

# 水稲早期栽培地帯における大規模穀類乾燥貯蔵施設に関する研究

田中 正美\*

Studies on Grain Drying and Storage  
Facilities in Early Rice Cropping Area

Masami TANAKA

## 緒 言

大規模穀類乾燥調製（貯蔵）施設の施設費を低くし、その利用効率を高めるために、稲収穫期間の延長と期間内に稲を平均して収穫できるように、品種及び収穫時期を調節するよう指導している。

水稲早期栽培地帯の現状は、本県の銘柄品種コシヒカりに作付けが集中し、稲収穫期間の実荷受け日数が20日以内であり収穫のピークは10日位である。ピーク時の収穫量は、早期稲地帯の全収穫量の90～95%を占める場合が多い。

これらコシヒカリの集中搬入に対応する大規模穀類乾燥調製（貯蔵）施設については、一志郡三雲村、鈴鹿市、伊

勢市北部の各農協施設の建設について、設計指導を行なうと共にこれら施設の稼働状況を調査した。そこで、高水分籾の集中搬入に対応する大規模穀類乾燥調製貯蔵施設のあり方及び効率的な稼働方法について述べ今後これら施設建設の参考に供する。

## 方 法

### 1. 場所及び施設名

- 1) 一志郡三雲村 三雲村農協ライスセンター
- 2) 伊勢市東大淀 伊勢市北部農協ライスセンター
- 3) 鈴鹿市須賀町 鈴鹿市農協カントリーエレベーター

### 2. 大規模穀類乾燥調製（貯蔵）施設の概要

表 1. 集中搬入籾に対応する大規模穀類乾燥調製（貯蔵）施設の概要

施設名	三雲村トライストアー	伊勢市北部トライストアー	鈴鹿市カントリーエレベーター
荷受け能力 (t/h)	10×2	20×2	20×3
粗選機能力 (t/h)	10×2	20×2	20×3
自動計量機 (t/h)	12×2	20×2	20×3
通風貯留ビン	80t×16基	50t×16	50t×30
乾燥機型式	縦型連続流下	傾流型連続流下	縦型連続流下
乾燥機流量 (t/h)	14×2	30	28×2
テンパリングタンク	40t×8	20t×5	30t×8
乾燥籾タンク、サイロ	20t×2	20t×4	サイロ 300t×10
籾 摺 機	10吋×2	10吋×2	10吋×2
籾摺能力(乾籾t/h)	4.5×2	4.5×2	4.5×2
製品タンク	13.6t×2	9t×2	6t×6
モーター電力計(kw)	三相 356	三相 470	三相 1,113
施設費(円)	381,772	519,080	987,645
建設年次	昭和55年	昭和58年	昭和57年

### 3. 施設の設計検討事項及び稼働状況調査

- 1) 通風貯留ビン数・容量
- 2) 乾燥機の大きさ(能力)・型式

### 3) 乾燥籾タンク(又はサイロ)の容量・基数

- 4) 原料籾の搬入状況
- 5) 予備乾燥・仕上げ乾燥の状況

\* 営農部

検討結果及び考察

1. 通風貯留ビン数・容量について

(1) 通風貯留ビンによる予備乾燥と乾燥機による仕上げ乾燥する場合、全ビン数の決め方は次のとおりである。

A) 1日の平均荷受け量を連続荷受するとして計算する方法

- 原料粉の1ビン当たり堆積量……S (生粗 ton)
- 1日当たり平均荷受け量……W (生粗 ton)
- 1日当たり仕上げ乾燥粉量……J (生粗換算 ton)
- 半乾燥の1ビン当たり堆積量……K (生粗換算 ton)
- 原料粉の荷受け期間……D'(日)
- 原料粉の実荷受け日数……D (日)
- 1日の荷受け品種数……V
- ローテーション用ビン数……R (ビン)
- 通風ビンの全ビン数……G (ビン)

とすると、全ビン数は次の式で算出できる。

$$G = \frac{W}{S} + \frac{W(D-1) - J(D'-1)}{K} + R + (V-1) \dots(1)$$

また、1日平均荷受け量は次の式で算出できる。

$$W = \frac{S \{ [K(G-R-(V-1))] + J(D'-1) \}}{K + S(D-1)} \dots(2)$$

また、1日の仕上げ乾燥粉量は次の式で算出できる。

$$J = \frac{W \{ K + S(D-1) \} - S \{ K(G-R-(V-1)) \}}{S(D'-1)} \dots(3)$$

B) 荷受けピーク時の1日平均荷受け量を連続荷受けするとして計算する方法

- ピーク時の1日平均荷受け原料粉量……Wp (生粗 ton)
- ピーク時の1日平均仕上げ乾燥粉量……Jp (生粗換算 ton)
- ピーク時原料粉の1ビン当たり堆積量……Sp (生粗 ton)
- ピーク時の連続荷受け日数……Dp (日)

とすると全ビン数は次の式で算出できる。

$$G = \frac{Wp}{Sp} + \frac{(Wp - Jp)(Dp - 1)}{K} + R + (V-1) \dots(4)$$

また、ピーク時の1日の平均荷受け原料粉量は、次の式で算出できる。

$$Wp = \frac{Sp \{ K \{ G - R - (V-1) \} + Jp(Dp - 1) \}}{K + Sp(Dp - 1)} \dots(5)$$

また、ピーク時の1日平均仕上げ乾燥粉量は次の式で算出できる。

$$Jp = \frac{Wp \{ K + Sp(Dp - 1) \} - Sp \{ K \{ G - R - (V-1) \} \}}{Sp(D - 1)} \dots(6)$$

また、ピーク時の連続荷受け日数は次の式で算出できる。

$$Dp = \frac{Sp \{ K \{ G - R - (V-1) \} + (Wp - Jp) \} - Wp \cdot K}{Sp(Wp - Jp)} \dots(7)$$

(2) 乾燥機で予備乾燥してビンに貯留する場合の必要数は、次の式で算出できる。

1) 平均荷受け量で算出する場合、

- 1日平均荷受け原料粉量……W (生粗 ton)
  - 原料粉の1ビン当たり堆積量……S (生粗 ton)
  - 原料粉の平均水分……M1 (%)
  - 半乾燥粉の平均水分……M2 (%)
  - 原料粉の荷受け期間……D'(日)
  - 原料粉の実荷受け日数……D (日)
  - 半乾燥の仕上げ乾燥粉量……J (半乾粗 ton)
  - 半乾燥粉の1ビン当たり堆積量……Sh (半乾粗 ton)
- $$G = \frac{W}{S} + 1 + \frac{W \left( \frac{100-M_1}{100-M_2} \right) (D-1) - (D'-D-1) J}{Sh} + R + (V-1) \dots(8)$$

$$W = \frac{\{ G - R - 1 - (V-1) \} S \cdot Sh + (D' - D - 1) J}{Sh + S \left( \frac{100-M_1}{100-M_2} \right) (D-1)} \dots(9)$$

但し、Rはローテーションビン数

2) ピーク時連続して荷受けする場合

- ピーク時平均1日荷受け原料粉量……Wp (ton)
  - ピーク時連続荷受け日数……Dp (日)
- $$G = \frac{Wp}{S} + 1 + \frac{Wp \left( \frac{100-M_1}{100-M_2} \right) (Dp-1) + R + (V-1)}{Sh} \dots(10)$$

$$Wp = \frac{S \cdot Sh \{ G - R - 1 - (V-1) \}}{Sh + S \left( \frac{100-M_1}{100-M_2} \right) (Dp-1)} \dots(11)$$

(3) 乾燥機でストレート仕上げ乾燥して、残った生粗を通風貯留する方法の貯留粉量は、

- ピーク時1日平均荷受け粉量……Wp (生粗 ton)
- ピーク時連続荷受けの全重量……W' (生粗 ton)
- 1ビン当たり原料粉堆積量……S (生粗 ton)
- ストレート乾燥仕上げ粉量……J (生粗換算 ton)
- ピーク時連続荷受け日数……Dp (日)
- 仕上げ乾燥用1ビン当たり堆積粉量……S'(生粗 ton)
- 仕上げ乾燥用ビン数……B (ビン)
- 生粗貯留用ビン数……B' (ビン)
- ローテーション用ビン数……R (ビン)
- 全ビン数……G (ビン)

$$B' = \frac{W' - J \cdot Dp}{S} + R = \frac{Wp \cdot Dp - J \cdot Dp}{S} + R, B = \frac{J}{S'} + 1$$

$$G = \frac{Wp \cdot Dp - J \cdot Dp}{S} + R + \frac{J}{S'} + 1 = \frac{Dp(Wp - J)}{S} + \frac{J}{S'} + R + 1 \dots(12)$$

図1、2のように、乾燥機でストレート乾燥して残った生粗を通風貯留する方法の1日荷受け粉量が、通風ビンで予備乾燥後仕上げ乾燥する方法の1日荷受け粉量より多いのは、乾燥機の大きさが前者が後者の約2倍になるためである。

乾燥機により予備乾燥して通風ビンで貯留する場合の

田中：水稻早期栽培地帯における大規模穀類乾燥貯蔵施設に関する研究

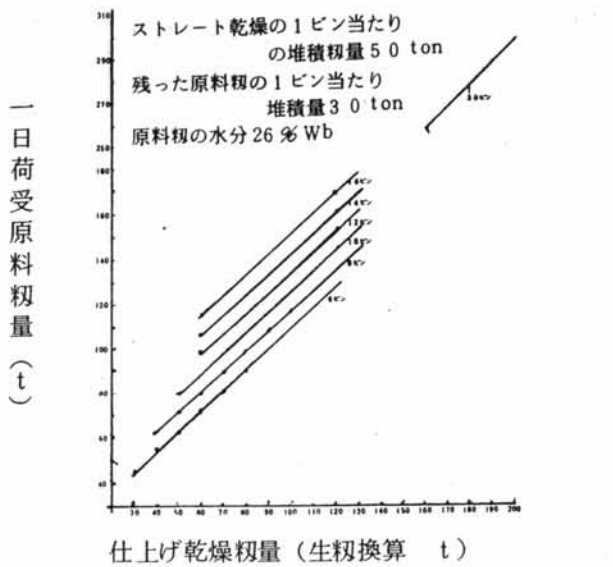


図1. 乾燥機でストレート乾燥し残った生籾を通風貯留する場合の1日荷受量(連続荷受日数7日)

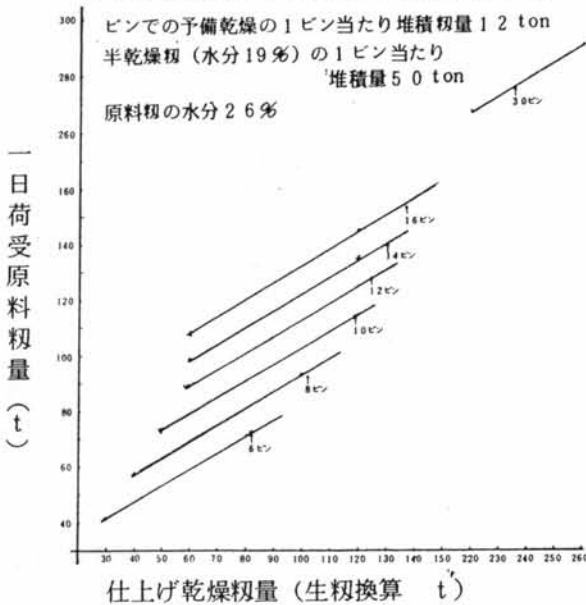


図2. 通風ビンで予備乾燥後仕上げ乾燥する場合の1日荷受量(連続荷受日数7日)

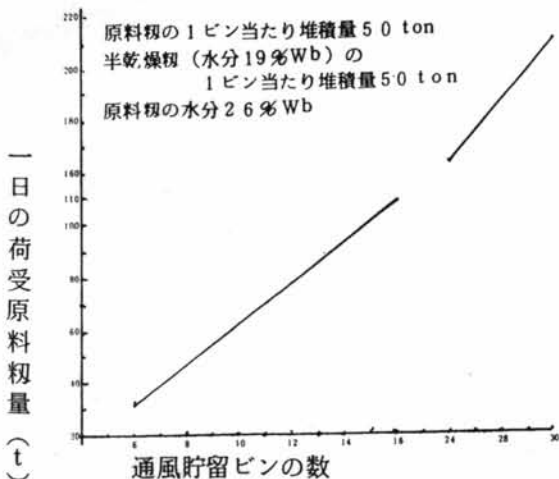


図3. 乾燥機で予備乾燥して通風ビンで貯留する場合の1日荷受量(連続荷受日数7日)

1日荷受け初量は、(1)式・図3のようにビン数(ビン全容量)又はサイロ容量により決まり、その荷受け初量を予備乾燥に必要な乾燥機を装備する必要がある。

荷受け連続日数7日の場合の1日荷受け初量は、図4、5のように、8ビン16ビンについてどの乾燥流量についても、通風ビンで予備乾燥して乾燥機で仕上げ乾燥する方法が最も多い。1日荷受け初量が最も少ないのは、乾燥機で半乾燥してビンで通風貯留する方法である。

次に荷受け連続日数4日の場合の1日荷受け初量は、図4、5のように8ビン16ビンとも、乾燥機(流量)が大きくなるほど乾燥機でストレート乾燥して残った原料籾を通風貯留する方法が多くなった。乾燥機で半乾燥してビンで通風貯留する方法の1日荷受け初量は、16ビン区が最も多くなる可能性がある。この場合、この荷受け初量を半乾燥する乾燥機の大きさ(流量33 t/h)を確保する必要がある。

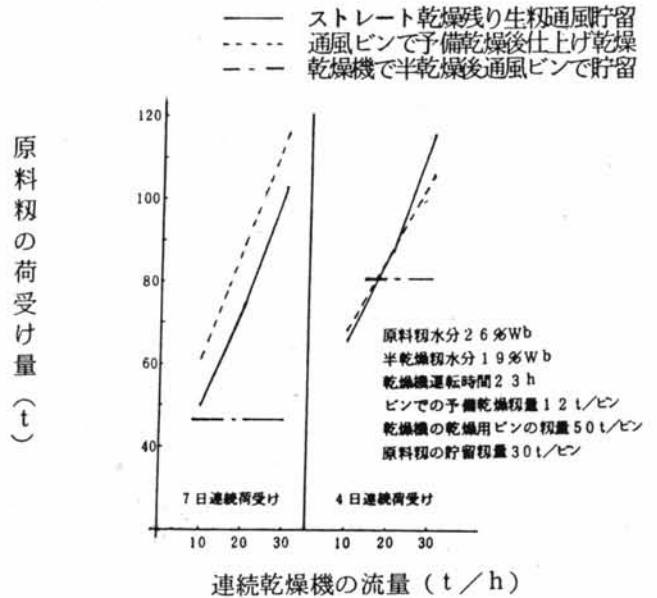


図4. 乾燥方式と原料籾の荷受け量(50 t 8ビンの場合)

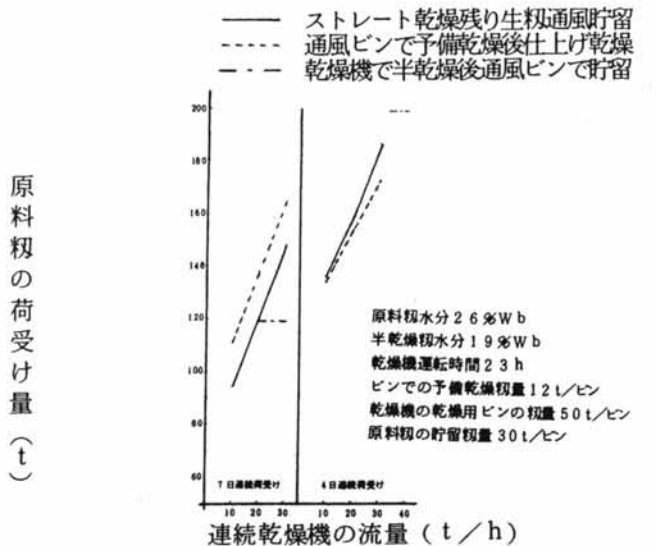


図5. 乾燥方式と原料籾の荷受け量(50 t 16ビンの場合)

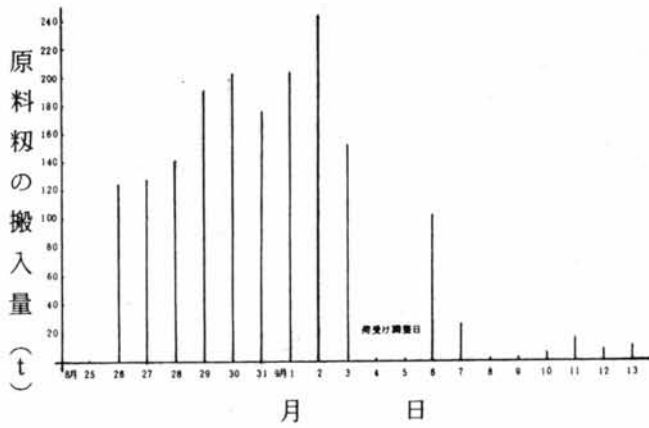


図6 原料籾の搬入状況(三雲)

表2 三雲の荷受条件における乾燥方式と乾減水分・必要ビン数

乾燥方法	乾減水分重		生籾貯留		半乾籾貯留		乾燥籾貯留量	必要ビン数
	通風ビン	乾燥機	量	ビン数	量	ビン数		
通風ビンによる予備乾燥	71.25 t	t	371 t	4+1	393 t	5+1	16 t	15
乾燥機による仕上げ乾燥		732.7						
乾燥機による予備乾燥後		96.95	221	3+1	919.1	12		16
半乾燥籾貯留		(142.12)	151	2+1	(1,441.9)	18+1	0	22
乾燥機でストレート乾燥し 残った生籾を通風貯留		108.95	774	10+1	0	0	0	14

(注) 括弧内は半乾燥籾重  
通風ビンの容量籾80t×16基、乾燥機の流量14t/h×2基  
荷受条件は図のように9日連続荷受け。

早期栽培稲作地域における、各施設の59年度の稼働実績は表3のとおりであり、ピーク時連続荷受け日数7~10日、ピーク時荷受け量の比率が68.4~90%であった。この条件下で上記の効率的な乾燥方法をとった結果、玄米の1等級比率は92.5~100%であった。

(4) 連続乾燥機と大型循環型乾燥機との比較検討

1) 連続乾燥機利用の場合

連続乾燥機の1回通過の平均乾減水分...α(%)

原料籾水分...M<sub>1</sub>(%)、乾燥籾水分M<sub>2</sub>(%)  
連続乾燥機の流量...Q(t/h)  
乾燥機1日稼働時間...T(h)  
連続乾燥機の流下時間...t(h)  
とすると、ピーク時平均1日荷受け原料籾量、乾減水分は次の式で算出できる。

$$Wp = \frac{Q \alpha (T-t)}{M_1 - M_2} \dots (13), M_1 - M_2 = \frac{Q \alpha (T-t)}{Wp} \dots (14)$$

表3 早期栽培稲作地域における穀類乾燥調製貯蔵施設の稼働実績(1984)

施設名	三雲ドライストアー	伊勢市北部ドライストアー	鈴鹿カントリーエレベーター	備考
計画処理量(玄米t)	1,596	1,200	3,960	
実荷受け日数(日)	28	24	26	
ピーク時連続荷受け日数(日)	9	7	10	品種 コシヒカリ
1日最大荷受け量(生籾t)	242.4	139.0	370.1	"
1日平均荷受け量(生籾t)	67.2	62.7	92.3	
ピーク時 1日平均荷受け量(生籾t)	169.2	116.4	204.2	
ピーク時荷受け量比率(%)	90.0	68.4	85.1	
処理玄米量(t)	1,205.25	849.00	1,597.92	
一等級比率(%)	100	100	92.5	
品 種 名	コシヒカリ・秋晴	トドロキ早生・コシヒカリ 大空	トドロキ早生・コシヒカリ 大空	

高水分籾（水分25%以上）を連続乾燥機で予備乾燥する方法は、乾燥機を通過した高水分・高湿籾がテンパリング中に変質させないために、テンパリング時間を3時間以内にする必要がある。すなわち、乾燥機の運転時間を24時間とした場合は、乾燥機通過回数が7~8回となる。このときの処理量Jは、乾燥機の流量をQ t/hとすると、処理量（J ton）は次の式で表わされる。

$$J = \frac{24}{7 \sim 8} \times Q \dots\dots\dots(15)$$

また、テンパリング時間が3時間の場合、連続乾燥機が休止することなく運転するのに必要な原料量（J ton）は、テンパリング時間をT、乾燥機通過時間をtとすると次の式で表わされる。

$$J' = Q (T + t) \dots\dots\dots(16)$$

すなわち、連続乾燥機で高水分籾を水分22%位まで予備乾燥する方法は、テンパリング時間の制約を受けるため、1日の処理量を多くするには、乾燥機の大きさ（流量）を大きくしなければならない。

高水分の加温した籾を3時間以上テンパリングする場合は、テンパリング中の変質を防止するために通風しなければならない。テンパリング中に通風すると胴割れの可能性もある。

2) 循環型乾燥機の場合、1日の乾燥全時間は

- 循環型乾燥機の台数……………N (台)
- 乾燥機1機の原料籾の張込み時間… $t_1$  (h)
- 乾燥機1機の乾燥籾の排出時間… $t_2$  (h)
- 原料籾の水分…………… $M_1$  (%)
- 乾燥籾の水分…………… $M_2$  (%)
- 毎時乾減率…………… $\alpha$  (%/h)
- 1日の乾燥回数……………R (回)
- 1日の乾燥全時間……………T (h)

$$T = (N - 1) t_1 + R \left( t_1 + \frac{M_1 - M_2}{\alpha} + t_2 \right) \dots\dots(17)$$

$$R = \frac{T - (N - 1) t_1}{\left( t_1 + \frac{M_1 - M_2}{\alpha} + t_2 \right)} \dots\dots(18)$$

- 1日の乾燥処理量……………J (生籾 ton)
- 乾燥機1機の容量……………V (生籾 ton)

$$J = \frac{V N \left\{ T - (N - 1) t_1 \right\}}{\left( t_1 + \frac{M_1 - M_2}{\alpha} + t_2 \right)} \dots\dots(19)$$

循環型乾燥機を2回転する場合の乾減水分は、次式で表わされる。

$$M_1 - M_2 = \frac{\alpha \{ T - (N - 1) t_1 \}}{2} - \alpha (t_1 + t_2) \dots\dots(20)$$

表4. 連続乾燥機と大型循環乾燥機との比較

	連続乾燥機	循環型乾燥機
乾燥機の大きさ・基数	流量20 t/h × 1基	容量20 t × 3基
乾燥能力 (t・%/h)	20 t/h × 2% = 40	20 t × 3 × 0.7%/h = 42
モーターの電力 (kw)	45.95	30.15
乾燥機の価格 (千円)	23,743	20,850
乾燥関係の価格 (千円)	31,548	20,850
乾燥関係建物面積 (㎡)	87.5	45.9
乾燥関係建物軒高さ (m)	9	12
乾燥関係建物価格 (千円)	14,583	8,345
施設費 (千円)	46,131	29,195
乾燥能力当り施設費 (千円)	1,153 (166)	695 (100)
乾燥能力当り電力 (kw)	1.15 (160)	0.72 (100)

1日当たり籾の乾燥処理量を同じ（60 ton）にした場合、連続乾燥機の循環型乾燥機に対する比率は、表4のように、乾燥能力当り施設費が1.66、電力が1.6となった。

また、乾燥作業については、連続乾燥機は夜間乾燥作業に人が操作する必要があるが、循環型乾燥機は原料籾を投入後自動水分計とタイマーをセットすることにより夜間無人運転ができた。

循環型乾燥機は、ホールディング容量まで原料籾を投入すれば正常な乾燥を開始することができる。連続乾燥機は、乾燥機通過時間にもよるがホールディング容量の6~10倍の原料籾がないと正常な運転ができない。

すなわち、20 tの循環型乾燥機3機の場合、能力当り施設費・電力及び乾燥操作性からは、大型循環型乾燥機利用が連続乾燥機利用より有利である。循環型乾燥機は、原料籾の乾燥機投入時間を短縮することが肝要で

あるので、乾燥機へ直接投入法が望ましい。

(5) 循環型乾燥機と通風貯留ビンとの比較

通風ビンによる予備乾燥は、表5のように乾燥能力当たり施設費が循環型乾燥機の2.3～2.6倍、乾燥能力当

たりの電力が循環型乾燥機の4.6～5.3倍である。即ち、ビンは貯留能力は高いが、乾燥のみの利用では経済的でない。

表5. 循環型乾燥機と通風貯留ビンとの性能・経済性

	循環型乾燥機	通風貯留ビン
内 容 量 (生籾 t)	20	50
乾 燥 能 力 (t・%/h)	12～14 (20×0.6～0.7)	3～4 (10×0.3～0.4)
モ ー タ ー の 電 力 (kw)	10.5	139
施 設 費 (円)	9,732	6,358
乾燥能力当たり施設費 (円/t・%)	811～695	2,119～1,590
上 の 比 率 (%)	100～100	261～229
乾燥能力当たり電力 (kw/t・%)	0.88～0.75	4.64～3.48
貯留能力当たり施設費 (円/t・%)	487	127
貯留能力当たり電力 (kw/t・%)	0.53	2.78

摘 要

1. 高水分籾が集中して搬入される早期稲地帯における大規模穀類乾燥調製貯蔵施設のあり方とその利用について検討した。

2. 稲収穫ピーク時に連続して荷受け量を高めるためには、原料籾の二段乾燥方式が優れ、原料籾を通風貯留ビンと乾燥機との連動で半乾燥して半乾燥籾をローテーション可能なタンク又はサイロに貯留する。このサイロを貯蔵にも利用する方式とする。

3. 現在のドライスターについては、通風貯留ビンによる予備乾燥と乾燥機による仕上げ乾燥を同時に行なう方法が、荷受け能力を高め籾品質の面からも最も望ましい方法である。通風貯留ビン数・容量の算出法は、(1)(2)・(4)・(5)式である。

4. 原料籾を乾燥機でストレート乾燥し、残った生籾を通風貯留する方法は、荷受け能力が低く、籾の品質低下を防止するために通風貯留時の風量比の確保とローテーション機能が必要である。

5. 連続乾燥機と大型循環型乾燥機とを比較すると、大型循環型乾燥機(20tが3機の場合)、乾燥能力当たり施設費・電力が少なく、乾燥機に原料籾を投入した後無人運転が可能であった。

6. 通風貯留ビンは、大型循環型乾燥機に比し貯留能力は高いが、乾燥のみの利用では経済性が劣る。

参 考 文 献

(1) 後藤清和・山下律也(1984・6) 穀物乾燥調製貯蔵施設の低コスト化 農業機械学会誌第46号 1号 671～677頁

(2) 山下律也・後藤清和(1984) 穀物乾燥調製貯蔵施設の省エネ化 農業機械学会関西支部報第55号 62～65頁