仕上げ水分・張込み量を使用者が設定し、その設定値にもとづいて運転する制御方法を「一般乾燥制御」と呼び、張込み量・仕上げ水分を使用者が設定し、熱風温度及び循環時間は外気温と乾燥速度にもとづいて乾燥機が自動制御する方法を「知能乾燥制御」と呼んでいる。

一般乾燥制御における熱風温度は、張込み量と平均外気温からメーカーが定めた「熱風温度設定表」に基づいて使用者が設定することとしており、設定された熱風温度は乾燥期間中一定である。知能乾燥制御では、表示水分の推移から乾減率を推定し、目標乾減率となるように送風温度（バーナの燃焼量）を自動調整される。

### 4-2-2 検証試験および試験条件

#### 1) 試験日と場所

2008 年 10 月 7～10 日に S 県 H ライスセンター内で実施した。

#### 2) 試験条件

供試乾燥機の試験条件として張込み量が満量時（以下、満量区）と端量時（以下、端量区）を設定した。これは、実際の施設の運転において循環型乾燥機を設置する多くの施設では複数台の乾燥機を稼働させることから、その日の荷受量によって満量で運転されない乾燥機が生ずること、荷受期間の初期や終末期は施設への搬入量が少なくなる場合もあるためである。満量区の張込み量は 20.2t、

端量区は 7.3 t で乾燥試験を行った。

供試試料は当該 RC で荷受・乾燥調製されている水稻うるち粳（キヌヒカリ）である。

装置の乾燥制御は「一般乾燥制御」とした。これは試験者側が設定した状態を乾燥機が実現する程度を確認しやすくするためである。「知能乾燥制御」では、乾燥速度によって自動的に熱風温度および循環速度が変化する。一方「一般乾燥制御」では目標熱風温度および循環速度が一定となることから、今回の調査では一般乾燥制御を試験条件として採用した。今回満量区は平均外気温を 20 °C と推定し、張込み量区分 20.6 t から、「熱風温度設置表」により 53 °C に設定した。端量区は同様に外気温 25 °C と推定し、張込み量 7.4 t から、熱風温度は 43 °C に設定した。

#### 4-2-3 測定項目

##### 1) 乾燥機張込み重量

施設付設の荷受計量機により乾燥機の張込み重量を測定した。

##### 2) 水分

乾燥前、乾燥中、乾燥後に試料を採取し、農業機械学会（1975）の穀物の含水率測定方法基準にもとづいて、絶乾法（10g 粒・135°C・24h）により測定し、標準法（5g 粉碎・105°C・5h）に換算した。1 回の採取量は他の分析用も含めて 150 g 程度とした。

乾燥前水分は満量区では約 700 kg ごと、端量区では約 300 kg ごとにサンプルを採取してその平均値を用いた。採取は荷受計量機通過後の搬送経路内とした。

乾燥中は 30 分毎に乾燥機循環用バケットコンベアの下部サンプル採取口から採取して 1 回のサンプリングについて 3 回測定し、その平均値を用いた。

乾燥終了時は排出される粳をサンプル採取口から満量区では約 1 000 kg ごと、端量区では約 250 kg ごとに採取して平均をとった。

##### 3) 毎時平均乾減率

乾燥前後の平均水分と乾燥所要時間から、毎時平均乾減率を算出した。

##### 4) 供試粳の品位

乾燥前および乾燥後の試料をそれぞれ均分器で合成縮分し、容積重、安息角を測定し、組成分析を行った。容積重は一斗升を用いて重量を計測し、容積（18 L）で除して算出した（充填重量計測法）。安息角は安息角測定器（筒井理化機

器（株）、三輪式円筒回転法安息角測定器）により測定した。組成分析は試料を7項目（①整粒、②枝梗付着粒、③穂切粒、④未熟粒、⑤被害粒、⑥脱ぶ、⑦糲・その他）に手選別しそれぞれの重量割合を求めた。胴割れ率は手選別で「整粒」区分されたものについて、200粒を手剥きし米粒透視器により目視測定した。乾燥後のサンプルについては糲状態のまま24h以上放置した後に測定した。

#### 5) 熱風・排風・吸入空気温湿度

図4-3は外気がバーナで加温された後、穀層を経て吸引送風される乾燥部における送風温度の測定位置を示した。縦断面図には放射体の位置を示したが、横断面図では省略した。乾燥部の測定点は、熱風胴側（放射体側）のスクリーン表面とした。乾燥部8層はバーナ1基に対応する4層が並列して対称に配置されていることから、測定点を図に示す4層の穀層表面4点×上中下段の3段×バーナ側および排風側2点の合計24点とした。乾燥部の温度は熱電対、排風・吸入空気温湿度はデータロガー（株）ティアンドデイ、TR-72U）を用いて10分ごとに自動計測した。

#### 6) 穀温

試料を採取して断熱保温瓶に入れ、サーミスタにより測定した。試料の採取は水分測定と同時に行った。

#### 7) 風量

風量は熱線式風速計（株）テストー、testo425）を用い、2本の排風ダクト（φ500mm）内の風速各20点を測定し、ダクト断面積と風速の平均値を乗じて算出した。測定は満量区・端量区ともに乾燥中に行った。

#### 8) 循環量

試験開始前と終了直前にシャッタドラムが一回転する間に排出される糲の重量とその時間を計測し、時間当たりの循環量（連続運転時）を算出した。

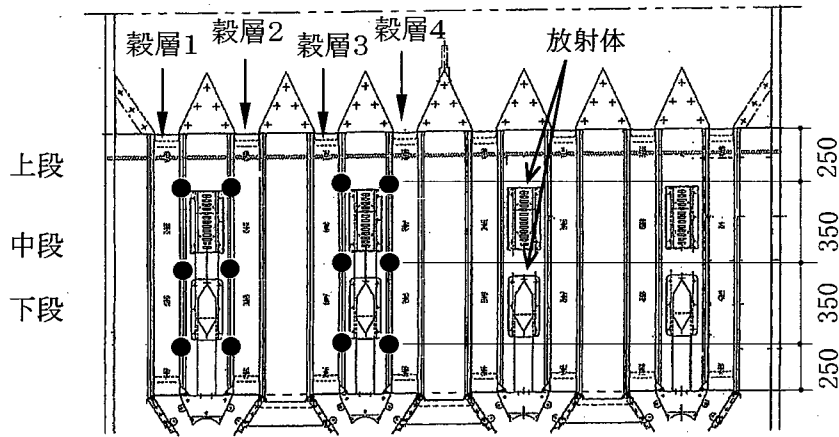
#### 9) 燃料消費量

灯油配管に設置した積算油量計を30分毎に読みとった。

#### 10) 消費電力量

積算電力計により電力および電力量を計測した。

【縦断面図】



【横断面図】  
(放射体は省略している)

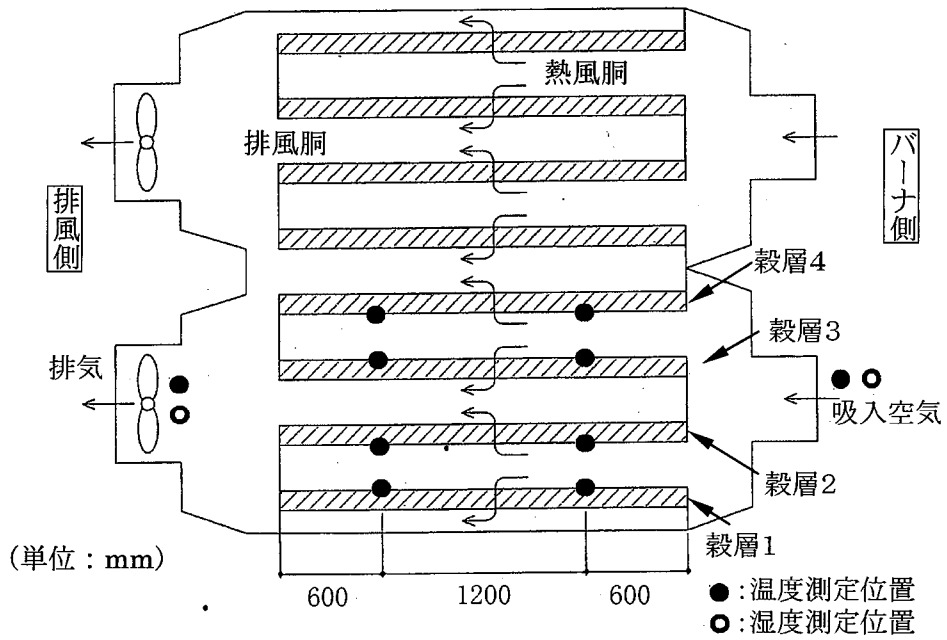


図 4-3 乾燥機内温湿度測定位置

### 4-3 結果と考察

#### 4-3-1 乾燥時間

満量区は10月7日18:00にバーナを点火して乾燥開始し、10月8日13:00に乾燥を終了し、その後クーリングを行った。15%の目標水分までの実乾燥時間は19.17hであった。端量区は10月9日15:10に乾燥開始し、10月10日3:15乾燥終了、実乾燥時間は12.12hとなった。

#### 4-3-2 水分と毎時平均乾減率

##### 1) 水分

満量区および端量区の平均張込み水分はそれぞれ27.0%w.b.、28.1%w.b.であった。満量区の最高水分と最低水分の差は10.6%w.b.標準偏差2.55%w.b.、端量区は水分差6.1%w.b.、標準偏差1.96%w.b.であった。

平均仕上げ水分は満量区で14.4%w.b.仕上がり時の最高水分と最低水分の差は0.4%w.b.、標準偏差0.11%w.b.となった。端量区の平均仕上げ水分は14.6%w.b.、水分差0.4%w.b.、標準偏差0.11%w.b.となった。乾燥後は端量区、満量区とも水分のばらつきが小さくなり均一な仕上がりとなった。乾燥後の水分のばらつきが少なくなることは、乾燥後の貯蔵・糲すり・出荷までの保管時に起こりうる蒸れや発酵などの品質事故を抑え・精米に至る流通の各場面での保存性の向上に寄与することが期待される。

乾燥による除去水分を次式により算出した結果、満量区は2957kg、端量区は除去水分1159kgとなった。

$$W_w = W_p \times \left( 1 - \frac{100 - m_p}{100 - m_f} \right) \quad (4.1)$$

ここで、 $W_w$ ：乾燥によって供試糲から除去された水分(kg)、 $W_p$ ：乾燥前糲重量(kg)、 $m_p$ ：乾燥前糲水分(%w.b.)、 $m_f$ ：乾燥後糲水分(%w.b.)

##### 2) 毎時平均乾減率

水分差と乾燥時間から算出した毎時平均乾減率は満量区0.65%/hで端量区は1.11%/hとなった。満量区は、農林水産省(2005)の乾減率(0.6%/h)および表4-1に示すメーカー仕様(0.6~0.9%/h)をほぼ満たす結果となったが、端量区は仕様値を上回った。

#### 4-3-3 温度・湿度

乾燥運転中の吸入空気および排風の温度・湿度の経時変化を満量運転時の例として図4-4に示す。同様に満量区における乾燥部の各測定点の温度推移を図

4-5 にまとめた。

### 1) 外気

天候が雨天や曇天時には、晴天時で空気が乾燥している時よりも乾燥が進まないため、一般的には施設のオペレーターは送風設定温度をやや高めにするこ  
とや、循環量を落とすことで所定の乾減率の確保を考える。また、貯蔵に移行  
する場合には穀類と外気温の温度差によって表面の結露を予想することもする。  
このように外気の雰囲気を見極めて運転することとなる。

今回満量区の乾燥試験中の天候は曇りのち雨、平均気温 20.8 °C 平均湿度  
78.8 %RH, 絶対湿度 0.0121 kg/kg' であった。端量区の天候は晴れ、平均気温  
19.8 °C 平均湿度 74.0%, 絶対湿度 0.0107 kg/kg' となり、満量区は端量区に比  
べて高湿の環境となった。

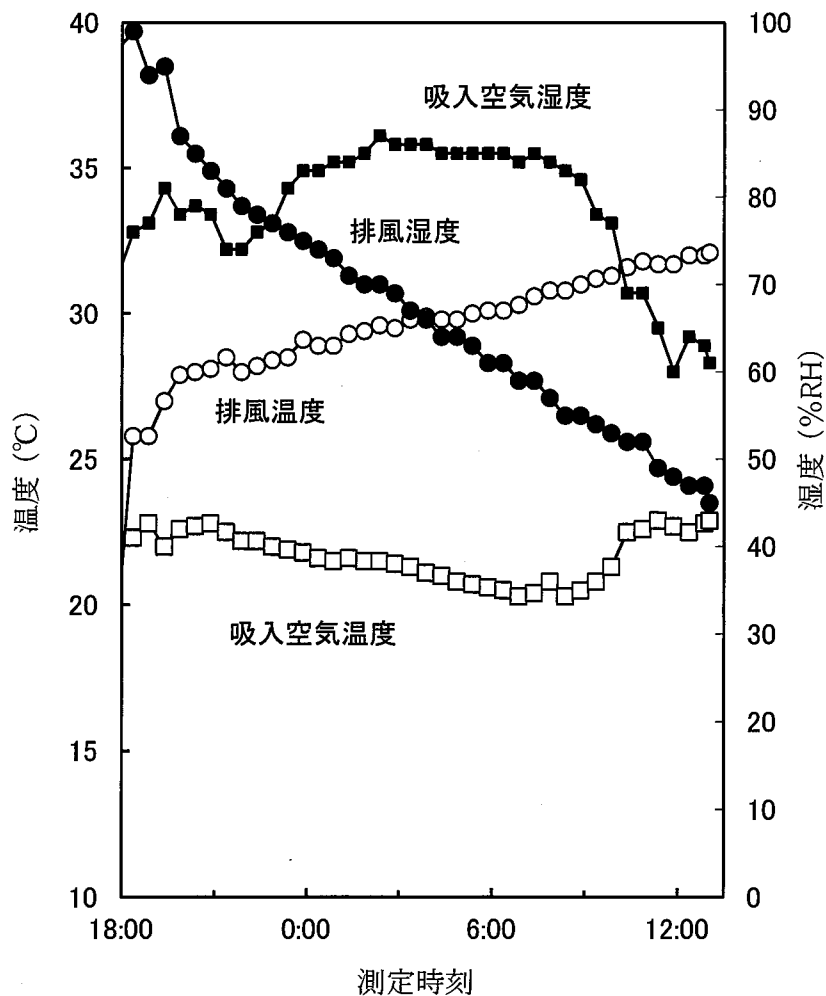


図 4-4 乾燥時の吸入空気・排風温湿度の変化 (満量区)

## 2) 乾燥部

満量区・端量区の熱風温度は乾燥試験中の総平均でそれぞれ 49.9 °C, 40.0 °C であった。設定した送風温度はそれぞれ 53 °C, 43 °C であったことからやや低めの温度であった。乾燥機に設置されている温度センサは遠赤外線放射体の円筒管出口近傍に設置されており、放射体の管内を經由してバーナの熱風を受ける位置にある。一方で今回計測した通風部のセンサは穀層表面に取り付けているため、外気および流下する粉のスクリーンを經由した伝熱を受ける位置にあることによると考えられる。

満量区における測定位置別の温度推移を示した図 4-5 によれば、バーナ側よりも排風側の温度が高くなった。バーナは円筒状の遠赤外線放射体を内部から加熱する構造であることから、外気による影響をバーナ側は受け、比較的低温になっていることが考えられる。

次に送風胴内の温度の分布を高さ方向にみると、上段・中段・下段の平均温度は満量区で 50.4 °C, 48.4 °C, 50.9 °C, 端量区で 40.7 °C, 38.7 °C, 40.6 °C であった。中段は上段および下段に比べてやや低めに推移した。中段の測定点は遠赤外線放射体からの距離が上段および下段と比較して離れていることが原因の一つであると考えられる。

穀層ごとの温度分布をみると、下段では穀層毎のばらつきが少なく、下段バーナ側、下段排風側、上段排風側上段バーナ側の順に層間のばらつきが増加した。上段排風側は下段と同様の温度を概ね維持している一方、上段バーナ側の穀層 2 および穀層 3 は同 1 および 4 に比較してやや低めに推移した。放射体が排風側で折り返していることから、排風側の上段と下段の穀層間のばらつきは同様の温度変化をしたことが考えられる。また、穀層 2 および 3 は排風胴が共通であり、その排風胴は排風機の正面に位置している。各穀層を通過する風量が排風機や穀層、吸入空気口の相対的な位置の影響を受けていることが要因の一つとして考えられた。なお、図 4-5 に示す各測定点の変化は端量区においても同様の推移を示し、張込み量によらず機内の熱風温度のばらつきは同様に生じるものと考えられた。

## 3) 排風

満量区および端量区の排気平均温度は、それぞれ 29.4 °C, 27.5 °C であった。平均湿度は、67.8 %RH, 59.9 %RH であった。満量区の排気温度と吸入空気温度の差は平均で 8.6 °C 上昇、湿度は平均値で 11.0 %RH 上昇した。同様に端量区は温度が 7.7 °C 上昇し湿度は 14.1 %RH 上昇した。

一方、吸入空気と排気の絶対湿度をそれぞれの温湿度から算出し、その差を求めたところ、満量区では、乾燥初期は 0.008 kg/kg' 程度であったが乾燥終期



にかけて 0.004 kg/kg' 程度に漸減した。排風温度が上昇傾向にあることは、加温温度設定が一定であること、一般に共乾施設向け大型乾燥機の乾燥中の風量は概ね一定であることから、穀物水分の蒸発に利用されないエネルギーが乾燥過程に従って増える傾向にあったことが考えられる。これは乾燥の後半ほど、空気に含まれる穀物由来の水分が少なくなったことを示すものであり、乾燥が進行するにつれて水分蒸発が低下し、減率乾燥が進んだことによるものである。

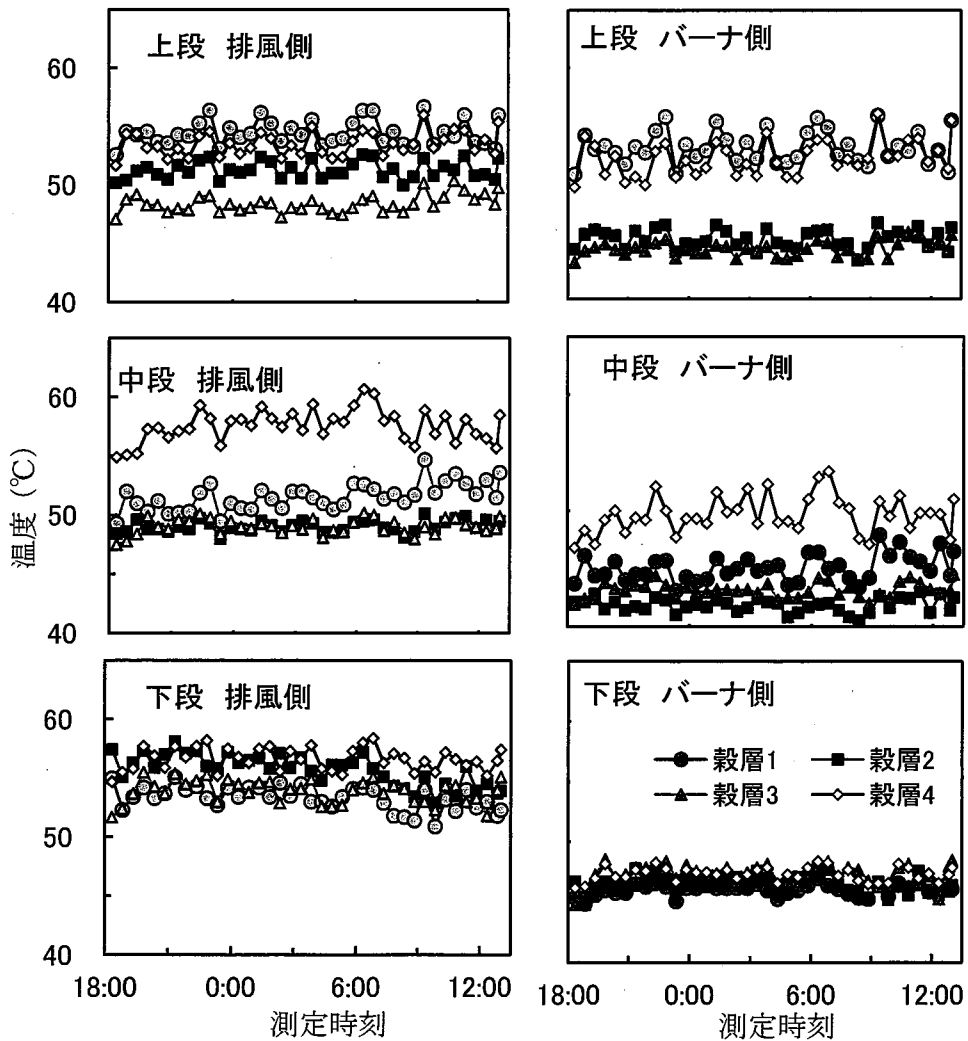


図 4-5 熱風胴各部の温度変化 (満量区)

#### 4-3-4 穀温

乾燥部通過直後の最高穀温は満量区、端量区でそれぞれ 35.4、35.2 °C であった。共同乾燥施設の穀類乾燥において品質保持のための乾燥時の穀温の上限値は通常 35 °C、最高でも 40 °C 以下とされている（農林水産省（2005））ことから、この基準を満たした結果となった。（図 4-6）

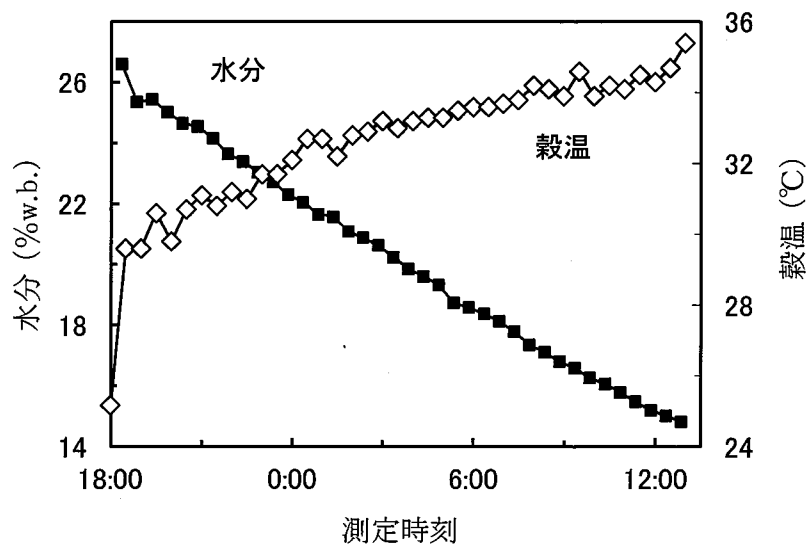


図 4-6 乾燥時の水分と穀温の変化（満量区）

#### 4-3-5 送風機性能・風量比

満量区は乾燥開始後 1 h 経過時点で 376 m<sup>3</sup>/min (27.1 °C)、端量区の乾燥開始後 1 h 経過時点の風量は 347 m<sup>3</sup>/min (23.6 °C) であった。いずれもメーカー仕様数値である 500 m<sup>3</sup>/min（既存の乾燥機とダクト等を独立して単体で用いた場合の風量）を下回った。供試乾燥機の排気ダクトが接続している集中ダクトは、既設の循環式乾燥機の排気ダクトも接続されている。排風は、集中ダクトから重力沈降室を経由して湿式集塵に送られる。供試装置は同一集中ダクトに接続している既設乾燥機と同時に運転しないことを前提に計画されたものであったが、今回の試験時は荷受集中により施設内の全ての乾燥機が同時に稼働

した。そのため処理風量が過大となって圧力損失を生じ、その結果供試乾燥機通風部の風量が小さくなったと考えられた。

乾燥開始後の張込み量全体に対する風量比は満量区・端量区それぞれ  $0.030 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ ,  $0.079 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ , 通風部に対する風量比はそれぞれ  $0.156 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ ,  $0.144 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$  であった。張込み量全体に対する風量比の標準を農林水産省 (2005) は  $0.03 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$  としており、これまで実測した乾燥機における調査結果によれば張込み量全体に対する風量比が満量時  $0.03\sim 0.08 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$  程度であった (全農 (2000), 全農 (2007)) ことからこれらと概ね同等の風量であった。(表 4-2)

表 4-2 風量・風量比

	満量区	端量区	備考
平均風速 (m/s)	16.0	14.7	排風ダクト測定
風量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	376	347	
張込み量に対する風量比 ( $\text{m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ )	0.030	0.079	
通風部に対する風量比 ( $\text{m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ )	0.156	0.144	通風部容量:4 t
循環量 (t/h)	16.9	5.6	
排出量 (t/h)	16.6	5.9	

#### 4-3-6 循環量

満量区の推定循環量は  $16.9 \text{ t/h}$ , 端量区は  $5.6 \text{ t/h}$  であった。供試粉が乾燥機内を 1 循環するために要する時間は、張込み量を循環量で除して、満量区で  $1.20 \text{ h}$  (72 min), 端量区で  $1.31 \text{ h}$  (79 min) となった。また乾燥部を  $4.00 \text{ t}$  とし、算出した乾燥部通過時間は満量区  $0.24 \text{ h}$  (14 min), 端量区  $0.71 \text{ h}$  (43 min) となった。

供試粉が乾燥部以外 (タンク部および昇降機) を通過している時間がテンパリング (乾燥休止) 時間となる。乾燥部通過時間に対するテンパリング時間は、満量時で  $0.96 \text{ h}$  (58 min), 端量区で  $0.6 \text{ h}$  (36 min), となり乾燥部通過時間に対し満量区で 4 倍, 端量区で 0.8 倍となった。テンパリング時間が満量区に

比較して短くなった。これは端量区では循環量を落としているものの、通風される乾燥部の容量 (4.00 t) に比較して張込み量が少なかった (7.40 t) ことが原因である。(表 4-2)

#### 4-3-7 燃料および電気消費量

##### 1) 燃料消費量

乾燥運転中の燃料消費と電力の経時変化を端量区の例を図 4-7 に示す。また、表 4-3 は満量区・端量区の燃料と電気の消費量等の結果を整理した。

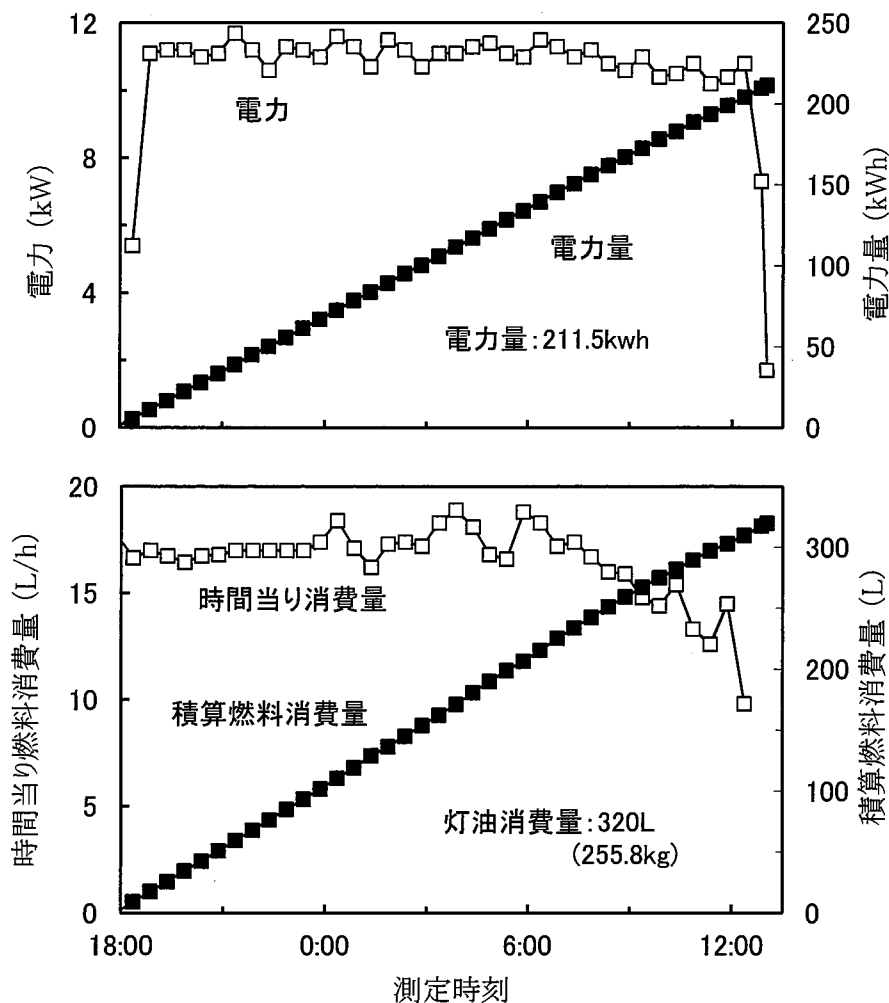


図 4-7 電力量と燃料消費量の変化 (満量区)

毎時燃料消費量は満量区は 16.7 L/h (13.3 kg/h), 端量区で 11.6 L/h (9.3 kg/h) であった。先に述べた除去水分量から除去水分 1 kg に要する燃料エネルギーを算出すると満量区で 3.97 MJ/kg-水, 端量区で 4.45 MJ/kg-水となった。従来機を対象とした試験結果では 3.88~5.1 MJ/kg-水であったことから灯油の燃焼による除水性能については概ね同等であると考えられた。

表 4-3 除水量と投入エネルギー

	満量区	端量区	備考
除去水分重量 (kg)	2957	1159	
燃料使用量 (kg)	255.8	112.4	比重 0.8
消費電力量 (kWh)	211.5	124.4	クーリングを除く
除水量 1kg に要する エネルギー			
燃料エネルギー (MJ/kg-水)	3.97	4.45	灯油発熱量: 45.9 MJ/kg
電気エネルギー (MJ/kg-水)	0.26	0.39	1 kWh=3.6 MJ
合計	4.23	4.84	

## 2) 消費電力量

クーリング工程を除く乾燥時の消費電力量は満量区で 211.5 kWh, 端量区は 124.4 kWh であった。乾燥機の運転時間で除した 1 h あたりの平均電力量は, 満量区 11.0 kWh, 端量区 10.3 kWh, 最大瞬間電力はそれぞれ 15.6 kW, 17.7 kW であった。

除去水分 1 kg に要する電力量のエネルギー換算値を発熱量換算 (1 kWh=3.6 MJ) して算出した結果, 満量区は 0.26 MJ/kg-水, 端量区 0.39 MJ/kg-水となった。

## 3) 総エネルギー量

除去水分 1kg に要する総エネルギー (燃料と電力量との合計) は満量区が 4.23

MJ/kg-水，端量区で 4.84 MJ/kg-水となった。乾燥に要する燃料消費は既往の報告例であるコラム乾燥機による遠赤外線を用いない高温乾燥の平均 5.69 MJ/kg-水（戸次（1999））に比較して低めに抑えられている。遠赤外線乾燥機は，従来型の火力乾燥機と比較して放射効果が加わることでエネルギー効率が高くなることが指摘されている（農林水産技術情報協会（2001））ことは，効率的な乾燥が行われた要因のひとつであると考えられた。

#### 4-3-8 品位

満量区における供試物の容積重は，乾燥前で 624 g/L，乾燥後で 612 g/L であった。端量区ではそれぞれ 587 g/L，588 g/L であった。安息角は満量区の乾燥前後で 49°，42°，端量区は同様に 48°，43° となった。組成分析結果を表 4-4 に示した。

表 4-4 組成分析結果

(単位：%)

	満量区		端量区	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
整粒	75.7	70.7	72.5	79.4
枝梗付着粒	6.4	1.3	8.9	1.0
穂切粒	1.4	0.0	1.6	0.0
未熟粒	1.6	4.7	4.4	5.7
被害粒	13.9	21.0	10.6	12.5
脱ぶ	0.1	0.1	0.0	0.2
糶・その他	0.9	2.3	1.9	1.1
胴割れ率				
軽胴割れ粒	3.5	6.5	3.5	22.0
重胴割れ粒	0.5	0.5	0.0	6.5

物の容積重は水分によって大きく変化しないことは全農（1992）の報告とも合致した。安息角が乾燥前後で低下したことは，生原料を乾燥させて行った測定例として 15 %程度までは低下する傾向にあった複数の例（全農（1992））に

合致した。今回は水分の低下の影響に加え、乾燥機内部を循環する間に表面が磨かれ、平滑になったこともその要因であると考えられた。

乾燥前後における軽胴割れ率は、満量区が3%の増加であったが端量区は19%増加した。被害粒に計上される重胴割れ率は、満量区では増減はなかったものの端量区で6.5%増加した。満量区は概ね問題ない水準であるが、端量区は特に重胴割れ粒が大きく増加した。

この一因として端量区では乾減率が高かったことが考えられる。これは、端量区で平均外気温は19.8℃であったが、試験では平均外気温を25℃と推定し、設定した熱風温度(43℃)が結果として高めであったと考えられること、乾燥部容量に比較して張込み量が少なかったことからテンパリング時間が短く、穀粒内の水分移行のための時間が十分に確保されなかったと考えられること、加えて荷受の集中により、全乾燥機が同時稼働したことによる風量の減少により、乾燥機内において温度ムラが誘発されたことも考えられる点がある背景にあると考えられる。

#### 4-4 まとめ

国内で稼働している穀類共同乾燥調製(貯蔵)施設の運営上の課題である機器の更新や新設にあたってコストを抑えることを目的として、海外製の遠赤外線乾燥機を国内メーカーがOEM調達して国内市場に導入されている。遠赤外線乾燥機は放射体を利用することで効率よく乾燥できることに加え海外製乾燥機をOEM品とすることで設置・運営コストの低減が期待されている。

本報ではその基本性能を検証することで、今後の運転や施設の導入計画の際の基礎資料を得ることを目的とした。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 供試乾燥機は海外製乾燥機であり、約4割のコスト低減が図られ、既設の共乾施設へ導入しやすくなっている。
- 2) 張込み量に対する風量比は満量区、端量区それぞれ $0.030 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ 、 $0.079 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot 100\text{kg})$ であり、農林水産省の基準を満たした。また従来の試験結果程度であった。
- 3) 乾減率は満量運転時0.65%/h、端量運転時で1.11%/hとなり、農林水産省の指導値である0.6%/h以上を満たした。端量区はメーカー仕様値標準0.6~0.8%/hを上回る結果となった。
- 4) 乾燥中の供試粉が乾燥部を通過した直後の穀温は農林水産省が指導する35℃を概ね下回って推移した。
- 5) 供試粉の品質は、組成分析によって確認したところ、満量区は概ね問題な

かったが、端量区では重胴割れ粒の増加がみられた。端量区は、送風温度の設定が高めになったこと、循環量を下げて運転したものの、テンパリング時間が少なかったと考えられること、同一排風ダクトに接続された乾燥機をすべて運転したことによる風量の低下により機内の水分ムラが起きやすくなっていたこと等が想定された。

- 6) 除去水分 1 kg に要する総エネルギーは満量区 4.23 MJ/kg-水、端量区 4.84 MJ/kg-水であった。これまでの報告例に比較して省エネルギーとなっていることが確認された。

これらのことから、供試した OEM 遠赤外線乾燥機は導入コストと運営コストの低減を実現しつつ満量運転時の基本性能は要求水準を満たすことが確認された。加えて端量運転時や既設乾燥機との排風ダクトへの配慮等の課題が明らかとなった。

今回は、熱風温度・仕上げ水分・張込み量を設定して運転する「一般乾燥制御」を用いて試験・検討した。今後、乾減率によって制御する「知能乾燥制御」での乾燥が実用上主流となることも想定されることから当該制御の場合の乾燥特性についても明らかにすることが今後の課題である。

以上のとおり本章では、CE の処理工程のうち、乾燥工程を担う主要機器として、導入費の削減が期待される OEM 品を利用した共乾施設向け乾燥機をとりあげ、その基本性能の検証結果について述べた。

次章では、共乾施設の主要な工程のうち、貯蔵工程をとりあげる。CE は乾粉ばら貯蔵をすることで、省力的に大量・均一な粉調製品の出荷が可能となっている。施設をとりまく情勢の変化に対応するサイロ冷却システムをとりあげ、その機能・性能を調査し検証した結果を述べる。



## 第5章 サイロ冷却システムの実稼働性能調査

### 5-1 はじめに

共乾施設をとりまく環境のうち、それが変化することで、建設時点の設計能力や機能に差が生じうる要素の一つは外気温である。本章では、共乾施設の貯蔵工程に着目し、外気温が高い時期における乾燥調製・貯蔵作業へ対応しうる技術としてのサイロ冷却システムをとりあげる。

共乾施設に搬入される米麦の品種変更や有利販売のために、刈取り・乾燥調製の時期が施設設置時の15～20年前と比較して早期に、すなわち夏から早秋に行われることが見られるようになった。その結果、それらの施設では外気温が高い時期に乾燥作業を行うこととなる。穀類の人工乾燥の多くは外気を加熱してその相対湿度を下げて穀物に当て、乾燥させる加温乾燥方式をとっており、共乾施設に採用されている乾燥機の多くもこの方式が採用されている。

一方、農林水産省（2005）は、共乾施設における品質保持のため、乾燥中の穀類の温度は35℃（最高でも40℃）を上限とすることを指導している。そのため、外気温が高い場合は、穀物を乾燥するために行う加温によってこの上限を超えることが予想される場合がある。

同様にして乾燥後のサイロ投入は穀温25℃以下、貯蔵は20℃以下で行うことが原則として要求されているが、投入する仕上げ粳もしくは半乾粳の穀温は、基本的に外気温以下に下げることができない。

このように、加温乾燥方式を採用する共乾施設では乾燥を速やかに進めるための加温操作と対象物である穀類の品質保持の観点から穀温の上昇を抑制することを両立させることが課題となっている。

これらの課題に対する運用上の対策として、温度が高い場合には外気温が低くなる夜間に乾燥やサイロ替え（サイロローテーション）を行うことや、半乾貯留せず生原料を直接仕上げ水分まで乾燥させる、などが実際の施設の運転で行われている。（農林水産省（2005））

一方、サイロ貯蔵期間中は、サイロ内部の穀類が外気からの侵入熱の影響を受けることが指摘されている（三輪ら（1996））ほか、高温下の穀物の貯蔵が品質に与える影響は、瀬能ら（1976）、竹生（1988）、三輪ら（1993）による報告がなされている。このように、外気温が高い時期におけるサイロ貯蔵は高いニーズがあるものの、穀物の品質を維持することは技術的なハードルが存在する。

これらを解決する設備面からの手段の一つとして、サイロ冷却システムが開発され、普及しつつある。サイロ冷却システムを利用することで、サイロに張込んだ穀温が高い場合にあっては速やかに穀温を下げ、貯蔵に適した状態にすることが可能であるとして、外気温が高い時期の乾燥・貯蔵への適用が期待さ

れている。

しかし、サイロ施設の各種環境や穀温について実機を対象にして計測した事例として、一旦冷却した粳をサイロに投入して行った例（三輪ら（1996））はあるものの、穀温が比較的高い場合において実際のサイロで冷却を行い、その環境や穀温について計測した報告例はみられず、冷却工程の実態については明らかにされていない。

そこで本章では、実用化が進みつつあるサイロ冷却システムの基本性能について検証試験を行い、得られた結果を述べる。

## 5-2 供試設備および方法

### 5-2-1 供試システムの概要

調査対象とした設備は、既設の CE に増設した G 社のサイロ冷却システムである。施設は一時貯留ビン（50 t×6 ビン×2 系列）を付設し、連続送り式乾燥機 2 基、貯蔵サイロ総容量 3 000 t を備えている。

サイロ冷却システムを構成する主な機器は、冷却装置 1 基、300 t サイロ 10 基と一時貯留ビンへの送風ダクト、サイロ上屋の排気ファン 2 基である。

冷却装置は外気を取り込み、設定した温・湿度の空気を一定の風量で吐出する。サイロやビンへの送風切替えは、ダクト配管中の各所にあるダンパを手動で開閉させて行う。冷却装置からの冷気は、サイロホッパ部の通気ルーバを經由して、サイロ内の穀層を下部から上部へ通過し、サイロ上部に誘導される。サイロ天板には排気用ダクトを設置し、サイロ上屋内で開放している。サイロ上屋に至った冷気は、サイロ上屋の壁面に設置された排気ファンによって吸引され、大気放出される。（図 5-1）

#### 1) 冷却装置

冷却装置の主な仕様を表 5-1 に、装置の概要を図 5-2 に示す。外気は空気取入れ口からフィルターを通過後、高圧ファンを經由してユニットに導かれる。次いでエアダンパによって風量調節された空気は冷却除湿後、冷却器の廃熱およびヒーターで加温し、所定の温度・湿度となって吐出される。冷却装置からのダクト（φ400 mm）は、グラスウール厚さ 25 mm で断熱されている。

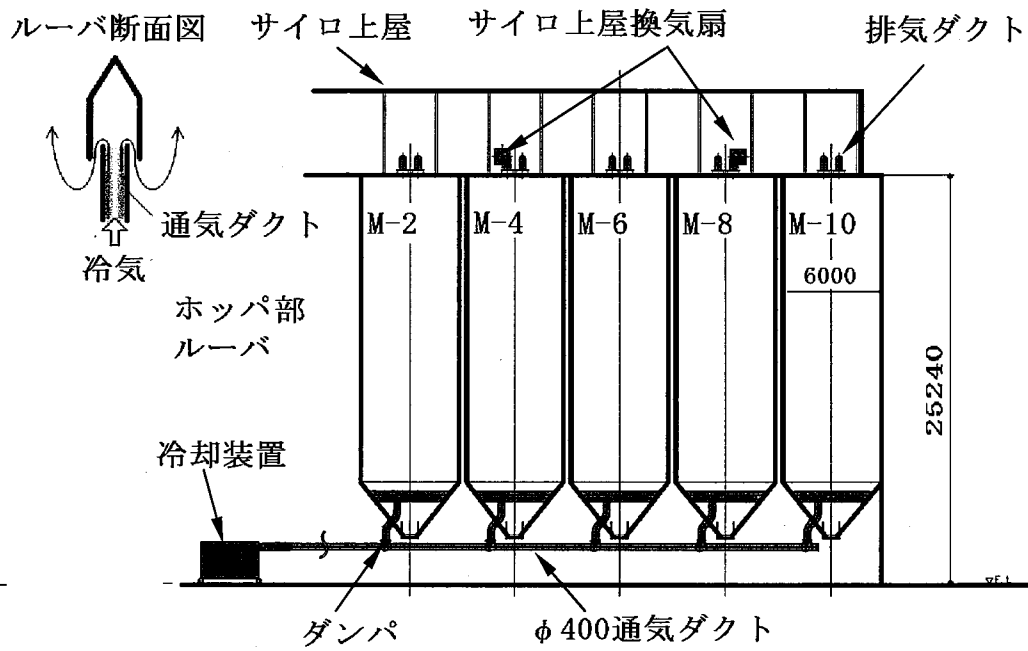


図 5-1 サイロ冷却システムの概要

単位：mm

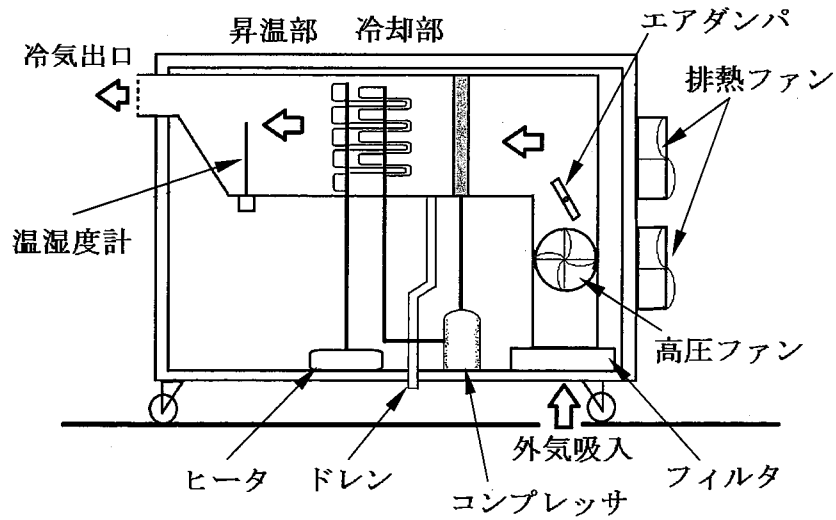


図 5-2 冷却装置の概要

表 5-1 冷却装置の主な仕様

項目	内容
1. 冷却機	
冷却能力 最高	280 t/d
(注) 平均	220~240 t/d
消費電力 最高	53.0 kW
平均	40.0 kW
エア出口ダクト径	φ400 mm
本体寸法 長さ	3870 mm
幅	1470 mm
高さ	2620 mm
重量	1800 kg
2. サイロ上屋換気扇	
型式	軸流換気扇
風量	99.5m <sup>3</sup> /min
(注) 以下の条件における能力	
穀温	: 冷却前 30 °C, 冷却後 20 °C
外気温湿度	: 昼夜の気温・湿度変化 最低 20 °C - 最高 30 °C 最低 50 %RH - 最高 80 %RH
穀物水分	: 17~18 %w.b.
貯蔵形態	: タワーサイロ
対象穀物	: 粳

## 2) 貯蔵設備

サイロは鋼板製で直径(内寸) 6 m, 高さ約 18.5 m (ホッパ部除く), 容量 300 t/基, グラスウール断熱厚さ 50 mm である。サイロ内部には 3 m 毎に 6 点の穀物温度測定用のセンサ(以下, 穀温計という)が設置されている。サイロのホッパ部に十字型のルーバを設置し, 冷却機からの通風ダクトが接続されている。ルーバの概要を図 5-1 に, サイロの配置を図 5-3 上段に示した。

【調査サイロ位置】

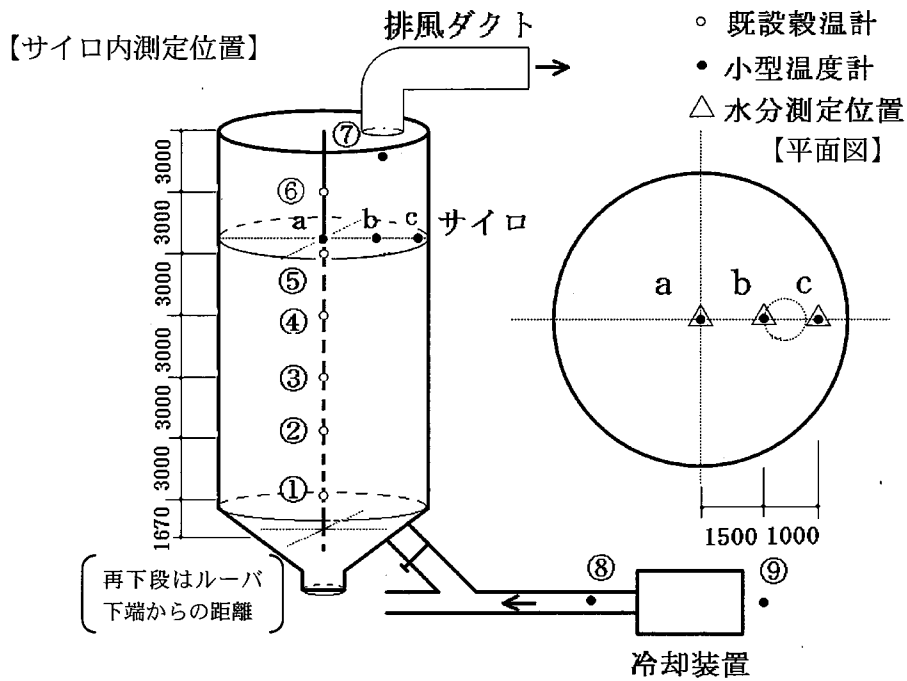
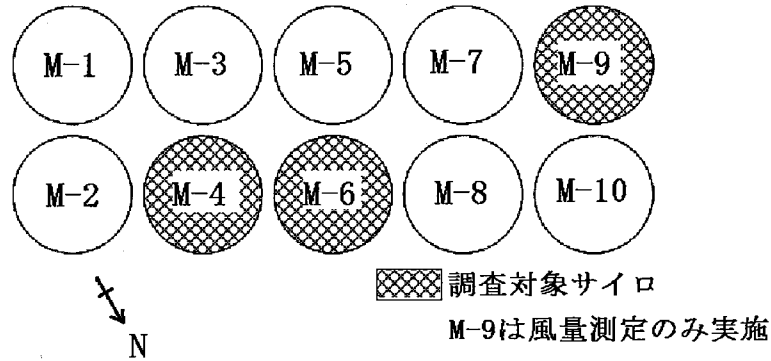


図 5-3 温湿度測定位置

5-2-2 検証試験および試験条件

1) 試験日と場所

2008年9月13～17日にN県Tカントリーエレベーター内で実施した。

## 2) 試験条件

施設に荷受した生粳は一旦一時貯留ビンで受け、まとまった量になった時点で連続送り式乾燥機により熱風乾燥される。乾燥工程では、原料粳水分が17% w.b.となった時点で乾燥機のバーナを消火して通風のみ行い、1回乾燥機を通過させて穀温を下げる操作（冷却パス）を行う。その後、サイロに張込んで半乾貯留を行う。半乾貯留の期間は35日以内とされている他、荷受期間終了を待たずに乾燥機が空いた時点で速やかに仕上げ乾燥を行うことが粳の品質保持の観点から指導されている（農林水産省（2005））。今回の調査では、サイロへの半乾粳の張込み量が低位の場合および、満量の場合について、乾燥工程における冷却パスの有無を組み合わせ、3種類の条件（調査区）で行った。これをⅠ区、Ⅱ区、Ⅲ区と呼ぶこととした。半乾粳での試験とした理由は、半乾貯留時の保管状態が仕上げ粳の品質へ与える影響が大きいこと、施設の実運転を想定したこと、による。

Ⅰ区は冷却パスを行った半乾粳について調査した。これは従来の運転方法にならうものである。Ⅱ区は、冷却パスを省略し、乾燥工程における余熱が穀粒に残っている状態で半乾貯留に移行した場合として設定した。Ⅰ区およびⅡ区は空のサイロからその日の乾燥処理分をサイロに投入した状態とし、その張込み量は低位から中位程度を想定した。Ⅲ区は、中位程度に張込んだサイロ冷却終了後の粳に冷却パス前の半乾原料を加え、サイロをほぼ満量にして冷却を開始した場合とした。その際、乾燥工程における冷却パスは省略した。いずれの調査区も施設の操業に合わせて設定し、各測定を行った。

供試試料は当該CEで荷受・乾燥調製されている水稲うるち粳（コシヒカリ）とした。

### 5-2-3 測定項目

#### 1) サイロ投入量

冷却対象となるサイロへの投入粳量は荷受計量機の計量結果から記録した。またサイロへの張込み高さは粳投入完了後にサイロ天板から堆積面までの距離を実測し、サイロ全高との差をとることで算出した。その際堆積面表面は均平せず、1点の計測とした。これはサイロ内が酸素欠乏危険作業場所に指定（厚生労働省（1972））されているため測定をサイロ外から行ったためである。

#### 2) 穀温

サイロ内の特定の場所における粳の温度や水分の測定により、サイロ内部における水分移行や壁面からの熱負荷の挙動を推定することが可能となる。高木（1986）は1t規模の模擬サイロにおいてその例を示している。しかし実用規

模のサイロ内にセンサを配置してその状態を測定・検証した例は三輪ら（1996）の他は少ない。これは以下の理由からサイロ内の穀物の温度を直接計測することが困難なためである。①下端の排出口から排出コンベアに送られた粃を測定して元の位置の穀温を推定することは、芯抜け現象の発生や排出しながら混ざることが知られていること（山形県農林水産部（1998）、全農（2008））から困難であること、②実用規模のサイロ内に複数のセンサを試験的に配置することは排出時の引張り応力に耐えうる構造をもたせる必要があること、③サイロ1基あたり200～300 tの実用規模の粃の調達・利用は、施設の実操業中に実施することが合理的であり、その場合は配置した測定機器の脱落等が異物混入を起こす可能性があること。

一方、堆積層表面はサイロ下部から上昇する冷気を時間的に最後に受ける部位であること、冷気の上昇中にサイロ内に堆積している粃間隙の空気条件を反映させたものとなることから、穀温は、本冷却装置の冷却工程における空気の挙動を現す最低限の情報を得るものと考えられる。

これらのことから今回は、サイロ内に堆積した粃の温度変化について、垂直方向の挙動は既設の穀温計（中心部6点、図5-3①～⑥）、水平方向は堆積層表面の3点とし、サイロの中心、内壁付近（中心から2.5 m程度）、その中間（中心から1.5 m程度、図5-3 a～c）を測定することとした。

サイロ投入時の穀温は、サイロ上部のフローコンベアから乾燥機排出粃（半乾粃）を10 kg程度サンプリングし、断熱容器に試料を入れて温度計で測定した。

堆積した粃層の垂直方向の穀温は、穀温計のデータを4 h毎に読み取り記録した。堆積層表面温度は、採取したサンプルを、さらにセンサを同封した紐付き網袋に納め、これを堆積層表面に配置することで測定した。網袋3袋にそれぞれ投入粃約2 kgを取り、小型温度計（（株）ティアンドデイ、TR-71U）を同封した（図5-4）。この袋をサイロ上から粃層上面に投下した。

### 3) 外気温湿度および冷却空気温湿度

外気温湿度は冷却機の空気取り入れ口付近に、冷却空気の温湿度は冷却機の排気側ダクト内において、小型温湿度計（（株）ティアンドデイ、TR-72S・TR-72U）を設置し、10分毎に計測した。これら温湿度の測定位置を図5-3に示す。

### 4) 冷却風量

風量は熱線式風速計（（株）テストー、testo425）によりサイロ上屋内にある排気用丸ダクト（φ650 mm）と粃投入シュート入口角ダクトの風速を測定し、

その平均値にダクト断面積を乗じて算出した。測点点数は、角ダクト 412 mm×323 mm を 20 点，角ダクト 412 mm×450 mm は 16 点とした。風量は通風しているサイロ毎に測定し、各サイロからの排気風量の合計を冷却装置吐出風量とした。また、冷却装置前後の静圧を付設のマノメータにより測定した。

#### 5) 水分

サイロ内の部位別の粃の水分は堆積層の表面で測定した。調査区毎にサイロへの網袋投入前と、冷却終了後に取り出した網袋内のサンプルについて、10g 粒・135℃・24h の絶乾法により測定し、標準法 (5g 粉碎・105℃・5h) に換算し求めた。

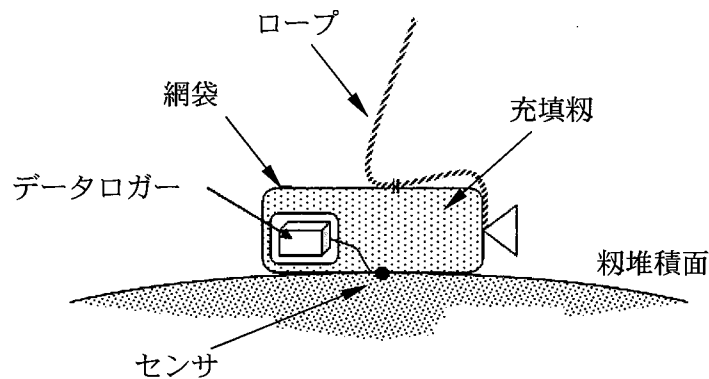


図 5-4 穀層表面の計測用網袋

### 5-3 結果と考察

#### 5-3-1 供試粃量と冷却時間

調査 I 区の投入量は 99 t，堆積高さはホッパ部上端から 5.0 m (筒体部全高 18.5 m) であった。通風は 9 月 13 日 16:35 から 9 月 15 日 7:00 まで 39 h 行われた。サンプル投下による穀層表面の温度測定は、冷却停止後 4 h 継続し 43 h 行った。



調査Ⅱ区の投入量は 88 t、堆積高さはホッパ部上端から 4.0 m であった。9 月 15 日 22:00 から次のロットの投入まで継続して行われた。サンプル投下による穀層表面の温度測定は、半乾粳の投入完了後から垂直方向の穀温が概ね安定した 9 月 16 日 16:20 までの 17 時間測定した。

調査Ⅲ区は、Ⅰ区で調査した M-6 サイロについて半乾粳 155 t を追加投入し、合計 254 t について行った。堆積高さは、ホッパ部上端から 11.0 m であった。通風は投入開始直後の 9 月 15 日 23:50 から 9 月 17 日 10:30 まで 35 h 行われた。サンプル投下による穀層表面の温度測定は、張込み完了後の 9 月 16 日 2:50 から通風終了まで 32 h 行った。表 5-2 にこれらの運転経過を示す。

表 5-2 運転経過

日時	運転内容 (冷却装置のダンパ)	備考
Ⅰ区 M-6 サイロ		
9/13	16:30 粳 99t 投入終了	M-9 サイロ(290t)にも 通風中(全開)
	16:35 通風開始(全開)	
	16:50 サンプル投下	
9/14	9:00	M-9 全閉
9/15	7:00 通風停止	
	11:17 サンプル引揚げ	
Ⅱ区 M-4 サイロ		
9/15	21:20 サイロ投入開始	
	22:00 通風開始(全開)	
	22:30 粳 88t 投入完了	
	23:20 サンプル投下	
9/16	12:00 ダンパ開度 1/4	
	14:00	
	16:20 サンプル引揚げ	
Ⅲ区 M-6 サイロ		
9/15	23:30 サイロ投入開始	既貯蔵分 99t
	23:50 通風開始(全開)	
9/16	2:50 粳 155t 投入完了	サンプル投下
	12:00 M-4 開度 1/4	
9/17	10:30 ダンパ全閉	サンプル引揚げ

各調査区で貯蔵量が異なっているが、これは試験対象としたサイロ内の籾の量は試験実施日の荷受量に依存しているためである。共乾施設では荷受した原料籾を品種および作型ごとに区分して半乾まで乾燥させた後それぞれサイロへ投入し、貯留を開始する。今回は実稼働時の測定を行ったことから、試験日の施設への搬入量に応じた貯蔵量になっている。

### 5-3-2 外気温度・湿度、冷却空気温度・湿度

図 5-5 にⅢ区における外気温湿度、送風温湿度等の推移を示す。各調査区とも昼間と夜間で差があったが、気温は平均約 25 °C、湿度は平均 70 ~ 80 %RH であった。

冷却空気は、冷却装置の作動の有無によって 16 ~ 18 °C の範囲で推移した。冷却空気の湿度も平均 75 %RH で安定していた。

調査区Ⅰ区の排気空気の湿度は最高で 80 %RH 程度であった。一方で調査区Ⅱ区、Ⅲ区は 100 %RH に達する時間が認められた。Ⅲ区では通風開始後 3.5 h 後から約 12 h に渡り湿度 100 %RH 近くの飽和状態が続いており、サイロ内壁、サイロ天板上部の結露が確認された。

この理由は以下が考えられる。

Ⅲ区は連続送り式乾燥機の冷却パスを省略したことからの籾は比較的高穀温（平均 36.5 °C）でサイロに張り込まれた。籾と籾の間隙空気は平衡状態に近づくと考え、籾水分平均 18.6 %w.b. に平衡する雰囲気湿度を平衡水分曲線（全農（1992））により推定すると湿度は 95 %RH 程度となる。その場合の空気の露点は 34 °C 程度である。

サイロ冷却装置を稼働させることで、この間隙空気はサイロ上部空間の空気と混合されサイロ天板の排気口からサイロ上屋内部へ送られる。サイロ周辺の外気温度である 25 °C 程度がこの混合空気の露点以下であれば、外壁やコンベア、サイロ天板等が外気温度に冷やされることによってそこに接した空気が結露することが説明される。

そこで籾の間隙にある空気量および、サイロ内の堆積層上部空間の空気量からその混合空気の状態を推定し、次いで露点を検討する。籾間隙容積およびサイロ上部空間容積は次のように試算される。

$$V_g = (M_1 \div \rho_1) \times \varepsilon \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} V_u &= V_s - V_0 \\ &= V_s - \frac{M_0}{\rho_1} \end{aligned} \quad (5.2)$$

ここで、 $V_g$ ：堆積粉の間隙容積 ( $\text{m}^3$ )、 $M_1$ ：投入粉質量 (t)、 $\rho_1$ ：見掛け密度 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )、 $\varepsilon$ ：間隙率； $\varepsilon = 1 - \frac{\rho_1}{\rho_0}$  (-)、 $\rho_0$ ：真密度 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )、 $V_u$ ：サイロ内の上部空間容積 ( $\text{m}^3$ )、 $V_s$ ：サイロ内容積 ( $\text{m}^3$ )、 $V_0$ ：サイロ内粉総容積 ( $\text{m}^3$ )、 $M_0$ ：投入粉総質量 (t)

既往の測定例 (全農 (1992)) から粉の真密度を  $\rho_0 = 1.203 \text{ t}/\text{m}^3$ 、見掛け密度は実測値  $\rho = 0.635 \text{ t}/\text{m}^3$  を採用すると (5.1) より半乾投入粉重量 155 t 分の粉間隙の容積  $V_g$  は  $115 \text{ m}^3$ 、(5.2) よりサイロ内の上部空間  $V_u$  は  $151 \text{ m}^3$  となる。投入時のサイロ内空気温度は  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、80 %RH 程度であった。この空気と粉間隙の空気の混合空気の混合比は理想的には上述の体積比に相当する。混合空気の露点はこれらを勘案して湿り空気線図により  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  程度となった。外気温が  $22 \sim 27 \text{ }^\circ\text{C}$  程度で推移している期間では、やや遅れて同程度の温度になる鋼製のシュートやサイロ天板に結露が生じたことが考えられる。図 5-5 に示したⅢ区における外気温湿度、送風温湿度等の推移において排気湿度が 100 % を超えている期間は、冷却開始後に外気温が低下している期間と概ね合致しており、上述を裏付けていると考えられる。

結露発生に対する対策は、サイロ投入時に乾燥工程における冷却パスを省略せずに、通風によって穀温を低下させることで粉間隙の空気の湿度を下げる事が挙げられる。穀温を早期に下げると呼吸活性を下げることもつながり、呼吸による粉自らの発熱を抑制する効果も期待される。

本施設では、サイロ上部空間の空気をサイロ上屋に排出し、これを外部へ放出させる方法をとっているが、ダクト等により、直接外部へ導くことでサイロ上屋内の結露が無くなることも想定される。

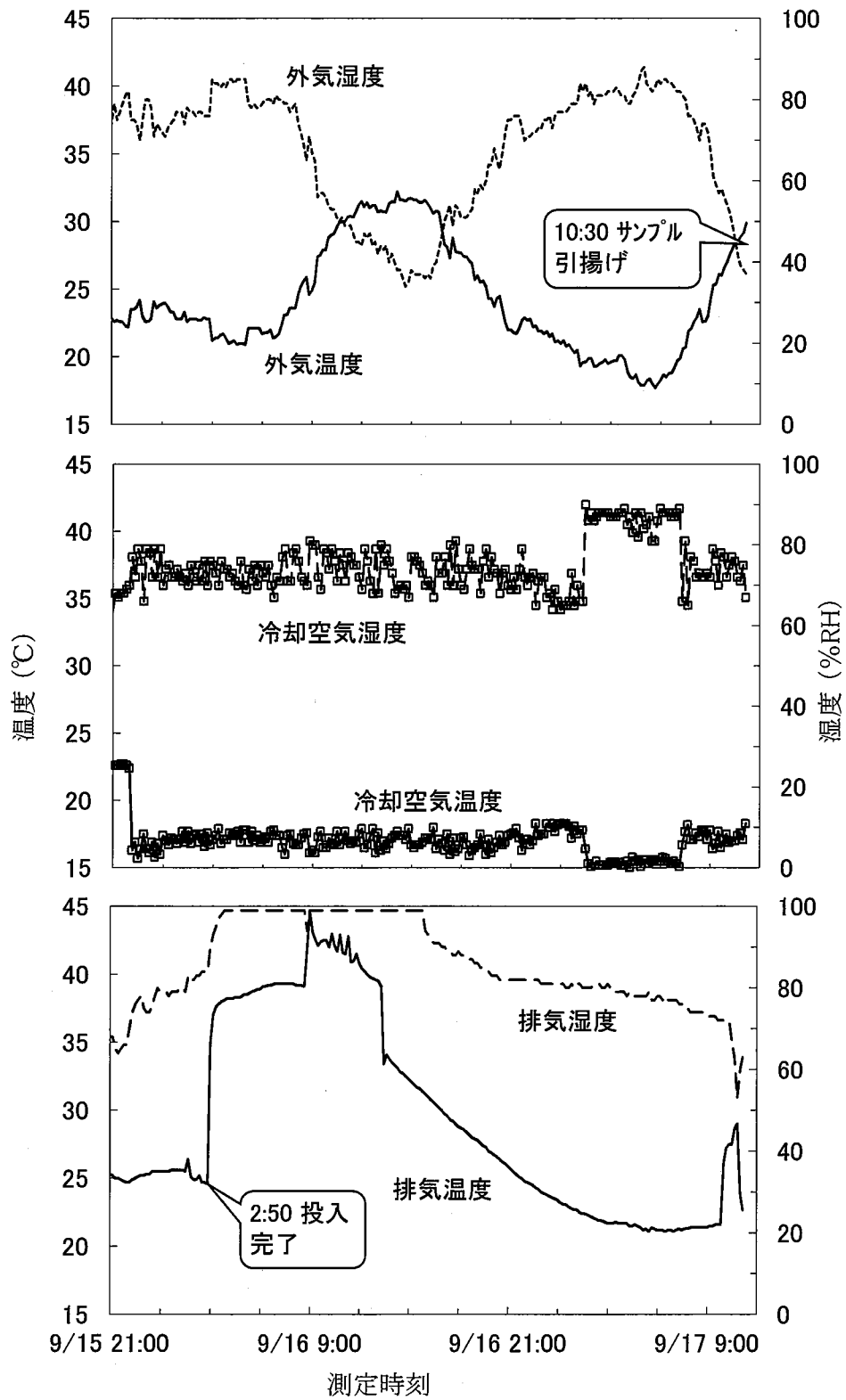


図 5-5 冷却運転時の外気・冷却空気・排気の温湿度 (Ⅲ区)

### 5-3-3 穀温

サイロ投入時の穀温は、乾燥工程において冷却パスを実施したⅠ区が26.1℃であった。未実施のⅡ区、Ⅲ区はそれぞれ36.7℃、36.5℃であった。これらの穀温は乾燥時の加温によるものである。サイロ内の垂直方向の穀温変化は、各調査区とも最下部の測点①は冷却開始直後から低下を始め、約6h後には設定(20℃)の穀温まで低下した。254tを投入したⅢ区では、堆積高さや測定点の配置位置から堆積層の温度を計測していると考えられる測点は①～④であり、⑤および⑥は堆積層に埋まっておらず上部空間の温度を計測しているものと考えられる。(図5-6)堆積層内では、最下部(冷却ルーバー直近)を除き、上段になるほど温度低下が遅くなり、目標とする温度に達する時間が長くなる傾向にあることが認められた。同図では、最下部から3m高い測点②の穀温の低下は最下部と同様であったが、最下部から6m高い測点③は7～8h後にかけて、9m高い測点④は9～10h後にかけて37℃程度まで上昇した。その後低下し、概ね26h後に目標とした20℃となった。各測点は一旦上昇する傾向がみられたが、これは、既に堆積していた粉がサイロ冷却によって予め冷えた状態であり、これに冷却パスを省略し、穀温が高い原料が投入されたことにより、温度の高い空気が冷気に押し上げられたことを示すものと思われた。

Ⅲ区において穀層表面に投下した3点の穀温は、中央から内壁付近の順に冷えた。水平面における中心と内壁付近の温度差は、最大6℃であった。Ⅱ区は同様な変化を表したが、Ⅰ区は中央から内壁、中間の順となりその挙動は調査区によって一様ではなかった。

この冷却動態の違いは①冷却ルーバーが十字であることに起因する半径方向の相対的な空気量の差、②サイロ投入口が偏心した位置からの粉の投入・サイロ内堆積によって想定される見掛け密度の差、③下方から上方に向かう冷気に対する、外気温によるサイロ内壁付近の対流の影響、により説明されると考えられる。すなわち、中心部が早く下がるのは、①により相対的に中心部が内壁付近よりも通風量が多いと考えられること、②により外周付近から堆積することで中心部はやや見掛け密度が小さくなる可能性があることによると考えられた。また、内壁付近は外気の影響を受けやすいことから、外気が高くなれば下方から上方への対流が生じ、外気が下がれば下降する対流が生じることが知られている。(全農ら(2008))従って、サイロ冷却装置の冷気の上昇は、この大きな対流に相殺される場合と助長される場合が考えられ、調査Ⅰ区は外気温が23℃程度から最高で31℃程度になりその変化に2h程度遅れて内壁付近の測点の上昇が見られたことと合致する。

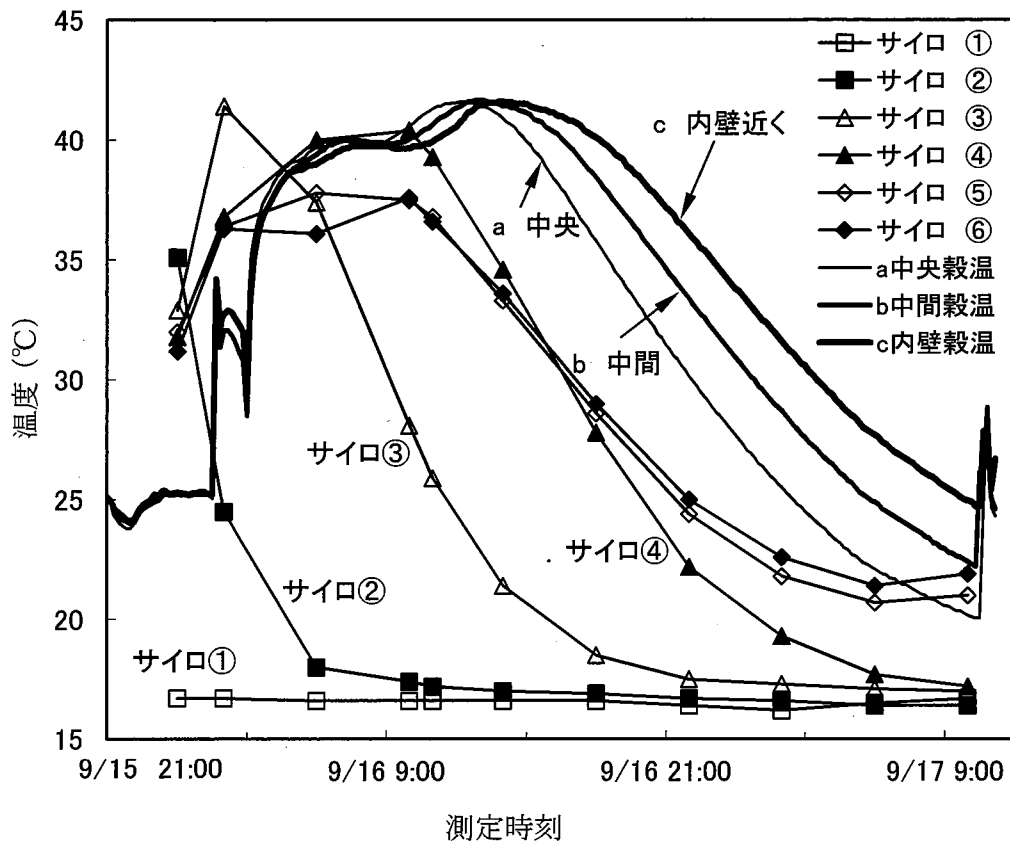


図 5-6 冷却運転時のサイロ内の温度変化 (Ⅲ区)

#### 5-3-4 冷却速度

各測定点が冷却開始時から 30 °C ないし、25 °C もしくは 20 °C になる時間を図から読み取り、垂直方向の冷却速度を検討した。測定点の位置から算出した通風ルーバまでの粉の堆積量とこれらの温度への到達時間との関係は、Ⅲ区では図 5-7 のようになった。穀温 36.5 °C 程度を初期値として、30 °C に達する時間あたり堆積量は 6.8 t/h、25 °C に到達する時間あたり堆積量は 5.9 t/h、同様に 20 °C では 5.3 t/h となった。これらは張込み量 254 t、送風量 60~80 m<sup>3</sup>/min 程度の場合における堆積量でみた冷却速度とみなすことができる。

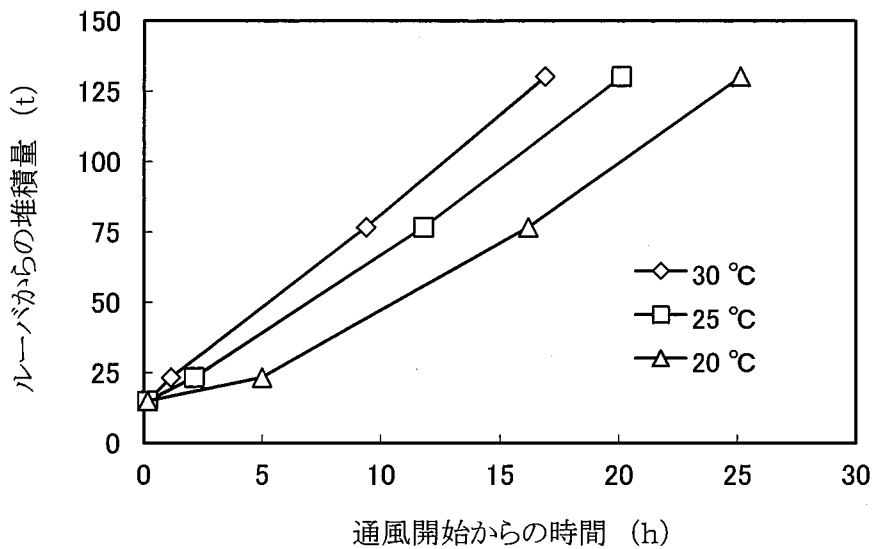


図 5-7 ルーバからの堆積量と目標とする温度に到達した時間の関係 (Ⅲ区)

### 5-3-5 送風量

表 5-3 にサイロ毎の風量を示す。冷却装置から供給された空気量は調査サイロ合計で約  $110 \text{ m}^3/\text{min}$  であった。風量比は各調査区の供試サイロの総張込み量により、 $0.42 \times 10^{-3} \sim 2.09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100\text{kg})$  となった。これは農林水産省 (2005) による、水分 18 % の粳を外気温が比較的低い環境下で長期間貯留する場合における安全限界風量比である  $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100\text{kg})$  と比較して 15 ~ 67 % 程度の風量比である。

表 5-3 風量と静圧

日時	静圧 (mmAq)	風量			合計 (m <sup>3</sup> /min)	通風サイロ 張込み量 (t)
		M-4 (m <sup>3</sup> /min)	M-6 (m <sup>3</sup> /min)	M-9 (m <sup>3</sup> /min)		
9/13						M-6: 99
17:00	143	0.0	59.9	38.5	98.4	M-9: 290
9/14						
10:30	215	0.0	100.9	0.0	100.9	M-6: 99
9/15						
23:00	230	110.5	0.0	0.0	110.5	M-4: 88
9/16						M-4: 88
13:30	230	34.3	77.8	0.0	112.1	M-6: 254
9/17						
10:00	195	58.7	59.3	0.0	118.0	

### 5-3-6 水分

図 5-8 に水分の変化を示す。各調査区の上部から投入したサンプル 3 袋の平均水分はいずれも約 18.5 %w.b.であった。冷却完了後では平均水分はそれぞれ 17.8 %w.b., 18.8 %w.b., 18.6 %w.b.となり、冷却パスを実施した I 区は水分低下が認められたが、冷却パスを実施しない II 区、III 区は目立った変化は見られず、冷却通風による水分低下はなかった。

冷却パスを省略した場合には、「5-3-2 外気温度・湿度、冷却空気温度・湿度」の項目で述べたとおり靱の間隙の雰囲気が高湿状態になっていることが想定された。I 区は、乾燥工程における冷却パスを行っていることから靱は比較的乾燥した結果となったことが考えられる。冷却パスを省略した II 区は中心に比べ内壁付近の温度がゆるやかに低下しており、当該部位が長時間高湿の空気にあたったことから、水分値が上がる傾向になったことが考えられる。III 区は中心部に水分の上昇が見られた。外周部に比較し中心部への空気の流れが相対的に多くなり、靱間隙に存在する湿潤空気が水平面上の中心付近に多く当たったことが推定される。これは、外気の低下による壁面付近の下降対流により中心付近の上昇対流が生じ、これに伴う中心部付近の通風量の増加が考えられるものの、これらの内容は今後の検証を通じて明らかにしていく必要がある。



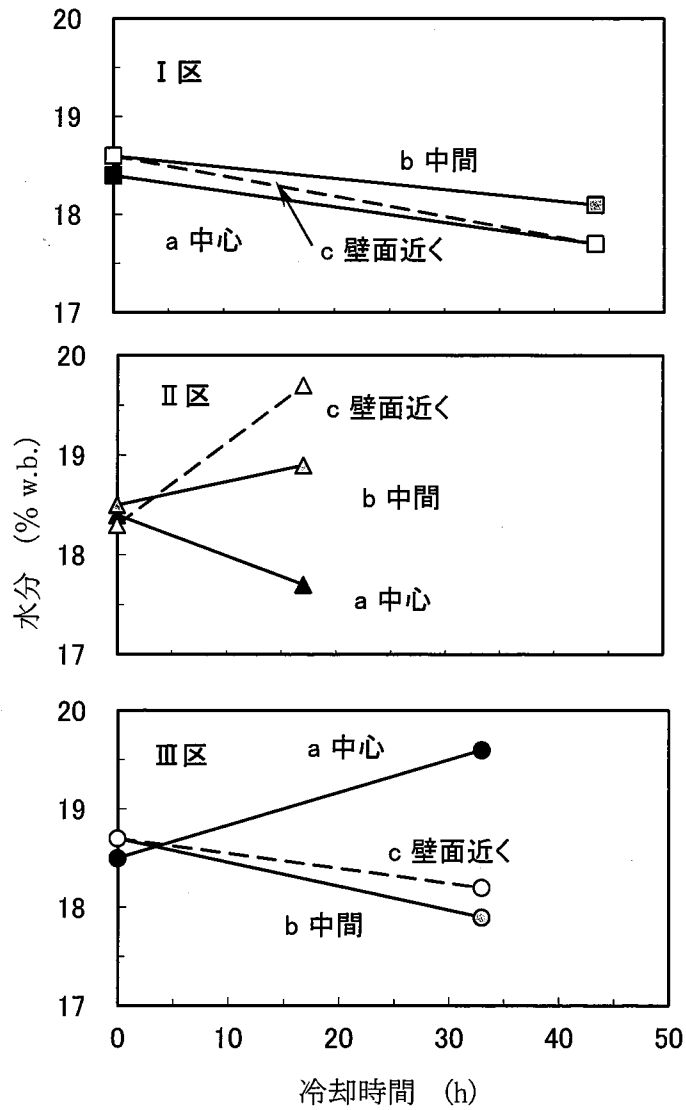


図 5-8 冷却時間とサイロ内表層の水分変化の関係

#### 5-4 まとめ

サイロ冷却システムは高温期にわたる収穫調製作業に対して品質保持をはかる目的で導入・普及が図られている。サイロ内の温度低下の挙動を実機で確認することを目的に、サイロ（貯蔵容量 300 t/基）の冷却時間を 17~44 h として 3 区分の試験を行った。Ⅰ区はサイロ内 1/3 程度の張込みで冷却パスを経たもの、Ⅱ区は 1/3 程度の張込みで穀温が高い状態で冷却したもの、Ⅲ区はサイロ容量の半量を穀温が高温のまま張込み、全体でほぼ満量としてサイロ冷却運転した例とした。その結果、今後の運転や施設の導入計画の際の基礎資料を得た。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) システムで得られた冷却空気は 16~18 °C、湿度は平均 75 %RH 程度であった。
- 2) いずれの調査区においてもサイロ冷却装置の冷気は下方から順に上昇し、冷却の効果が認められた。乾燥機の冷却工程を省略し、250 t を張込んだ調査区（Ⅲ区）では、初期穀温 36 °C 程度であった粉が 33 h 程度で目標の穀温 20 °C となった。
- 3) 初期穀温 35 °C から通風を開始し、30 °C に到達する堆積量は 6.8 t/h、25 °C に到達する堆積量は 5.9 t/h、同様に 20 °C に到達する堆積量は 5.3 t/h となった。これらは堆積量でみた冷却速度とみなすことができる。
- 4) 穀層表面 3 点の穀温の挙動は一様ではなく、外気温の変化とサイロ内の対流、ルーバの形状による通風量の分布が影響していることが考えられた。
- 5) 乾燥工程において冷却操作を行わなかった調査区（Ⅲ区）では、サイロ上屋内排気口、サイロ天板上の一部に結露が認められた。

以上、諸試験の結果により本システムのサイロ冷却効果が確認できた。一方で、高穀温のまま大量の粉を張込んだ場合は、高温の空気が冷却装置の運転に伴ってサイロ内を上昇し、排気ダクトを通じてサイロ外へ排出されることで外気温との関係や排気口位置、粉の投入量に応じて結露が発生する可能性があることが確認された。その原因は穀層間隙の空気状態・外気の状態・貯蔵量に依ると考えられること、これらのことから半乾貯留前の穀温低下作業（乾燥工程における冷却工程を省略せずに利用すること）が必要となること、に留意すべきことが確認された。

サイロ冷却システムの有効性は高く評価される。一方でサイロの内壁等の結露防止には、サイロ内の空気と外壁の温度差を極力作らないことが基本である。システムの特性を理解した上で、連続送り式乾燥機の場合にあっては冷却パス

を行い、同時にテンパリング時間を確保すること、循環式乾燥機の場合であっても乾燥後に冷却循環するよう運転すること、加えて冷却工程を経ていることを排出時に穀温を実測するなどして確認することが、実用上の運転操作として場面に応じて必要であると考えられる。

今後は実用規模におけるサイロについて、外気温や投入する穀類の温度、水分、投入量と内部の温湿度環境の中長期にわたる実測と更なる検証、外気温や張込み温度・水分・貯蔵量をもとに結露発生の予測を簡易に行うなど、施設の運転を支援するシステム等の検討・開発が望まれる。

このほか、現在のサイロには中心部に 250t サイロで 6 点、300 t サイロで 8 点程度の穀温計が設置されている。この構造は、張り込んだ穀物を排出する際の引張り応力に耐え得る強度を確保する必要があること、更に測点を増やすことは経済的、技術的な問題があることによっている。しかしながら貯蔵開始後にサイロ内の環境を知りうる手段は、ほぼサイロ内に設置された穀温計のみに依存している。貯蔵に移行した後の品質管理は穀温計の値をグラフ化することで行われ、品質劣化が予想される場合のサイロローテーションの実施判断は、サイロ内の穀温の変化によって品質変化の兆候を確認すること、サイロ上部の点検口からの堆積層表面やサイロ天板、内壁の状態（特に結露の有無）を観察することなどによって行われる。一方で、サイロの穀温計は 1 点あたり 38～41 t/点の穀物の状態を代表している。またサイロの穀温計は水平方向に中心のみ一点の設置であることから、測点から比較的遠い位置で品質劣化が起きた場合は、サイロ内の水平方向の温度変化を含め推定するほかない。そこで、サイロへ張り込む穀類は、水分むらが少ない、未熟米等の混入も極力減らした均質な穀類に限ること、穀温上昇の兆候を見逃さずに管理すること、兆候が見られた場合は即サイロローテーションなど必要な対策をとること、などが実施される。

しかし、乾燥・貯蔵にかかわる品質事故も散見されていることから、将来的にはサイロ内の穀温計数を増やす設計とすること、もしくは別の方法によるサイロ内の環境推定法を開発することは、共乾施設の課題の解決方法として今後の検討されるべき点であると考えられる。

## 第6章 総合考察

### 6-1 はじめに

近年の農業生産基盤は、生産者の高齢化に伴い農業経営の世代交代や農地の集約化による耕作面積の大規模化や進みつつある一方で、耕作放棄地の増加や、大規模経営体における人手不足が課題であるとされている。(内田(2008), 農業法人協会(2015)) また、農産物の販売面では、人口減少や高齢化による消費減少、生活様式の多様化に伴い、市場出荷から、加工用・業務用需要に対応した契約取引や直接販売が拡大している。(全国農業協同組合中央会(2015))

わが国の主食とされてきた米は、その消費量が1963年の1300万tをピークに減少に転じている。一方で需要を支える稲作は、戦中戦後の増産奨励期における機械化、防除、施肥等の農業技術の進展によって増産と作業の合理化が図られ、1967年から3年連続で1400万tを超える豊作となるなど大幅な生産過剰基調となった。そのため1971年から本格的に生産調整が開始され現在に至っている。近年では、食糧法の制定・改正を受け、米の流通は政府の関与から離れ、いわゆる生産調整とそれに伴う所得補償も2018年度を期限に廃止されることとなっているなど、制度と流通の変化が将来にわたって生じることとなっている。

このような背景にあって、共同利用の乾燥調製貯蔵施設は米の生産の高品質化や合理化に乾燥調製の面で貢献してきた。しかし共乾施設の多くは老朽化に伴う補改修費の増加や、建設時の設計条件によって備えた機能や能力に対する、施設をとりまく環境変化による要求機能や能力との相違の発生、オペレーターの異動等に伴う運転技術の維持や円滑な継承、などの課題がある。

共乾施設は、水稻の総作付面積の3割程度の米を乾燥調製しており、大規模農家が自前の乾燥機で対応できない分を処理する事例も増えていること、増加している業務需要に対しては、均一な品質の米が一定時期に一定量供給できることから、施設による調製品が改めて評価されるなど、その機能と役割は普及初期と大きく変わるものではないと考えられる。

そこで、施設の機能維持とそれに費やすコストの平衡をとることが重要となる。(土方(2014)) そのため前述の諸課題に対し、①機械設備の機能診断をも

とに中長期の改修計画を立て、予算を確保して補改修をすすめること、②複数の施設の再編整備も視野に入れ、施設配置の最適化を判断しながら投資していくこと、③機器更新にあたっては、初期投資額の低減や運転コストの低減が見込まれる機械装置の導入を計画すること、等の技術的あるいは運営上の対策がとられている。

一方で、施設の経営収支の観点では、利用料金を中心とした「収益」が乾燥調製に伴う「費用（コスト）」を下回らないことが必要である。収支均衡のためには収益の増もしくは費用の減、すなわち利用料金を上げて収益を確保すること、もしくは経費を低減すること、が必要であるが最近の米麦の販売環境の厳しさや稼働率低下の懸念があることから利用料金を高く設定することが困難な施設も多い。そのため施設の収支均衡のためにコストの削減が広く行われている。

コストには処理量にかかわらず一定額を計上する固定費と処応じて変動する変動費がある。固定費の主たる要素は共乾施設の機能維持、すなわち保守管理に要する投資ならびに建設後の地域農業構造や社会的な要求の変化に伴って派生する機能を付加するための投資などの建設コストである。変動費の中心は燃料等の資材費や労務費などの運転コストである。

そのうち、建設コストの低減方法には乾燥機を屋外型とし、粗選機と精選機を兼用するなど設備面の合理化を図った施設建設とする例（全農（1991））や、貯蔵乾燥方式におけるコルゲートビンの外版に断熱を施し、貯蔵機能を加えた丸ビンの実用化（農林水産省（1999））などが取り組まれている。運転コストの低減には除湿乾燥を利用することで夜間における労務費を削減することなどが行われている（山下（1992））。

近年の農業情勢を受け、変化している共乾施設の課題に対応する機器・設備が共乾施設を扱うメーカーによって開発され、導入されている。本検証研究では、共乾施設の主要な工程である荷受、乾燥、貯蔵について、過去に実負荷を加えた際の能力に関する検証がなされていない設備機器を選定した。それらの設備機器について、今後の基本設計や導入のための基礎資料とすることを目的として、その機能と能力を調査・検証した。

先ず、荷受・自主検定工程では、多品目対応型自主検定装置をとりあげた。

施設の更新・補改修時には新たな機能を付加した機器の導入が行われることが多いことから、米麦に加え大豆を対象として自主検定できる装置についてその性能を評価した。

乾燥工程では、省スペース型循環式乾燥機および OEM 遠赤外線乾燥機を対象として実稼動時の性能を検証した。省スペース化することで、建物を小さくすることが可能となること、既設建物への乾燥機の更新に対する需要にも応じやすいこと、循環式乾燥機運転技術の継承が比較的容易であると考えられること、海外製乾燥機の国内メーカー扱いであることによる低コスト化が考えられること、等からこれらの乾燥機についてその実負荷時の性能を確認した。

貯蔵工程では、サイロ冷却システムを取り上げた。このシステムは収穫時期の早期化や高温化傾向にあるなかで、乾燥時や貯蔵工程における穀温の低下に効果が見込まれる一方で、実際の施設を利用した実稼動時の検証報告例が少ないこと、品質事故を避ける観点での注意事項が指摘されていることから実負荷時の運転状況を確認したものである。

以上から選定した設備機器は、自主検定装置、省スペース型乾燥機、OEM 遠赤外線乾燥機、サイロ冷却システムとした。本章では、これらの設備機器の実稼働調査・検証によって得られた知見を総括し、共乾施設に現在もしくは今後要求される機能への適合性と課題等について考察した。

## 6-2 汎用型自主検定装置の能力検証

第 2 章では汎用型の自主検定装置に関する機能と能力を調査し、検証した。

多くの共乾施設が採用しているプール処理方式では、個別の荷口に対する品質評価を行い、これを基に荷口別の販売代金を精算するために自主検定装置が設置されている。自主検定の作業は原料である粳等を荷受した時点で各荷口から一定量の試料を採取し、これを乾燥させ、粳は粳すり後に整粒歩合等を測定・算出し、続いてその割合と荷受重量からその施設で処理した製品に占める割合（持ち分比）を算出し、これをもって荷口毎（生産者毎）の販売代金の精算を行うものである。プール処理を前提とした共乾施設において、自主検定はその利用者に対する精算代金に直接影響する基本データを作成する工程であることから、正確性、公平性、透明性が要求される重要な作業である。

自主検定工程を構成する機器のうち、乾燥した試料を粉すり、選別、計量し、歩留りを算出する機能を有する自主検定装置はその中心的な設備機器である。従来から自主検定装置は単品目を処理対象とするものが導入されてきたが、対象品目を拡げることで補改修・入替需要に対応し、効率的な施設の運用に寄与するなど、これまで述べてきた共乾施設の課題へ対応する装置が実用化されている。

今回検証した供試装置は、汎用性を高め粳・小麦・大豆等多品目の処理を可能とすることで、共乾施設の再編整備や更新需要に対するにおける適用性を高めたH社製の汎用型自主検定装置である。その構造は、従来型の米麦用自主検定装置に大豆特有の調製機器を組み込んで一体とした形態である。粒選別機は円筒ふるい2本を持ち、それぞれ独立もしくは連続して投入、選別、排出する機構をもつことで米麦の整粒・屑粒の2区分選別に加えて大豆の大・中・小粒を区分できる構造としている。粒選別用の網は米麦を対象とする際は縦目ふるいを、大豆を対象とする際は丸目ふるいを用いることとしている。大豆用転選機は専用部分を付帯設備として備え搬送機で接続、一体化して運転できるものとなっている。

供試装置の処理能力は複数口あたりの処理時間を計測した。選別精度は各供試原料を供試装置で選別（粳は粉すり後選別）した後、サンプルパックされ排出された試料を開封し、再度ふるい分けし、各質量を測定しその結果を検討した。

供試装置の計量精度として粳および小麦を処理した場合の整粒、屑粒のサンプルパック内試料の供試装置測定質量と、電子天秤による実測値との差を測定したところ、0~0.6 g程度であった。差の割合は、最大で整粒0.2%程度、屑粒2.2%程度であり、絶対値でみた差は、小麦より粳（玄米の状態）が、屑粒より整粒が小さい傾向を示した。

従来の単品目用自主検定装置における試験結果（全農（2000））では、玄米を対象とした誤差の絶対値が整粒0.3~1.1 g、屑粒0.4~1.0 g、誤差の割合は整粒で0.2~0.5%、屑粒で4.8~7.8%であることから、これらに比較しても十分に小さい値であった。

大豆を処理した場合の大粒、中粒、小粒のサンプルパック内試料質量は、実

測値に対して0.6~15 g程度の差があった。差の割合の最大値は、1.7~31 %となり、粳や小麦のそれと比較すると大きい傾向となった。これは一粒の質量が大きいことから、転選屑他の機内残留等の影響が想定された。

各サンプルパックを再選別した結果から算出した整粒歩合、屑粒率は、玄米および小麦の場合、ふるい分け結果に対して装置出力が整粒で1~2 %程度低く、屑粒で1~1.5 %程度高くなった。ふるい分けで整粒として判定された粒の一部が本装置では屑粒として扱われ、その結果装置出力が低めに算出されたものと考えられた。屑粒は、整粒の混入によりパック重量が重くなり、結果として装置出力はふるい分け試験による屑粒率より大きく出力されたものと推定された。

大豆では、大粒の装置出力はふるい分け試験結果に対し0.5 %程度高く、中粒ではほぼ同じ、小粒では0.5 %程度低くなった。大豆ではふるい分けで中粒ないしは小粒に選別されるべき一部の粒が装置選別では大粒区分に一部残留し、中粒区分には大粒ないし小粒が、小粒区分にあっては、本来小粒に区分される粒が中粒ないしは大粒区分に排出されたことが考えられた。

玄米・小麦と大豆が異なる傾向を示した要因については次のように考えられた。

整粒歩合（大豆の場合、大粒率）に対する影響因子としては、一般論としてふるい上物とふるいとの間の相対的な運動方向ならびに相対速度、ふるいの一定面積当たりのふるい目の開口率、ふるい選別対象物の比重をはじめ様々な要因が考えられる（岩尾（1991））。小麦と玄米の整粒歩合については、装置出力がふるい分け測定の結果に比べてそれぞれ1~2 %程度低くなった。これは、先に述べた影響因子の内、ふるい上物の運動方向とふるいの縦目の方向が概ね一致している事が大きな要因として考えられる。また、大豆の大粒率は、装置出力がふるい分け測定の結果に比べて0.5 %程度高くなった。これは、先に述べた影響因子の内、ふるい上物とふるいとの間の相対速度が手ふるいに比べて検定装置では大きくなる事が大きな要因として考えられた。

粳と小麦を対象品目とした本装置のニュートン効率は0.93~0.97であった。一方、大豆においては0.24~0.81となった。大豆の場合は、中粒および小粒が中粒パックおよび小粒パックに回収される割合が影響していることが確認された。これらの結果は、単品目を対象とする従来機もしくは類似の装置の試験結



果と同程度であった。

以上の知見から、本自主検定装置の実用上の特性の一端が明らかとなり、その精度は従来機器と同程度であり、多品目荷受に対応した施設での利用が十分に可能な装置であることが確認された。このように共乾施設において多品目荷受に対応することは、生産構造や販売環境の変化に対応し再編整備を含めた共同利用施設の整備に貢献すると考えられる。

### 6-3 省スペース型循環式乾燥機の能力検証

第3章では、省スペース型循環式乾燥機の性能に関する調査を行いその結果を示し、考察を加えた。

第1章で述べたとおりCEはその仕様を農林水産省や関連試験場、農業団体等が検討し、改定を加えながら現在に至っている。このような経過から、共乾施設の主たる機能を担う乾燥機は、1991年以前に設置されたCEには当時の標準仕様により連続送り式乾燥機が設置されている。(農林水産省(1984)、同(1992))連続送り式乾燥機は間隙サイロをテンパリングタンクとして利用することで乾燥機容量を小さくできる利点があるが、乾燥ロット毎に穀類の行き先を切り替える必要があるなど、その運転には一定の技術と熟練が求められるとされている。これに対して循環式乾燥機における張込み後の乾燥作業はその乾燥機内で仕上げまで完結でき、その運転は自動化されている度合いが高い。

一方、共乾施設を運転する要員が異動することで、経験年数が浅い運転主任者が増え、運転技術の継承と維持が課題となっている例も散見される。CEの標準仕様には連続送り式乾燥機があるものの、共乾施設の新設時や乾燥機の入れ替え・更新時には循環式乾燥機が採用されることが普通になっているのは、その自動化の度合いから運転技術の継承と維持がしやすいことに起因していると考えられる。

こうしたなかで開発・実用化された省スペース型循環式乾燥機は省スペース化することで、既存施設への入れ替え・改修のために必要な工事を削減することや新設にあっても建物を小さくできること、それに伴うコストを削減しうるものが新たな特徴である。

従来、張込み容量が20tを超える循環式乾燥機の性能評価はその事例がある

ものの、張込み容量を維持した上で省スペース化を図った共乾施設向けの乾燥機については性能評価を試みた報告がない。そこで機器の更新にあたってコストを抑えるための既存施設への入れ替え・改修を想定し、共乾施設の現状に対応した大型循環乾燥機について実稼動における検証試験を行い、その処理性能を評価した。

供試乾燥機は従来機の容量・機能を維持した上で構造を小型化し、昇降機を含めた全高を従来機比で 20 %削減した T 社製共乾施設向け循環式乾燥機である。乾燥機内上部にテンパリングタンク（容量 28 t）、下部にスクリーンタイプの乾燥部（容量 2 t）を配置しており、総張込み容量は 30 t である。

乾燥機投入部は従来機で用いるシュート配管に代えてタンク部中央までの投入用スクリーコンベアを設置し横搬送とすることで、シュート角を確保するための昇降機高さが不要となり、全高が低く抑えられている。穀粒を循環させるための昇降機の乾燥機排出側の受け口は、昇降機底部から一定の高さが必要となる。従来機では昇降機受け口の高さまで乾燥機排出部の位置を上げる必要があったが、乾燥機下部の排出スクリーコンベアに登り角度を付けて昇降機受け口へ接続することで、乾燥機本体の排出部の高さを抑え、従来機に比較して乾燥機本体を低位に配置することが可能となっている。投入側・排出側のこれらの対応によって投入昇降機を含めた全高を従来機と比較して約 3 m 低くし、既設の共乾施設への導入もしやすくなっていると考えられる。

この乾燥機を利用して実稼働時に端量区（張込み量 7.5 t）および満量区（同 27.9 t）の 2 つの試験区を設け、乾燥性能を確認した。端量区は、共乾施設の稼働における日々の荷受数量によって、必ずしも乾燥機を満量にして運転できないことが普通であることから、稼働実態を反映して設定したものである。また、本乾燥機の乾燥部容量が 2 t、最低張込み量が 7 t としていることから乾燥機の乾燥部は完全に糶で充填され、性能評価に十分な量であると考えられた。

乾燥試験の結果、乾減率は端量運転時で 0.59 %/h、満量運転時 0.60 %/h となり、農林水産省の指導値である 0.6 %/h 以上、及びメーカー仕様値標準 0.6 ~ 0.8 %/h とほぼ満たす結果となった。張込み量全体に対する風量比はそれぞれ 0.083 m<sup>3</sup> / (s · 100kg)、0.024 m<sup>3</sup> / (s · 100kg) であった。従来型における調査結果によれば張込み量全体に対する風量比で満量時 0.025 m<sup>3</sup> / (s · 100kg) で

あったことから概ね同等の風量であることが確認された。

乾燥中の供試粉が乾燥部を通過した直後の穀温は農林水産省が指導する 35℃を概ね下回って推移した。供試粉の組成分析の結果、農産物検査に影響する重胴割れ粒の乾燥前後の増加は認められず、品質上の問題は無いことが確認された。

除去水分 1 kg に要する総エネルギーは端量区 4.7 MJ/kg・水、満量区 5.5 MJ/kg・水 であり、これまでの報告例に比較して省エネルギーとなっていることが確認された。

施設の運営コストは建物にかかわる建築工事費の他、乾燥機そのものの価格や乾燥機を含めた施設全体の機械設備の工事費に応じた減価償却費、職員人件費、光熱費等で構成される。

乾燥機単体のコストは 35 %程度の削減が図られている（メーカーによる概算）ほか、省スペース化している本機の導入によって施設建設の際の建物工事部分や機械設備全体へのコスト削減が期待される。

以上から、供試した省スペース型乾燥機は導入コスト低減と小型化が実現されつつも基本性能にかかわる要求水準を十分に満たすことが明らかとなった。これによりコストを抑制した施設の更新方法の一つである既存建物を利用した乾燥機の更新が促され、地域の米麦の生産体制の維持・確保に貢献することが想定された。

#### 6-4 OEM 遠赤外線乾燥機的能力検証

第 4 章では OEM 遠赤外線乾燥機の性能に関する調査についてその結果を示し、考察を加えた。

遠赤外線を利用した乾燥機は従来型の火力乾燥機に比較して燃料消費・消費電力量が少なく（農業・食品産業技術総合研究機構(1998)）、運営コストのうち変動費の削減につながると考えられる。従って共乾施設における乾燥機の更新や複数の施設の再編整備を行う場合には、遠赤外線方式が採用される例も少なくない。

このような背景において、運営コストに加え導入コストの低減を目的として、海外製の遠赤外線乾燥機が国内メーカーの OEM 品（他社製品の自社ブランド

販売、Original Equipment Manufacture) として導入されている。遠赤外線を利用する乾燥機は効率的に乾燥ができることから運転コストである燃料消費と電力量の削減が見込まれる。これに加え、乾燥機の本体価格の低減が見込まれる OEM 品を利用することで、導入時の固定費を抑えることが期待されている。

遠赤外線を利用した穀類乾燥機の性能評価には日高ら (2013) による報告、また遠赤外線を用いない共乾施設向け乾燥機の性能評価についてもその報告例があるものの、海外製の共乾施設向け遠赤外線穀類乾燥機についてはその性能評価を試みた報告は国内で見あたらない。このため、遠赤外線を用いた OEM 品の共乾施設用乾燥機についてその性能を検証した。

調査対象とした装置は、共乾施設向けとして導入された M 社扱いの海外製遠赤外線乾燥機である。乾燥機内上部にテンパリングタンク (容量 16.2 t) を配置し、下部にスクリーン型の乾燥部 (容量 4.0 t) を配置した総張込み容量 20.2 t の循環式乾燥機である。4 本の遠赤外線放射体 (セラミック塗料が塗布されたステンレス管) が 4 つの熱風路内にそれぞれ設置され、これを 2 台のガンタイプバーナで加温する構造となっている。供試乾燥機の乾燥部に送風する熱風温度および乾燥対象穀物の循環時間等は「一般乾燥制御」もしくは「知能乾燥制御」によって制御される。「一般乾燥制御」における熱風温度は、張込み量と平均外気温からメーカーが定めた「熱風温度設定表」に基づいて使用者が設定することとしており、設定された熱風温度は乾燥期間中一定である。「知能乾燥制御」では、乾燥機が測定する乾燥対象穀物水分の推移から乾減率を推定し、設定した目標乾減率となるように送風温度 (バーナの燃焼量) が自動調整される。

この乾燥機を利用して実稼働時に端量区 (張込み量 7.3 t) および満量区 (同 20.2 t) の 2 つの試験区を設け、「一般乾燥制御」による運転を行い、その乾燥性能を確認した。「一般乾燥制御」による運転は試験者側が設定した状態を乾燥機が実現する程度がより確認しやすいことから試験にあたって採用し、端量区は、前章の乾燥機と同様に稼働実態を反映するために設けた。

導入コストについては、取扱いメーカーによると従来機に対して約 4 割のコスト低減がなされているとしており、既設の共乾施設へ導入しやすくなっていると考えられる。乾燥性能のうち乾減率は端量運転時で 1.11 %/h、満量運転時で 0.65 %/h となり、農林水産省の指導値である 0.6 %/h 以上を満たした。特

に端量区はメーカー仕様値標準 0.6~0.8 %/h を上回る結果となった。張込み量全体に対する風量比は端量区・満量区それぞれ 0.079 m<sup>3</sup>/ (s・100kg), 0.030 m<sup>3</sup>/ (s・100kg) であった。張込み量全体に対する風量比の標準を農林水産省 (2005) は 0.03 m<sup>3</sup>/ (s・100kg) としていること、これまで実測した乾燥機における調査結果によれば張込み量全体に対する風量比が満量時 0.03~0.08 m<sup>3</sup>/ (s・100kg) 程度であった (全農 (2000), 全農 (2007)) ことからこれらと概ね同等の風量比であった。

乾燥対象物の品質への影響を判断する指標として乾燥中の供試物が乾燥部を通過した直後の穀温を測定したところ、農林水産省が指導する 35 °C を概ね下回って推移した。一方で組成分析結果は、満量区において乾燥前後で品質が悪くなる粒は見られず概ね問題なかったが、端量区では重胴割れ粒の増加がみられた。端量区は、送風温度の設定が高めになったこと、循環量を下げて運転したものの、テンパリング時間が少なかったと考えられること、同一排風ダクトに接続された乾燥機をすべて運転したことによる風量の低下を招き、その結果機内の水分ムラが起きやすくなっていたこと等が考えられた。

除去水分 1 kg に要する総エネルギーは端量区が 4.84 MJ/kg・水、満量区が 4.23 MJ/kg・水であった。これらは、これまでの報告例に比較して省エネルギーとなっていることが確認された。

これらのことから、供試乾燥機は導入コスト低減と運営コストの低減を実現しつつ満量運転時の基本性能は要求水準を満たすことが確認された。加えて端量運転時や既設乾燥機との排風ダクトへの配慮等の課題が示唆された。

今回は、熱風温度・仕上げ水分・張込み量を設定して運転する「一般乾燥制御」を用いて試験・検討した。乾減率によって制御する「知能乾燥制御」での乾燥も実用上は多く行われることも想定されることから、当該制御の場合の乾燥特性についても将来的に明らかにすることが必要と考えられる。

今後も同様な海外製 OEM 品の導入が想定される。本検証において明らかになった知見は共乾施設への機器導入に際しての留意点を示すものであり、施設整備のための指針の一つとなることが考えられる。

## 6-5 サイロ冷却システムの性能検証

第5章では、サイロ冷却システムの実稼働性能に関する調査についてその結果を示し、考察を加えた。

施設内に設置されている乾燥機をはじめとした機器類は、施設の計画・設置時点の設計条件にもとづいてその能力が決定されており、その設計条件が変化し、当初の施設が処理できる許容範囲を超える場合は、そのままでは処理ができないことに陥る。建設時の前提条件と異なる能力を要求する場合には、処理量を抑えることや設備を増設するなど運営上もしくは機能の付加（補改修）などの措置が必要となっている。

例えば、共乾施設に搬入される米麦の品種変更や有利販売のために、夏場での刈取り・乾燥が行われる事例が散見されるようになった。火力乾燥方式の乾燥機を有する共乾施設では、外気温が高い環境下における乾燥・貯蔵への対応が課題となっている。すなわち、穀類を乾燥するために外気を加温する必要があるものの、穀類の品質保持の観点から加温には限界があること、貯蔵に入る前に通風による冷却を行っても外気温以下には下げることができないこと、などである。

これらの課題に対する運用上の対策として、温度が高い場合に外気温が低くなる夜間に乾燥やサイロ替え（サイロローテーション）を行うことや、半乾貯留せず生原料を直接仕上げ水分まで乾燥させることなどが実際の施設の運転で指導されている。（農林水産省（2005））

一方でサイロ貯蔵期間中は、サイロ内部の穀類が外気からの侵入熱の影響を受けることや高温下の穀物の貯蔵が品質に与える影響は多くの指摘がなされている。（三輪ら（1996））ほか、瀬能ら（1976）、竹生（1988）、三輪ら（1993）外気温が高い時期におけるサイロ貯蔵は高いニーズがあるものの、穀物の品質を維持することは技術的な難しさを伴っている。

これらを解決する設備面からの手段の一つとして、サイロ冷却システムが開発され、普及しつつある。サイロ冷却システムを利用することで、サイロに張込んだ穀温が高い場合にあっても速やかに穀温を下げ、貯蔵に適した状態にすることが可能であるとして、外気温が高い時期の乾燥・貯蔵への適用が期待されている。

しかし、サイロ施設の各種環境や穀温について実機を対象にして計測した事例として、一旦冷却した粃をサイロに投入して行った例（三輪ら（1996））はあるものの、穀温が比較的高い場合において実際のサイロで冷却を行い、その環境や穀温について計測した報告例を公表したものはみられず、冷却工程の実態については明らかにされていない。そこで本検証研究では、実用化が進みつつあるサイロ冷却システムの基本性能について試験を行い、得られた結果を考察した。

調査対象とした設備は、既設の CE に増設した G 社のサイロ冷却システムである。サイロ冷却システムを構成する主な機器は、冷却装置 1 基、300 t サイロ 10 基と一時貯留ビンへの送風ダクト、サイロ上屋の排気ファン 2 基である。

今回の調査は、サイロへの半乾粃の張込み量が低位のものおよび、満量のものについて、乾燥工程における冷却パスの有無を組み合わせ、3 種類の条件（調査区Ⅰ～Ⅲ）で冷却運転を行った。Ⅰ区はクーリングパスを経た粃をサイロ 1/3 程度張込んだ場合の冷却、Ⅱ区は穀温が高い状態でサイロ 1/3 程度を張込みこれを冷却した場合、Ⅲ区は既に 1/3 程度の量が投入されているサイロに容量の半量を高穀温のまま張込み、全体ではほぼ満量として冷却運転した場合とした。半乾貯留時の保管状態が仕上げ粃品質へ与える影響が大きいこと、施設の実運転を想定したことからいずれも半乾粃による試験とした。

その結果、システムで得られた冷却空気は 16～18 °C、湿度は平均で 75 %RH 程度であった。いずれの調査区においてもサイロ冷却装置の冷気は下方から順に上昇し、冷却の効果が認められた。乾燥機の冷却工程を省略し、250 t を張込んだ調査区（Ⅲ区）では、初期穀温 36 °C 程度であった粃が 33 h 程度で目標の穀温 20 °C となった。

今回の運転による垂直方向の冷気の到達速度を検討した。初期穀温 35 °C から通風を開始し、30°C に到達する堆積量は 6.8 t/h、25 °C に到達する堆積量は 5.9 t/h、同様に 20 °C に到達する堆積量は 5.3 t/h となった。これらは堆積量でみた冷却速度とみなすことができる。

穀層表面水平面の穀温の挙動は一様ではなかった。冷却動態の違いは①冷却ルーバが十字であることに起因する半径方向の相対的な空気量の差、②サイロ投入口が偏心した位置からの粃の投入・サイロ内堆積によって想定される見掛

け密度の差③下方から上方に向かう冷気に対する、外気温によるサイロ内壁付近の対流の影響、によると考えられた。すなわち、中心部の温度が早く下がる場合は、①により相対的に中心部が内壁付近よりも通風量が多いと考えられること、②により外周付近から堆積することで中心部はやや見掛け密度が小さくなる可能性があることによると考えられた。また、内壁付近は外気の影響を受けやすいことから、外気が高くなれば下方から上方への対流が生じ、外気が下がれば下降する対流が生じることが知られており（全農他（2008））、サイロ冷却装置の冷気の上昇は、この大きな対流に相殺される場合と助長される場合が考えられ、これらの状況に応じた温度変化がサイロ内で起きていると考えられた。

冷却によって粃が乾燥気味になることも懸念されているが、供試粃に冷却に伴う水分の変化は見られず、大きな減耗はなかった。

このように諸試験の結果により本システムの貯留粃への冷却効果が確認できた。一方で、高穀温のまま大量の粃を張込んだ場合は、高温の空気が冷却装置の運転に伴ってサイロ内を上昇し、排気ダクトを通じてサイロ外へ排出されることで外気温との関係や排気口位置、粃の投入量に応じて結露が発生する可能性があることが確認された。その原因は穀層間隙の空気状態・外気の状態・貯蔵量によると考えられること、これらのことから半乾貯留前の穀温低下作業（乾燥工程における冷却作業を省略せずに実施すること）が必要となること、に留意すべきであると考えられた。

今後は実用規模におけるサイロの内部の温湿度環境の更なる検証や結露防止のため、外気温や張込み温度・水分・貯蔵量をもとに結露発生の予測を簡易に行うなど、施設の運転を支援するシステム等の検討・開発が望まれた。

現在建設されているサイロに設置されている穀温計は、中心部に6~8点程度であり、一点あたり40t程度の穀類の保管状況を代表していることとなる。貯蔵前に水分を均一にすること、精選機をかけるなどして未熟粒等を除去し、均一な品質にしておくこと、穀温計の測点をグラフ化し微小な温度変化も見逃さないことで、品質劣化の予兆とサイロ替えの実施を判断するなどの管理が行われている。そこで、設置される穀温計の本数を増やす、投入されたサイロ内の温湿度等の状態を推定することが実現されれば、乾燥貯蔵における品質事故の



低減に寄与することとなろう。

以上 5 章にわたり、共乾施設がおかれている地域の農業をめぐる情勢が施設運営に与える影響、それらに伴って生じている課題を論じ、その対策として実用化している技術の検証を共乾施設の主要な工程に沿って調査し、結果を考察した。自主検査装置、省スペース型乾燥機、OEM 遠赤外線乾燥機、サイロ冷却システムのいずれの技術も一定の普及を見ているが、その客観的な検証・評価の結果、期待される能力と機能が確認できた一方で、導入や計画、運転に際して留意すべき事項が確認された。主な確認事項は自主検定装置の回転ぶるいにおける大豆選別の特性や乾燥機の乾燥部の構造による乾燥特性が特に端量運転時に現れやすい点、サイロ冷却システムにおける冷却速度や湿潤空気の上昇傾向等の基礎資料である。これらは、運転にかかわる指針、設計にかかわる指針、もしくは導入普及にかかわる指針として位置づけられる。

施設の経年劣化に伴う機能・能力の低下と外的環境の変化に伴う要求性能の高度化とのかい離をどのように埋めていくか、必要な投資をいかに効果的に行うか、等は共乾施設に留まらず、広く農業共同利用施設を所有する事業主体の喫緊の解決すべき課題である。

今回の検証研究の成果が今後の機器開発や施設の導入・既存施設の運転に十分に役立つことを期待する。また更なる調査・検証によって実稼働に反映すべき点も明らかとなった。これらは今後の課題として、検討していきたい。

## Studies on Several Machine Equipments Newly Introduced into Cooperative Grain Drying Processing Facilities

### Summary

In Japan, the cooperative grain drying, processing, storage facilities contribute in rationalization of the producing treated rice with a high quality and saving the labor for the drying and processing work of farmer. Recently, the rice which is shipped from the facilities are evaluated, because they can supply the uniform high-quality rice with constant quantity for increasing demand for food business use.

Many facilities are old. Most of them were build for 15 years ago. So they have the problem of operating, such as increase for repairs by the deterioration, difference of its function and the required ability.

For the solution to these problems, some kinds of machine were developed by agricultural machinery producing company.

In this inspection study, some equipment is chosen from mainly process of the facilities, which are grain receiving process, drying process and storage process.

This thesis consists of 6 chapters. Chapter 1 is the introduction, and chapter 6 consists of an all-inclusive discussion. In the introductory chapter, the outline and the background of the problems of cooperative grain drying, processing, storage facilities and the objectives of the studies are described as mentioned above.

Chapter 2 describes the performance evaluation of a self-inspection device for several grains introduced into cooperative grain drying processing facilities. Most facilities are built for drying and processing of grain, with pool processing systems. The user is charged the costs based on the ratio of their individual volume of shipment and the total throughput. After the common facility receives the grain, the grain is sampled and dried with a test dryer. The costs are calculated after husking and sorting of the grain, so precision of the self-inspection device influences the cost of the grain processing.

In this chapter, the performance of a self-inspection device newly developed for

several kinds of grains was investigated. For paddy, wheat and large soybean, the recovery rate of whole grain from the whole grain pack greater than 97 %. This recovery rate is the ratio of the weight of whole grain in the samples and the weight of samples recovered from the whole grain pack. According to the inspection results, the precision of whole grain ratio and filtering ability of the self-inspection device of this study was almost equal to that of a conventional self-inspection device for one kind of grain. Therefore, the self-inspection device introduced in this study is feasible for actual use in cooperative grain drying processing facilities.

Chapter 3 describes the evaluation of the performance of a newly developed space-saving recirculation dryer for grain drying, processing, storage facilities. A new space-saving model circulation dryer has been introduced for the operation of grain drying, processing, and storage facilities. This dryer permits a reduction in the size and overall height size of the structure, including the bucket elevator, by 20 %, while maintaining system capacity and function. As a result, owners and operators can expect a cost reduction for replacing old systems in existing facilities and for the construction of new facilities. Furthermore, the improvement of the dryer can be expected to reduce the damage of the grain, improving overall grain quality. Because of its important function in the operation of grain storage facilities, we examined the basic performance of the new space-saving circulation dryer in actual use at half- and full-capacity operation and obtained the following results, confirming design expectations:

The processing capacity was 32 t/h, and the drying rate was almost 0.6 %/h, confirming the prescribed operation rates.

The increase in the percentage of absolutely cracked grain before and after drying was not seen, and there was no degradation in the quality of the grain.

The energy input requirement for the removal of water was between 4.7 and 5.5 MJ/kg-H<sub>2</sub>O, which is low when compared with the energy requirement reported for older systems, which was 5.7 MJ/kg-H<sub>2</sub>O.

Chapter 4 describes the evaluation of the performance of a newly developed original equipment manufacturing far-infrared radiation dryer for cooperative grain

drying processing facilities. A new original equipment manufacturing (OEM) model dryer has been introduced for the operation of cooperative grain drying, processing, and storage facilities. Far-infrared rays are used as the heat source of this dryer. The use of far-infrared rays leads to a reduction in fuel consumption, and hence, the overall costs associated with the OEM product. As such, owners and operators will benefit from the reduced costs of replacing old systems in existing facilities and the construction of new facilities. Owing to its important function in the operation of grain storage facilities, we examined the basic performance of the new OEM far-infrared radiation dryer in actual use at half- and full-capacity operations. The results were consistent with design expectations, and are listed below.

The processing capacity and drying rate were 17 t/h and ~0.6 %/h, respectively, at full-capacity operation, thereby confirming the prescribed operation rates.

Furthermore, according to the standard drying methods, the drying temperature of the grains is <35°C.

Further, there was negligible increase in the percentage of cracked grains after drying, and there was no decrease in the quality of the grain.

Moreover, the energy input (4.2–4.8 MJ/kg-H<sub>2</sub>O) requirement for the removal of water, is significantly lower than that (5.7 MJ/kg-H<sub>2</sub>O) required for older systems. These results confirm that the use of this dryer will lead to both reductions in energy consumption and operating costs.

Chapter 5 describes the study on actual performance of a grain-cooling system newly introduced in silos used in cooperative grain drying and processing facilities. The performance of a grain-cooling system for reducing the heat to which wheat and rice grains stored in silos are subjected through the exterior surface of the silo wall was evaluated. This system can be used when the grain temperature and the outside temperature are both high at the start of the storage process. Grain-cooling systems have seen numerous advances. However, few studies have investigated the effects of the operating conditions. We examined the basic performance of the grain-cooling system using an actual silo and obtained the following results.

The cooling air introduced into the test silo used cooled the silo (storage capacity

of 300 t) to 16–18°C in 17–44 h, with the humidity being approximately 75 %. However, when examining the performance of the cooling system, we overlooked the process for cooling the dryer and stored 250 t of paddy grains in the test silo. The temperature of the stored paddy grains was initially approximately 36°C but decreased to 20°C in approximately 33 h. The results of these examinations confirm the silo-cooling effect of the system. However, it should be noted that the cooling time as well as the condensation of dew on the inner wall of the silo should also be taken into consideration during performance evaluation.

It was clear that these machines had prescribed ability each. In the meantime, it was confirmed the matter which are should note on the occasion of introduction and a plan, operating these equipment for these facilities.

## 参考文献

1. A. G. Berlage (1984): Experimental Indent Cylinder for Separating Seeds, ASAE. 27 (2) : 0358-0361.
2. 米穀安定供給確保支援機構 (2015): 米の購入先の推移 (平成 26 年度), <http://www.komenet.jp/jukyudb/822.html> (2016 年 1 月 4 日参照)
3. 米穀安定供給確保支援機構 (2015): 米の 1 人 1 ヶ月当たり消費量の推移, <http://www.komenet.jp/jukyudb/822.html> (2016 年 1 月 4 日参照)
4. 戸次英二 (1999): 穀物水分 1kg の乾減に要するエネルギー量, 農業施設, 30 (2), 93-95.
5. 戸次英二 (1977): ライスセンタにおけるコンバイン収穫もみの搬入と荷受能力に関する考察, 農業施設, 8 (2), 20-26.
6. 戸次英二 (1991): 遠赤外線パネルヒータによるもみ乾燥, 農業機械学会誌, 53 (1),
7. C. I. NINDO・Yasunobu KUDO・Eiji BEKKI (1994): Studies on Sun Drying of Raw Rough Rice (Part 1), 農業機械学会誌, 56 (2), 33-40.
8. 大黒正道・澤村宣志・小林恭・帖佐直・佐々木豊 (2000): 循環乾燥機を用いた高水分大豆の調湿乾燥, 農業機械学会誌, 62 (3), 140-148.
9. 海老沢勲 (1992): 共乾施設の展開に関する研究, 全農, 29-61.
10. 江崎春雄・佐竹隆顕・湯沢昭太郎・郭康権・屋代幹雄 (1986): 木質材ペレット成形施設の調査研究, 農業施設, 17 (1), 34-41.
11. F. S. Lai, (2013): Improvement in Grain-Dryer Fuel Efficiency through Heat Recovery, ASAE. 20 (3) : 579-584
12. FM推進連絡協議会 (2003): 総解説ファシリティマネジメント, 390-413.
13. J. L. Fouss (2007): Research and Development of Laser-Beam Automatic Grade-Control System on High-Speed Subsurface Drainage Equipment, ASABE. 50 (5) : 1663-1667
14. L. P. Walker (1992): Energy Efficiency in Concurrent Flow Rice Drying, ASAE. 24 (5) : 1352-1356.
15. 魏長楽・守田和夫・田原迫昭爾・林純男 (1993): ソバの乾燥と品質 (第 2 報) - 温除湿乾燥法によるソバの乾燥 -, 農業機械学会誌, 55 (1), 57-65.
16. 後藤清和・山下律也 (1979): 穀物乾燥貯蔵施設の設計・利用法の研究 (第 2 報) - 荷受部の最適化について -, 農業施設, 10 (1), 23-30.
17. 後藤清和・山下律也 (1981): 穀物乾燥貯蔵施設の設計・利用法の研究 (第 3 報) - 施設入荷粳および立毛粳の水分特性 -, 農業施設, 12 (1), 14-20.
18. 後藤清和・山下律也 (1981): 穀物乾燥貯蔵施設の設計・利用法の研究 (第

- 4 報) 一半乾貯留法による乾燥部能力の向上, 農業施設, 12 (2), 15-23.
19. 後藤清和・三輪精博・山田勝義 (1993): 穀粒の呼吸特性に関する研究 (第 1 報) - 簡易測定法および穀粒の呼吸特性 -, 農業機械学会誌, 55 (3), 51-57.
  20. 後藤清和・三輪精博・服部利充 (1997): 穀物乾燥施設における荷受けシステムの研究 (第 2 報) - 荷受け過程の検証および荷受けホッパの配置 -, 農業施設, 28 (3), 3-11.
  21. 後藤清和・三輪精博・劉建偉・富田和伸 (1994): 玄米乾燥の実用化に関する研究 (第 1 報) - 玄米乾燥の基礎的特性 -, 農業機械学会誌, 56 (4), 21-26.
  22. 原圭祐・稲野一郎 (2014): 光学式選別機を組み込んだ小麦の効率的な調製体系, 農業機械学会誌, 76 (1), 92-96.
  23. 日高靖之・久保田興太郎・市川友彦・柏寄勝・小篠玲二・土門正幸・造賀和成・伊藤正人・大沼信彦 (2013): 穀物遠赤外線乾燥機の実用機開発及び生産現場での性能評価, 農業機械学会誌 75 (5), 316-325.
  24. 土方亨 (2014): カントリーエレベーターをはじめとする共乾施設の役割と課題, 日本建築士会連合会会誌, 63 (738), 26-29
  25. 土方亨 (2010): 農産物の生産・流通の現状 3. 穀類, 農産物流通技術 2010, 29-33.
  26. 土方亨 (2011): 農産物の生産・流通の現状 3. 穀類, 農産物流通技術 2011, 33-38
  27. 疋田慶夫・韓東海・安部武美 (1996): 粳の呼吸速度に関する研究, 農業機械学会誌, 58 (2), 25-30.
  28. 井上慶一 (1998): 大豆の体積, 見かけ体積, 充てん率と水分の関係, 農業機械学会誌, 60 (1), 27-31.
  29. 伊藤博通・山下律也 (2000): 画像処理による黒大豆しわ粒の判別 (第 1 報) - 線形判別関数による判別 -, 農業機械学会誌, 62 (1), 55-63.
  30. 岩尾俊男 (1991): 選別機・洗浄機, 新版農産機械学, 文永堂出版, 64-65・80-83.
  31. 華岩・小中俊雄・瀬能誠之 (1993): 共乾施設の荷受工程に関する研究 (第 1 報) - 荷受粳の変動確率モデルについて -, 農業施設, 24 (1), 1-6
  32. 金井源太・小林有一・竹倉憲弘・加藤仁・葉師堂謙一 (2010): ペレットボイラーを熱源とした循環式乾燥機の可能性, 農業機械学会誌, 72 (3), 297-299.
  33. 河野俊夫・中野浩平・喜田環樹・村田敏・内野敏剛・井上眞一 (1996) 赤外線ガス分析計による粳・小麦の呼吸特性の測定, 農業機械学会誌, 58 (6), 21-29.
  34. 小出章二・村田敏・内野敏剛 (1995): 貯留中穀倉内の熱・水分移動 - 自然

- 対流項を含んだ解析－, 農業機械学会誌, 57 (6), 37-44.
35. 小出章二・村田敏・内野敏剛・菅原祐二・田中史彦・K. S. P. アマラトゥンガ (1996): 小麦充てん層の通風抵抗に関する研究, 農業機械学会誌, 58 (6), 111-117.
  36. 小出章二・西山喜雄・村田敏・菅原祐二 (1998): 小麦充てん層の通風乾燥に関する研究, 農業機械学会誌, 60 (6), 53-61.
  37. 厚生労働省 (19472): 労働安全衛生法施行令, 第6条第一項21号
  38. 工藤泰暢・C. I. ニンド・戸次英二 (1994): 生粳の太陽熱直射乾燥に関する研究 (第2報) 単粒層の乾燥特性と熱収支－, 農業機械学会誌, 56 (3), 27-32.
  39. 工藤泰暢・C. I. ニンド・戸次英二 (1996): 生粳の太陽熱直射乾燥に関する研究 (第4報) ー波面層の日射量と乾燥特性ー, 農業機械学会誌, 58 (1), 3-7.
  40. Manuel Jose C. REGALADO・Eiji BEKKI (1999): Thin-layer Dehumidification Drying Studies on Rough Rice (Part1), 農業機械学会誌, 62 (3), 128-139.
  41. Manuel Jose C. REGALADO・Eiji BEKKI (2000): Thin-layer Dehumidification Drying Studies on Rough Rice (Part2) -Open Airflow System Including Dehumidifier-, Journal of JSAM, 62 (5), 87-97.
  42. 三輪精博・後藤清和・村瀬克典 (1993): カントリーエレベータにおける粳貯蔵に関する研究 (第1報), 農業施設, 24 (1), 39-44.
  43. 三輪精博・後藤清和 (1996): カントリーエレベータにおける粳貯蔵に関する研究 (第2報) ー脂肪酸度変化の予測ー, 農業施設, 26 (4), 211-217.
  44. 向井三雄 (1993): 共乾施設の処理コストと経営収支分析, JA全農生産資材部, 6-26.
  45. 村田敏・河野俊夫・田中史彦 (1991): 穀物粉体の乾燥特性, 農業機械学会誌, 53 (2), 71-77.
  46. 村田敏・河野俊夫・榎本敏夫 (1993): 単層大豆の乾燥特性, 農業機械学会誌, 55 (1), 51-56.
  47. 村田敏・田中史彦・K. S. P. アマラトゥンガ・澁谷和子・内野敏剛 (1995): 精白米の吸湿過程における平衡含水率の測定ー初期含水率の平衡含水率に与える影響ー, 農業機械学会誌, 57 (6), 45-52.
  48. 長廣仁蔵・樋口健・渡部安司 (1992): 穀物の回転式流動層乾燥装置に関する研究 (第1報) ー粳米の乾燥ー, 農業機械学会誌, 54 (6), 57-64.
  49. 長廣仁蔵・樋口健・渡部安司 (1993): 穀物の回転式流動層乾燥装置に関する研究 (第2報) ー小麦及び大豆の乾燥ー, 農業機械学会誌 55 (1) 43-50.
  50. 中野浩平・河野俊夫・喜田環樹・村田敏・内野敏剛・井上眞一 (1996): 粳



- のマイクロ波乾燥に関する基礎的研究, 農業機械学会誌, 58 (6), 13-19.
51. 夏賀元康・川村周三・伊藤和彦 (1994) : 近赤外分光法による穀物成分測定値の変動要因 (第1報) - 穀物の種類・品種と粉碎条件が粒度と水分に及ぼす影響 -, 農業機械学会誌, 56 (2), 41-48
  52. (公社) 日本農業法人協会 (2015) : 人材確保・育成と経営継承に関する提言, 1-3, [http://hojin.or.jp/150115人材育成等の提言\(提出版\).pdf](http://hojin.or.jp/150115人材育成等の提言(提出版).pdf). (2016年1月4日参照)
  53. Mohd Nordin Ibrahim (2013) : Effects of Airflow Reversal in Fixed-Bed Drying of Rough Rice on Head Rice Yield and Drying Performance, ASABE, 56 (4) 1485-1493.
  54. 日本精米工業会・ケツト科学研究所 (1997) : 胴割れ混入率による見え方の違い, ライスミュージアム, 20.
  55. 西山喜雄・菊池豊・志斉琢磨 (1992) : インペラ式粳すり機の動力学解析 (第2報) - 粳すり実験値と理論値の比 -, 農業機械学会誌 54 (6), 65-71.
  56. 西山喜雄・山本忠博・今飯田賢 (1995) : 常温貯蔵乾燥施設の調査研究 (第1報) - 除湿貯蔵乾燥方式における除湿機の性能と本乾燥方式の気候的評価 -, 農業施設, 25 (4), 30-36.
  57. 農業・食品産業技術総合研究機構 (1998) : 緊プロ開発機のご紹介「遠赤外線乾燥機」, <http://www.naro.affrc.go.jp/brain/iam/urgent/urgent200/013444.html>. (2015年9月1日参照)
  58. 農林水産技術情報協会 (2001) : エネルギー管理型農業生産システム開発調査, 15-16.
  59. 農林水産省 (1984) : 大規模乾燥調製貯蔵施設の設置・運営について, 農蚕園芸局長通達, 昭和59年10月11日59農蚕第5138号, 別記1.7 (2).
  60. 農林水産省 (1999) : コルゲート鋼板製の貯蔵乾燥ビンを用いた大規模乾燥調製貯蔵施設の補助事業における取扱いについて, 農蚕園芸局農産課生産班長事務連絡, 平成11年3月17日.
  61. 農林水産省 (2005) : 大規模乾燥調製貯蔵施設の設置・運営に当たっての留意事項について, 農蚕園芸局長通知, 平成17年5月25日17生産第965号改正, 3・8.
  62. 農林水産省 (2008) : 産地づくり対策について, 1-5, [http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/kome\\_seisaku/pdf/santi\\_taisaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/kome_seisaku/pdf/santi_taisaku.pdf) (2015年12月30日参照)
  63. 農林水産省 (2013) : 産地づくり対策について, 産業競争力会議・農業分科会 (第3回) [https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/bunka/dai3/siryoul\\_1](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/bunka/dai3/siryoul_1)

.pdf (2015年12月30日参照)

64. 農林水産省 (1992) : 大規模乾燥調製貯蔵施設の新しい仕様について, 農蚕園芸局長通達, 平成4年4月9日4農蚕第2416号
65. 大久保孝雄 (2000) : 生粳の冷却乾燥シミュレーション, 農業機械学会誌, 62 (5), 110-116.
66. R. C. Brook (2013) : Simulation For Design of Commercial Concurrentflow Grain Dryers ASAE. 21 (5) : 0978-0981.
67. R. C. Brook (2013) : Design of Multi-Stage Corn Dryers Using Computer Optimization, ASAE. 23 (1) : 0200-0203.
68. R. O. Pierce (2013) : Energy Use and Performance Related to Crossflow Dryer Design, ASAE. 21 (5) : 0978-0981.
69. 劉建偉・後藤清和・三輪精博・富田和伸 (1995) : 玄米乾燥の実用化に関する研究 (第2報) - 循環乾燥機による玄米の乾燥特性 -, 農業機械学会誌, 57 (1), 17-23.
70. 劉洪津・渡辺兼五・東城清秀・杉山隆夫・牧野英二 (2002) : 米の貯蔵環境と米品質に関する研究 (第1報) - 貯蔵後に搗精した精米の品質に及ぼす影響 -, 農業機械学会誌, 64 (1), 52-60.
71. 坂口栄一郎・早川千吉郎 (1991) : 穀粒の流動特性に関する研究 (第3報) 傾斜とい中を流れる粳と玄米と白米の流動状態 -, 農業機械学会誌, 53 (1), 83-90.
72. 澤田恭彦・堀部和雄・亀岡孝治 (1993) : 穀物乾燥施設の経済性分析に関する研究 (第1報) 評価方法と利用料金設定モデル -, 農業機械学会誌, 55 (6), 33-41.
73. 澤田恭彦・堀部和雄 (1994) : 乾燥ハウス利用通風乾燥に関する研究, 農業機械学会誌, 56 (6), 17-24
74. 澤田恭彦ら (1994) : 穀物の放射乾燥法に関する研究 (第3報) - 粳堆積層の温度予測 -, 農業機械学会誌, 56 (5), 19-26.
75. Shoji KOIDE (2010) : Cooked Rice Evaluation as Affected by Polished Rice with Cracked Surface, journal of JSAM, 72 (1), 93-95
76. Shoji KOIDE (2012) : Concentration of Airborne Microorganisms in a Rice Storage Facility, Journal of JSAM, 74 (3), 244-246.
77. S. Sokhansanj・F. W. Bakker-Arkema (1981) Waste Heat Recovery in Grain Dryers, ASAE. 24 (5), 1317-1321.
78. 瀬能誠之・佐原伝三・山口智治・小原俊一 (1976) : 鋼製サイロによる穀物貯蔵に関する基礎的研究 (I) - 穀物の温度および水分とその変敗について -, 農業施設, 5 (1), 9-22.

79. 瀬能誠之 (1977) : 農業施設の配置計画に関する研究 (I) - 粳乾燥調製施設の敷地類型と空間構成について -, 農業施設, 8 (1) , 4-8.
80. 瀬能誠之 (1978) : 農業施設の配置計画に関する研究 (II) - 粳乾燥調製施設が周辺に及ぼす影響, 特に粉塵について -, 農業施設, 9 (1) , 10-18.
81. 資源エネルギー庁 (2002) : エネルギー源別発熱量一覧表の改訂について 2. 標準発熱量表.
82. 清水直人ら (2000) : 米飯物性による米の品質評価技術の開発 (第2報) - 湯取り炊飯法における米のねばりに係わる品質 -, 農業機械学会誌, 62 (2) , 94-100.
83. 園部和彦 (2010) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 その1, 農業倉庫・CE と防災, 103, 18-21.
84. 園部和彦 (2011) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 その2, 農業倉庫・CE と防災, 104, 24-27.
85. 園部和彦 (2011) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 その3, 農業倉庫・CE と防災, 105, 16-19.
86. 園部和彦 (2011) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 その4, 農業倉庫・CE と防災, 106, 20-23.
87. 園部和彦 (2011) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 その5, 農業倉庫・CE と防災, 107, 18-21.
88. 園部和彦 (2012) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 その6, 農業倉庫・CE と防災, 108, 24-27.
89. 園部和彦 (2012) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 その7, 農業倉庫・CE と防災, 109, 13-17.
90. 園部和彦 (2012) : CE 導入から今日までのあゆみ・変遷 最終回, 農業倉庫・CE と防災, 110, 18-21.
91. 角厚志・新家憲 (1996) : 共同乾燥施設用エアフィルタの集塵性能, 農業機械学会誌, 58 (3) , 95-102.
92. 高木史人 (1986) : 低温貯蔵法の穀物サイロへの適用, 農業機械学会誌, 48 (1) , 58-66.
93. 竹生新次郎 (1988) : 米の食味, 稲と米 - 品質を巡って -, 農研センター及び生研機構, 130-154.
94. 田中俊一郎・田中史彦・大久保孝雄・前田欣治・守田和夫・リチャード ルーカス ウラサ (2000) : 生粳の低温乾燥特性, 農業機械学会誌, 62 (5) , 104-109.
95. 田原迫昭爾・守田和夫・魏長楽 (1992) : ソバの乾燥と品質 (第1報) - 玄ソバの乾燥特性 -, 農業機械学会誌, 54 (6) , 51-56.

96. 豊田浄彦・竹内龍三・児島初男 (1992) : 穀類の水分移動特性に関する研究 (第3報) -2槽モデルによる糶の品種別乾燥特性の考察-, 農業機械学会誌, 54 (1), 57-65.
97. 豊田浄彦 (1994) : 穀類の水分移動特性に関する研究 (第4報), 糶, 玄米および糶殻の乾燥特性の比較-, 農業機械学会誌, 56 (4), 3-12.
98. 豊田浄彦・前川孝昭・山沢新吾 (1985) : 循環式穀物乾燥機の乾燥条件に関する研究, 神大農研報, 16, 499-508.
99. Tieyou DONG (1999) : Distribution of Radiation Power Density on Drying Bed in Microwave Drying, February of JSAM, 61 (2) :165-170.
100. 張林紅・戸次英二 (1994) : 生糶の除湿乾燥に関する研究, 農業機械学会誌, 56 (4), 13-20.
101. 内田多喜生 (2008) : 農家構造の変化と農協組織—迫られる次世代対応—, 農林金融, 2008・11, 610-621.
102. 上田貞夫・山下律也 (1976) : 穀物乾燥貯蔵施設の設計・利用法の研究 (第1報) -施設利用実態からみた問題点と技術診断-, 農業施設, 7 (1), 9-19.
103. Vellaichamy Chelladurai (2015) : Evaluation of a Horizontal Air Flow In-Bin Grain Drying System, Engineering in Agriculture. 31 (5) : 793-797.
104. 和田聡一 (2014) : 農産物の生産・流通の現状 3. 穀類, 農産物流通技術 2014, 29-33.
105. 山形県農林水産部 (1998) : 糶共同乾燥・調製 (貯蔵) 施設設置・運営の手引き, 124.
106. 山本聡史・加藤宏郎 (1999) : 穀物貯蔵サイロにおける水分移動と水分むら防止に関する基礎的研究, 農業施設, 30 (3), 21-29.
107. 山下律也 (1992) : 農業施設コストエンジニアリング, 農業機械学会, 1-6・66-67.
108. 全国瑞穂食糧検査協会 (2001) : 農産物規格規定, 平成24年度農産物検査手帳, 151-176
109. 全国農業協同組合中央会 (JA 全中) (2014) : JA グループの課題, 第26回 JA 全国大会決議議, 4
110. 全国農業協同組合中央会 (JA 全中) (2015) : 第27回 JA 全国大会議案協議地区別 JA 代表者会議資料, 2-12.
111. 全農 (1991) : 共乾施設の経営収支試算方法について-農協直営 2,000t CE (A型) 糶専用モデルの一試論- (補正版), 1-15.
112. 全農 (1991) : 共乾施設のでびき第一分冊, 全農管財 (株), 4-10.
113. 全農 (1991) : 共乾施設コスト低減のでびき, 132-137, 281.
114. 全農 (1992) : 穀物の物性値解説書, 11-12・24-25・53.

115. 全農 (2000) : 共乾施設のてびき (補追版), 47.
116. 全農 (2007) : 大型循環式乾燥機性能試験, 4-5.
117. 全農・全国農協カントリーエレベーター協議会・農業倉庫基金 (2008) : カントリーエレベーターオペレーター必携, 45・113.
118. 全農 (1984) : 昭和 59 年度試験成績 (農業施設), 42-46.
119. 全農 (2000) : 平成 11 年度試験成績 (農業施設), 57-79.
120. 全農 (2001) : 平成 12 年度試験成績 (農業施設), 1-29・31-60.
121. 全農 (2004) : 平成 15 年度試験成績 (農業施設), 29-37.
122. 全農 (2005) : 平成 16 年度試験成績 (農業施設), 25-30.
123. 全国農協カントリーエレベーター協議会 (2012) : カントリーエレベーター協議会会員施設の運営実態調査とりまとめ結果, CE 情報, NO. 119 別冊, 1-25.

## 謝 辞

本検証研究を論文博士論文としてとりまとめるにあたり、当会（全国農業協同組合連合会；全農）の事業目的や業務の位置付けをご理解いただき、加えて地域の農業共同利用施設のおかれる実態を配慮いただいた上で、著作の構成や論述の組み立て等に至るまで長期にわたり懇切丁寧なご指導を賜りました筑波大学大学院 生命環境科学研究科佐竹隆顕教授（前 農業施設学会会長）に深く感謝申し上げます。

また、博士論文の審査に際し、ご高閲およびご指導いただいた筑波大学大学院生命環境科学研究科北村 豊教授、同瀧川具弘教授（日本農作業学会会長）、同大井 洋教授に心から感謝申し上げます。

本検証研究は全農生産資材部施設農住課が中心となって実施した農業施設の性能確認試験における成果の一部をとりまとめたものです。この試験で取り上げた装置の設置先であるCE・RCおよび運営主体である各農協の関係各位には、稼働時期のお忙しい中にもかかわらずご協力を賜り、改めて御礼申し上げます。

また、試験の実施ならびにデータの取りまとめ、論文作成に当たりご専門のお立場から数々のご協力を頂いた調査対象各装置の製造・取扱いメーカーである(株)サタケ、日本車輛製造(株)、(株)山本製作所、ヤンマーグリーンシステム(株)（社名の五十音順に記載）および各社の皆様に記して謝意を表します。

加えて、今回の執筆にあたり職場である生産資材部の上司をはじめ関係者・同僚の皆様にはご理解とご協力を頂きました。重ねて御礼申し上げます。

最後に日々の業務の中にあって論文のとりまとめに際しては、妻秀代や家族の理解と協力が支えとなりました。改めて感謝します。