

高水分粉の二段乾燥技術

誌名	山形県立農業試験場研究報告 = Bulletin of the Yamagata Prefectural Agricultural Experiment Station
ISSN	03887707
著者	小南, 力 児玉, 憲司 安達, 真道 瀬野, 幸一
巻/号	24号
掲載ページ	p. 63-75
発行年月	1989年12月

高水分粳の二段乾燥技術

小南 力・児玉 憲司・安達 真道*
瀬野 幸一

(平成元年7月7日 受理)

Two-steps Drying Technics of High Moisture Rough Rices

Chikara KOMINAMI, Kenji KODAMA, Masamichi ADACHI*,
and Kouichi SENO

二段乾燥技術の確立は、高水分粳の乾燥時の品質低下を防ぐとともに、適期内収穫作業が可能になり、刈遅れによる品質低下の防止につながる。

広義には、乾燥中に一時的な中断操作が入れば二段乾燥といえるが、本報告では、連続乾燥作業行程において、夜間のみ中断する乾燥方法を「夜間休止乾燥」とし、粳水分18%時点で粳貯留槽に一時貯留(24時間以上)した後に仕上げ乾燥する方法を「二段乾燥」として狭義に分けて定義し、検討を行った。

夜間休止乾燥は、低温、高湿な夜間乾燥を避けることによって乾燥の効率化が図られ、さらに、休止によって胴割発生率の抑制効果が認められた。しかし、収穫時粳水分が高い場合は、夜間休止することにより、一日の収穫乾燥作業サイクルが崩れ、そのメリットが発揮できない。連日の作業サイクルを維持するためには、むしろ、二段乾燥が優ることになる。従って、夜間休止乾燥は、粳水分約22%以下の中水分粳の乾燥法として有効である。

一方、二段乾燥は、おおよそ一日以上一時貯留することにより粳水分の均衡が図られ、後の適正水分への仕上げ乾燥が容易になるほか、乾燥効率が高く、品質も高く保持された。従って、二段乾燥は、粳水分約22%以上の高水分粳の乾燥法として有効であり、その場合に必要となる粳貯留槽容量と作業体系のモデルを作成した。

目 次

I 緒 言	63
II 研究方法	64
III 結 果	
1 夜間休止乾燥の特性	64
2 二段乾燥の特性	67
3 二段乾燥の作業体系モデル	71
IV 考 察	73
V 摘 要	74
参照文献	74
Summary	75

I 緒 言

近年、米の消費は、量の低下とともに、良質米への志向が高まり、作付品種も少数の良質品種に特化する傾向にある。県内におけるササニシキの作付面積比率は、1988

年には64%である。特に、庄内地域では1981年に90%を越え、1988年には97%と極めて高い比率になっている。

また、品質向上にとって特に重要な適期刈取について、本県は、収穫期が秋雨前線の影響を受け易いこと、ササニシキの倒伏に伴う刈取能率の低下などから刈遅れにな

* 現 山形県農林水産部農業技術課

り、活青の減少、光沢及び食味評価の低下する年次がある。

従って、本県産米、特にササニシキの品質食味の向上には、刈遅れ防止対策が欠かせない要因になる。特に庄内地域のように、一戸当たりの水田面積が多く、しかも、ササニシキのみの作付においては、収穫適期内に作業を行うために、収穫適期の前半において高水分籾を収穫せざるを得ないことが容易に推測される。この高水分籾は、翌日収穫籾の張込み前までに乾燥を終えるように、長時間連続乾燥や高温乾燥を必要とするが、籾にとっては苛酷な乾燥になり、新たに胴割米、水高米あるいは過乾燥米などの問題が発生する。

これらのことから、本研究は、早刈りの高水分籾の品質低下を二段乾燥によって防止し、あわせて、遅刈りを回避する技術として、1986年から1988年の3ヶ年実施したものであり、国庫助成「地域重要新技術開発促進事業」の一環である。二段乾燥技術は、既に、共同乾燥施設の多くに機械・施設の効率利用の面から導入されており、本研究でその技術特性を明らかにし、個別乾燥農家向けの技術として確立することを最終的なねらいとする。

なお、本研究実施にあたっては、山形県立農業試験場田中進氏、同庄内支場梅津英樹氏、佐藤貴紀氏、石栗幹雄氏、高橋譲氏に多大の御協力をいただいた。ここに記して、心より謝意を表する。

II 研究方法

1 研究期間

1986年～1988年 (3ヶ年)

2 研究場所

東田川郡藤島町大字藤島 (県立農業試験場庄内支場)
山形市みのりが丘 (県立農業試験場)

3 供試品種

ササニシキ

4 供試循環型乾燥機

NCD-117A型, 2基

NCD-23X型, 2基

5 乾燥試験区の構成

庄内支場では、循環型乾燥機 (NCD-117A型) 2基で

二段乾燥と連続乾燥を、本場では、同 (NCD-23X型) 2基で夜間休止乾燥と連続乾燥を実施し、それぞれの乾燥特性を検討した。

III 結 果

1 夜間休止乾燥の特性

(1) 乾燥の経過

本場では、1986年に、同じ条件の籾を、循環型乾燥機 (NCD-23X型) 2基に各々ほぼ満量張込んで、夜間休止乾燥と連続乾燥を行った。

供試籾は26%の高水分籾で、青籾歩合も34%と高かった。送風温度を40°Cに設定し、収穫当日の17時に乾燥を開始した結果、夜間休止乾燥は途中翌日0時から6時までの間休止して同11時55分に終了し、一方の連続乾燥は翌日9時45分に終了した。実乾燥時間は、それぞれ12.92時間、16.75時間であった。

各々の乾燥状況を乾燥時間帯別にみると、第1表のようになる。夜間休止乾燥は休止前後の二段階に、連続乾燥は三段階に分けてみると、両乾燥とも後期になる程エネルギー効率が低くなり、その低下程度は夜間休止乾燥の方が小さい。従って、全体を通じてのエネルギー効率は、連続乾燥が37.5%に対し、夜間休止乾燥が44.5%と高くなった。

(2) 単粒水分の分布

乾燥時における単粒籾水分の頻度分布を、夜間休止乾燥と連続乾燥について経時的に調査し、第2図と第3図に、その結果を示す。なお、水分の測定は135°C-24hr法で行った。

張込み時は、第1図のように、加重平均籾水分が24.6%でも、既に17%台まで乾燥しているものから、60%を越える高水分まで広く分布しており、精籾はおおよそ17~27%、青籾は20~60%の範囲であった。

その後、夜間休止乾燥では、一次乾燥終了時 (休止開始時) に平均籾水分 (単純平均) が23.5%になり、6時間休止後においても、平均籾水分はほとんど変わらなかった。一次乾燥時は精籾の乾燥速度が速く、夜間休止時は青籾の水分均衡化が認められる。夜間休止乾燥終了時においては、加重平均籾水分15.6%であったが、単粒

研究場所及び試験区名	内 容
庄内支場	1. 二段乾燥
本 場	2. 連続乾燥
	3. 夜間休止乾燥
	籾水分18%まで一次乾燥し、貯留後に仕上げ乾燥する。 乾燥終了まで昼夜連続乾燥する。 籾水分20%以下で休止し、翌朝6時から仕上げ乾燥する。

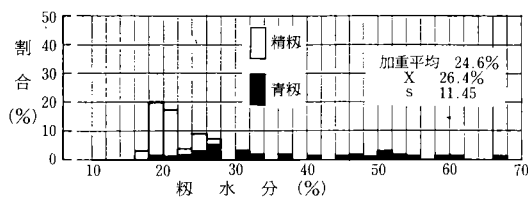
第1表 時間別の乾燥状況 (1986年)

乾燥法		乾燥時間	0～7時間	7～13時間	13～16.8時間	累 積
夜 間 休 止 乾 燥	月 日 時 刻	9/29,17:00～24:00	9/30,6:00～11:55			
	実乾燥時間 (hr)	7.0	5.9			12.9
	乾燥前重量 (kg)	2,120.7	1,942.2			2,120.7
	乾燥後重量 (kg)	1,942.2	1,859.4			1,859.4
	乾減重量 (kg)	178.5	82.8			261.3
	初期糶水分*(%)	26.0	19.2			26.0
	仕上り糶水分*(%)	19.2	15.6			15.6
	平均每時乾減率(%)	0.97	0.61			0.81
	燃料消費量 (kg)	15.25	12.18			27.43(82)
	蒸発水分(kg/灯油kg)	11.71	6.80			9.53
	電力消費量 (KWH)	13.40	11.50			24.90(78)
	平均送風温度(°C)	40.4	39.5			39.9
	平均室内温度(°C)	20.0	19.6			19.8
	平均室内湿度(RH.%)	76	79			77
	エネルギー効率*2(%)	55.0	31.5			44.5
胴 割 率	乾燥前 軽(%)					3.0
	乾燥前 重(%)					0.6
率	乾燥後 軽(%)					4.4
	乾燥後 重(%)					1.8
連 続 乾 燥	月 日 時 刻	9/29,17:00～24:00	9/30,0:00～6:00	9/30,6:00～9:45		
	実乾燥時間 (hr)	7.0	6.0	3.8		16.8
	乾燥前重量 (kg)	2,120.7	1,969.2	1,888.8		2,120.7
	乾燥後重量 (kg)	1,969.2	1,888.8	1,851.0		1,851.0
	乾減重量 (kg)	151.5	80.4	37.8		270.7
	初期糶水分(%)	25.9	20.2	16.8		25.9
	仕上り糶水分(%)	20.2	16.8	15.1		15.1
	平均每時乾減率(%)	0.81	0.57	0.45		0.65
	燃料消費量 (kg)	13.10	13.05	7.30		33.45(100)
	蒸発水分(kg/灯油kg)	11.57	6.16	5.18		8.09
	電力消費量 (KWH)	13.35	11.50	7.1		31.95(100)
	平均送風温度(°C)	37.9	38.6	37.8		38.1
	平均室内温度(°C)	20.1	18.1	17.2		18.4
	平均室内湿度(RH.%)	75	84	85		81
	エネルギー効率(%)	52.9	28.9	23.9		37.5
胴 割 率	乾燥前 軽(%)					3.0
	乾燥前 重(%)					0.6
率	乾燥後 軽(%)					3.3
	乾燥後 重(%)					2.5

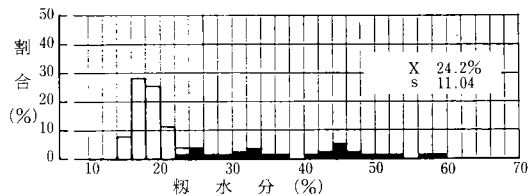
()は連続乾燥対比

* 1 : 10g 粒-135°C-24hr 法

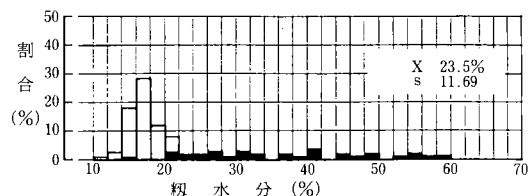
* 2 : エネルギー効率 = $\frac{\text{蒸発必要エネルギー}(585\text{kcal/kg})}{\text{灯油発生エネルギー}(10,300\text{kcal/kg}) + \text{電力発生エネルギー}(2,450\text{kcal/KWH})} \times 100$



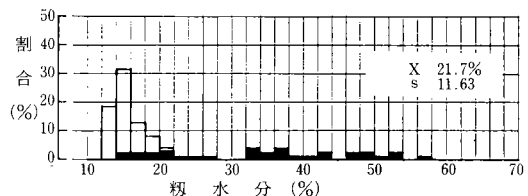
第1図 張込み籾の単粒水分分布



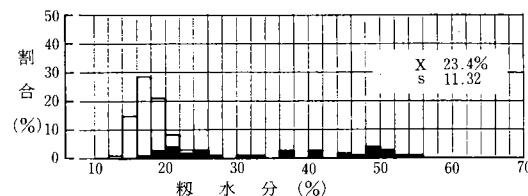
第3-1図 連続乾燥5時間後の単粒水分分布



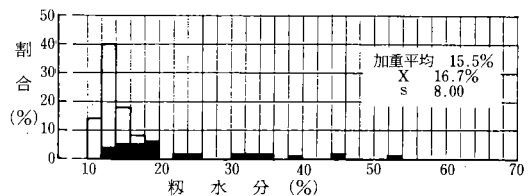
第2-1図 夜間休止乾燥休止開始時単粒水分分布 (乾燥7時間後)



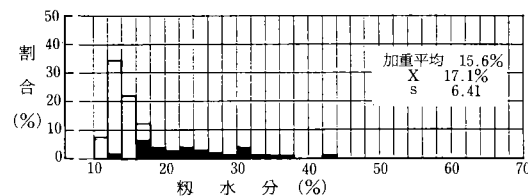
第3-2図 連続乾燥10時間後の単粒水分分布



第2-2図 夜間休止乾燥休止終了時単粒水分分布 (休止6時間後)



第3-3図 連続乾燥終了時の単粒水分分布



第2-3図 夜間休止乾燥終了時単粒水分分布

第2表 乾燥法と胴割粒の発生 (1986)

乾燥法		胴割率 (%)	
		軽	重
乾燥前 (立毛時)		3.0	0.6
火力乾燥後	夜間休止	4.4	1.8
	連続	3.3	2.5
自然乾燥後	杭掛	4.3	2.8
(比較)生脱乾燥	常温通風	3.2	0.8
	陰干し	3.3	0.9

では、10~40%の分布範囲になり、精籾水分14%以下の割合が約40%あった。

一方、連続乾燥では、夜間休止乾燥の一次乾燥でみられたように、精籾の乾燥速度の速い傾向が終了まで続いた。終了時においては、加重平均籾水分15.5%であったが、単粒では10~50%の分布範囲になり、籾水分14%以下の割合が約50%と夜間休止乾燥より多くなった。

(3) 品質及び食味官能

胴割粒の発生は第2表に示されるように、立毛時0.6%の重胴割率が夜間休止乾燥で1.8%に、連続乾燥で2.5%に増加し、前者の増加率が低かった。ほかの乾燥法と比べると、火力乾燥は杭掛乾燥によりは少なく、常温通風乾燥や生脱陰干しよりも多くなる傾向であった。

常温貯蔵3ヶ月後と同10ヶ月後の品質及び食味官能の

結果を、第3表と第4表に示す。貯蔵中の品質の変化は、胚の活性度 (TZ値) の低下が連続乾燥でやや大きいほかは、乾燥法の区間差は判然としなかった。

また、連続乾燥を基準とした食味官能検査では、貯蔵中の両時期とも、夜間休止乾燥との有意差は認められず、自然乾燥の貯蔵3ヶ月後の「外観」についてのみ有意差があった。

第3表 品質の変化 (1986年産米)

乾燥法	項目	常温貯蔵 3ヶ月後				常温貯蔵 10ヶ月後			
		搗精歩合 (%)	玄米水分 (%)	精白米水分 (%)	TZ値 (%)	搗精歩合 (%)	玄米水分 (%)	精白米水分 (%)	TZ値 (%)
夜間休止乾燥		89.5	14.6	14.4	96.6	87.5	13.4	13.1	94.3
連続乾燥		89.5	14.4	14.4	96.2	87.8	13.4	13.0	91.8
自然乾燥		89.5	15.0	14.9	98.8	87.8	12.8	13.1	95.2

第4表 食味官能検査 (1986年産米)

注) 基準：連続乾燥
パネラー：33人

時期・乾燥法	項目	総合	外観	香り	味	粘り	硬さ
		信頼区間推定値	±0.381	±0.410	±0.285	±0.297	±0.393
常温貯蔵 3ヶ月後	夜間休止乾燥	0.030	0.242	0.121	-0.061	-0.212	0.242
	自然乾燥	0.152	0.545*	-0.030	-0.152	-0.182	0.091
常温貯蔵 10ヶ月後	信頼区間推定値	±0.400	±0.386	±0.308	±0.472	±0.444	±0.444
	夜間休止乾燥	-0.188	0.063	0.031	-0.313	-0.344	-0.063
	自然乾燥	0.313	0.156	-0.219	0.188	0.250	-0.406

*：危険率5%

第5表 供試籾条件

注) 内訳：乾燥重量%, ()：粒数%

年次	項目	収穫月日 (月/日)	籾水分 (%)	張込時の籾内訳			張込時の玄米内訳						出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)
				精籾	青籾	空糈	完全	腹心白	活青	青未熟	白未熟	着色他		
1986		9/30	27.9	81.2 (69.9)	18.5 (26.6)	0.3 (3.5)	70.5	4.9	8.4	9.1	6.8	0.3	8/15	10/2
1987		9/21	25.5	84.4 (72.8)	14.8 (23.1)	0.8 (4.1)	52.0	21.3	4.6	10.3	10.5	1.3	8/7	9/23
1988		9/27	26.7	88.2 (81.0)	10.9 (14.3)	0.9 (4.7)	70.6	7.2	2.8	5.8	3.5	10.1	8/11	9/25

2 二段乾燥の特性

(1) 乾燥経過

同じ条件の籾を、循環型乾燥機 (NCD-117A型) 2基に各々最大容量の90%以上張込んで、二段乾燥と連続乾燥を行い、3ヶ年の結果を得た。

供試籾は25.5~27.8%の高水分籾で、その内訳などの籾条件を第5表に示す。年次毎の供試籾は、1986年と1987年に水分及び青籾歩合が高く、1988年に水分が高く青籾歩合が比較的低い傾向がみられる。これは、前者が成熟期前であることによる生理的高水分籾、後者が成熟期後の降雨付着による物理的高水分籾と考えることができる。また、青籾歩合は、玄米でみるとほぼ「活青+青未熟」の割合に相当した。

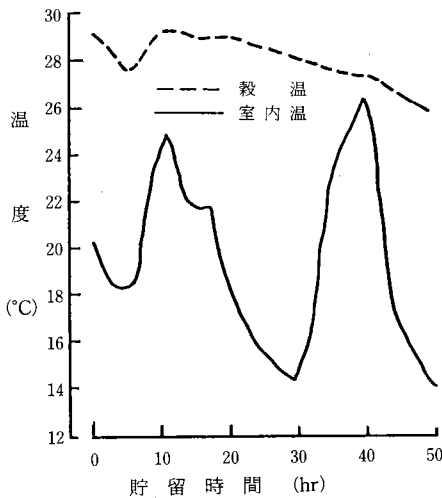
乾燥速度は、二段乾燥の一次乾燥時毎時乾減率が、1986年に0.8%、1987年と1988年に1.0%になるように送風温度を設定し、連続乾燥の送風温度もそれに従った。

その結果、第6表に示されるように、概ね目標の乾減率になり、収穫当日夕方からの乾燥開始で、連続乾燥では翌日の朝方に終了し、二段乾燥では翌日未明0時から3時頃に籾水分18%になり一次乾燥が終了した。さらに、二段乾燥は、乾燥機内に上方の蓋を開放してそのまま一時貯留し、貯留時間を1986年に126時間(約5日間)、1987年に57時間(約2日間)、1988年に19時間(約1日間)と変え、その後、日中4~5時間の仕上げ乾燥を行った。また、1986年の連続乾燥は、乾燥終了後の籾水分の戻りが大きかったために、後に追乾燥して仕上げた。

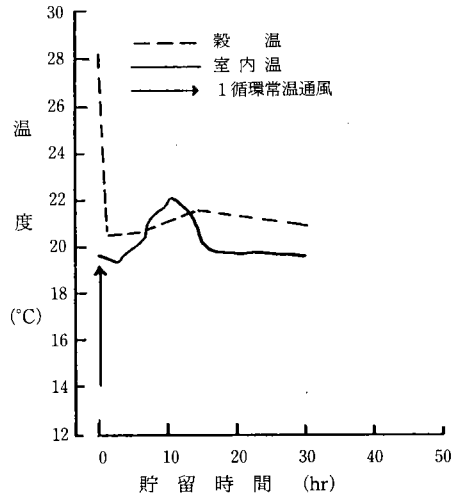
第6表 乾燥の状況

年次	1 9 8 6				1 9 8 7			1 9 8 8				
	二段乾燥区		連続乾燥区		二段乾燥区		連続乾燥区	二段乾燥区		連続乾燥区		
	一次乾燥	仕上げ乾燥	連続乾燥	追乾燥	一次乾燥	仕上げ乾燥	連続乾燥区	一次乾燥	仕上げ乾燥	連続乾燥区		
乾燥月日時刻	9/30, 16:30~ 10/1, 3:30	10/6, 9:00 ~14:00	9/30, 16:30~ 10/1, 7:50	10/6, 9:00 ~11:00	9/21, 17:00 ~24:00	9/24, 9:00 ~13:00	9/21, 17:00~ 9/22, 6:00	9/27, 18:00~ 9/28, 3:00	9/29, 8:00 ~12:00	9/27, 18:00~ 9/28, 9:00		
乾燥前籾重 (kg)	947.2	-	948.5	-	988.3	-	989.8	1,071.4	-	1,071.3		
乾燥後籾重 (kg)	-	782.4	794.0	783.8	-	858.2	860.9	-	914.9	908.4		
乾減重量 (kg)	-	-(164.8)	154.5	-(164.7)	-	-(130.1)	128.9	-	-(156.5)	162.9		
初期籾水分 ^{*1} (%)	27.9	18.6	27.9	16.5	25.5	18.0	25.5	26.7	18.2	26.7		
仕上げ籾水分 ^{*1} (%)	18.7	14.3	15.0	14.0	17.8	15.1	14.2	18.2	14.3	13.5		
同上玄米粉 ^{*2} (%)	-	15.7	14.3	15.3	-	15.8	15.1	-	15.5	15.2		
乾燥時間 (hr)	11.0	5.0(16.0)	15.3	2.0(17.3)	7.0	4.0(11.0)	13.0	9.0	4.0(13.0)	15.0		
平均每時乾減率 (%)	0.84	0.86(0.85)	0.84	1.25(0.80)	1.10	0.73(0.95)	0.87	0.94	0.98(0.95)	0.88		
燃料消費量 (kg)	10.1	5.6(15.7)	16.4	1.9(18.3)	6.7	3.9(10.6)	13.6	9.3	3.8(13.1)	16.1		
蒸発水分 (kg/灯油kg)	-	-(10.5)	9.4	-(9.0)	-	-(12.3)	9.5	-	-(11.9)	10.1		
平均送風温度 (°C)	36.9	41.2	37.9	36.9	39.5	40.2	39.4	39.9	40.7	40.1		
平均室内温度 (°C)	19.6	20.7	19.0	20.6	22.7	22.5	20.9	19.7	21.2	19.7		
平均送風湿度 (RH, %)	31	27	29	34	29	23	29	27	26	30		
平均室内湿度 (RH, %)	78	79	78	78	85	68	87	85	77	85		
開始時穀温 (°C)	23.4	23.2	24.1	21.5	26.9	24.6	25.4	19.3	20.9	21.1		
終了時穀温 (°C)	26.7	32.0	30.7	27.5	29.2	30.3	31.5	27.3	29.6	30.0		
胴割率	乾燥前	軽 (%)	0	-	0	-	0.8	-	0.8	16.0	-	16.0
		重 (%)	0	-	0	-	0	-	0	0.5	-	0.5
	乾燥後	軽 (%)	2.0	4.0	4.0	5.0	10.8	13.2	15.6	18.0	20.0	25.0
		重 (%)	0	0	0	0	0.4	1.6	3.2	1.0	2.0	4.0

* 1 : 赤外線水分計, * 2 : 電気抵抗式水分計, () : 累積値, 温湿度 : 1時間毎の平均値



第4-1図 一時貯留時の穀温推移 (1987)



第4-2図 一時貯留時の穀温推移

一時貯留中の穀温の推移は、1987年の結果が第4-1図に示されるように、その低下が極めて緩慢であった。1988年には、貯留開始時に乾燥機内一循環分の常温通風を行った結果、第4-2図のように穀温は直ちに常温に近づき、その後の胴割増加や仕上げ乾燥効率の低下は認められなかった。

胴割粒の発生は、各年次とも、二段乾燥の方が連続乾燥より少なかった。

(2) 一時貯留時の水分変化

二段乾燥の一時貯留時における玄米構成別（精玄米・活青・青未熟）の水分変化を、第5図に示す。

一時貯留開始時即ち、一次乾燥終了時における精玄米と青未熟の水分差は、一次乾燥時の乾燥速度が速い程大きく、1986年が毎時乾減率0.84%で12.0%、1987年が同1.10%で15.3%、1988年が同0.94%で13.2%であった。その後の水分変化は、青未熟が著しい低下、活青がやや減少傾向、精玄米がやや増加傾向であった。

各年次とも、貯留開始から20~30時間後に、精玄米水分に対して、青未熟は+4~5%、活青は+1~2%まで接近してほぼ安定した。

(3) 乾燥終了後の水分変化

二段乾燥と連続乾燥の乾燥終了後における玄米構成別経時的水分変化を第6図と第7図に、精玄米の水分変化量を第7表に示す。

二段乾燥は、乾燥終了時点の精玄米と青未熟の水分差が2~4%あり、時間の経過とともに差が僅かに縮まり、全体的にも水分が減少した。1986年において、乾燥終了時点から玄米構成間の水分差が小さかったのは、一時貯留が約5日間と長かったことによるとみられる。

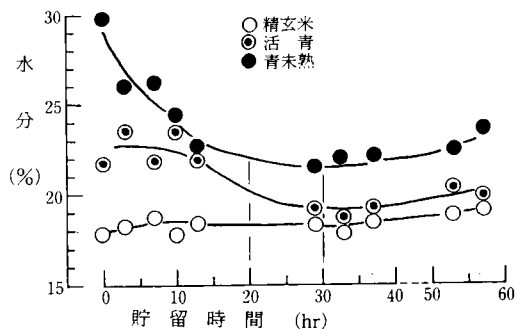
一方、連続乾燥は、乾燥終了時点の精玄米と青未熟の水分差が6~10%あり、おおよそ30時間経過してその差3%程度まで縮まりほぼ安定した。また、放冷後の精玄米水分は、各年次とも乾燥終了直後より増加した。

各年次の乾燥終了直後から放冷後（4~6日後）までの精玄米水分の変化量は、二段乾燥が0.2~0.8%減少し、連続乾燥が0.8~1.2%増加した。1988年の二段乾燥で精玄米水分の変化量が小さくなったのは、一時貯留時に一循環常温通風したことの影響とみられる。

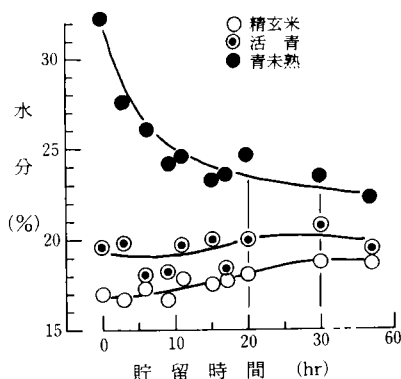
(4) エネルギー効率

二段乾燥は、連続乾燥と比較すると乾燥効率が高く、第8表に示されるように、実乾燥時間が9~15%、灯油消費量が14~22%節減された。但し、1988年の一時貯留時の穀温低下を目的とした常温通風は実乾燥時間に入れず、電力消費量は実乾燥時間から算出した。

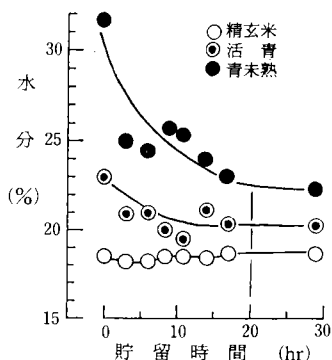
エネルギー効率でみると、二段乾燥は消費した灯油及び電力エネルギーの50~60%が水分の蒸発に利用され、連続乾燥よりも8~13%高くなった。



第5-1図 一時貯留時の水分変化 (1986)



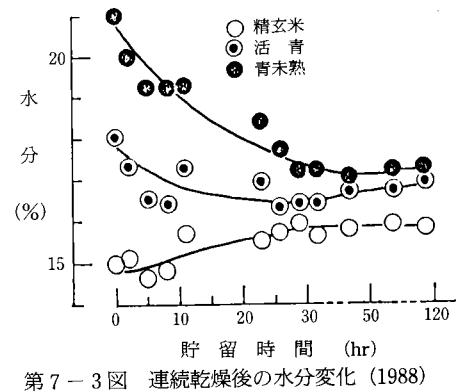
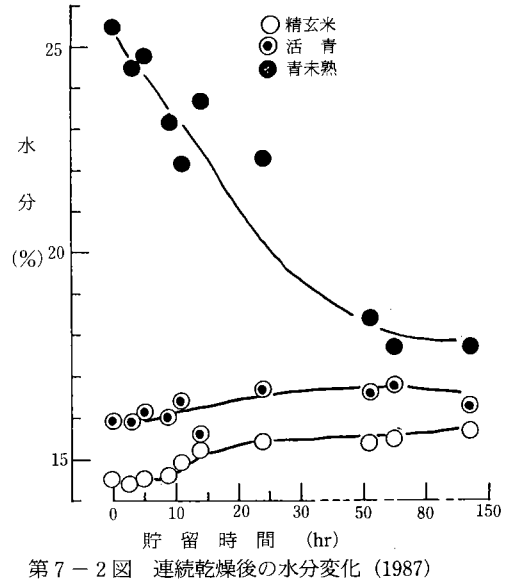
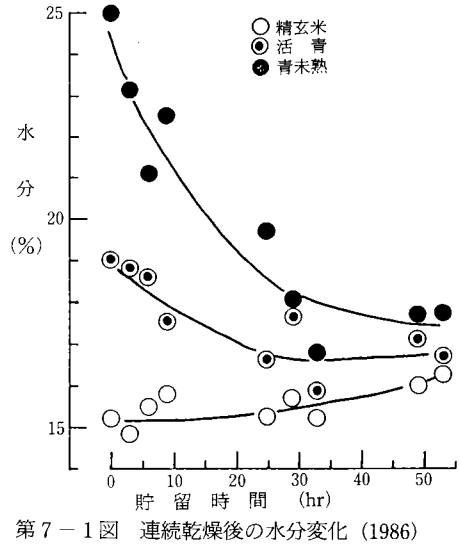
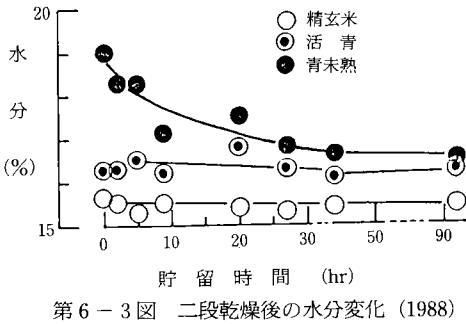
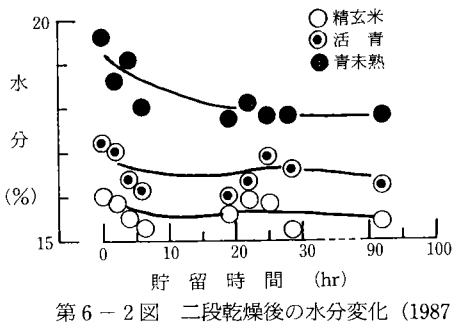
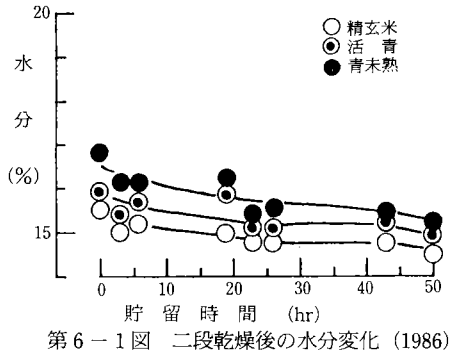
第5-2図 一時貯留時の水分変化 (1987)



第5-3図 一時貯留時の水分変化 (1988)

(5) 食味官能及び物性

3ヶ月常温貯蔵後の食味官能の結果は、第9表のとおり、自然乾燥を基準とすると、二段乾燥が総合評価で同等かそれ以上になり、項目別には「味」と「粘り」が優った。連続乾燥は、「外觀」と「香り」を除き各項目で劣る傾向がみられ、中でも「硬さ」の低下度合いが大きかった。



第7表 乾燥終了後の水分変化

乾燥法・年次	項目	初期水分 (粳%)	毎時乾燥率 (%)	精玄米水分 (%)		
				乾燥終了直後	放冷後	±
二段乾燥	1986	27.9	0.85	15.6	14.8	-0.8
	1987	25.5	0.95	16.0	15.4	-0.6
	1988	26.7	0.95	15.6	15.4	-0.2
連続乾燥	1986	27.9	0.84	15.2	16.4	+1.2
	1987	25.5	0.87	14.5	15.5	+1.0
	1988	26.7	0.88	15.0	15.8	+0.8

注) 1988の二段乾燥は一時貯留時に一循環常温通風

第8表 乾燥方法とエネルギー効率

項目		実乾燥時間 (hr)	灯油消費量 (kg)	電力消費量 (KWH)	蒸発水分量 (kg)	エネルギー効率 (%)
二段乾燥	1986	16.0(91)	15.70(86)	12.00	164.8	50.4(+ 6.7)
	1987	11.0(85)	10.63(78)	8.25	130.1	58.7(+12.8)
	1988	13.0(87)	13.15(81)	9.75	156.5	57.5(+ 8.4)
連続乾燥	1986	17.5(100)	18.30(100)	13.13	164.7	43.7
	1987	13.0(100)	13.63(100)	9.75	128.9	45.9
	1988	15.0(100)	16.15(100)	11.25	162.9	49.1

注) ()は、連続乾燥対比、対差
 電力消費量は0.75KW (使用モータ馬力)×実乾燥時間

$$\text{エネルギー効率} = \frac{\text{蒸発必要エネルギー (585kcal/kg)}}{\text{灯油発生エネルギー (10,300kcal/kg) + 電力発生エネルギー (2,450kcal/KWH)}} \times 100$$

第9表 食味官能検査

注) 基準：自然乾燥、パネラー12人
 検査時期：常温貯蔵3ヶ月後

項目		総合	外観	香り	味	粘り	硬さ
1987	信頼区間推定値	±0.258	±0.117	±0.258	±0.258	±0.211	±0.235
	二段乾燥	0.500*	0.083	-0.167	0.333*	0.250*	0.667**
	連続乾燥	-0.417*	0.000	0.083	-0.500*	-0.083	-0.417*
1988	信頼区間推定値	±0.256	±0.256	±0.568	±0.625	±0.398	±0.369
	二段乾燥	0.000	0.250	-0.250	0.250	0.250	0.083
	連続乾燥	-0.167	0.083	-0.083	-0.083	-0.250	-1.250**

*：危険率5%，**：危険率1%

3 二段乾燥の作業体系モデル

(1) 収穫時籾水分の年次変動

過去の年次における共同乾燥施設の荷受水分を調査し、高水分籾量を推定しようとした。第10表及び第8図には、鶴岡市大泉地区ライスセンター(対象規模：500ha)のこれまで5ヶ年の荷受状況を示す。

それによると、荷受籾水分24%以上の割合は、5ヶ年の平均で24%あり、その範囲は8~38%で刈取期の天候が不良の年次に多かった。また、同籾水分22%以上の割合は、天候との関係が判然とせず、平均で53%、範囲が66~40%であった。

品質、水分のバラツキ、エネルギー効率などから、乾燥時間が8時間を越える籾を二段乾燥すべき高水分籾とすると、収穫時籾水分22%以上が対象になり、その割合は全体の約50%と推定できた。

(2) 二段乾燥実施農家の実態調査

既に、個別で二段乾燥を実施している農家がみられ、1988年にその中から庄内地域の3戸を選んで実態調査を行った。

第11表に示されるように、水稻作付面積が3.6~6.0haと多く、品種構成が100%ササニシキであり、いずれの農家も収穫適期内に刈取作業が終了するように、二段乾燥技術を導入していた。

A農家は、1988年から水稻作付全面積6.0haを二段乾燥した。そのために、新規に300俵分の鉄製タンクを27万円で購入し、既存の2階木製貯留槽(3区分)と合わせ、全量の籾を収容できるようにした。刈取期間中は、計画出荷による入庫割当て分100俵の籾摺調製を行い、刈取可能日は休むことなく、実刈取日数は4条刈コンバインで8日であった。乾燥機は、3台のうち33石型と25石型は中古導入し、25石型は一次乾燥のみに利用している。

B農家も1988年から全面積3.8haを二段乾燥した。そのために、作業場の2階に20万円をかけて、320俵分の鉄製の籾貯留槽(4区分)を造った。入庫割当てにより、刈取期間中に50俵の籾摺調製を行い、刈取可能日に入庫のために一日休み、実刈取日数は3条刈コンバインで8日であった。

C農家は、1988年から初めて4.0haのうち0.9haを二

段乾燥した。新規に、200俵分の鉄製のタンクを12万円で導入し、二段乾燥に利用した。

3農家とも、一時貯留時の穀温を降下させるために、市販の穀温調整機あるいはトイレファン活用の自作機械を使用して、産米の等級は全量一等米であった。

(3) 作業体系モデル

共同乾燥施設及び二段乾燥実施農家の調査から、次の共通の条件と第12表の水稲作付規模別の条件を設定し、二段乾燥を実施する場合の必要貯留槽の容量と作業計画を策定した。

(共通設定の条件)

ア 二段乾燥割合：50% (粗水分22%以上)

イ 刈取期間内の稲摺調製割合：20%

ウ 二段乾燥の仕上げは、刈取終了後に行う。

全体乾燥量の50%を二段乾燥する場合に必要な貯留槽は、第13表に示されるように、5 ha 規模では二段

乾燥用として250俵分、さらに、通常乾燥用として刈取期間内稲摺量を除いた150俵分になる。また、3 ha 規模では、同様に150俵分と90俵分が必要になる。なお、費用目安は製品の価格であり、2階改造においては、漏斗と材料を購入手作するとさらに安価になる。また、稲貯留槽はできるだけ既設のものを有効に活用するとともに、仕切りを入れて利用し易くすることが大切である。

作業計画は、5 ha 規模、3 ha 規模とも実刈取日数10日として機械装備すると、第14表のように示される。

収穫期の前半に刈取った高水分稲は二段乾燥として、一次乾燥後に稲貯留槽へ一時貯留する。そして、刈取終了後に仕上げ乾燥して、稲摺調製に移る。

また、収穫期の後半に刈取った稲は、その都度一日の作業サイクルで夜間休止乾燥し、途中、入庫用として全体の20%の稲摺調製を行う。

第10表 共乾施設における年次毎の荷受状況

注) 対象：ササニシキ生籾， 籾重：15.5%乾燥籾換算重量， 水分段階別籾重比率：日平均水分単位で算出

年次	荷受総 籾重(俵)	水分段階別荷受籾重比率(%)					荷受 (月/日; 日, %)					平均 出穂日	刈取期 天候	降水量 (mm)			日照時間 (hr)		
		>24	24-22	22-20	20>		始期	終期	期間	日数	稼働率			9/11-20	9/21-30	10/1-10	9/11-20	9/21-30	10/1-10
昭59	4,049	16.6	28.7	36.2	18.5		9/13	9/30	18	16	89	8/6	良	39.5	7.1	61.2	70.9	83.9	68.9
昭60	4,539	37.7	18.1	21.0	23.2		9/12	10/16	35	27	77	8/8	不良	63.4	53.8	96.4	57.7	36.6	52.7
昭61	4,092	31.5	24.4	26.1	18.0		9/23	10/12	20	16	80	8/14	並	36.0	30.5	45.0	47.1	70.4	33.8
昭62	3,896	24.3	41.9	18.3	15.5		9/14	10/3	20	18	90	8/4	良	6.5	43.0	5.5	70.4	59.4	80.9
昭63	3,778	7.6	32.2	60.2	0		9/19	10/8	20	16	80	8/11	並	101.5	43.5	85.5	60.5	45.2	64.1
平均	4,071	23.5	29.1	32.4	15.0		(平年値)					8/9		65.9	61.0	46.2	67.4	59.1	58.9

第11表 二段乾燥実施農家の作業状況調査

注) 各農家全面積ササニシキ作付

農家	水稲 作付 面積 (ha)	二段 乾燥 面積 (ha)	二段 乾燥 比率 (%)	機械装備			稲貯留槽			刈取					刈取可能日 のうち休日 (日)	刈取期間内 稲摺調製量 (俵)
				コンバ イ(条)	乾燥機 (石)	稲摺機 (インチ)	容量 (俵)	型式	費用 (万円)	始期 (月日)	終期 (月日)	期間 (日)	日数 (日)	稼働率 (%)		
A	6.0	6.0	100	4	38	4	300	鉄製タンク	27	9/27	10/5	9	8	89	0	100
					33		130	2 F木製								
					25		100	2 F木製								
							70	2 F木製								
B	3.6	3.6	100	3	42	4	80	2 F鉄枠	20	9/28	10/9	12	8	67	1	50
							80	2 F鉄枠								
							80	2 F鉄枠								
							80	2 F鉄枠								
C	4.0	0.9	23	3	42	4	200	鉄製タンク	15	9/29	10/11	13	10	77	1	0
							100	2 F木製								

(俵)：玄米60kg俵数

第12表 規模別設定条件

(玄米60kg俵数)

規模 ha	機 械 装 備		全体乾燥量 (俵)	二段乾燥量 (俵)	通常乾燥量 (俵)		一日刈取量 (a)	実刈取日数 (日)
	コンバイン	乾 燥 機			合 計	うち、刈取 期間内籾摺量		
5	3条刈 1台	45石 1基	500	250	250	100	50	10
3	2条刈 1台	30石 1基	300	150	150	60	30	10

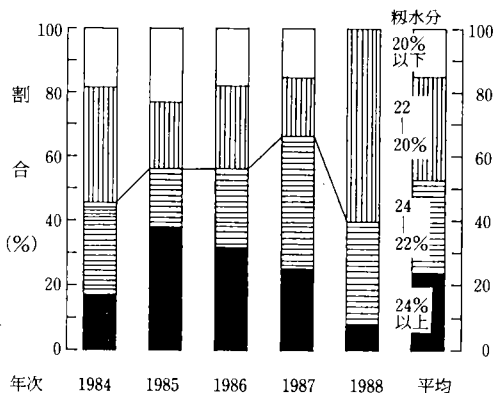
第13表 必要籾貯留槽

項目	5 ha		3 ha	
	二段乾燥用	通常乾燥用	二段乾燥用	通常乾燥用
貯留槽容量 (60kg俵数)	250	150	150	90
費用目安 (万円)				
鉄製タンク	20	15	15	9
2F改造	15	10	10	6

・玄米600kg(10俵)≒籾容量1.4m³
 ・計算例：縦1.8m×横1.8m×高1.8m≒5.8m³≒40俵

第14表 作業計画

刈取日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	刈取後
乾 燥	←二段乾燥→		←通常乾燥→				←二段乾燥→				
	一次乾燥		(夜間休止乾燥)				仕上乾燥				
籾 摺 調 製	←籾摺→						←籾摺→				
	調製						調製				



第8図 共乾施設における水分段階別荷受割合
 注) 乾燥籾換算重量比, ササニシキ

IV 考 察

夜間休止乾燥は、連続乾燥と比べると、実乾燥時間が短くなり、灯油及び電力消費量を節約できた。エネルギー効率では、連続乾燥37.5%に対し、夜間休止乾燥は44.5%になる。このような夜間休止乾燥の高い効率は、低温、高湿で乾燥効率の劣る夜間乾燥を回避したこと、それに休止中に籾水分の均衡が図られたことによると考える。

籾水分を単粒毎にみると、乾燥開始時(張込み時)において、加重平均籾水分が24.6%であっても、精籾は17~27%、青籾は20~60%と幅広く分布している。また、乾燥中においては、単位時間当たりの脱水能力が同じであれば、初期水分の差は、乾燥が進むにつれてさらに広がり即ち、精籾の乾燥が速く、青籾が遅くなる。このようなことから、均一な籾水分に仕上げるためには、夜間休止などにより時間をかける乾燥がより望ましいことになる。

連続乾燥は、短時間内での乾燥になるために、乾燥終了時の単粒水分は、分布幅が広くなり14%以下の割合が夜間休止乾燥より10%程度多くなる。このことが、後の貯蔵中における胚の活性低下に影響したと考えられる。

夜間休止乾燥は、条件として、一日の作業サイクルを崩さない、さらには水分均衡のために6時間以上の休止時間を確保したいことから、22%以下の中水分籾の乾燥に適する。

二段乾燥においては、一次乾燥時の乾燥速度が速い程、一時貯留開始時(一次乾燥終了時)の精玄米と青未熟の水分差は大きくなる傾向であるが、一次乾燥の毎時乾減率0.84~1.10%の範囲では、いずれも20~30時間(約一日)の貯留で、青籾水分は精玄米水分に対して+4~5%まで接近し落ち着いた。勿論、貯留時間を延長すれば、さらに水分差は縮まると推定されるが、ほぼ水分均衡が図られる一次的な水分移行に要する時間は、25時間程度とみられた。従って、二段乾燥する場合は、最低一日一時貯留することで籾間の水分が均衡化し、後述の二段乾燥の効果が期待できる。

また、一時貯留時の穀温は、変質防止のために、でき

るだけ常温に近づけることが理想であり、貯留が長期にわたる程その必要性は高い。降温操作をしない貯留では、穀温低下は極めて緩慢なので、穀温調整機などを利用した穀温降下対策が必要となる。本研究では、一時貯留に移る時に、一循環常温通風（排出時常温通風を想定）した結果、穀温が常温に近づき、当初心配された、その後における胴割粒の増加と仕上げ乾燥効率の低下は認められなかった。中でも、胴割粒が増加しなかったのは、籾の周辺湿度が低いことと籾水分18%の平衡湿度が約90%（相対湿度）と高いことにより急激な吸湿（水分の戻り）起こらなかったためと推測される。従って、穀温を下げるために、長時間の常温通風あるいは、吸入空気湿度が90%以上の時に常温通風することは避ける。

乾燥終了後の水分変化は、一般に青籾混入率の高い高水分籾では乾燥終了後に、余熱乾燥よりも青籾からの水分移行が大きいため吸湿するが、二段乾燥では乾燥終了直後から放冷後までの間に精玄米水分は減少した。その減少量は、一時貯留時に穀温を常温まで低下させた場合に0.2%、穀温を低下させなかった場合に0.6~0.8%であった。このことは、一時貯留時の籾水分の均衡、特に、青未熟の水分低下が図られたことによると考える。また、一時貯留時に穀温を常温まで低下させたものが、低下させないものより水分減少量が小さくなったのは、前者の方が仕上げ乾燥時に玄米内部までの温度上昇が少なかったために余熱乾燥量が小さくなったと考えられ、より適正水分に仕上げ易いことが認められた。

一方、連続乾燥においては、これまで考えられていたように、乾燥終了後に水分の戻りがみられ、25%前後の高水分籾の乾燥では約1%の吸湿量になった。従って、連続乾燥は、適正水分に仕上げるのが難しく、予め、吸湿量を見込んだ乾燥を行えば、単粒水分では相当量が一時的に過乾燥になる恐れが高い。

また、二段乾燥は、連続乾燥と比べ、実乾燥時間が9~15%、灯油消費量が14~22%節減され、エネルギー効率でも、連続乾燥より8~13%高かった。これは、一時貯留時に水分均衡が図られたために、その後の仕上げ乾燥がより効率的になったことによる。さらに、二段乾燥は、胴割の発生が少なく、食味官能検査においても、自然乾燥並からその以上の評価になり、品質面からみても、有利性が認められた。

これまでの結果と、現地における乾燥作業の実態調査から、二段乾燥の作業体系モデルを策定した。刈取前半の高水分籾を二段乾燥し、後半は夜間休止乾燥する体系であるが、二段乾燥を導入することにより、これまでのように収穫作業が乾燥作業から制約される事態が解消され、乾燥機への過剰投資を避け、収穫適期内刈取が可能になる。勿論、籾貯槽製作のための投資は必要になるが、

二階の木製改造であれば、5 ha 規模でも25万円程度、漏斗と材料を購入して自作すれば費用は半分程度まで節減でき、既にある貯留槽を有効に利用できればさらに投資額は抑えられることになる。

V 摘 要

水稻籾の乾燥作業において、22%以上の高水分籾は二段乾燥し、それ以下の水分籾を夜間休止乾燥することにより、適期内の収穫と高品質米への仕上げが可能になり、その内容は次のように要約される。

1 夜間休止乾燥は、連続乾燥と比べると、灯油及び電力消費量が節減される。また、乾燥終了後に単粒水分の分布をみると、夜間休止乾燥の方が分布幅が小さく過乾燥になる割合が少ない。

2 夜間休止乾燥は、一日の作業サイクルを崩さない乾燥法として有効となるので、初期籾水分が高水分籾でなく、22%以下の乾燥に適合する。

3 二段乾燥は、夜間休止乾燥と同様に省エネ乾燥法であり、胴割発生が少なく、食味評価も高い。

4 二段乾燥の一時貯留時間は、最低一日必要となり、その間に、一次的水分移行は完了して、精籾、青籾間の水分はほぼ均衡する。また、一時貯留が長期になる場合は変質防止のために穀温降下対策が必要である。

5 二段乾燥の場合の仕上げ乾燥後の精玄米水分は、放冷まで余熱により水分が減少する傾向にあるが、一時貯留時に穀温を常温まで低下させると、水分減少度合は僅になり、適正水分に仕上げ易い。なお、同じ籾でも連続乾燥すると、逆に水分の戻りがみられた。

6 二段乾燥を刈取期間の前半に導入することにより、刈取作業は、乾燥能力から制約されることなく円滑に行われ、刈り遅れを防ぐことができる。また、二段乾燥には、籾貯留槽を必要とするが、既存のものを有効に利用するか、手づくりなどにより、投資額は低く抑えられる。

参考文献

- 1) 伴 敏三 (1971) : 人工乾燥における米の胴割れに関する実験的研究, 農機研報, 8 : 22-27
- 2) 小南 力 (1987) : 火力乾燥による高水分籾の水分移行, 農機東北支部報, 34 : 49-52
- 3) 蔡 慶隆, 山下律也, 後藤清和 (1988) : 米粒の混合による水分移動特性と品質, 農機誌, 50(3) : 117-121
- 4) 笠原正行, 猪原明成 (1988) : 籾乾燥過程における単粒水分の分布, 農機誌, 50(5) : 65-72
- 5) 笠原正行, 猪原明成 (1989) : 籾乾燥過程における休止効果, 農機誌, 51(3) : 65-74

Two-steps Drying Technics of High Moisture Rough Rices

Chikara KOMINAMI, Kenji KODAMA, Masamichi ADACHI*

and Kouichi SENO

Summary

It is possible to harvest as plan that the two-steps drying was used in rough rices above 22% moisture contents and the night-paused drying was used in rough rices below 22% moisture contents, also to secure high quality rices. The main results are summarized as follows.

1. The night-paused drying was able to save a fuel oil and an electricity more than continuous drying. The moisture content of a single rough rice was investigated in an end. The results showed that night-paused drying rough rice was a small moisture range and a little over drying.

2. The night-paused drying was situated as a drying method that circulates works one day apiece. Therefore it was suited for rough rice drying of initial moisture contents below 22%.

3. Two-steps drying was saved energies to be used and it was fewer cracks of rice, better appreciation of eating quality.

4. The moisture content of individual rice kernels was balanced at least one day in the temporary storage time of two-steps drying. And it is necessary to cool the grain temperature for the prevention of qualitative changes when temporary storage time is long.

5. Two-steps drying is just to finish the rice moisture content. Because the rice moisture content that finished by two-steps drying, decreased a little after drying. One side rice moisture content that finished by continuous drying, increased large after drying.

6. It is possible to harvest as planned that two-steps drying was introduced as drying method in a first half of the harvest term. Because until now, drying capacity arranged in order of harvest plan. Two-steps drying necessitates the storage facility. If used storage bins is applied and new storage bins is made on one's own, the storage facility cost is pressed down.

Present address

* Yamagata Prefectural Agricultural, Forestry, Fishery, Division. Agricultural Technical Section.

...the first of these is the fact that the ...

...the second of these is the fact that the ...

...the third of these is the fact that the ...

...the fourth of these is the fact that the ...

...the fifth of these is the fact that the ...

...the sixth of these is the fact that the ...

...the seventh of these is the fact that the ...

...the eighth of these is the fact that the ...

...the ninth of these is the fact that the ...

...the tenth of these is the fact that the ...