

# 人工乾燥における米の胴割れに 関する実験的研究

—研究所報告第8号—

伴 敏 三

---

EXPERIMENTAL STUDIES ON  
CRACKS OF RICE IN  
ARTIFICIAL DRYING

—Technical Report No. 8—

Toshizo BAN

Institute of Agricultural Machinery

Omiya, Japan

October 1971

---

昭和46年10月

農業機械化研究所

埼玉県大宮市日進町1丁目

# 目 次

緒 言	1
I 主な用語の意味	3
II 薄い層における連続通風の場合の乾燥速度と胴割れ	4
A. 概 説	4
B. 初期含水率および乾燥空気条件と胴割れの関係	4
C. 品種などの相違が胴割れに及ぼす影響	13
D. 乾燥後の貯蔵条件と胴割れの関係	17
III 薄い層における間欠通風乾燥の場合の乾燥速度と胴割れ	22
A. 概 説	22
B. 通風休止時間および休止時の貯蔵温度が後の乾燥速度に与える影響	22
C. 通風休止時間がきわめて長い場合の乾燥条件と胴割れの関係	28
D. 通風休止時間が短い場合の乾燥条件と胴割れの関係	32
IV 各種乾燥機における乾燥条件と胴割れ	44
A. 概 説	44
B. 風量比が比較的多い場合の柱状式と山形多管式の循環式乾燥機による乾燥試験	44
C. 柱状式の循環式乾燥機を用いた時の風量比などと胴割れの関係	48
D. タンク部と通風部の収容量の異なる循環式乾燥機の 風量比の大小などと胴割れの関係	52
E. 連続送り式乾燥機とタンクを組合せたマルチパス乾燥方式に おける乾燥条件と胴割れ	57
V 高温通風における超高速度乾燥と胴割れ	62
VI 実験結果の実用面への適用	67
VII 摘 要	70
参考文献	73
SUMMARY (in English)	75

# CONTENTS

FOREWORD .....	1
I MEANINGS OF THE TECHNICAL TERMS.....	3
II DRYING RATE AND CRACK RATIO FOR CONTINUOUS AIR FLOW THROUGH THE THIN LAYER.....	4
A. Introduction .....	4
B. Effect of initial moisture contents and drying air conditions on crack ratio.....	4
C. Effect of rice varieties on crack ratio.....	13
D. Effect of storing conditions after drying on crack ratio.....	17
III DRYING RATE AND CRACK RATIO FOR INTERMITTENT AIR FLOW THROUGH THE THIN LAYER.....	22
A. Introduction .....	22
B. Effect of time length and temperature during the rest period on drying rate.....	22
C. Drying conditions and crack ratio for the longer rest period.....	28
D. Drying conditions and crack ratio for the shorter rest period.....	32
IV DRYING CONDITIONS AND CRACK RATIO FOR SOME TYPES OF DRYERS.....	44
A. Introduction .....	44
B. Drying tests with a columnar vertical chamber type and an inverted air channel type grain circulating dryer for the larger air flow rate.....	44
C. Effect of air flow rate on crack ratio with a columnar vertical chamber type grain circulating dryer.....	48
D. Effect of grain holding capacity ratio for drying section to tempering section on crack ratio with circulating dryers of various air flow rates .....	52
E. Crack ratio in multi-pass drying with continuous grain flow dryers and tanks .....	57
V CRACK RATIO IN VERY HIGH DRYING RATE WITH HIGH TEMPERATURE AIR FLOW.....	62
VI APPLICATION OF THE RESULTS TO PRACTICAL USE .....	67
VII SUMMARY .....	70
LITERATURES .....	73
SUMMARY IN ENGLISH.....	75

## 緒 言

米は人類の食糧として摂取される穀物の量において小麦とほぼ同程度で最も重要なものであるが、小麦などと異なり摂取される形がほとんど粒状のままであり、しかも砕けず粒状であるということがその品質の評価を決定する大きな要素となっている。わが国においては生産者よりの販売が大部分玄米によってなされ、農産物規格規程<sup>1)</sup>によると、玄米に発生する亀裂すなわち胴割れしている粒が被害粒とみなされ、この混合割合の多少が等級を決める1つの要素となっている。これは精米のさいの碎米の発生と胴割れ粒の混合割合との間に相関関係があるためである<sup>2), 3), 4)</sup>。

この胴割れに関する研究には多くのものがあり、古く1930年代に近藤、岡村は胴割れ米の発生が玄米の吸湿による膨脹の方向と胴割れ米の生成とに関係があることを見出し<sup>5), 6)</sup>、更に岡村は乾燥と胴割れ米の発生との関係、特に栽培条件と胴割れ米の発生、放置後の胴割れ米の増加に関して報告している<sup>7)</sup>。これらによって、急激な乾燥による粒の不均等な収縮現象とともに吸湿による膨脹もその大きな原因であることが明らかにされた。両氏らが研究を行なった時期は米の品質向上、特に貯蔵性の向上が叫ばれたころであって、そのため、人工乾燥の普及に力がいれられたのであったが、現実には乾燥機の大きい普及はなかった。第2次大戦を含む1940年代は米の不足時代であって、米の乾燥の研究は一時中断の状態であった。戦後1950年代の初期より農林省関東東山農業試験場ではいち早くこの種の研究に着手し、牧草の人工乾燥に関する研究と併せて、米の通風乾燥の研究が行なわれ、胴割れがあまり問題にならない常温または比較的加熱温度の低い温度での乾燥を基本とする通風乾燥法を確立し、1950年代の後期より渡辺らが開発した通風乾燥機（現在は静置式乾燥機といわれている）は急激な普及を示した。これは早期米奨励金制度により農家が乾燥を急ぐようになったことや米が量から質の時代に移り、また乾燥作業以外の各種の作業の機械化が進み、乾燥作業の労力も機械によって低減しようとする農家の意欲がでてきたためである。このころから乾燥の研究も盛んになり、米の胴割れに関する研究も種々行なわれるようになった。その主なものをひろってみると、胴割れ発生の原因が急

激な温度変化によるものではなく、急激な乾燥・吸湿によるものであるという知見を実験により立証した垂井の報告<sup>8)</sup>や、また、胴割れの発生の程度と粒内の水分分布との関係を実験的に見出そうとした佐藤の研究<sup>9)</sup>および長戸ら<sup>10)</sup>の研究があり、これらはいずれも胴割れの発生の原因が米粒内の水分分布の不均一によることを立証しようとしたもので注目されよう。更に、垂井<sup>11)</sup>はコンバイン収穫機における乾燥の速さや胴割れ発生の関係をしらべ、山下<sup>12)</sup>は、衝撃扱の損傷程度と乾燥時の胴割れや乾燥速度について研究し、石倉<sup>13)</sup>、中村<sup>14)</sup>、寺中<sup>15)</sup>、木根淵<sup>16)</sup>らは栽培面からみた胴割れ発生の問題を追及し、胴割れ発生に関する挙動は次第に明確になってきた。

ところで、諸外国においては米の玄米取引が少なく、穀または精米の形をとっているため、穀の場合の乾燥法などの評価は直接、扱精米後のヘッドライス取得率でなされ、このヘッドライスの取得率と乾燥条件との関係を明らかにする研究が1950年代の米国において盛んに行なわれた<sup>17)~24)</sup>。これらの研究では、特に乾燥中にテンパリングを行なう方式を確立するための研究が目立ち、これらの研究のまとめが米国農務省より報告されている<sup>25)</sup>。諸外国において乾燥と玄米の胴割れの関係を求めた研究は少ないが、乾燥条件と胴割れなどの関係をしらべた S.M. Henderson の研究<sup>17)</sup>と、O.R. Kunze らの関係湿度の変化と玄米の亀裂との関係の研究<sup>26)</sup>が注目されよう。

さて、わが国の農業機械化の進展に伴い、架干しや地干しなどの作業を省略して、刈取り後、直ちに脱穀するいわゆる直脱穀（一般に生脱穀ともいわれている）の割合が増加し、またコンバイン収穫機の普及に伴ってもこの傾向はますます大きくなり、乾燥機の重要性は非常に高まりつつある。また、品質の向上も重要な課題になっていることはいうまでもないが、人工乾燥における品質の問題として、わが国では胴割れがまず大きなものとなる。前述の諸研究にみられるように、一般に急激な吸湿とともに急激な乾燥が胴割れ発生の一因であり、乾燥機によってこの発生の機会が多いからである。乾燥速度を上げるということは、小さい穀物収容部をもつ乾燥機で大きい脱水能力を期待しようという利点と、わが国の農



家が乾燥を急ぐという性向の両面から要求されるものであるが、この要求は胴割れの面から多くの制約をうける。前述のように乾燥機の著しい普及をみたが、より速く乾燥しようとする要求は大きく、したがって、胴割れの発生よりみた乾燥速度の限界の究明や、いかに速くかつ胴割れの発生を少なくして乾燥するかの問題を解明することは、乾燥機の性能向上や使用法の適正な指針を与える上で重要な課題となってきたのである。前述のようにこの種の研究の数は多いが、しかし米の乾燥機のほとんどすべてである堆積型に通風する形の乾燥法における広い範囲の乾燥条件と胴割れの関係を系統的に行なった研究結果は少ないと思われる。本報告はこのような問題解決の資料として役立つような種々の実験を行なった結果をまとめたものであって、超高速度乾燥の可能性を含む新しい乾燥方式開発の基礎資料としても利用されうものと考えられる。

しかし、物質の割れ目に関する挙動の解明は極めてむずかしい問題といわれており<sup>27)</sup>、米の胴割れだけについてみてもまだ多くの問題が残されており、また、本報告に関してもいたらぬところが多いと思われるので、大方のご指導を賜われれば幸甚である。

この研究は昭和40年(1965)より昭和44年(1969)に行なわれ、その間の農業機械化研究所の事業報告および研究成績に報告したものをとりまとめたのが本報告書である。

本研究は当研究所研究第2部の乾燥貯蔵用機械に関する研究を担当する研究室の諸兄の協力を得て完成されたものであり、特にⅡ、Ⅲに関しては諏澤健三、鈴木光雄氏、Ⅳ、Ⅴに関しては諏澤健三、鷹尾宏之進氏の大きな協力を得たことを記し、深甚の感謝の意を表する次第である。

また、この研究に関するヒントは昭和37年(1962)以前の農林省農業試験場に著者が在職した期間において、現当研究所研究第3部渡辺鉄四郎部長のもとで著者が行なった実験から得たものが多い。同部長のご指導とご教示に対し、また、全研究にわたってたえざるご助言を賜わった当研究所籾木豪夫理事長、江崎春雄研究第2部長および本報告のご校閲を賜わった京都大学松田良一教授、山下律也助教授および当研究所永野義治理事、和崎皓三調査役のご好意に対し深甚の感謝を表するものである。

さらに、本研究の各種実験に対する供試材料の栽培より収穫に関しご協力をいただいた竹村義一主任研究員に対し、また、本研究に関する各種実験においてご協力をいただいた当研究所研修生原沢皓三、白石卓男、栄利直一、矢野寿一郎、杉原収、小喜多真佐雄、町田尚武の諸兄に対し感謝する次第である。

1971.8

伴 敏 三

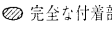








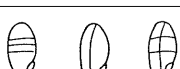
# I

## 主な用語の意味

まず、本報告において記載した用語のうち、主要なものについて次に説明する。

### 1) 胴割れに関するもの

米の胴割れの種類として、食糧庁が穀物検査に関して

食糧庁による分類名	玄米の外観の例	亀裂面よりわった断面の例 	本報告における分類名
軽微粒	 内部に亀裂がわずかにみられるもの		軽胴割れ粒
横1条軽度粒	 表面に亀裂があらわれている1巻以下のもの		
横1条強度粒			重胴割れ粒
横2条強度粒			
多条胴割れ粒など			

(注) 重胴割れ粒とは次の粒をいう

- (1) 横1条の亀裂がすっきりとおっているもの
- (2) 完全にとおっていない亀裂が、片面横に2条、他面からみて横2条の粒で発生部位の異なる粒
- (3) 完全にとおっていない亀裂が、片面横に3条以上生じている粒
- (4) 亀裂の程度如何を問わず縦に亀裂が生じている粒
- (5) 亀甲型の亀裂の生じている粒

第 I-1 図 米の胴割れの種類

分類したもの<sup>20)</sup>を第 I-1 図に示すが、本報告においては横1条強度粒以上の強度の割れ方をしたものを重胴割れ粒、横1条軽度粒以下の軽度のみを軽胴割れ粒、軽胴割れ程度から重胴割れに至る全部を包含するものを全胴割れ粒と呼称する。また、全粒数に対するそれぞれの胴割れ粒の割合をパーセントであらわし、重胴割れ率、軽胴割れ率、全胴割れ率という。さらに、胴割れ率の増加とは乾燥終了時の胴割れ率から乾燥前の胴割れ率を引いたものことである。

### 2) 含水率に関するもの

本報告における含水率とは、湿量基準含水率をいう。また、初期含水率とは、乾燥開始時の含水率であり、規格含水率とは、粳の場合13.5~15%、玄米の場合14~16%をさす。

### 3) 風量に関するもの

風量比とは、乾燥開始時の時点における単位穀物重量に対する風量をいい、本報告では穀物100kg当りの重量に対する風量  $m^3/s$  であらわし、 $m^3/s \cdot 100kg$  と記すことにする。

### 4) 乾燥速度に関するもの

特に明記しないかぎり平均乾燥速度とは、次式に示す値とし、%/h または %/min で示す。

$$\bar{S} = \frac{M_i - M_f}{\theta_a}$$

ここに  $M_i$ : 初期含水率 (%)

$M_f$ : 乾燥後含水率 (%)

$\theta_a$ : 乾燥時間 (h または min)

$\bar{S}$  は普通、毎時乾減率といわれるものに相当する。また  $M_i - M_f$  を乾減含水率と呼ぶことにする。

## II

# 薄い層における連続通風の場合の 乾燥速度と胴割れ

### A. 概 説

ここにいう薄い層における乾燥とは、英米において<sup>29)</sup>、<sup>30)</sup> Thin layer drying または Drying of fully exposed grain といわれる状態の乾燥であって、わが国においても古くからこれに関する研究<sup>31), 32)</sup>も多いが、堆積穀粒全体が送入空気とほとんど変わらない温度、湿度の空気にふれている状態における乾燥である。この状態は一般に穀物層が薄い状態のことが多いのでこの名があるが、必ずしも寸法的に薄いということではなく、穀物量の割合に比べ風量がきわめて多く、もはや風量が乾燥状態に影

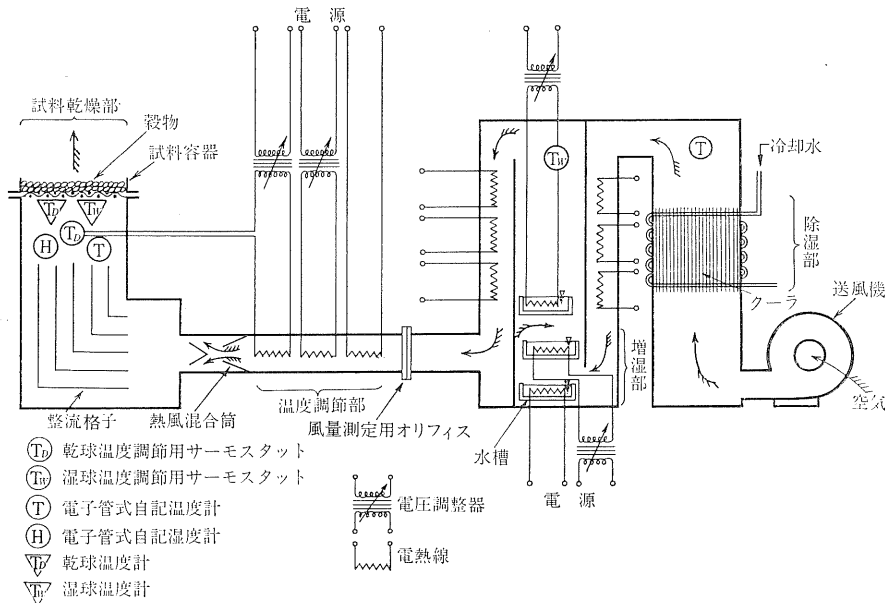
響を与えない程度の場合をいう。この場合、風速による影響はほとんどうけない<sup>32), 33)</sup>。乾燥特性を論ずる場合にはできるだけ要因を少なくするため、風量の影響をほとんど受けないこのような状態で試験が行なわれることが多い。以下には、乾燥速度と胴割れの関係を求める基礎試験として、このような状態において、かつ連続的に種々の一定の温度、湿度を送って穀を乾燥させた場合の状況を把握するために行なった実験の結果について述べる。

### B. 初期含水率および乾燥空気条件と胴割れの関係

#### 1. 目的

薄い層と考えられる状態において、穀を規格含水率近辺まで乾燥させた場合の穀の初期含水率と送風温度、湿

度と胴割れの発生程度との関係を求め、胴割れの発生をおさえて乾燥しうる乾燥速度の限界や、その時の送風温度、湿度の値を知り、乾燥機的设计や運転のさいの資料



第II-1図 実験装置の概念図

第Ⅱ-1表 実験条件および結果

実験 番号	送風条件			初期 含水率	乾燥後 含水率	平均乾 燥速度	乾燥直後胴割れ率			乾燥直後より48時間貯蔵後胴割れ率					
	温度	関係 湿度	絶対湿度				軽	重	全	30°Cに密閉貯蔵			0°Cに密閉貯蔵		
				軽	重	全				軽	重	全			
	°C	%	kg/kg	%	%	%/h	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	50.0	31	0.024	29.8	13.8	4.00	4.0	0.0	4.0	9.6	77.6	87.2	13.6	60.0	73.6
2	47.5	35	〃	30.0	14.6	3.42	0.8	0.0	0.8	9.2	60.8	70.0	18.4	40.4	58.8
3	45.0	39	〃	29.8	14.1	2.42	2.4	0.4	2.8	10.8	30.8	41.6	10.4	4.0	14.4
4	43.0	44	〃	29.8	14.2	2.23	0.0	0.0	0.0	13.2	18.0	31.2	8.0	1.6	9.6
5	40.4	50	〃	29.7	13.5	1.54	0.4	0.0	0.4	4.0	0.8	4.8	0.0	0.0	0.0
6	38.0	57	〃	30.1	14.4	1.26	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	2.4	0.4	0.0	0.4
7	35.0	67	〃	29.7	13.9	0.60	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	47.5	35	〃	24.7	13.6	3.17	2.8	0.8	3.6	11.2	43.6	54.8	15.2	24.4	39.6
9	45.0	39	〃	24.5	12.1	2.07	0.8	0.8	1.6	12.4	16.0	28.4	6.4	2.0	8.4
10	43.0	44	〃	24.5	12.2	1.64	0.4	0.0	0.4	8.8	2.4	11.2	2.8	0.8	3.6
11	40.4	50	〃	24.4	12.8	1.29	0.0	0.0	0.0	3.6	0.4	4.0	1.2	0.4	1.6
12	47.5	35	〃	19.8	12.2	2.53	0.0	0.0	0.0	13.2	33.2	46.4	10.8	9.6	20.4
13	45.0	39	〃	19.8	12.9	2.30	0.0	0.0	0.0	12.8	17.6	30.4	6.8	6.0	12.8
14	43.0	44	〃	20.0	12.9	1.78	0.0	0.0	0.0	10.0	2.4	12.4	6.0	0.4	6.4
15	40.4	50	〃	19.9	13.7	1.38	0.0	0.0	0.0	6.4	1.2	7.6	2.0	0.0	2.0
16	50.0	31	〃	17.2	13.6	4.32	0.0	0.0	0.0	14.8	16.4	31.2	14.8	6.4	21.2
17	47.5	35	〃	17.2	13.5	3.17	0.0	0.0	0.0	12.4	7.2	19.6	11.6	2.8	14.4
18	45.0	39	〃	17.2	13.2	2.29	0.0	0.0	0.0	10.0	1.6	11.6	5.4	0.8	6.2
19	43.0	44	〃	17.2	13.4	1.52	0.0	0.0	0.0	4.8	0.4	5.2	1.2	0.0	1.2
20	40.4	15	0.007	29.7	13.9	2.88	0.4	0.4	0.8	10.8	40.0	50.8	9.2	36.4	45.6
21	38.0	17	〃	29.7	13.8	2.45	0.0	0.0	0.0	10.0	27.6	37.6	12.0	19.2	31.2
22	35.0	20	〃	29.9	14.1	1.86	0.0	0.0	0.0	7.2	9.6	17.2	5.6	5.6	11.2
23	43.0	13	〃	24.6	13.8	3.09	0.0	0.0	0.0	12.1	29.2	41.3	19.6	34.8	54.4
24	40.4	15	〃	24.4	13.7	2.68	0.0	0.0	0.0	5.6	18.8	24.4	8.8	20.4	29.2
25	38.0	17	〃	24.4	13.9	2.29	0.0	0.0	0.0	6.4	8.8	15.2	6.4	12.8	19.2
26	35.0	20	〃	24.4	13.5	1.74	0.4	0.0	0.4	4.0	2.4	6.4	3.2	2.4	7.6
27	43.0	13	〃	19.9	12.5	2.69	0.0	0.0	0.0	18.8	13.6	32.4	17.2	9.6	26.8
28	40.4	15	〃	19.8	13.8	2.67	0.0	0.0	0.0	12.8	3.6	16.4	7.6	7.2	14.8
29	38.0	17	〃	20.0	13.5	2.17	0.0	0.0	0.0	4.8	2.8	7.6	5.6	6.4	12.0
30	35.0	20	〃	19.9	13.2	1.64	0.0	0.0	0.0	2.0	1.2	3.2	4.0	1.6	5.6
31	47.5	10	〃	17.3	13.5	5.07	0.4	0.0	0.4	12.4	4.8	17.2	10.0	7.6	17.6
32	45.0	12	〃	17.2	13.2	4.00	0.0	0.0	0.0	9.6	4.0	13.6	9.2	5.6	14.8
33	43.0	13	〃	17.3	13.5	3.80	0.0	0.0	0.0	6.8	0.4	7.2	4.4	3.2	7.6
34	40.4	15	〃	17.5	13.8	2.96	0.0	0.0	0.0	4.4	0.4	4.8	4.0	0.4	4.4

(注) 供試籾は農機研附属農場で10月に収穫されたもので品種はクサブエ。乾燥前の籾を手むきした玄米には胴割れは認められなかった。

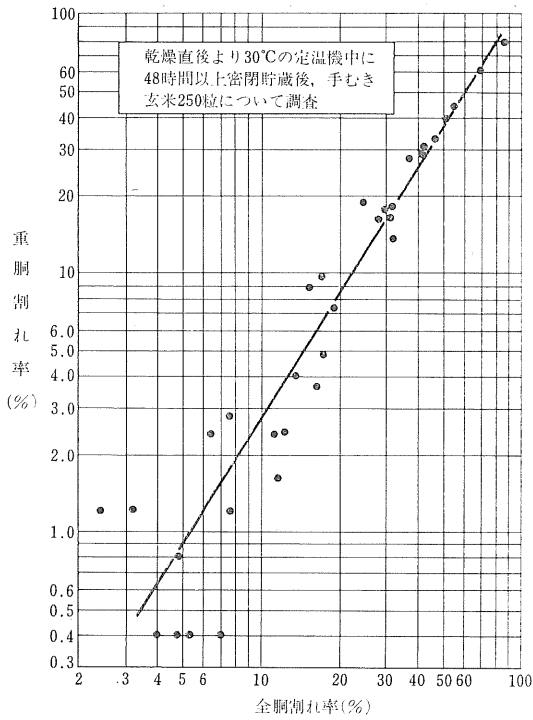
を求めようとしたものである。

2. 方法

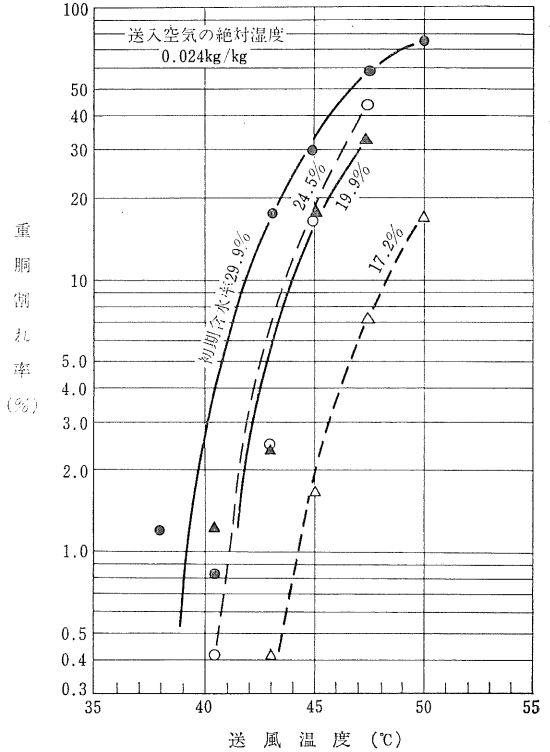
第Ⅱ-1 図に実験装置の概念図を示す。

第Ⅱ-1 図に示すような試作した恒温恒湿空気発生装置を用い、これによって一定な温度、湿度の空気を連続的に試料容器に送った。試料容器は底面が金網張で断面

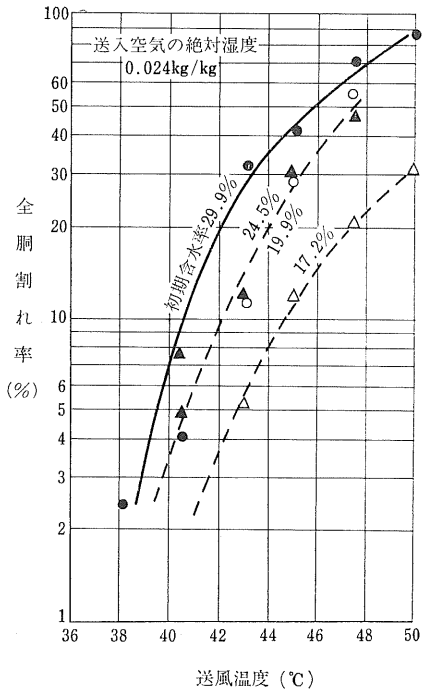
積(籾の堆積面積)が30×30cm<sup>2</sup>のものであり、この容器に1回の実験に籾250gを入れて実験を行なった。籾は2、3粒が重なる程度で、風量比は約23m<sup>3</sup>/s・100kgできわめて多く、薄い層における乾燥状態と推定しうる<sup>32)</sup>。含水率にして13.5%前後(全実験平均13.48%、標準偏差±0.60%)で乾燥を終了し、乾燥直後の籾、お



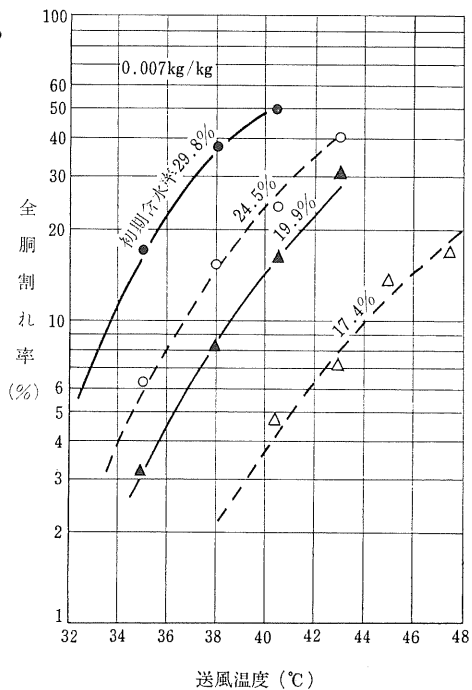
第II-2図 全胴割れ率と重胴割れ率

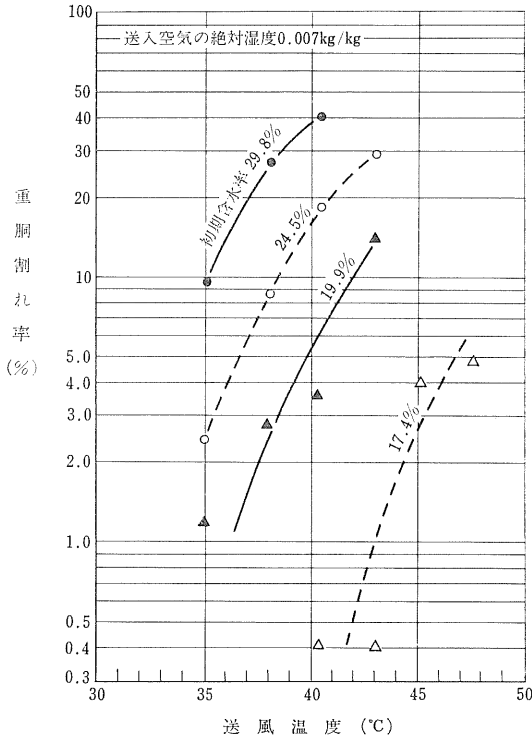


第II-4図 初期含水率, 送風温度と重胴割れ率

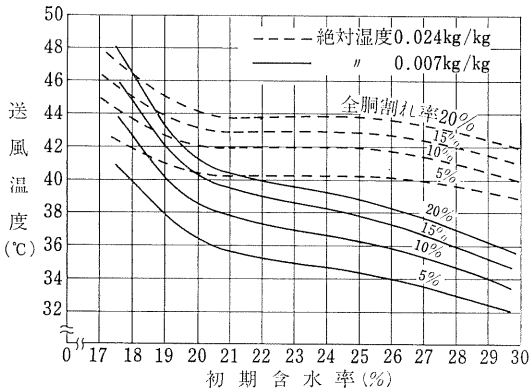


第II-3図 初期含水率, 送風温度と全胴割れ率





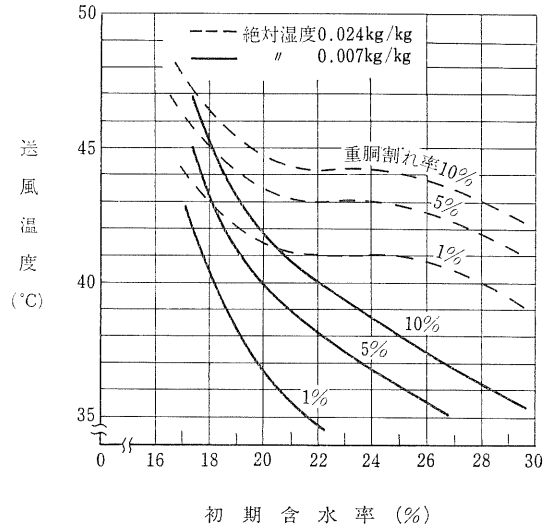
第Ⅱ-5図 初期含水率、送風温度と重胴割れ率



第Ⅱ-6図 初期含水率と限界送風温度  
(全胴割れ率を一定まで許容した場合)

よび直後より30°Cと0°C中に48時間以上密閉貯蔵した粳をそれぞれ手むきし、その玄米250粒について、透視法により胴割れを調査した。なお、30°Cの保持に使用したものは精密定温機であり、温度のブレはほとんどなかったが、0°Cの保持に使用したものは低温貯蔵庫であって0~3°Cの範囲に変化した。

種々な初期含水率の粳を得るため、含水率30%程度で収穫された粳を常温通風乾燥して、各々の含水率に調整



第Ⅱ-7図 初期含水率と限界送風温度  
(重胴割れ率を一定まで許容した場合)

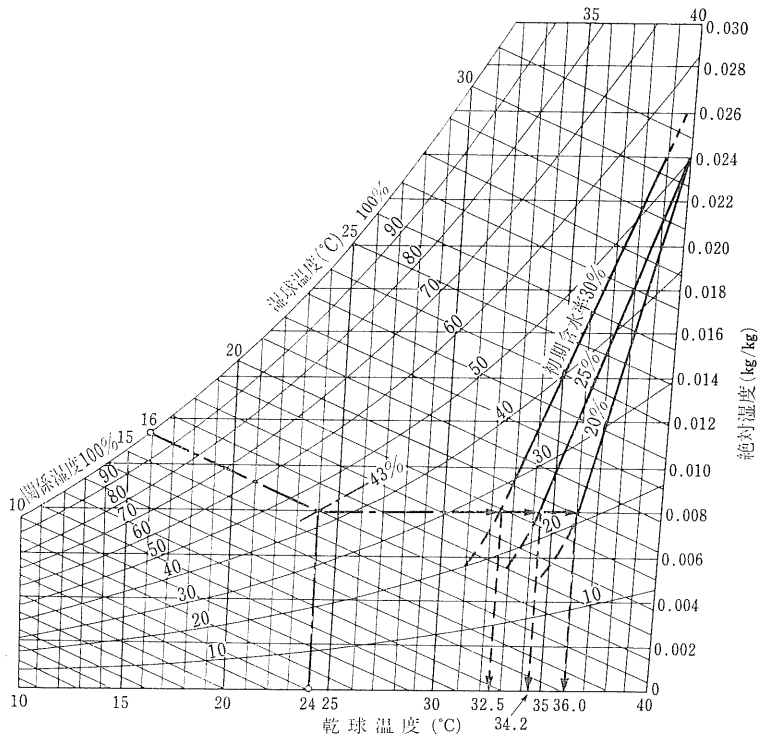
した。調整後は粳粒内の水分分布が平衡状態に達するまで0°C中に長時間密閉貯蔵しておき、この粳を数時間常温に放置後供試した(平衡状態に達するまでの時間に関してはⅢ・B参照)。含水率の測定は10g粒-100°C-24h法によった。

### 3. 結果および考察

実験条件および結果を第Ⅱ-1表に示す。

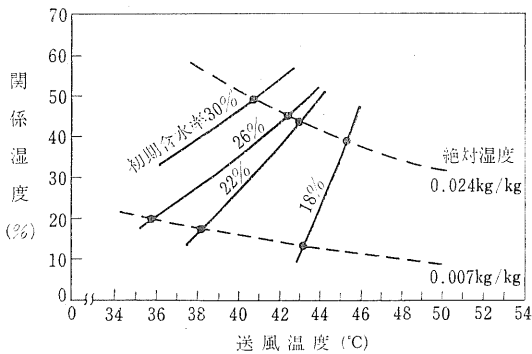
乾燥直後の粳を密閉して30°Cの定温機に48時間以上放置後、手むきした米粒の全胴割れ率と重胴割れ率の関係を第Ⅱ-2図に示す。次に初期含水率、送風温度と胴割れ(全胴割れ率および重胴割れ率)の関係を第Ⅱ-3図~第Ⅱ-5図に示す。これらの図より胴割れ率の増加を一定に押えた場合の初期含水率と限界送風温度の関係について求めたものを第Ⅱ-6図、第Ⅱ-7図に示す。また、外気温度、湿度条件および初期含水率と限界送風温度・湿度の関係を全胴割れ率の増加よりみた場合について求めたものを第Ⅱ-8図に示す。同様に、重胴割れ率の増加より、送入空気の関係湿度、初期含水率と限界送風温度の関係を第Ⅱ-9図に示す。初期含水率、平均乾燥速度と胴割れ(全および重胴割れ率)の関係を第Ⅱ-10図、第Ⅱ-11図に示す。これらの図より胴割れ率の増加を一定に押えた場合の初期含水率と限界平均乾燥速度の関係について求めたものを第Ⅱ-12図、第Ⅱ-13図に示す。なお、これらの場合の胴割れ率は粳を乾燥直後30°C中に48時間以上密閉貯蔵後調査したもので示した。

また、本試験における乾燥速度特性曲線を第Ⅱ-14図、



(注) この図は全胴割れ率を5%まで許容した場合の図で、図中の鎖線は乾球温度24°C、湿球温度16°C、絶対湿度0.008kg/kgの空気を用いて薄層の状態乾燥した場合の許容限界送風温度を指示したものである。

第II-8図 外気温度・湿度条件および初期含水率と限界送風温度・湿度



第II-9図 関係湿度、初期含水率と限界送風温度 (重胴割れ率を5%まで許容した場合)

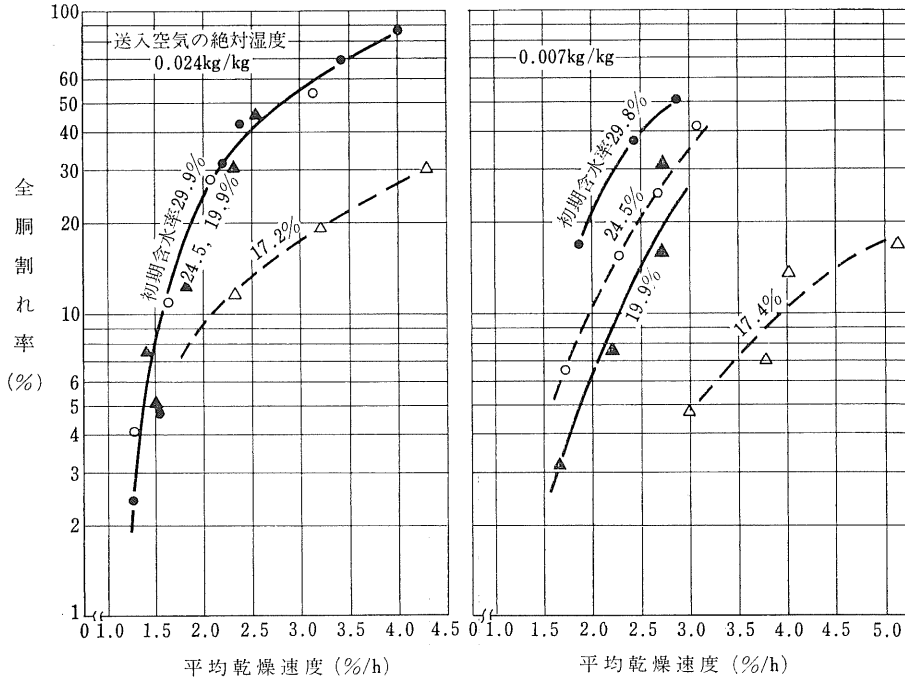
第II-15図に示す。これらの図より、送風温度および初期含水率と任意の含水率まで乾燥したときについて求めた平均乾燥速度の関係の2例を第II-16図、第II-17図に示す。また、含水率13.5%まで乾燥した時の送風温度、初期含水率と平均乾燥速度の関係について求めたものを第

II-18図に示す。

本実験より次のことが判明した。

(1) 高含水率で収穫された籾を任意の含水率に調整(含水率30, 24, 17%)し、それぞれ粒内の水分分布が平衡状態になったと考えられるまで放置後、これらの籾を種々な送風温度で含水率13.5%前後に乾燥した時の米粒の全胴割れ率と重胴割れ率の間には送風温度、初期含水率、乾燥速度によらず高い相関が認められた(第II-2図参照)。

(2) 含水率13.5%前後に乾燥した時点での胴割れ率の増加の許容量を全胴割れ率で5, 10, 15, 20%, 重胴割れ率で1, 5, 10%のそれぞれに押えた時の送風温度の限界は、初期含水率が高いほど低くなる。また、送入空気の絶対湿度が低いほど一定の胴割れ率を許容した場合の限界送風温度は低くなり、絶対湿度が高い場合に比べると初期含水率が高くなるにしたがって、限界送風温度の急激な低下がみられる(第II-6図、第II-7図参照)。



第 II -10 図 初期含水率, 平均乾燥速度と全胴割れ率

(3) 胴割れ率の増加を5%まで許容した場合の送入空気の限界温度は第 II-8図, 第 II-9図に示すように, 初期含水率によって異なり実線の左側が安全な送風温度と推定される。

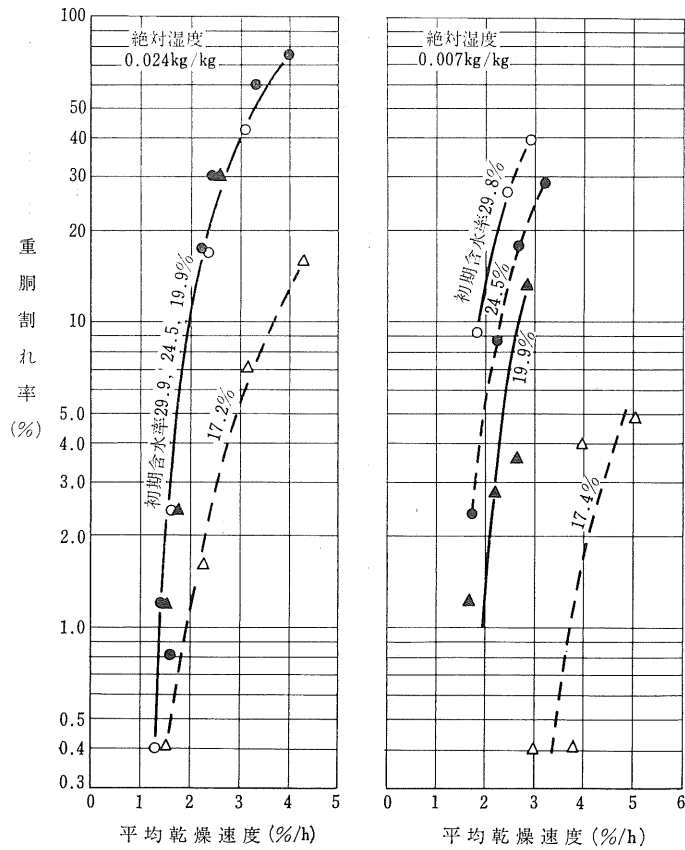
(4) 乾燥後の胴割れ率の増加を一定におさえた時の平均乾燥速度の限界をみると, 初期含水率が18~20%以下で急激に速くなり, 送入空気の絶対湿度が低いほど, この傾向が大きく, 送入空気の絶対湿度が高い場合に比べて, この平均乾燥速度の限界はかなり速いところにある。また, 絶対湿度が低い場合は初期含水率20%以上でも高含水率になるほど平均乾燥速度の限界はさがる傾向にあるが, 絶対湿度が高い場合は初期含水率による影響が少なく, この平均乾燥速度の限界はほぼ一定となる(第 II-12図, 第 II-13図参照)。

(5) 初期含水率の異なるものを, 同一送風条件で同一時間だけ乾燥した時点での平均乾燥速度は初期含水率が高いものほど速くなる(第 II-16図, 第 II-17図中の A 参照)が, 同一含水率まで乾燥した場合の平均乾燥速度

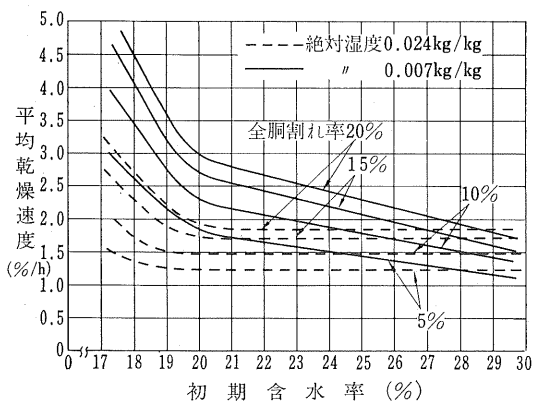
は, 初期含水率が低いほど速くなる傾向にある(第 II-16図, 第 II-17図中の B 参照)。しかし, 初期含水率が20~30%の範囲で含水率13.5%まで乾燥する時の平均乾燥速度は, 送入空気温度, 湿度が同じならばほぼ一定となる(第 II-18図参照)。

(6) (3), (4), (5)を総合してみると, 高含水率の穀ほどこれを規格含水率まで乾燥させる場合, 送風温度を低くし, 平均乾燥速度をおそくして乾燥させなければ胴割れ率の増加が大きくなる可能性のあることがわかる。胴割れの発生の原因として, 玄米粒中の水分分布の不均一に起因することが大きいということが多くの研究<sup>8), 9), 10)</sup>から推測しうるが, 高含水率ほど胴割れがおこりやすいということは一定の含水率まで乾燥する場合, 高含水率のものから乾燥させるほど, 乾燥すべき含水率の幅が大きくなって, 水分分布の不均一化が促進される程度が大きいためと考えられる。ただし, このことは乾燥開始時に米粒内の水分が平衡状態に達していると考えられる場合にいえることである。

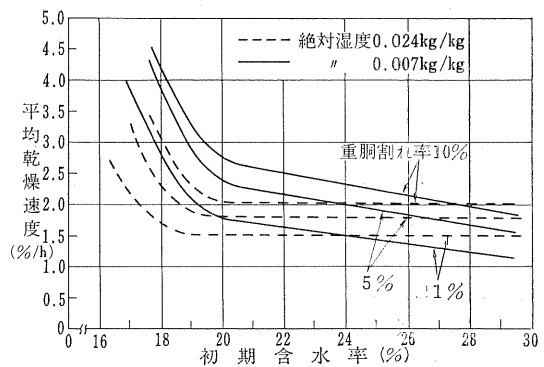




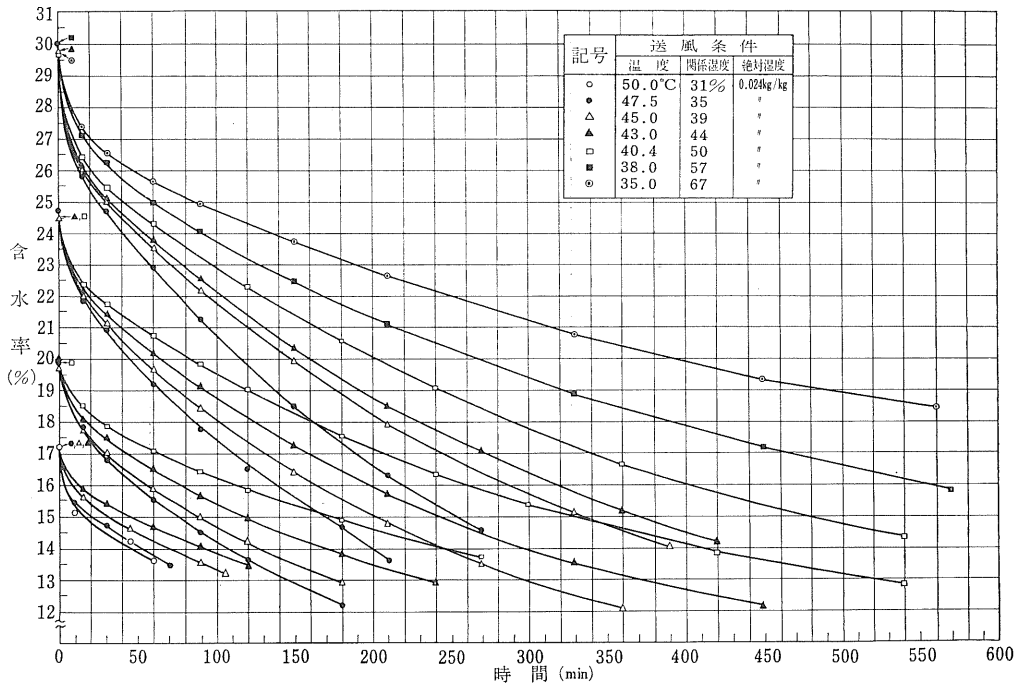
第 II-11 図 初期含水率，平均乾燥速度と重胴割れ率



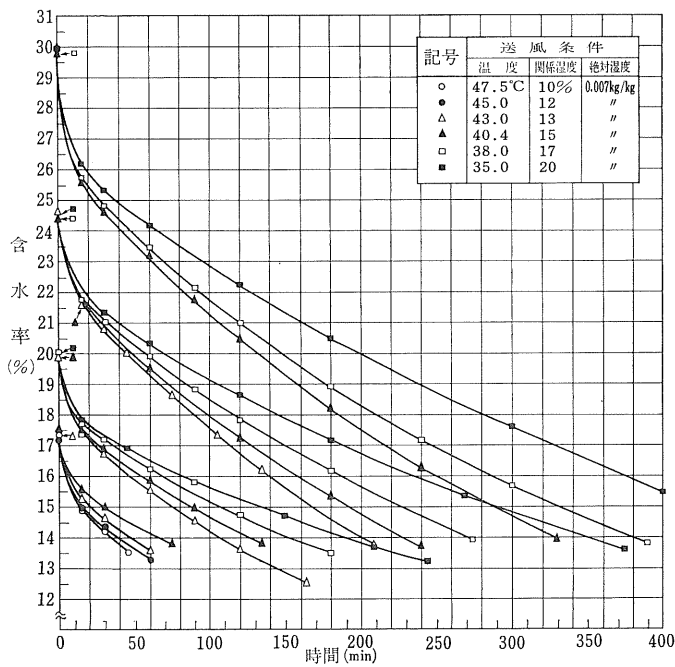
第 II-12 図 初期含水率と限界平均乾燥速度  
(全胴割れ率を一定まで許容した場合)



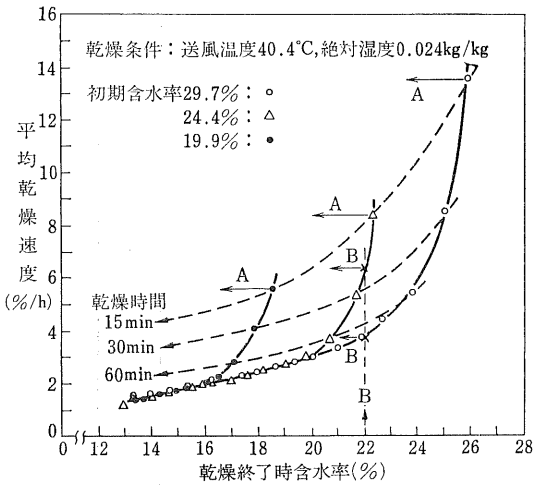
第 II-13 図 初期含水率と限界平均乾燥速度  
(重胴割れ率を一定まで許容した場合)



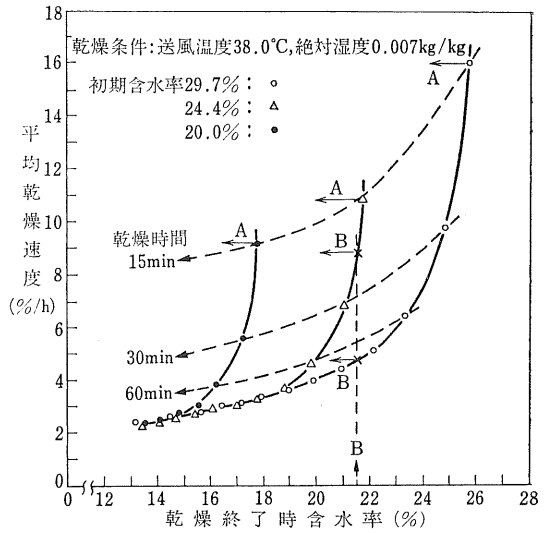
第Ⅱ-14図 乾燥速度特性曲線(その1)



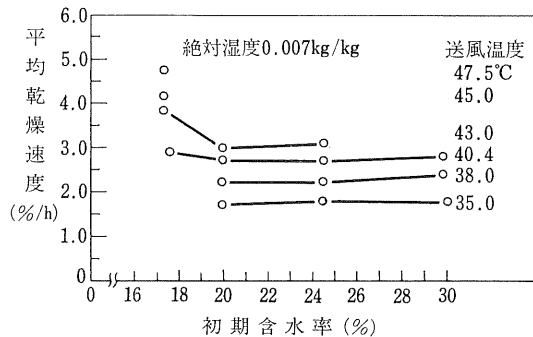
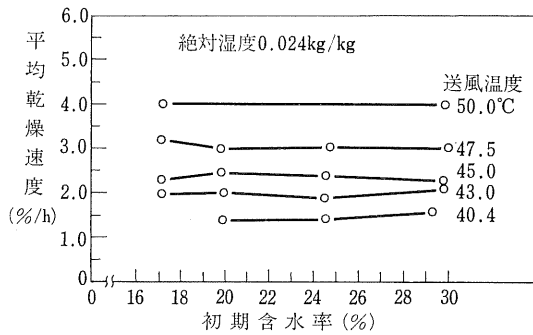
第Ⅱ-15図 乾燥速度特性曲線(その2)



第 II -16 図 初期含水率，乾燥終了時含水率と平均乾燥速度



第 II -17 図 初期含水率，乾燥終了時含水率と平均乾燥速度



第 II -18 図 送風温度・湿度，初期含水率と平均乾燥速度  
 (乾燥終了時含水率13.5%の時)

## C. 品種などの相違が胴割れに及ぼす影響

### 1. 目的

品種や米粒の大きさや収穫時期など、米そのものが持っている性状が人工乾燥の場合の胴割れに与える影響をしらべる。立毛中の稲や乾燥条件をそれほど厳格に規定しないで行なった乾燥において、品種や栽培条件などと胴割れの関係をしらべた報告は古くからあり<sup>7)</sup>、また最近においても多いが<sup>10), 13), 14), 15), 16)</sup>、乾燥開始前に粒内の水分分布の状態をできるだけ均一になるようにし、一定の温度、湿度の空気を連続的に薄い層の籾に送って、一定の含水率に達したときの胴割れ率の多少を比較した例はないので、このような方法によって、胴割れの発生程度の差異を求めようとしたものである。

### 2. 方法

実験装置はⅡ・Bで報告したものと同一恒温恒湿空気発生装置を含む一連の実験装置を用いた。

胴割れが生じないように常温通風で含水率を調整した試料をⅡ・Aで用いた0°Cの低温貯蔵庫に長時間密閉貯蔵し、実験開始の約15時間前に密閉のまま30°Cの恒温槽に入れた。籾約200gを1回に供試して実験を行なったが、風量比は約20m<sup>3</sup>/s・100kgできわめて多く、薄い層における乾燥状況と推定しうる。全実験を通じて、送入空気の温度は40°C、絶対湿度は0.010kg/kgであった。このような状態において乾燥されつつある籾を含水率が13.5%近辺になったとき3~4回採取し、各々を小ビンにい

っぱいになるように入れてゴムせんをし、さらに、パラフィンで密閉し、30°C中に約72時間放置後手むきした玄米250粒について胴割れを調査した。このようにして、含水率13.5%近辺の胴割れ率と含水率および平均乾燥速度の関係をグラフにとり、含水率13.5%における胴割れ率を推定した。これは、正確に含水率13.5%で乾燥を停止し、含水率13.5%の状態における胴割れを把握しにくいためである。

なお、胴割れ率は乾燥後約72時間経過後の胴割れ率より乾燥前胴割れ率を差し引いたものであるが、実験の際は乾燥前胴割れ率ができるだけ少ないものを使用した。

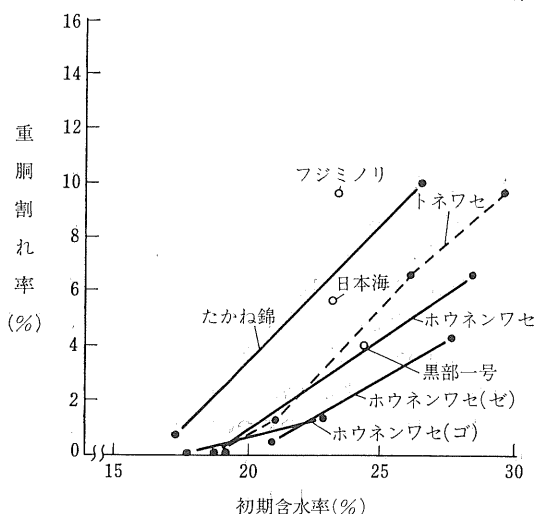
粒の大小については含水率13~14%のときの玄米の縦、横、厚みを万能投映機とダイヤルキャリパを使用し、1回の実験につき100粒測定し、縦×横×厚みであらわした。

含水率の測定は10g粒-100°C-24h法によった。

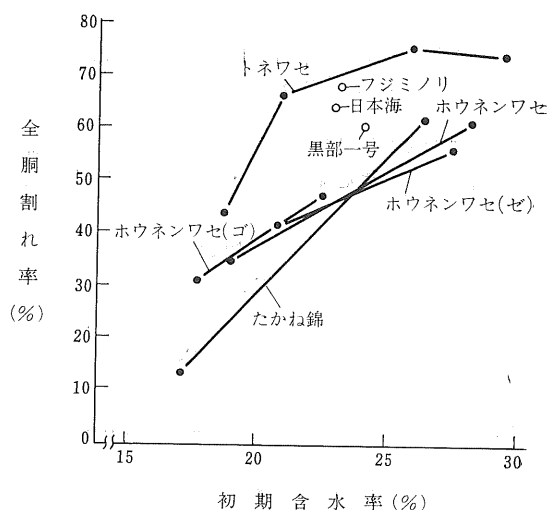
収穫期は9月18日~9月29日に刈取脱穀されたものを早期、10月1日~10月18日になされたものを中期、10月19日~11月1日になされたものを晩期とした。また、刈取日を稲の穂における穀粒の成熟程度より判断し、適期前、適期、適期後とした。刈取、脱穀日は5日程度のずれを有していた。なお、栽培された圃場は埼玉県内の農機研附属農場である。

### 3. 結果および考察

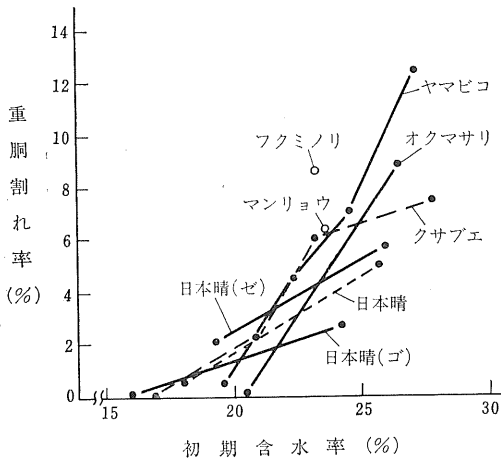
第Ⅱ-19図 品種と初期含水率と胴割れ



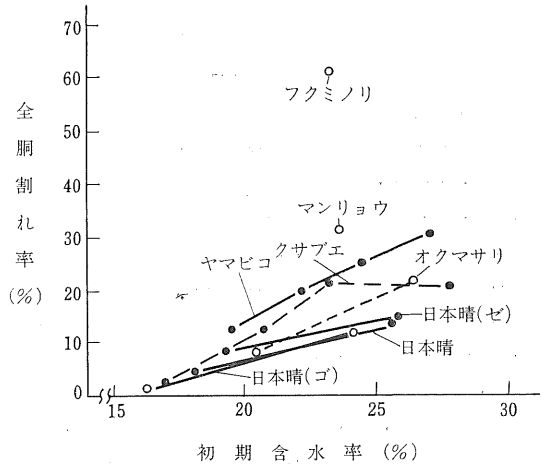
(a) 収穫期(早)・重胴割れ率



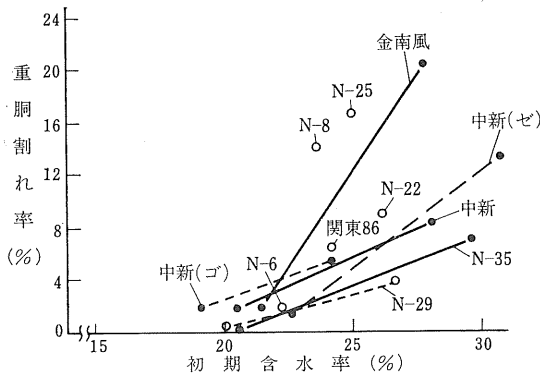
(b) 収穫期(早)・全胴割れ率



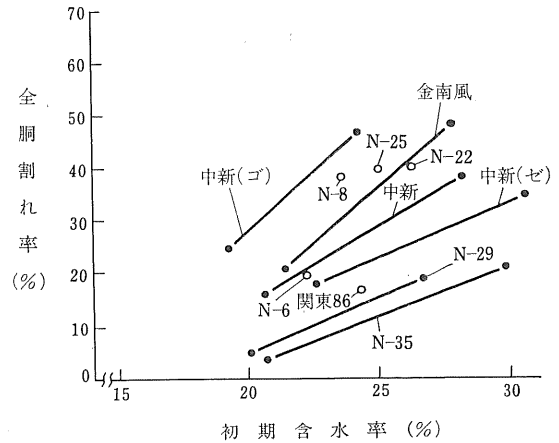
(c) 収穫期(中)・重胴割れ率



(d) 収穫期(中)・全胴割れ率



(e) 収穫期(晩)・重胴割れ率



(f) 収穫期(晩)・全胴割れ率

(注) (ゴ)は適期後収穫のもの、(ゼ)は適期前収穫のもの、(ゴ)(ゼ)がつかないのは適期収穫のもの、Nは農林の略、中新は中生新千本の略

実験条件および結果をとりまとめて第Ⅱ-2表および第Ⅱ-19図に示す。また各種要因を分析した結果を第Ⅱ-3表に示す。

含水率13.5%まで乾燥した時点における値をもって考察した結果、次のようなことがいえる。

(1) 初期含水率が高いほど、全、重胴割れ率とも多くなっており、このことはⅡ・Bの試験においても明らかなことではあるが、品種など籾の性状に関係なくいえるということがわかった。また、特にこの傾向は重胴割れについて著しい。

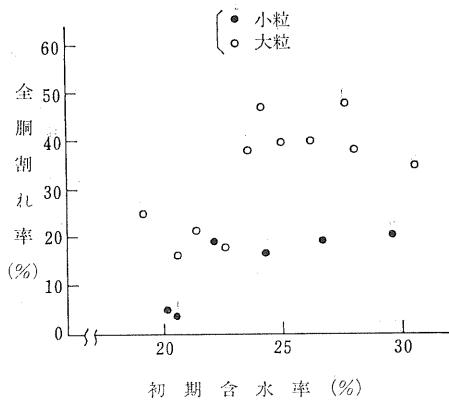
(2) 全胴割れ率についてみると、早期に収穫された籾は中、晩期のものに比べて明らかに胴割れ率が高いが、

重胴割れ率についてはこの点明確ではない。

(3) 粒の大小と胴割れ率との関係に関して、早、中、晩期全部をあわせたものについて、玄米粒の大きさと胴割れ率の関係をしらべた結果は全、重胴割れ率とも粒が大きくなるほど、やや胴割れ率が多いという結果をえた。また、この関係を明確にするため、早、中、晩各収穫期のものについて、平均の粒の大きさを求め(第Ⅱ-2表よりその平均値は早期で32.75mm<sup>2</sup>、中期で34.00mm<sup>2</sup>、晩期で33.85mm<sup>2</sup>)、各期のものについてそれらの平均値より大きいものを大、小さいものを小として比較した場合も同様な結果をえた。1例として晩期のものの状況を示すと第Ⅱ-20図のようになる。なお、本試験に供試した各

第II-2表 実験条件および結果

実験 番号	穀品種	収穫期	収穫日	初期 含水率	玄米粒の平均寸法				乾燥後胴割 れ率の増加		平均乾 燥速度	貯蔵 日数
					縦	横	厚み	大きさ	重	全		
				%	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%/h	日
V-1	トネワセ	早期	適	29.6	5.41	2.84	2.08	32.0	9.6	73.4	1.79	19
V-2	//	//	//	26.1	5.52	2.87	2.09	33.1	6.6	75.2	1.51	21
V-3	//	//	//	21.1	5.48	2.90	2.12	33.7	1.2	66.0	1.46	17
V-4	//	//	//	18.9	5.52	2.87	2.09	33.1	0.0	43.4	1.66	34
V-5	ハウネンワセ	//	前	27.7	5.34	2.94	2.06	32.3	4.2	56.2	1.60	23
V-6	//	//	//	20.9	5.39	2.93	2.05	32.4	0.4	41.0	2.41	30
V-7	//	//	適	28.4	5.25	2.91	2.03	31.0	6.6	61.0	2.49	59
V-8	//	//	//	19.0	5.37	2.92	2.06	32.3	0.0	34.6	1.90	26
V-9	//	//	後	22.8	5.35	2.91	2.03	31.6	1.2	46.8	1.91	17
V-10	//	//	//	17.8	5.35	2.92	2.01	31.4	0.0	30.5	2.35	26
V-11	たかね錦	//	適	26.6	5.42	3.03	2.05	33.7	10.0	62.0	2.01	41
V-12	//	//	//	17.3	5.45	3.06	2.07	34.5	0.8	13.6	2.40	65
V-13	フジミノリ	//	//	23.4	5.32	2.98	2.07	32.8	9.6	68.4	2.02	27
V-14	黒部1号	//	//	24.3	5.49	2.95	2.06	33.4	3.8	60.2	2.27	27
V-15	日本海	//	//	23.2	5.37	3.01	2.10	33.9	5.6	64.0	2.01	28
V-16	クサブエ	中期	//	27.8	5.45	2.91	2.07	32.8	7.4	20.4	1.77	4
V-17	//	//	//	23.3	5.43	2.93	2.08	33.1	6.0	20.8	2.24	49
V-18	//	//	//	20.8	5.43	2.94	2.09	33.4	2.2	12.2	1.97	32
V-19	//	//	//	16.9	5.49	2.95	2.09	33.8	0.0	2.4	2.37	28
V-20	ヤマビコ	//	//	27.1	5.72	3.01	2.10	36.2	12.4	30.6	2.43	19
V-21	//	//	//	24.6	5.67	3.02	2.09	35.8	7.0	24.6	2.18	30
V-22	//	//	//	22.3	5.67	3.02	2.15	36.8	4.4	19.4	1.70	36
V-23	//	//	//	19.6	5.65	2.99	2.07	35.0	0.4	12.2	2.29	47
V-24	日本晴	//	前	25.9	5.45	2.97	2.05	33.2	5.6	14.8	2.23	21
V-25	//	//	//	19.3	5.46	2.96	2.07	33.5	2.0	8.0	2.22	32
V-26	//	//	適	25.8	5.45	2.92	2.07	32.9	5.0	13.6	2.17	18
V-27	//	//	//	18.1	5.44	2.96	2.05	33.0	0.4	4.4	2.60	33
V-28	//	//	後	24.2	5.46	2.91	2.07	32.9	2.6	11.8	2.20	13
V-29	//	//	//	16.3	5.47	2.98	2.06	33.6	0.0	1.2	3.17	48
V-30	マンリョウ	//	適	23.7	5.46	2.95	2.11	34.0	6.4	31.6	2.52	18
V-31	オクマサリ	//	//	26.5	5.51	2.96	2.05	33.4	8.8	21.0	2.64	43
V-32	//	//	//	20.5	5.52	2.95	2.08	33.9	0.0	7.5	1.80	15
V-33	フクミノリ	//	//	23.3	5.57	3.06	2.06	35.1	8.6	60.6	1.90	25
V-34	中生新千本	晚期	前	30.6	5.49	3.00	2.11	34.8	13.2	34.4	2.01	32
V-35	//	//	//	22.6	5.59	3.00	2.07	34.7	1.2	17.4	1.91	28
V-36	//	//	適	28.1	5.56	2.98	2.10	34.8	8.4	38.0	2.16	18
V-37	//	//	//	20.6	5.55	2.99	2.07	34.4	1.8	16.0	1.97	19
V-38	//	//	後	24.2	5.56	3.00	2.08	34.7	5.4	46.4	2.20	19
V-39	//	//	//	19.2	5.58	2.99	2.09	34.9	2.0	24.2	2.09	21
V-40	金南風	//	適	27.7	5.45	3.07	2.11	35.3	20.2	47.8	2.84	35
V-41	//	//	//	21.4	5.51	3.06	2.13	35.9	1.6	20.8	2.42	39
V-42	農林29号	//	//	26.7	5.44	2.91	2.03	32.1	3.8	18.8	2.06	7
V-43	//	//	//	20.2	5.40	2.91	2.04	32.1	0.0	4.8	1.84	8
V-44	農林35号	//	//	29.7	5.22	2.83	2.04	30.1	7.0	20.2	2.05	10
V-45	//	//	//	20.6	5.27	2.83	2.08	31.0	0.0	3.6	1.97	16
V-46	農林6号	//	//	22.2	5.40	2.87	2.03	31.5	1.6	19.2	2.14	15
V-47	農林25号	//	//	25.0	5.50	2.99	2.14	35.2	16.8	39.6	1.97	26
V-48	農林22号	//	//	26.2	5.45	2.97	2.11	34.2	8.6	39.8	2.34	38
V-49	農林8号	//	//	23.6	5.57	3.09	2.17	37.3	14.2	38.0	1.95	15
V-50	農林東86号	//	//	24.3	5.32	2.94	2.07	32.4	6.4	16.4	2.15	24



第Ⅱ-20図 粒の大小と初期含水率と胴割れ(収穫期 晩)

第Ⅱ-3表 分散分析結果

全胴割れ率

要因	寄与率 %
含水率(M)**	16.8
粒の大小(V)*	4.8
貯蔵日数(D)*	4.4
収穫期(F)**	44.5
M×V*	4.1
V×D*	5.7
誤差(e)	10.8

重胴割れ率

要因	寄与率 %
M**	51.3
V*	6.9
D	0.7
F	1.2
V×D*	7.3
e	18.7

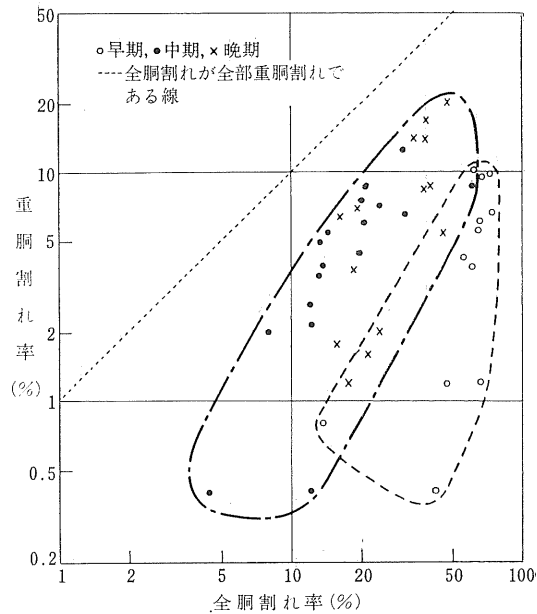
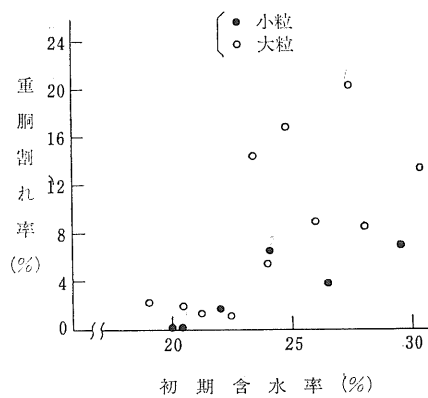
(注) \*\*危険率1%で有意  
\*危険率5%で有意

試験区全部の籾に関してその玄米粒の寸法の平均は縦5.46,横2.96,厚み2.08mmで大きさは33.6mm<sup>3</sup>, それぞれの標準偏差は±0.106, ±0.061, ±0.032mmおよび±1.54mm<sup>3</sup>であった。

粒の大小, 収穫期が品種によって違うとすれば当然, 胴割れの程度もこれらによって変わるということになるが, その限りにおいても品種間に胴割れ発生程度の差があるといえよう。また, 早期に収穫されたものに胴割れ粒の発生が多いという原因として, 早期のものは強烈な日光にさらされ, 立毛中に胴割れする粒が多いということもあげられるが, 粒そのものが胴割れしやすい性質のものであるともいえよう。

(4) 同一品種について, 適期に収穫したものと, それより数日前後して収穫したものを供試材料に用いた場合の胴割れ発生程度の差のあるものがあつたが, 一定の傾向は認められない。

(5) 含水率の高い籾の変質を防ぐため低温に貯蔵した



第Ⅱ-21図 全胴割れ率と重胴割れ率

が, 貯蔵日数が長くなると, 全胴割れ粒はやや発生しやすくなる傾向があつたが, 重胴割れ率でみた場合その影響は明確でない。

(6) 同一材料について重胴割れ率と全胴割れ率との関係を第Ⅱ-21図に示す。この図によると, 早期のグループと中期, 後期をあわせたグループとで相違があり, 一般に早期のものの方が全胴割れの中に占める重胴割れの割合が小さいといえよう。

## D. 乾燥後の貯蔵条件と胴割れの関係

### 1. 目的

粃を人工乾燥する場合、乾燥直後、玄米に胴割れ粒がみられないか、または少ない場合でも、乾燥終了後時間がたつにつれて胴割れ粒が増加していくことはすでに報告<sup>7)</sup>されているところであるが、この場合、貯蔵時の条件とこの胴割れの増加の状態を把握し、人工乾燥されたものの胴割れ調査方法の確立に資するとともに、乾燥後の粃の貯蔵方法のいかんによって、この胴割れを止めうるかどうかの可能性などを検討する目的で試験を行なった。

### 2. 方法

#### 1) 実験1

Ⅱ・Bの実験に先立ち、初期含水率24.9%の粃(品種：クサブエ)を、送風温度40.4°C、湿球温度25.5°Cのきわめて風量比の大きい状態(約23m<sup>3</sup>/s・100kg)で含水率13.6%まで乾燥した。乾燥直後にこの粃を密閉して、それぞれ0, 15, 30°Cの定温機中に放置し、経時的にこれらを取りだし、手むきした玄米50粒ずつ5回、計250粒について胴割れを透視法によって調査した。

次に、Ⅱ・Bで行なったすべての実験条件の粃(品種：クサブエ)について、乾燥終了直後(含水率13.5%前後)、および、この粃を0°Cと30°C中に48時間以上密閉貯蔵後、手むきした玄米250粒について透視法により胴割れを調査した。

#### 2) 実験2

第Ⅱ-4表に示す条件で人工乾燥後、さらに粃に種々な温度、湿度条件の空気を送り、時間の経過による胴割れの増加を調査した。

粃の品種はクサブエである。

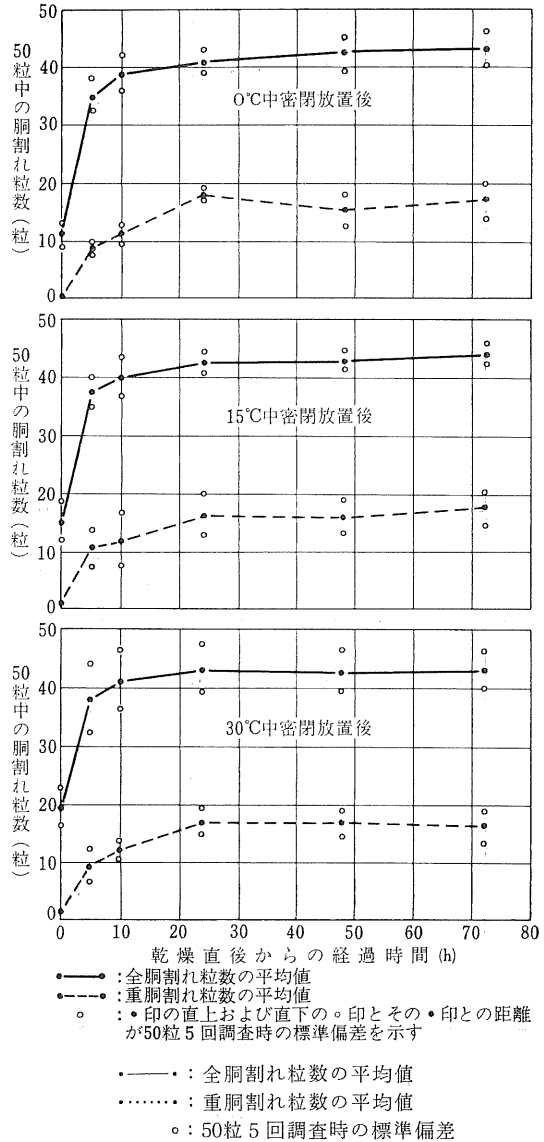
乾燥直後およびその後の通風時に採取した粃は、各々一定の温度中に密閉貯蔵し、胴割れの追跡を行なった。

### 3. 結果および考察

#### 1) 実験1の場合

この実験によって次のようなことが判明した。

(1) 乾燥後、密閉貯蔵された粃の胴割れ粒の増加曲線は第Ⅱ-22図に示すようになった。この場合の乾燥条件では、乾燥終了後の粃の貯蔵温度が胴割れ粒の増加に与える影響は少なく、乾燥直後からの経過時間が48時間程度でほぼ一定に達し、72時間後ではいずれの貯蔵温度でも胴割れ粒数は同程度で、有意差が認められなかった。



第Ⅱ-22図 乾燥後の貯蔵温度条件と胴割れ

(2) Ⅱ・Bの実験において、胴割れの増加がほぼ停止したとみなされる乾燥後48時間以上経過した粃について調査した胴割れの発生状況と乾燥条件および貯蔵温度条件をみると、第Ⅱ-23図、第Ⅱ-24図のようになった(第Ⅱ-1表参照)。



第Ⅱ-4表 実験条件および結果

実験番号	乾燥条件				乾燥直後含水率	乾燥直後よりの急冷・吸湿条件					通風後貯蔵温度	乾燥直後からの経過時間と重胴割れ率の増加						
	送入空気			初期含水率		送入空気			*通風時間	通風直後含水率		乾燥直後	1h後	3h後	6~10h後	24h後	48h後	72h後
	温度	関係湿度	絶対湿度			温度	関係湿度	絶対湿度										
1	45.0	46	0.028	20.1	14.3	—	—	—	0	—	30	0.0	—	—	—	—	5.2	—
	°C	%	kg/kg	%	%	°C	%	kg/kg	min	%	°C	%	%	%	%	%	%	%
	45.0	46	0.028	20.1	14.3	-2.2	76	0.002	25	14.9	//	//	—	—	—	—	5.6	—
2	45.0	46	0.028	20.2	14.0	—	—	—	0	—	30	0.0	—	—	—	—	5.2	—
	45.0	46	0.028	20.2	14.0	20.3	99	0.015	25	15.9	//	//	—	—	—	—	8.8	—
3	40.4	49	0.023	20.2	13.9	—	—	—	0	—	30	0.0	—	—	—	—	0.4	—
	40.4	49	0.023	20.2	13.9	24.6	98	0.019	30	16.0	//	//	—	—	—	—	6.8	5.6
4	45.2	36	0.022	20.1	14.2	—	—	—	0	—	25	0.0	—	—	—	—	8.0	9.0
	45.2	36	0.022	20.1	14.2	23.6	98	0.018	30	16.5	//	//	—	—	—	10.4	8.8	10.4
5	40.4	50	0.024	20.2	13.6	—	—	—	0	—	25	0.0	—	—	—	0.0	0.0	0.0
	40.4	50	0.024	20.2	13.6	26.6	90	0.020	30	15.1	//	//	—	—	—	1.6	1.2	2.0
6	—	—	—	—	13.1**	—	—	—	0	—	25	0.0	0.0	—	—	0.0	0.0	0.0
	—	—	—	—	13.1**	25.5	91	0.019	360	15.5	//	//	//	—	—	0.0	0.0	—
7	50.0	30	0.024	20.2	12.4	—	—	—	0	—	28	0.0	1.0	10.5	37.5	53.0	64.5	62.5
	50.0	30	0.024	20.2	12.4	28.0	93	0.022	60	—	//	//	43.5	61.0	—	—	64.0	—
						//	//	//	180	16.0	//	//	—	67.0	69.0	63.0	71.0	76.0
8	45.0	39	0.023	20.3	12.7	—	—	—	0	—	28	0.0	0.5	0.5	10.0	15.5	15.0	13.5
	45.0	39	0.023	20.3	12.7	27.9	93	0.022	60	—	//	//	29.0	35.0	41.5	44.0	38.5	—
						//	//	//	180	15.8	//	//	—	46.5	47.5	51.5	51.0	52.0
9	45.0	13	0.008	20.1	13.8	—	—	—	0	—	0	0.0	0.0	0.0	4.5	13.0	23.0	22.7
	45.0	13	0.008	20.1	13.8	-0.1	80	0.003	60	—	//	//	0.0	0.5	4.0	12.0	11.0	—
						//	//	//	180	15.2	//	//	—	1.5	6.0	9.0	8.0	12.0
10	45.0	21	0.013	20.3	13.4	—	—	—	0	—	20	0.0	0.5	5.0	20.0	30.0	30.5	34.0
	45.0	21	0.013	20.3	13.4	20.0	84	0.012	60	—	//	//	8.0	18.0	14.0	23.0	24.5	26.7
						//	//	//	180	15.0	//	//	—	22.5	27.0	29.5	33.5	25.5
11	47.5	11	0.008	20.2	13.4	—	—	—	0	—	30	0.0	1.0	6.5	30.0	55.0	54.5	51.0
	47.5	11	0.008	20.2	13.4	—	—	—	0	—	30	0.0	(5.5)	(21.5)	(45.0)	(68.0)	(65.0)	(59.0)

(注) \*印の通風時間0 min の場合は乾燥直後に密閉貯蔵, \*\*は放置されていた籾を吸湿, ( ) 内は全胴割れ率を示す。

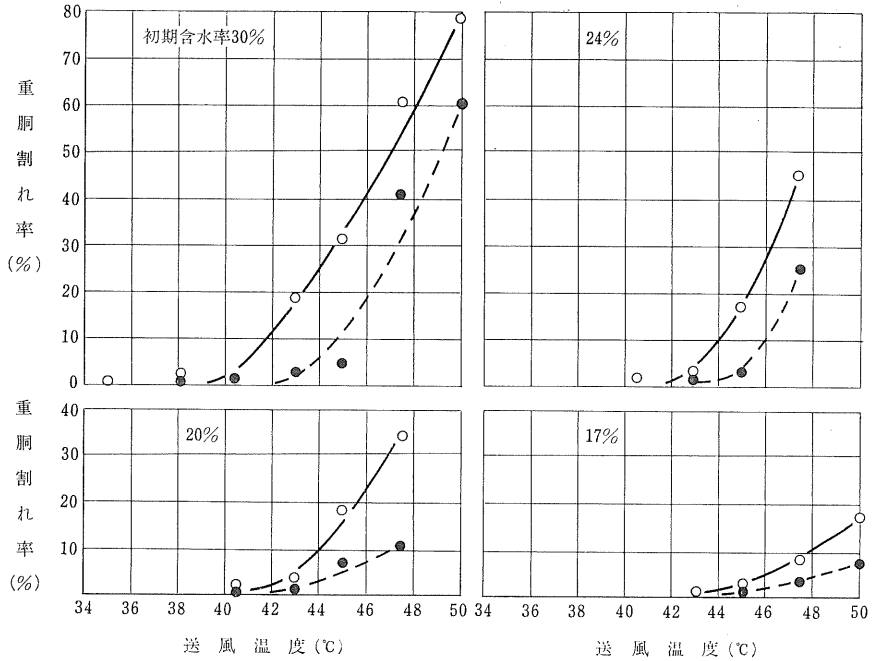
これらの図より、送入空気の絶対湿度が高い条件で乾燥した籾は、乾燥後の貯蔵温度により胴割れ率に差があらわれており、低温で貯蔵したものの方が胴割れ率の増加が少なくなっている。絶対湿度の低い空気条件で乾燥されたものではこの差は有意でなかった。この傾向は全胴割れ、重胴割れの両者についていえる。

(3) 以上の結果から、乾燥試験のさいの胴割れ調査には乾燥直後の測定のみならず48時間程度一定温度で密閉

貯蔵後に調査すべきであるといえるし、本報告における胴割れは30°Cの定温機中か常温中に48時間以上密閉貯蔵後に調査したものを記載することにした。

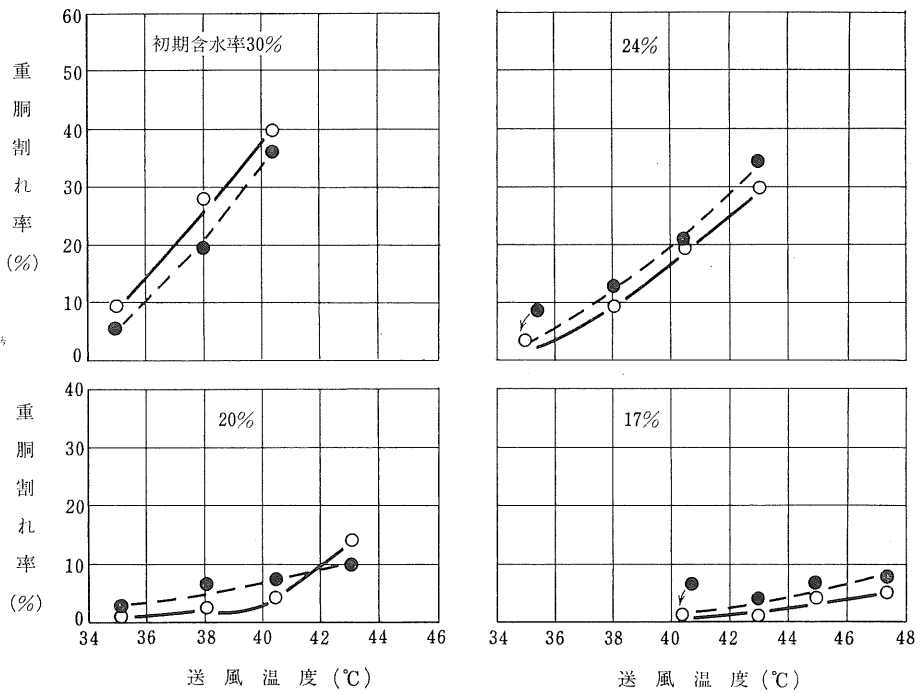
(4) このような胴割れの増加に関しては次のようなことが考察される。

すなわち、胴割れの発生は玄米粒内の水分傾斜がある程度以上大きくなると歪を生じ発生するといわれているが、粒内の水分傾斜がある一定の状態以上に達したとき



送入空気の絶対湿度0.024kg/kg ○—○ : 30°C中に48時間密閉貯蔵後  
 ●---● : 0°C中に48時間密閉貯蔵後

第Ⅱ-23図 乾燥時の送風温度・湿度条件などと貯蔵時の温度条件が胴割れに与える影響



送入空気の絶対湿度0.007kg/kg ○—○ : 30°C中に48時間密閉貯蔵後  
 ●---● : 0°C中に48時間密閉貯蔵後

第Ⅱ-24図 乾燥時の送風温度・湿度条件などと貯蔵時の温度条件が胴割れに与える影響

直ちに亀裂が生ずるというのではなく、歪がおこりそれが一定時間持続するとはじめて亀裂が生じる。これは玄米粒を塑性体とみれば、当然このような現象があってもよい。乾燥中に、水分傾斜が大きくなって歪が生じた場合、乾燥後玄米粒の内部で水分の平衡化がおこり、ある一定の時間がたつと、もはやこの歪は消え去る。しかるに、非常に大きな歪がおこると平衡状態に達するまでに亀裂があらわれることになる。この場合貯蔵温度の影響に関しては、米粒が高温であるほど、この水分の平衡化は早くなると考えられるが、一方、一定の歪が持続した場合、亀裂が生ずるまでの時間は温度の高い方が短いと考えられる。

このような論拠に立てみると、胴割れが一定に達する時間は、いずれにしても粒内の水分が平衡化する時間、すなわち48時間程度以内と考えられるし、実験によってもこのことがいえる。

注：粒内水分が完全に平衡化する時間は、乾燥後、密閉貯蔵状態でほぼ48時間程度であることは、本報告のⅢ・Bでもふれている。

ゆえに、低温で貯蔵した方が高温で貯蔵したものに比べて、胴割れの増加が多いか少ないかは、結局、上述の水分が平衡化し歪が消える時間と、歪があった場合にどの程度長くこれが持続すれば亀裂があらわれるかの2つの要因に温度がどのように関係するかによって違ってくると思われる。

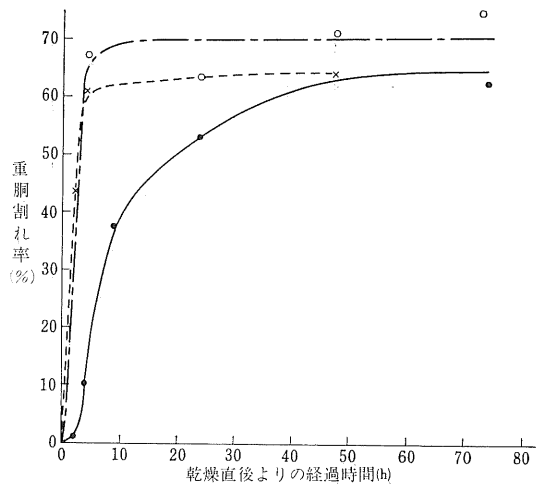
以上のことはなお推論の域を脱しえないが、今後、このような問題について基礎的実験を行なう必要がある。

なお、ここで論じているのは胴割れ率の増加であって、当然、同一の粒の集団の中にも割れやすい粒と割れにくい粒があり、胴割れ粒が一定の割合に達するのにある時間が必要であるということであって、その時間はいずれにしてもすべての粒の水分が平衡化する48時間以上において、なお胴割れがおこる粒はないということである。

## 2) 実験2の場合

実験条件および結果をとりまとめて第II-4表に示す。胴割れ増加の状況を第II-25図～第II-29図に示す。この実験によって次のようなことが判明した。

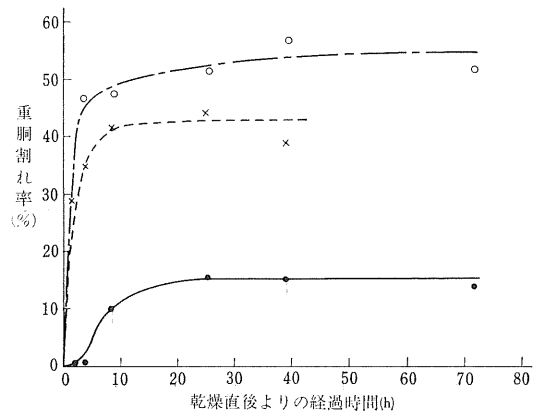
(1) 乾燥直後、胴割れ粒の発生が認められないものについて、密閉貯蔵した粒の経過時間に伴う胴割れ増加状況を詳細に調査したところ、第II-29図などの例に示すように、全胴割れ率が一定の値に達するまで、時間に対し指数関数的な増加を示す。



実験番号7における状況、送風温度  $t = 28.0^{\circ}\text{C}$   
絶対湿度  $H = 0.022\text{kg/kg}$

—○— 無通風 ×---× 1h通風 ○---○ 3h通風

第II-25図 重胴割れ率の増加状況



実験番号8における状況、送風温度  $t = 27.9^{\circ}\text{C}$   
絶対湿度  $H = 0.022\text{kg/kg}$

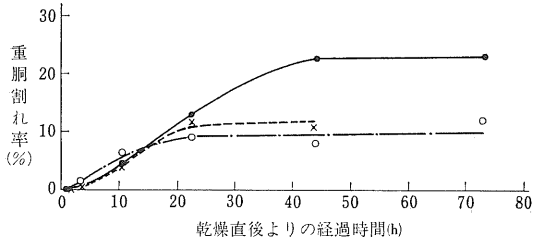
—○— 無通風 ×---× 1h通風 ○---○ 3h通風

第II-26図 重胴割れ率の増加状況

(2) 乾燥後、通風により急激に吸湿させたのち密閉貯蔵した場合、急激に乾燥させて密閉貯蔵したときと同様、胴割れ粒が時間とともに増加していく現象が認められた。この場合もほぼ48時間以内に安定するようである。

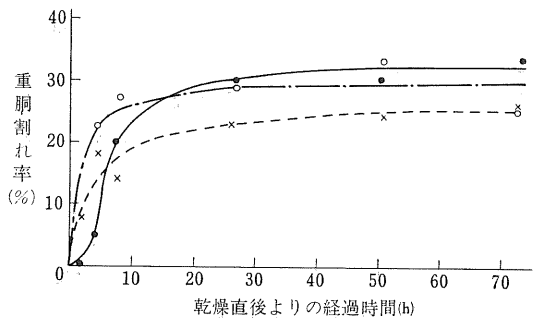
(3) 第II-25図にみられるように乾燥後、長時間密閉貯蔵されたものの胴割れが極度に発生するような条件で乾燥させた場合、これを急激に吸湿させると、最終的に達する胴割れの程度が変わらなくても、その達する時間がいちじるしく短縮されることがある。

(4) 乾燥後、粒が吸湿するような条件の空気を通風し



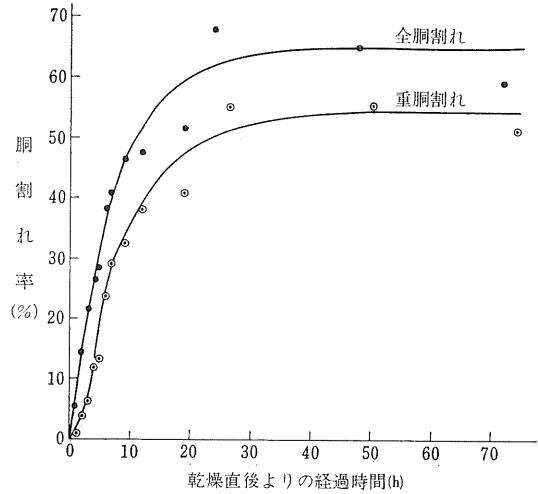
実験番号9における状況，送風温度  $t = -0.1^{\circ}\text{C}$   
絶対湿度  $H = 0.003\text{kg/kg}$

●—● 無通風    ×---× 1h通風    ○—○ 3h通風  
第II-27図 重胴割れ率の増加状況



実験番号10における状況，送風温度  $t = 20.0^{\circ}\text{C}$   
絶対湿度  $H = 0.012\text{kg/kg}$

●—● 無通風    ×---× 1h通風    ○—○ 3h通風  
第II-28図 重胴割れ率の増加状況



実験番号11における状況，乾燥後密閉貯蔵  
第II-29図 胴割れ率の増加状況

た場合，通風後密閉貯蔵して胴割れが安定した状態における胴割れ率は乾燥直後直ちに密閉貯蔵されたものが終極に達する胴割れ率より，吸湿条件によっては大きくなる場合もあるし（第II-26図），むしろ小さくなる場合もある（第II-27図）。一度発生した米粒内の水分傾斜を減らす作用をするような状態であれば終極に達する胴割れ粒は少なくなるし，また，逆に，はげしく吸湿がおこるような場合は逆の水分傾斜による歪を助長し，終極に達する胴割れ粒を多くするのではないと思われる。

### III

## 薄い層における間欠通風乾燥の 場合の乾燥速度と胴割れ

### A. 概 説

穀に間欠的に通風して乾燥する場合、どのような間隔で通風を休止し、また通風時の空気温度や通風時間をどのようにすれば胴割れの発生を少なくして、乾燥しうるかを予知することは実際の乾燥機の設計のさいや運転の方法を決めるときに必要である。

一方、間欠的に通風した場合の胴割れに関係する因子はきわめて多く、一定の性状の穀をとってみても、(1)乾燥開始時の含水率、(2)そのときの穀の温度、(3)最初に通風するまでの乾燥、吸湿の履歴（乾燥開始時の米粒内の水分分布の状態）、(4)通風時の空気の温度、(5)同空気の湿度、(6)単位穀物量当りの風量、(7)同風量の少ない場合は穀の移動の状態、(8)通風時間、(9)通風休止時間、(10)通風終了時の含水率、(11)通風休止時の貯蔵条件、(12)通風終了

後胴割れ調査時までの貯蔵条件などがある。(4)、(8)、(9)などは必ずしも乾燥が完全に終了するまでの何回かの通風において一定でないこともあり、それらの組合せ全部について実験し、胴割れがどの程度おこるかを予知する方法を確立することはきわめて困難なことである。ここではその基礎的な資料を提供する意味で試験を行なうものである。

ここでは乾燥の基本的な形である薄い層の状態における穀について、休止時間をきわめて長くとした場合と、短い場合の2つにおいて試験を行なった結果を述べるが、通風休止時間が後の乾燥速度に与える影響をしらべる試験も補足的に行なったので、その結果もあわせて報告する。

### B. 通風休止時間および休止時の貯蔵温度が後の乾燥速度に与える影響

#### 1. 目的

穀に通風を間欠的に行なって間欠乾燥する場合、通風休止後の貯蔵温度や休止時間が次の乾燥における乾燥速度に与える影響を知ろうとするものである。

#### 2. 方法

実験装置はⅡ・Bで報告したものと同一恒温恒湿空気発生装置を含む一連のものをを用いた。この装置を用い、まず一定時間、一定温度、湿度の空気を送って1次乾燥を行ない、この穀を種々な時間、一定の温度中に密閉貯蔵し、さらに1次乾燥時と同じ送風温度・湿度で2次乾燥を行ない、2次乾燥時の含水率の時間的変化を求めた。乾燥はⅡ・Bの実験と同様、風量比がきわめて大きい薄い層の状態で行なった。

含水率の測定は10g粒-100°C-24h法で行なった。なお、実験に使用した穀は0°C中に長時間貯蔵し、乾燥開始約15時間前に0°Cより30°Cの定温器中に移してから、

乾燥を開始した。使用した穀は農機研附属農場で9月に収穫されたもので品種はトネワセであった。

#### 3. 結果および考察

2次乾燥時の乾燥速度の変化をみるのには種々の方法が考えられるが、ここではその1つとして2次乾燥開始より一定時間経過後の含水率の高低と他の1つは2次乾燥時において、一定の含水率に達するまでに要する時間の長短についてみることにした。本報告では前者を主として考察することにした。これらの実験結果を実験条件とあわせて、第Ⅲ-1表に示す。

第Ⅲ-1図は上の表の作製に先だち、休止時間中の温度と休止時間の違いによって、2次乾燥における乾燥曲線がどのように変わるかを知るために作製した図である。この図より第Ⅲ-1表に示す数値を導き出したものである。

第Ⅲ-2図(a)は同一条件で1次乾燥がなされた場合、通

第Ⅲ-1表 実験条件および結果

——通風休止中の初貯蔵温度および通風休止時間 $\theta_R$ と2次乾燥時間が一定の時の

2次乾燥後の含水率Mおよび一定含水率まで乾燥するに要する時間 $\theta_D$ との関係——

実験 番号	送風条件		1次 乾燥 時間 min	通風休 止中 の温 度 ℃	2次 乾燥 時間 min	通風 休止 時 含水 率 %	通風休止時間 $\theta_R$ と2次乾燥時間に 対応する乾燥時間 $\theta_D$										通風休止時間 $\theta_R$ と2次乾燥後の含水率に 対応する乾燥時間 $\theta_D$															
	絶対 湿度 ℃	初期 含水 率 %					通風休止時間 $\theta_R$ と2次乾燥時間に 対応する乾燥時間 $\theta_D$					2次乾 後の 含水率 %					通風休止時間 $\theta_R$ と2次乾燥後の含水率に 対応する乾燥時間 $\theta_D$					通風休止時間 $\theta_R$ と2次乾燥後の含水率に 対応する乾燥時間 $\theta_D$										
							0h	1h	2h	4h	6h	8h	11h	16h	24h	48h	0h	1h	2h	4h	6h	8h	11h	16h	24h	48h						
1	500.010	26.5	15	30	10	22.4	21.6	20.5	20.4	20.3	—	—	20.0	20.0	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	20.0	30	17	14	14	—	—	10	9	8	7	
							21.6	20.5	20.3	20.3	—	—	20.0	20.1	19.8	19.8	20.0	30	17	13	13	—	—	—	—	—	39	31	28	—	—	12
2	500.010	26.4	30	30	10	21.2	20.5	19.4	19.1	18.9	—	18.8	—	18.8	18.8	18.8	18.7	19.0	—	—	—	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
							20.5	19.4	19.3	19.0	—	18.8	—	18.8	18.8	18.7	19.0	—	18.8	18.8	18.7	19.0	—	—	—	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
3	500.010	23.7	30	20	10	18.9	18.4	—	17.4	—	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							18.4	—	17.3	—	16.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	500.010	21.4	30	20	10	17.0	17.3	—	16.3	—	15.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							17.3	—	16.1	—	15.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	500.010	21.4	30	30	30	17.0	17.3	—	15.8	—	15.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							17.3	—	15.8	—	15.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	500.010	21.4	30	20	10	17.0	16.5	—	15.9	—	15.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							16.5	—	15.6	—	15.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	500.010	21.4	30	30	30	17.0	16.5	—	15.3	—	15.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							16.5	—	15.3	—	15.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	500.010	21.4	30	20	10	17.0	15.7	—	14.9	—	14.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							15.7	—	14.7	—	14.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	500.010	21.4	30	30	30	17.0	15.7	—	14.2	—	14.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							15.7	—	14.3	—	14.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	500.010	21.4	30	50	10	17.0	15.7	—	14.3	—	14.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							15.7	—	14.3	—	14.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

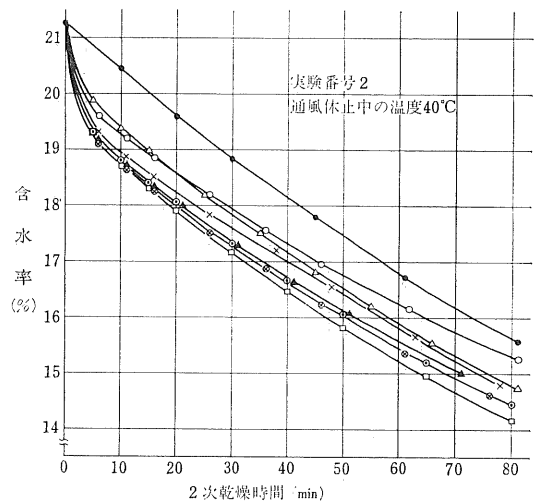
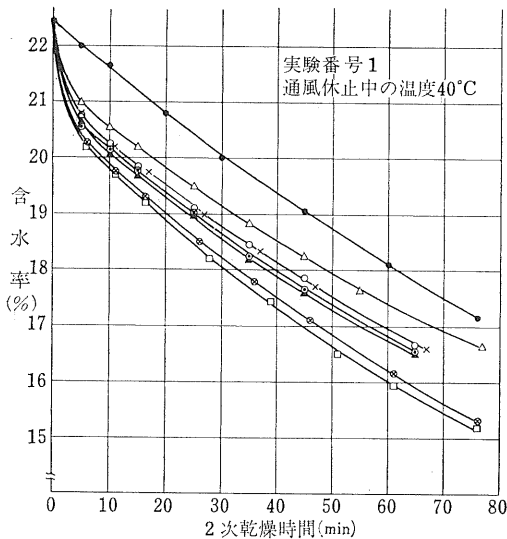
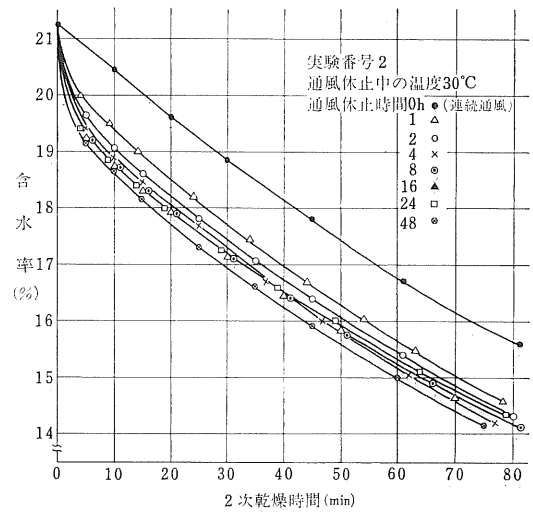
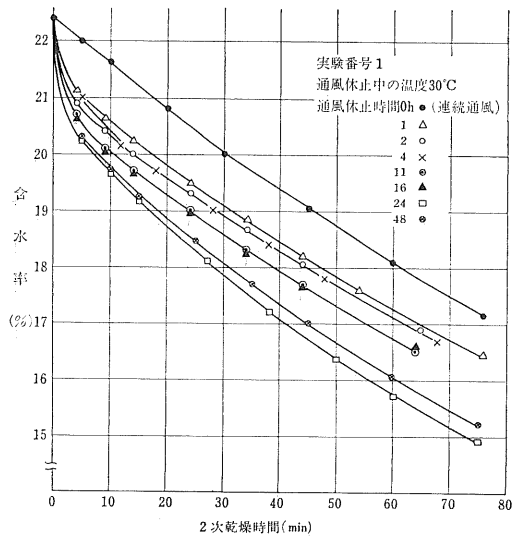
風休止時間とその休止時間中の穀の貯蔵温度の相違によって、2次乾燥のさいに一定時間経過後の含水率の違いを、2次乾燥時間が10分のもとの30分のものとの2通りにおいて示したものである。

第Ⅲ-2図(b)は同一条件で1次乾燥がなされた場合、通風休止時間と、その休止時間中の穀の貯蔵温度の相違によって、2次乾燥のさいに一定含水率に達するまでの時間の違いを、含水率15.5%および14.5%に達するまでの2通りの時間について示したものである。

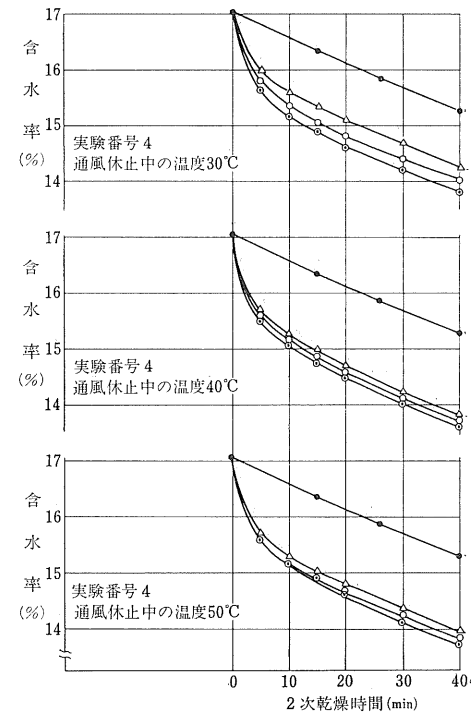
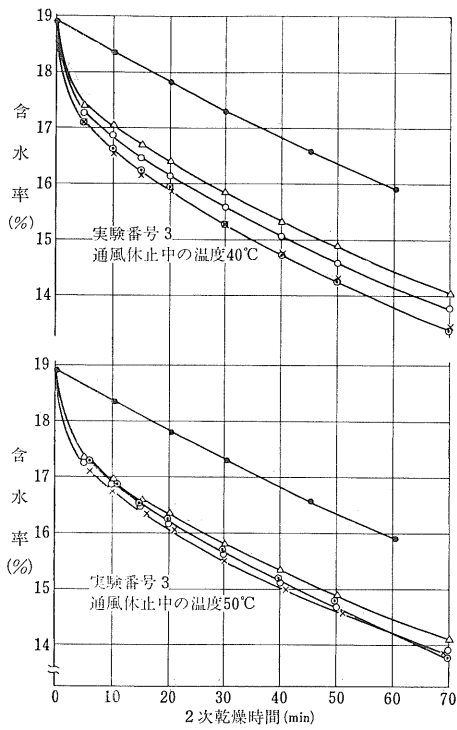
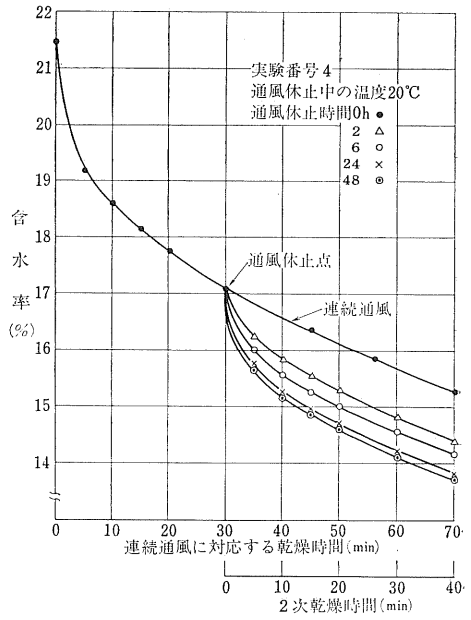
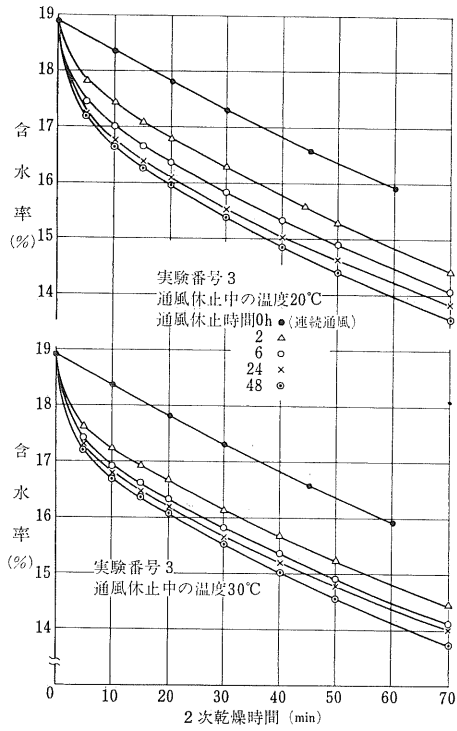
なお、第Ⅲ-2図は実験番号4についての例を示したものである。

以上の結果より次のようなことが判明した。

(1) 第Ⅲ-2図に示すように通風休止時間が長くなるほど一定時間経過後の含水率が低く、また一定含水率に達するまでの時間が短くなる。すなわち、連続乾燥の場合より2次乾燥における乾燥速度が速くなるが、休止時間が非常に長くなると、もはや休止時間の長短にはその乾燥速度が影響されなくなる。この休止時間に影響されなくなる状態は粒内の水分が平衡化した状態とみることができる。この平衡化した状態を水分安定状態、まだ平衡化しない状態を水分不安定状態と呼ぶことにする。どの程度の休止時間をとればこのような水分安定状態にな

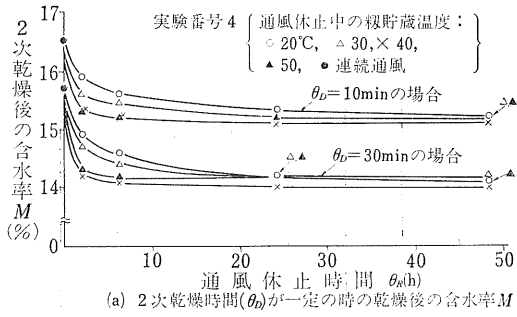


第Ⅲ-1図 通風休止時間と2次乾燥曲線

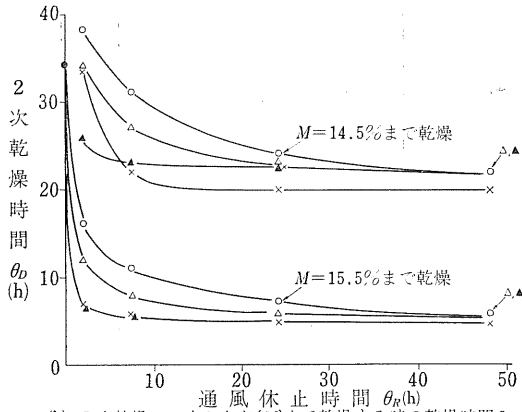


第Ⅲ-1図 通風休止時間と2次乾燥曲線(つづき)





(a) 2次乾燥時間 $\theta_D$ が一定の時の乾燥後の含水率 $M$



(b) 2次乾燥で一定含水率 $(M)$ まで乾燥する時の乾燥時間 $\theta_D$

第Ⅲ-2図 通風休止時間と休止時間中の貯蔵温度と  
休止時間後の2次乾燥の乾燥状況

るか、また、休止時間の影響をうけなくなる時間と休止時の貯蔵温度の関係を明確にするため、次のような計算を行なった。

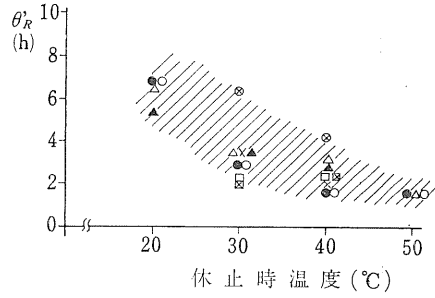
通風休止時間を  $\theta_R$  時間とし、2次乾燥において一定時間経過後の含水率を  $M(\%)$ 、休止時間がきわめて長い場合の  $M(\%)$  に相当する値を  $M_E(\%)$  とすると、これらの関係は次の式であらわされる。

$$M - M_E = ae^{-k\theta_R}$$

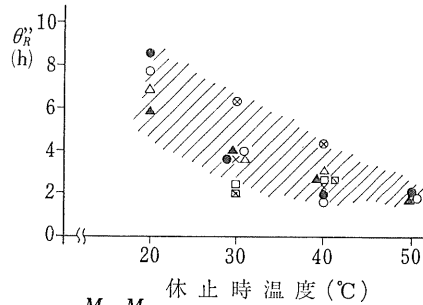
ただし、 $a$ 、 $k$ ：1次および2次乾燥の条件、休止中の温度等によって変わる常数、 $\theta_R$  が0のときの2次乾燥における一定時間経過後の含水率を  $M_0(\%)$  とすると  $a$  は  $M_0 - M_E$  となる。

第Ⅲ-1表に示す実験条件の各々について、 $M_E$ 、 $a$ 、 $k$  を求め、これより  $M - M_E$  が  $M_0 - M_E$  の  $x=5, 10, \dots, 50\%$  に達するまでの時間および  $M$  と  $M_E$  の差を  $\Delta M(\%)$  とするとき、この  $\Delta M$  が  $0.1, 0.2, \dots, 0.5\%$  に達する時点の休止時間を計算した結果を第Ⅲ-2表に示す。

仮りに、この  $\Delta M_E$  が  $0.2\%$  になったときを水分安定状態とすると、もちろんこの水分安定状態に達するまでの時間は1次乾燥の乾燥条件にも左右されるが、本実験のような条件の範囲で、しかも乾燥休止中の室温が  $20 \sim 40$



a)  $\Delta M = M - M_E(\%)$  が  $0.2\%$  のときの休止時間  $\theta_R$



b)  $x = \frac{M - M_E}{M_0 - M_E} \times 100(\%)$  が  $10\%$  のときの休止時間  $\theta_R$

(注) (1) 2次乾燥で定時間経過後の含水率  $M$ 、同じ乾燥時間で休止時間が  $\infty$  の時に達する含水率  $M_E$ 、同じく休止時間が0の場合の含水率を  $M_0$  とした場合  
(2) 実験条件

	×	⊗	□	⊠	▲	△	●	○
実験番号	1	1	2	2	3	3	4	4
2次乾燥時間 (min)	10	30	10	30	10	30	10	30

第Ⅲ-3図 2次乾燥にほとんど影響を与えなくなる  
休止時間  $\theta'_R, \theta''_R$

$^{\circ}\text{C}$ 程度では8時間以内でほとんどすべて水分安定状態に達するが、大部分は4時間以内においてこの状態に達している(第Ⅲ-3図参照)。厳密に言えばそれ以上の時間でもなお乾燥状況がわずかに変化するともいえるが、ほとんどすべての条件において48時間経過すると水分安定状態に達するようである(第Ⅲ-2表、第Ⅲ-2図参照)。

(2) 休止中の貯蔵温度の影響

一般に予想されるように休止中の貯蔵温度が高いほど、休止後の2次乾燥は速くなる傾向にある(第Ⅲ-2図、第Ⅲ-2表参照)。

水分安定状態に達する休止時間を  $\Delta M = 0.2\%$  の点でとり、これを  $\theta'_R$  とし、さらに  $M - M_E$  が  $M_0 - M_E$  の  $10\%$  になるときの時間を  $\theta''_R$  とすると、第Ⅲ-3図に示すように温度によって  $\theta'_R, \theta''_R$  に差を生じ、 $\theta'_R, \theta''_R$  は温度が低いほど長い。

第Ⅲ-2表 休止時間 $\theta_R$ が2次乾燥に与える影響の程度

—実験式より計算した値—

実験番号	2次乾燥時間	通風休止中温度	$M_0$	計算された $M - M_E = (M_0 - M_E)e^{-k\theta_R}$ について														
				$M_E$	$a = \frac{M_0 - M_E}{M_E}$	$k$	$\Delta M = M - M_E$ が $a$ の $x\%$ に達する 休止時間(h)						$(M_E + \Delta M\%)$ に達する休止 時間(h)					
							x = 5	10	20	30	40	50	$\Delta M = 0.1$	0.2	0.3	0.4	0.5	
1	10	30	21.6	19.90	1.70	0.612	4.90	3.76	2.63	1.97	1.50	1.13	4.63	3.50	2.84	2.37	2.00	
		40	21.6	20.00	1.60	1.000	3.00	2.30	1.61	1.20	0.92	0.69	2.77	2.08	1.67	1.39	1.16	
	30	30	20.0	17.90	2.10	0.371	8.08	6.21	4.34	3.25	2.47	1.87	8.21	6.34	5.25	4.47	3.87	
		40	20.0	18.15	1.85	0.523	5.73	4.40	3.08	2.30	1.75	1.33	5.58	4.25	3.48	2.93	2.50	
	2	10	30	20.5	18.80	1.70	0.954	3.14	2.41	1.69	1.26	0.96	0.93	2.97	4.24	1.82	1.52	1.28
			40	20.5	18.80	1.70	0.827	3.62	2.79	1.95	1.46	1.11	0.84	3.43	2.59	2.10	1.75	1.48
30		30	18.9	17.15	1.75	1.065	2.81	2.16	1.51	1.13	0.86	0.65	2.69	2.04	1.66	1.39	1.18	
		40	18.9	17.30	1.60	0.781	3.84	2.95	2.06	1.54	1.17	0.89	3.55	2.66	2.14	1.78	1.49	
3	10	20	18.4	16.75	1.65	0.390	7.68	5.90	4.13	3.09	2.35	1.78	7.19	5.41	4.37	3.63	3.06	
		30	18.4	16.80	1.60	0.582	5.15	3.96	2.77	2.07	1.58	1.19	4.77	3.58	2.88	2.38	2.00	
		40	18.4	16.65	1.75	0.805	3.72	2.86	2.00	1.50	1.14	0.86	3.56	2.70	2.19	1.83	1.56	
		50	18.4	16.75	1.75	1.199	2.50	1.92	1.34	1.00	0.76	0.58	2.34	1.76	1.42	1.18	1.00	
	30	20	17.3	15.45	1.85	0.333	8.99	6.91	4.83	3.61	2.75	2.08	8.76	6.68	5.46	4.60	3.93	
		30	17.3	15.60	1.70	0.612	4.90	3.76	2.63	1.97	1.50	1.13	4.63	3.50	2.84	2.37	2.00	
		40	17.3	15.40	1.90	0.779	3.85	2.96	2.07	1.55	1.18	0.89	3.78	2.89	2.37	2.00	1.71	
		50	17.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4	20	16.5	15.25	1.25	0.270	11.11	8.54	5.97	4.47	3.40	2.57	9.37	6.80	5.29	4.23	3.40
			30	16.5	15.25	1.25	0.636	4.71	3.62	2.53	1.89	1.44	1.09	3.97	2.88	2.24	1.79	1.44
4	10	40	16.5	15.15	1.35	1.099	2.73	2.10	1.47	1.10	0.83	0.63	2.37	1.74	1.37	1.11	0.90	
		50	16.5	15.15	1.35	1.099	2.73	2.10	1.47	1.10	0.83	0.63	2.37	1.74	1.37	1.11	0.90	
		30	20	15.7	14.20	1.50	0.301	9.96	7.66	5.35	4.00	3.05	2.31	9.01	6.70	5.35	4.40	3.65
			30	15.7	14.25	1.45	0.585	5.12	3.94	2.75	2.06	1.57	1.19	4.57	3.39	2.69	2.20	1.82
30	40	15.7	14.05	1.65	1.199	2.50	1.92	1.34	1.00	0.76	0.58	2.34	1.76	1.42	1.18	1.00		
	50	15.7	14.15	1.55	1.168	2.57	1.97	1.38	1.03	0.79	0.59	2.35	1.75	1.41	1.16	0.97		

(3) 総合的な考察

実験では1次乾燥の送入空気温度、湿度の条件が一定であって、2次乾燥開始時の粒内の水分の分布の状況に関して広い範囲の実験を行っていないが、1次乾燥における送風温度が比較的高いこと、乾燥時間が実用的なこの種の乾燥を行なう10~30分程度にとっていることからみて、実際的な乾燥には水分の不均衡化がこの程度かまたはこれ以下のものから2次乾燥が開始される場合が多いと推定され、以上の実験結果から、休止時間が4時間程度でも一般的にかなりの平衡化が進み、ほとんどすべての場合、休止時間を48時間にとれば次の乾燥には休止時間の影響がなくなるものと考えてよい。

またこの結果を別の観点に立ってみると、乾燥開始時の単なる含水率(初期含水率)の数値および送風の温度、湿度、風量のみでは乾燥特性を決定しえないということであって、乾燥特性を論ずる場合には初期含水率のみではなく、分布を示す要素を加味したものでなくてはならない。

この要素を究明し、この要素を数量化する方法を開発することは現在のところ非常に困難なことであるが、乾燥に関する挙動をしらべる場合には、少なくとも初期含水率は水分安定状態であったか否かの区別はつけるべきである。一般には水分安定状態で行なったものが価値をもつであろう。

### C. 通風休止時間がきわめて長い場合の乾燥条件と胴割れの関係

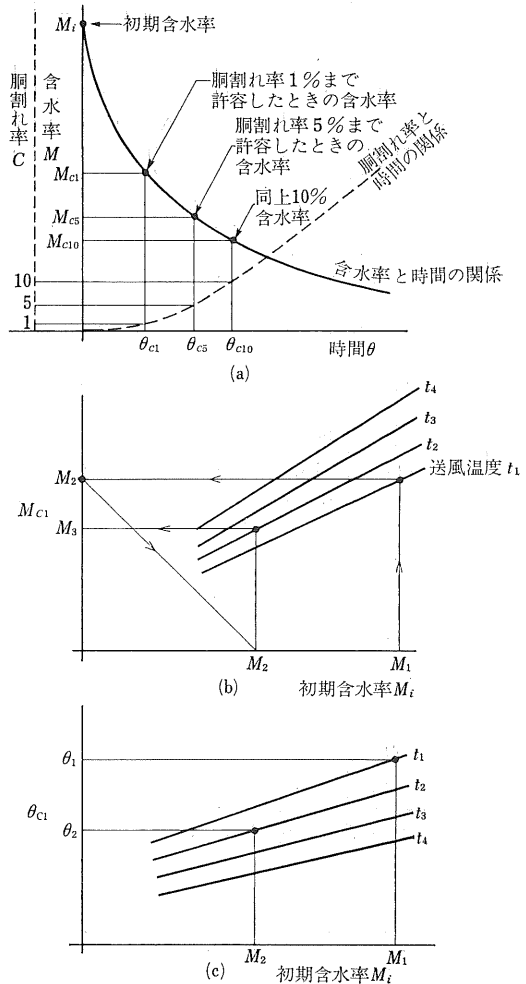
#### 1. 目的

薄い層の間欠通風乾燥において休止時間をきわめて長くとり、休止前の乾燥によって生じた米粒内の水分の分布を平衡化し、水分の歪をなくして次の乾燥に移るといふ方式をとった場合に、乾燥中の乾燥速度と一定の含水率に達したときの胴割れの状態を知ろうとするものである。

#### 2. 方法

Ⅲ・Aで述べたように、籾の性状が一定しており単位穀物量当りの風量がきわめて大きい薄い層で、休止時間をきわめて長くとした場合にも、乾燥後の胴割れ率に関係する因子は、(1)通風開始時の含水率、(2)乾燥開始時の籾の温度、(3)最初に通風するまでの乾燥、吸湿の履歴、(4)通風時の空気温度、(5)同空気の湿度、(6)通風時間、(7)通風終了時の含水率、(8)通風休止時の貯蔵条件、(9)通風終了時より胴割れ調査時までの貯蔵条件などがある。(4)、(6)など必ずしも乾燥が完全に終了するまでの何回かの通風において一定でないこともあり、それらの組合せ全部について実験し、それらと胴割れとの関係を求めることはきわめて困難なことである。今回は(2)、(3)、(5)、(8)、(9)の条件を一定として、(1)、(4)、(6)、(7)が任意に変わった場合、胴割れの発生が少ないか多いかを予想する方法として、次のようなものを考案し実験もその方法に基づいて行なった。

長時間(48時間以上)密閉貯蔵された種々の含水率の籾に、種々の温度の空気を送り、第Ⅲ-4図(a)のようにその乾燥曲線および、経時的に胴割れ粒の増加曲線を求める。次に、胴割れ率が1%、5%、10%発生する時点における含水率を図で求めると同時に、それぞれの乾燥時間を読む。いま、胴割れ率が1%、5%、10%発生する時点での含水率を $M_{c1}$ 、 $M_{c5}$ 、 $M_{c10}$ とし、乾燥開始時よりその時点までの時間をそれぞれ $\theta_{c1}$ 、 $\theta_{c5}$ 、 $\theta_{c10}$ とする。これらの $M_{c1}$ 、 $M_{c5}$ 、 $M_{c10}$ および $\theta_{c1}$ 、 $\theta_{c5}$ 、 $\theta_{c10}$ を種々の初期含水率の籾において、種々な温度の空気を送った場合について求め、第Ⅲ-4図(b)のように横軸に初期含水率、縦軸に $M_{c1}$ (または $M_{c5}$ 、 $M_{c10}$ )をとり、各温度 $t$ について図を作る。いま、任意の初期含水率 $M_1$ の籾を温度 $t_1$ の場合1回の乾燥において胴割れ率1%を許すとして降下しうる含水率 $M_2$ はこの図で直ちに求める。同様に胴割れ率5%、10%許すうる値を求めるグラフも



第Ⅲ-4図 1回の乾燥において一定の胴割れ率を許容する場合の初期含水率と乾燥後の含水率と乾燥時間を求める図の作製方法

横軸に初期含水率、縦軸に $M_{c5}$ 、 $M_{c10}$ をとることにより直ちに求める。

また、横軸に初期含水率を、縦軸に $\theta_{c1}$ (または $\theta_{c5}$ 、 $\theta_{c10}$ )をとれば1回の乾燥において胴割れ率が1%(または5%、10%)許容される場合の通風時間(送風温度にふれている時間)も求める図を作りうる(第Ⅲ-4図(c)参照)。

さて、間欠通風乾燥の場合においても、休止時間がき

わめて長いときには休止後、次の乾燥に移る際に穀粒内部の水分の平衡化が完全に行なわれた状態と考えられ、初期含水率で示される穀の状態になったと考えてよい。ゆえに、第Ⅲ-4図(b)において、まず最初の含水率が  $M_1$  のものを温度  $t_1$  で乾燥させ胴割れ率1%発生を許して  $M_2$  まで乾燥させ、休止時間を十分とって次に  $t_2$  の温度で乾燥する際は、横軸における  $M_2$  の位置から線を上に引き  $t_2$  の線との交点に相当する  $M_3$  まで乾燥させても胴割れ率は1%程度の増加にとどまるといふ推定ができる。もちろん、はじめ胴割れ率が1%のところのものと、0%のものとは後の胴割れの発生状況は異なると思われるが、いずれにしても、このような状態で乾燥させれば、それほど大きな胴割れを発生させずに  $M_3$  まで2回の乾燥で達することが推定されよう。乾燥時間もこの場合、第1回目の乾燥が  $\theta_1$ 、第2回目  $\theta_2$  と容易に求められよう。

かくして、このような図を用いれば任意の温度、任意の初期含水率の場合の間欠通風乾燥の状況が、前述のような制限条件はあるにしても、ある程度把握しうる。

実験としてはⅡ・Bで用いたと同じ恒温恒湿空気発生装置をもつ実験装置を用いて、第Ⅲ-3表のような条件で乾燥試験を行ない、前述のようなグラフを作製した。なお、籾は農機研附属農場において9月に収穫されたもので品種はトネワセであった。

第Ⅲ-3表 実験時の籾の初期含水率と送風温度条件

実験番号	初期含水率	乾燥時送風温度	実験番号	初期含水率	乾燥時送風温度
	%	°C		%	°C
1	25.7	40.0	9	21.1	55.0
2	25.6	60.0	10	20.8	65.0
3	25.5	50.0	11	21.0	45.0
4	25.7	70.0	12	21.1	70.0
5	22.9	50.0	13	16.7	55.0
6	23.1	60.0	14	16.8	65.0
7	23.2	40.0	15	16.7	45.0
8	23.2	70.0	16	16.5	70.0

(注) 送入空気の絶対湿度は0.010kg/kg。

胴割れは手むき玄米を透視法により重胴割れと軽胴割れに区別して調査したが、本章で述べる胴割れは特に明記しないかぎり重胴割れで示すことにする。調査粒数は1つの温度、湿度、初期含水率の実験について乾燥経過中の1点のサンプルに対し、200粒とした。乾燥中または乾燥直後の試料採取から、胴割れ調査までは55時間前夜30°C中に密閉貯蔵した。なお、実験開始時における籾

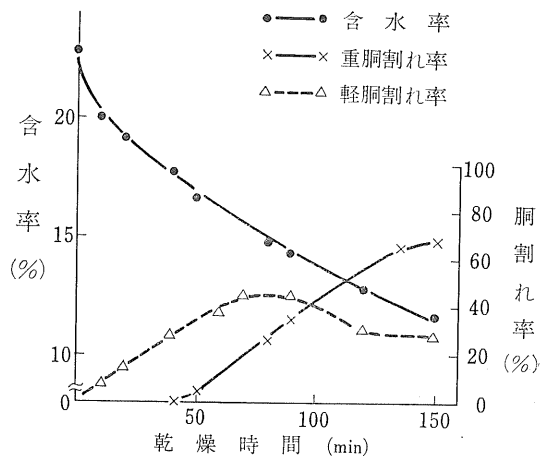
はいずれも重胴割れ率0%である。

籾の温度と、乾燥開始時の粒内の水分分布を均一にするために、常温通風乾燥によって、所定の含水率に調整した材料を72時間以上、0°C中に貯蔵し、実験の約15時間前に30°C中の恒温槽に密閉貯蔵して実験に供した。なお、乾燥前後、途中の籾の含水率は10g粒-100°C-24h法によって測定した。

なお、本報告の図中にプロットしてある点数は第Ⅲ-3表の実験条件の点数の倍となっているが、これらの点は内挿法によって求めたものである。

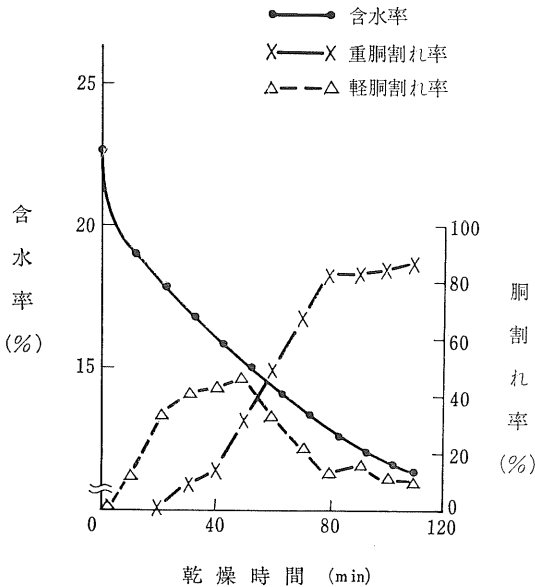
### 3. 結果および考察

第Ⅲ-3表に示す実験条件で行なった乾燥曲線と胴割れ率の増加の程度を示す例を第Ⅲ-5図、第Ⅲ-6図に示す(第Ⅲ-4図(a)に相当する図)。これらの実験より求めた初期含水率と1回の乾燥において胴割れ率1%、5%、10%許容した場合の乾燥後の含水率との関係の図を第Ⅲ-7図~第Ⅲ-9図に示す(第Ⅲ-4図(b)に相当する図)。また、初期含水率と1回の乾燥において胴割れ率1%、5%、10%許容する場合の乾燥時間との関係を第Ⅲ-10図~第Ⅲ-12図(第Ⅲ-4図(c)に相当する図)に示す。この図より前述の方法で述べたような使用法によって種々な場合の胴割れ発生を推定しうる。しかし、これは一品種についての場合であり、乾燥時の風量はきわめて大、湿度0.010kg/kgの状況である。また胴割れ率がそれぞれ1%、5%、10%発生する可能性のある含水率まで乾燥したときの平均乾燥速度と初期含水率と送風温度との関係を図に示すと第Ⅲ-13図~第Ⅲ-15図のごとくである。これらの図より、許容する胴割れ率が高くなるほど、同一送風温



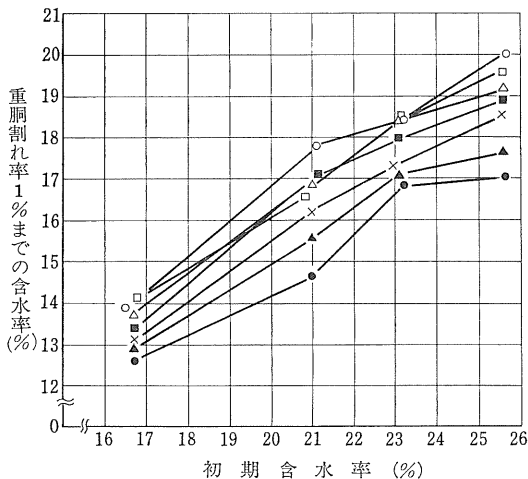
送風温度 50°C, 絶対湿度 0.010kg/kg  
初期含水率 22.9%

第Ⅲ-5図 乾燥の過程と胴割れ率の増加例



乾燥時間 (min)  
送風温度 60°C, 絶対湿度 0.010kg/kg  
初期含水率 22.9%

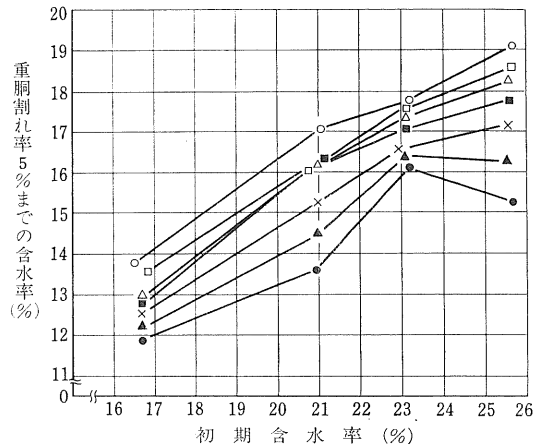
第Ⅲ-6図 乾燥の過程と胴割れ率の増加例



送風温度: ● 40°C ▲ 45 × 50 ■ 55  
△ 60 □ 65 ○ 70

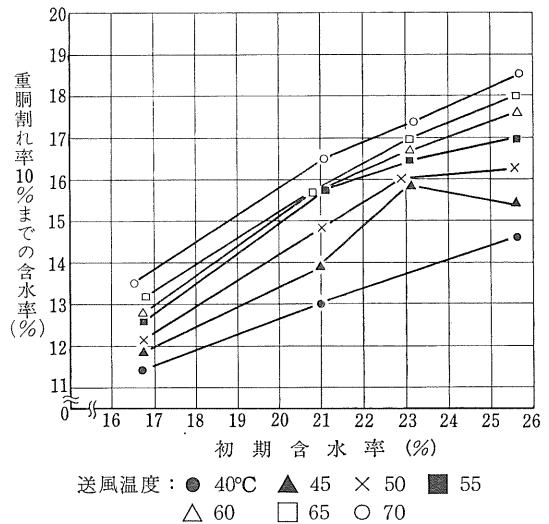
第Ⅲ-7図 初期含水率と1回の乾燥に重胴割れ率1%許容する場合の乾燥後の含水率

度, 同一初期含水率においても乾燥速度は遅くなっていることがわかる。この平均乾燥速度は, ある胴割れが発生する点の含水率を乾燥後含水率として計算してあり, 一方, 1つの乾燥の過程で含水率が低くなるほど乾燥速度が遅くなり(第Ⅱ-16図, 第Ⅱ-17図参照), また含水率の低下に伴って胴割れ率が増加することを考え合わせれ



送風温度: ● 40°C ▲ 45 × 50 ■ 55  
△ 60 □ 65 ○ 70

第Ⅲ-8図 初期含水率と1回の乾燥に重胴割れ率5%許容する場合の乾燥後の含水率



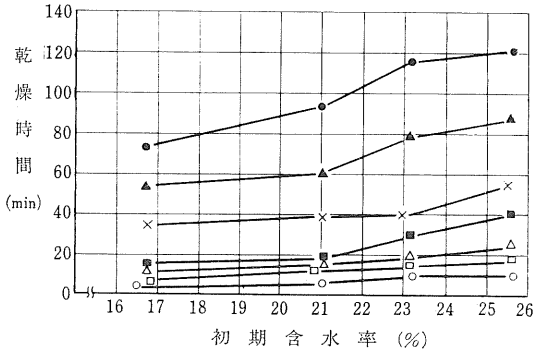
送風温度: ● 40°C ▲ 45 × 50 ■ 55  
△ 60 □ 65 ○ 70

第Ⅲ-9図 初期含水率と1回の乾燥に重胴割れ率10%許容する場合の乾燥後の含水率

ば, 前述のことが理解できるであろう。これらの理由により, 平均乾燥速度で乾燥機の性能を評価するときには, 胴割れや乾減含水率などとの関係を明確にしておく必要があることがわかる。

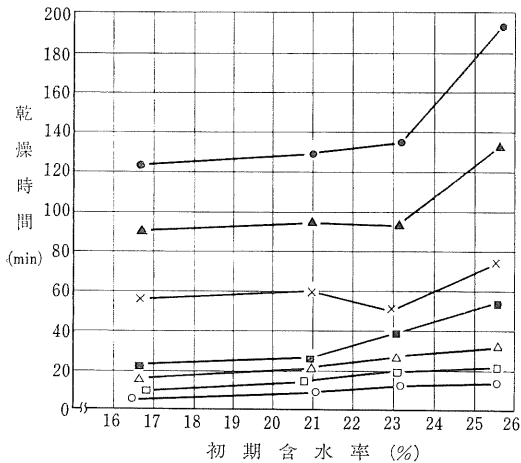
前述のような種々な図より, 次のことが判明した。

(1) 初期含水率と1回の乾燥において胴割れが一定の値まで許されたときの乾減含水率の関係をみると, 高含水率の場合ほど, 同一温度, 湿度における乾燥条件では多くの降下が見込め, かつ許容する胴割れ率の値が大き



送風温度：● 40°C ▲ 45 × 50 ■ 55  
△ 60 □ 65 ○ 70

第Ⅲ-10図 初期含水率と1回の乾燥に重胴割れ率1%許容する場合の乾燥時間



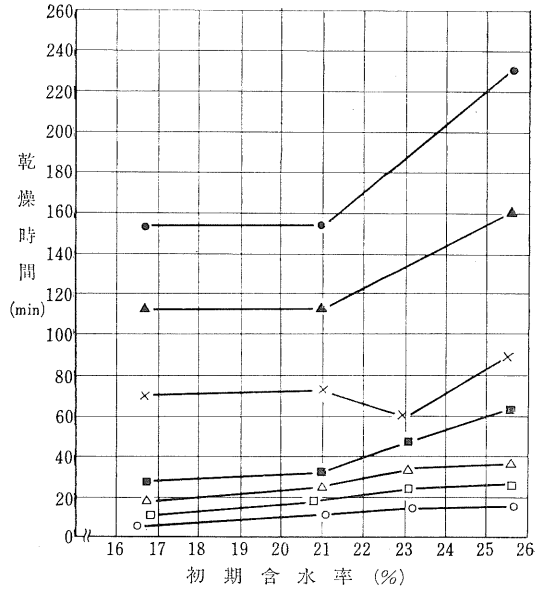
送風温度：● 40°C ▲ 45 × 50 ■ 55  
△ 60 □ 65 ○ 70

第Ⅲ-11図 初期含水率と1回の乾燥に重胴割れ率5%許容する場合の乾燥時間

いほど大きい(第Ⅲ-7図~第Ⅲ-9図)。また一定の初期含水率からの乾燥においては、その乾減含水率は送風温度が高いほど小さくなる。

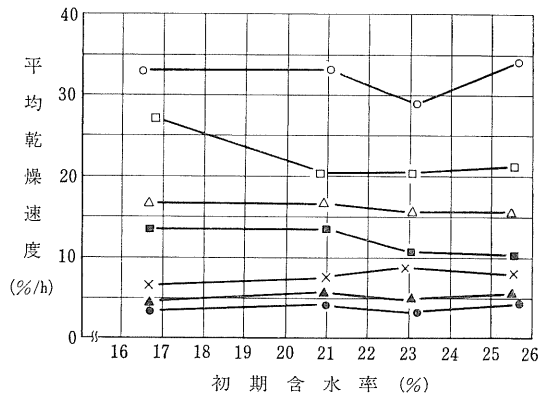
(2) 送風温度が一定の場合、初期含水率が高いほど、やや乾燥時間を長くしうる(第Ⅲ-10図~第Ⅲ-12図)。このことは、通風時間や送風温度が一定である間欠通風乾燥においては、含水率が低くなった後期の乾燥ほど1回の乾燥における胴割れが多くなるおそれがあることを意味する。

(3) 胴割れの発生がある一定の値になる含水率まで乾燥したときの平均乾燥速度と初期含水率の関係をみると、同一送風温度では初期含水率によってさほど影響をうけない(第Ⅲ-13図~第Ⅲ-15図)。



送風温度：● 40°C ▲ 45 × 50 ■ 55  
△ 60 □ 65 ○ 70

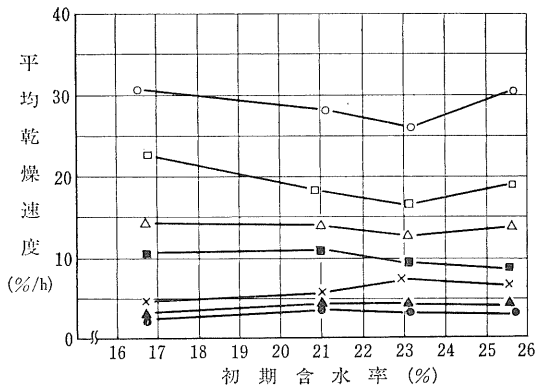
第Ⅲ-12図 初期含水率と1回の乾燥に重胴割れ率10%許容する場合の乾燥時間



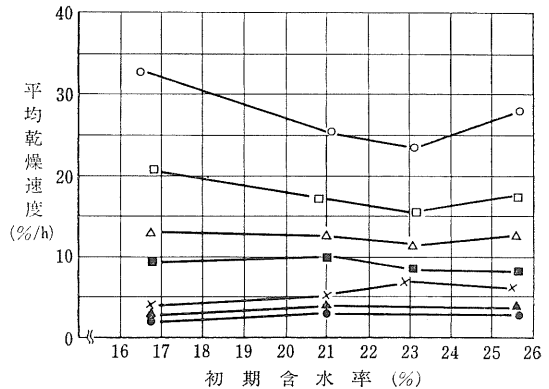
送風温度：● 40°C ▲ 45 × 50 ■ 55  
△ 60 □ 65 ○ 70

第Ⅲ-13図 初期含水率と1回の乾燥に重胴割れ率1%許容する含水率まで降下したときの平均乾燥速度

また、送風温度が高いほど、平均乾燥速度を上げる。このことは終極に達する含水率に制限がないとき、送風温度を高くするほど胴割れを発生させないで乾燥機の収容容量を小さくしても能力を上げることを意味するが、乾燥時間のコントロールや他の品質の面からは必ずしも有利でない点もあるので、このことは注意する必要がある。



第Ⅲ-14図 初期含水率と1回の乾燥に重割れ率5%許容する含水率まで降下したときの平均乾燥速度



第Ⅲ-15図 初期含水率と1回の乾燥に重割れ率10%許容する含水率まで降下したときの平均乾燥速度

### D. 通風休止時間が短い場合の乾燥条件と胴割れの関係

#### 1. 目的

間欠通風乾燥において通風休止時間が短く、次の乾燥までの間に粒内の水分の分布が平衡状態に達していない場合の状況を把握しようとするものである。間欠通風乾燥といってもその通風乾燥時間、休止時間のとり方に非常に多くの場合が考えられる。ここでは1回の通風乾燥時間および休止時間は種々な値をとるが、その各々が乾燥開始より終了までの間、同じであるような場合を考えて実験を行なった。なお、この結果は靱を収容する乾燥箱が通風部と無通風のタンク部とに明確にわかれ、靱が通風部とタンク部を交互に移動しながら乾燥されるような循環式乾燥機の乾燥状況を把握する目的にも、利用しうるよう実験条件を設定したものである。

#### 2. 方法

実験装置は靱堆積面積  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  の試料容器をさらに4分割する4個の試料容器を作り、各々に60gずつ計240gの靱を入れ、この靱に一定の温度、湿度の空気を発生しうる装置(Ⅱ・Bにおいて用いたものと同じもの)で得られた恒温、恒湿の空気を風量比約  $20 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ kg}$  程度にして送風した。この時の通風乾燥時間と休止時間の組合せ条件を第Ⅲ-4表に示す。また、このような組合せ条件で実験を行なった時の通風、休止の組合せと経過時間の関係を第Ⅲ-16図に示す。4個の試料容器のうち、1個の試料容器では靱に連続通風し、他の容器では通風・

第Ⅲ-4表 実験時の通風・休止時間の組合せ条件

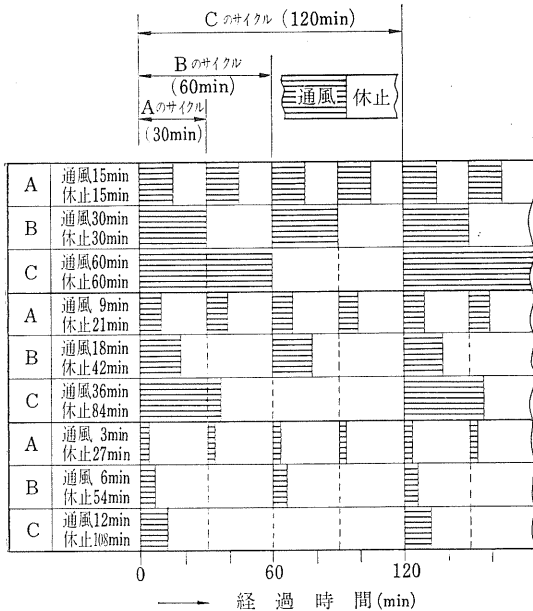
実験組合せ番号	通風時間と休止時間比	乾燥条件							
		10:0		5:5		3:7		1:9	
		通風時間	休止時間	通風時間	休止時間	通風時間	休止時間	通風時間	休止時間
A	30	連続通風	15	15	9	21	3	27	
B	60	連続通風	30	30	18	42	6	54	
C	120	連続通風	60	60	36	84	12	108	

(注) 1サイクルとは1回の通風および休止時間の合計である。

休止時間の組合せがそれぞれ異なる条件で間欠通風乾燥を行なった。

供試材料は10月初旬に自脱コンバインで収穫された含水率24%の靱(品種:日本晴)であった。得られた靱を1回唐箕選し、300g程度入る茶筒にいっぱいにして密閉したものを10個ほどつくり、これらを2~4°Cの低温貯蔵庫に入れておき、実験開始約15時間前に20°C中の定温機に移しておいたものを実験に用いた。なお、試料の性状として、品目別分析重量歩合を第Ⅲ-5表に示す。

通風時間、休止時間はすべて秒単位で規制し、通風直後の靱はその都度、直示天秤(秤量200g、感量1mg)で重量を測定した。休止時間中は、靱を60g程度はいる



第Ⅲ-16図 通風、休止時間の組合せと経過時間のダイヤグラム

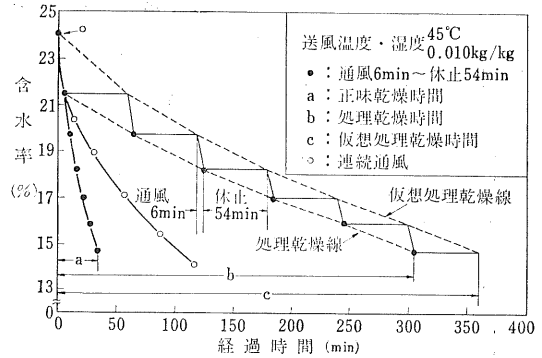
第Ⅲ-5表 供試材料の性状

供試 穀 の 品 種 : 日 本 晴		
品 目	分 析	重 量 歩 合 (%)
単 粒		89.9
穂 切 粒		0.3
枝 梗 付 着 粒		9.4
脱 稈 粒		0.3
碎 粒		0.1
わ ら 屑 ・ 異 物		0.0

秤量ビンに入れてパラフィンで密閉し、ビン中の穀が乾燥、吸湿することなく30°Cの温度を保つようにした状態で、恒温空気発生装置により発生した30°Cの一定温度の空气中に放置した。なお、この章で用いた恒温空気発生装置は、第Ⅱ-1図に示すような装置を別に試作し、送風温度だけの制御を行なえるようにしたものである。

乾燥後の米粒の胴割れは乾燥直後に試料を小さいガラスビンにいっぱいにして密閉し、30°Cの定温機に48時間以上貯蔵後取出し、これを手むきした玄米250粒について、透視法などによって調査した。

乾燥前後の含水率の測定は10g粒・100°C・24h法によって求め、乾燥途中の穀の含水率については、乾燥前後の含水率、重量とその時点での重量によって推定した。実験条件を第Ⅲ-6表に示す。



第Ⅲ-17図 乾燥過程の1例

### 3. 結果および考察

実験結果の主要なものを取りまとめて第Ⅲ-7表に示す。第Ⅲ-7表の平均乾燥速度は乾燥終了時の含水率が14.7~12.8%程度にとどめた場合である。また、それぞれの平均乾燥速度を第Ⅲ-17図の実験例に示すように3通りの乾燥時間(正味, 処理, 仮想処理)をもって計算した実平均乾燥速度, 処理平均乾燥速度, 仮想処理平均乾燥速度の3種類であらわした。なお、正味乾燥時間とは通風休止時間を除き通風時間のみを合計したものである。また、この場合第Ⅲ-17図に示すように処理乾燥線と仮想処理乾燥線を仮定して、それぞれより処理および仮想処理乾燥時間を求めたが、処理乾燥時間は通風休止時間を含めた乾燥時間であって、仮想処理乾燥時間とは乾燥終了時までの処理乾燥時間にさらに1回の通風休止時間を加えたものである。これらの乾燥時間および乾燥速度がもつ意味に関してはⅢ・D・3・5)を参照されたい。

第Ⅲ-18図~第Ⅲ-21図に処理乾燥線による乾燥過程を示す。

乾燥後の胴割れについて、ここでは、主として全胴割れ率で論ずるが、ここに全胴割れと穀物検査のさい被害粒となる重胴割れ率の関係を、本報告の実験範囲内において参考のために第Ⅲ-22図に示す。全胴割れ率10%を許す場合ということは、重胴割れ率にしてほしい5~7%を許すということになる。しかし、これはもちろん、穀の性状などにも関係して異なることに注意する必要がある。たとえば、穀によっては全胴割れ率が非常に多いが、重胴割れ率はわずかであるなどということである。

1) 通風時間と休止時間の比および1サイクルの所要時間、送風温度などが乾燥速度に与える影響

通風時の送風温度が同じであった実験で、乾燥開始から120分経過時までの乾燥過程の例を、通風・休止時間の比が同じで、1サイクルの所要時間のみ異なる場合と、



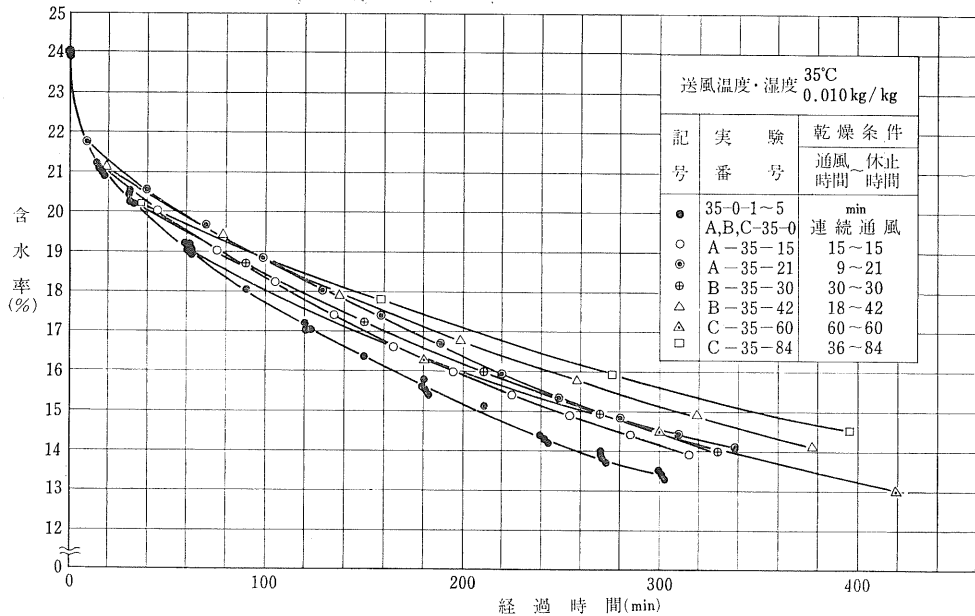
第Ⅲ-6表 実験条件

実験番号	初期含水率	送風		通風時間	乾燥条件
		温度	関係湿度		
	%	℃	%	min	
30-0-1	23.9	30	38	470	連続通風
30-0-2	23.9	//	//	470	//
30-0-3	23.9	//	//	470	//
30-0-4	23.9	//	//	470	//
35-0-1	23.9	35	29	300	連続通風
35-0-2	23.8	//	//	301	//
35-0-3	23.8	//	//	302	//
35-0-4	23.8	//	//	302	//
35-0-5	23.9	//	//	250	//
A-35-0	23.9	//	//	280	//
B-35-0	23.9	//	//	300	//
C-35-0	24.0	//	//	300	//
A-40-0	23.9	40	22	180	連続通風
B-40-0	23.9	//	//	180	//
C-40-0	23.9	//	//	180	//
A-45-0	24.0	45	19	118	連続通風
B-45-0	24.0	//	//	118	//
C-45-0	24.0	//	//	120	//
A-50-0	23.8	50	13	94	連続通風
A-35-15	24.0	35	29	165	15分通風15分休止
A-40-15	23.8	40	22	120	//
A-45-15	24.0	45	19	90	//
B-35-30	24.0	45	29	180	30分通風30分休止
B-40-30	23.9	40	22	120	//
B-45-30	24.0	45	19	90	//
C-35-60	24.0	35	29	240	60分通風60分休止
C-40-60	23.9	40	22	180	//
C-45-60	24.0	45	19	120	//
A-35-21	24.0	35	29	108	90分通風21分休止
A-40-21	23.9	40	22	90	//
A-45-21	24.0	45	19	63	//
B-35-42	24.0	35	29	126	18分通風42分休止
B-40-42	24.0	40	22	90	//
B-45-42	24.0	45	19	72	//
C-35-84	24.0	35	29	144	36分通風84分休止
C-40-84	24.0	40	22	108	//
C-45-84	24.0	45	19	108	//
A-40-27	24.0	40	22	42	35分通風27分休止
A-45-27	24.2	45	19	30	//
A-50-27	23.9	50	13	24	//
B-40-54	24.1	40	22	48	6分通風45分休止
B-45-54	24.0	45	19	42	//
B-50-54	23.9	50	13	36	//
C-40-108	24.0	40	22	60	12分通風108分休止
C-45-108	24.1	45	19	48	//
C-50-108	23.9	50	13	48	//

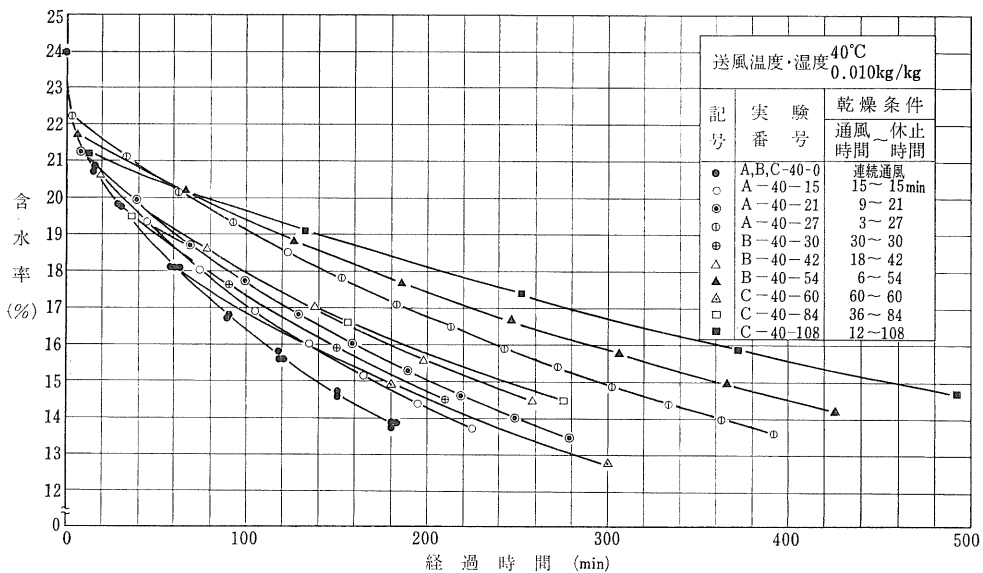
(注) (1) 乾燥前の胴割れ率は、重、軽ともに認められなかった。  
 (2) 送風絶対湿度は0.010kg/kgで、すべての実験で一定。

第Ⅲ-7表 実 験 結 果

実 験 番 号	乾燥後含水率	平 均 乾 燥 速 度			乾 燥 後 の 胴 割 れ 率		
		実	処 理	仮想処理	軽	重	全
	%	%/h	%/h	%/h	%	%	%
30-0-1	13.6	1.31	—	—	4.4	2.0	6.4
30-0-2	13.6	1.31	—	—	—	—	—
30-0-3	13.6	1.31	—	—	—	—	—
30-0-4	13.6	1.31	—	—	2.4	2.4	4.8
35-0-1	13.5	2.08	—	—	9.6	16.4	26.0
35-0-2	13.4	2.07	—	—	4.4	15.2	19.6
35-0-3	13.3	2.08	—	—	8.0	15.6	23.6
35-0-4	13.3	2.08	—	—	5.6	16.0	21.6
35-0-5	14.3	2.31	—	—	4.0	12.4	16.4
A-35-0	13.7	2.18	—	—	4.4	17.6	22.0
B-35-0	13.5	2.09	—	—	5.2	14.4	19.6
C-35-0	13.6	2.08	—	—	6.4	14.0	20.4
A-40-0	13.8	3.37	—	—	6.0	44.4	50.4
B-40-0	13.9	3.34	—	—	7.2	43.6	50.8
C-40-0	13.8	3.32	—	—	4.0	44.8	48.8
A-45-0	14.2	5.00	—	—	2.4	68.4	70.8
B-45-0	14.1	5.02	—	—	4.4	65.6	70.0
C-45-0	14.0	5.01	—	—	4.4	70.4	74.8
A-50-0	13.5	6.59	—	—	1.2	87.6	88.8
A-35-15	13.9	3.68	1.93	1.84	4.0	6.0	10.0
A-40-15	13.7	5.05	2.69	2.53	8.4	27.2	35.6
A-45-15	13.8	6.79	3.70	3.39	5.6	62.4	68.0
B-35-30	14.0	3.35	1.82	1.67	4.0	8.4	12.4
B-40-30	14.5	4.73	2.70	2.36	8.4	21.2	29.6
B-45-30	14.4	6.37	3.82	3.19	6.4	51.2	57.6
C-35-60	13.1	2.72	1.55	1.36	3.2	8.0	11.2
C-40-60	12.8	3.68	2.21	1.84	5.6	27.6	33.2
C-45-60	13.5	5.23	3.49	2.61	4.8	66.4	71.2
A-35-21	14.1	6.02	1.76	1.66	2.8	3.6	6.4
A-40-21	13.5	6.90	2.22	2.07	5.2	14.0	19.2
A-45-21	14.2	9.36	3.12	2.81	5.6	41.6	47.2
B-35-42	14.1	4.69	1.56	1.41	4.0	3.6	7.6
B-40-42	14.5	6.31	2.20	1.89	7.2	13.6	20.8
B-45-42	14.5	7.90	2.87	2.37	6.4	35.7	42.1
C-35-84	14.5	3.93	1.43	1.18	3.2	3.6	6.8
C-40-84	14.5	5.27	2.06	1.58	8.4	17.6	26.0
C-45-84	13.4	5.92	2.31	1.77	5.6	46.4	52.0
A-40-27	13.6	14.70	1.57	1.46	4.0	3.8	7.8
A-45-27	14.3	19.50	2.16	1.96	4.0	11.2	15.2
A-50-27	14.5	23.40	2.63	2.34	6.0	30.8	36.8
B-40-54	14.2	12.34	1.39	1.23	1.6	1.2	2.8
B-45-54	13.9	14.30	1.64	1.43	5.2	9.6	14.8
B-50-54	13.6	17.60	2.00	1.70	5.2	22.0	27.2
C-40-108	14.7	9.32	1.14	0.93	2.8	4.8	7.6
C-45-108	14.7	11.70	1.51	1.17	4.8	14.0	18.8
C-50-108	13.6	12.80	1.65	1.28	4.8	28.0	32.8



第Ⅲ-18図 乾燥過程



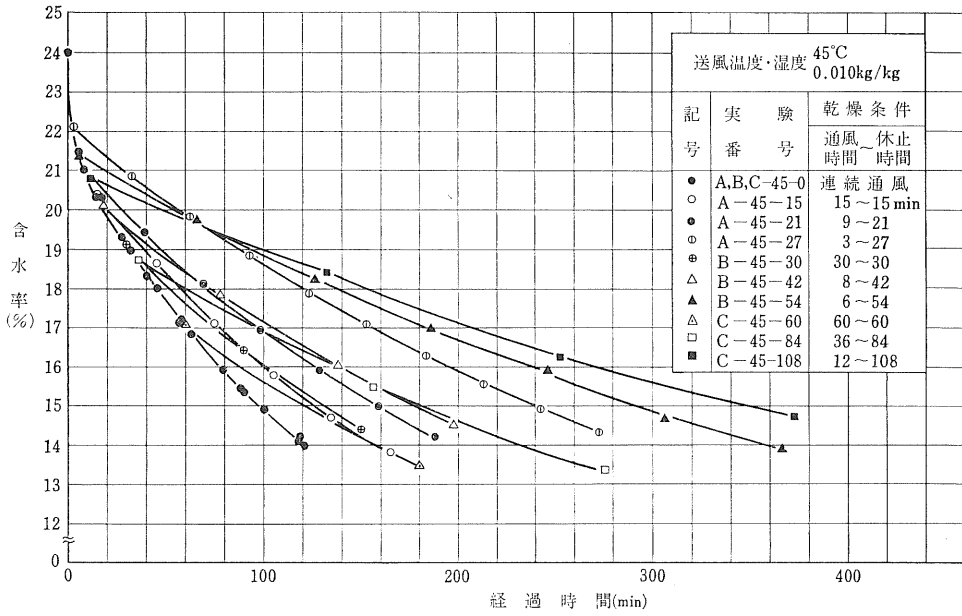
第Ⅲ-19図 乾燥過程

1 サイクルの所要時間が同じで、通風・休止時間の比のみが異なる場合について第Ⅲ-23図、第Ⅲ-24図に示す。また、通風・休止時間の比および1 サイクルの所要時間などと120分経過した時の含水率の関係を第Ⅲ-25図に示す。さらに1 サイクルの所要時間が同じで、120分経過した時の通風・休止時間の比と実平均乾燥速度および処理平

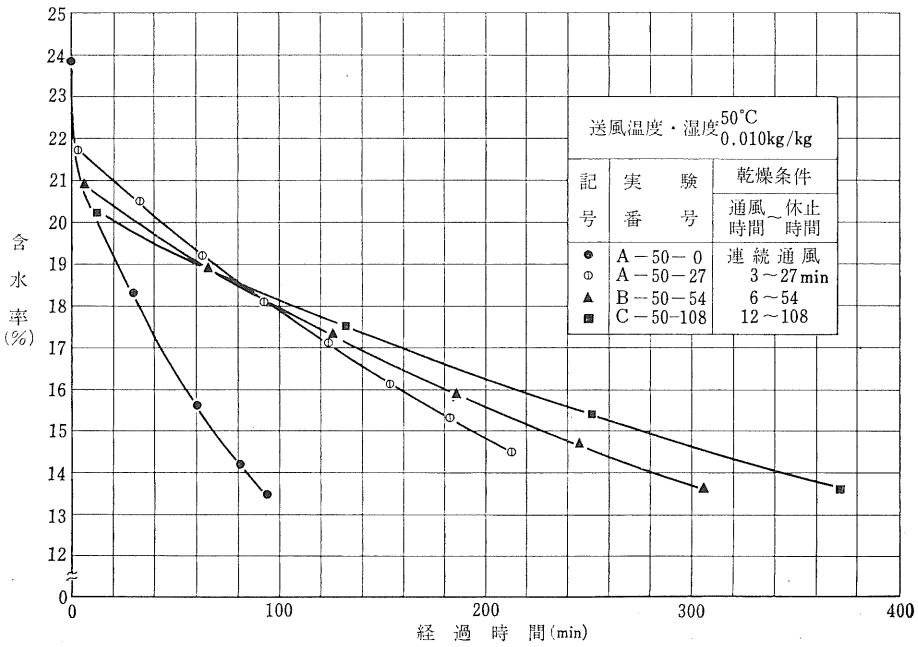
均乾燥速度の関係を第Ⅲ-26図に示す。

規格含水率近辺まで乾燥した場合の通風・休止時間の比および1 サイクルの所要時間、送風温度などと実平均乾燥速度、処理平均乾燥速度の関係については第Ⅲ-27、第Ⅲ-28図に示す。

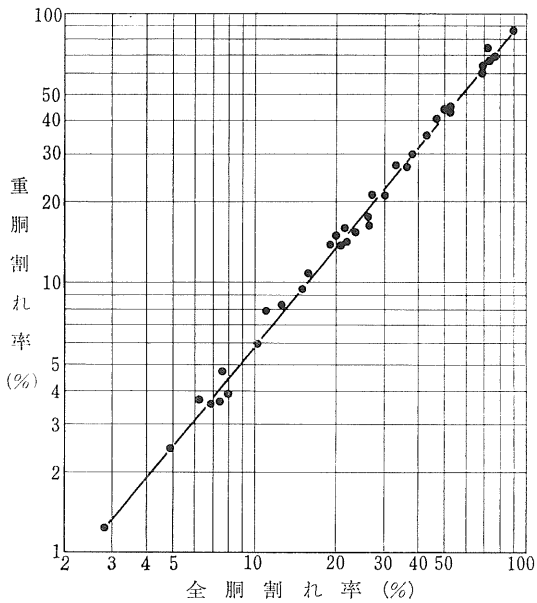
これらのことより次のことが判明した。



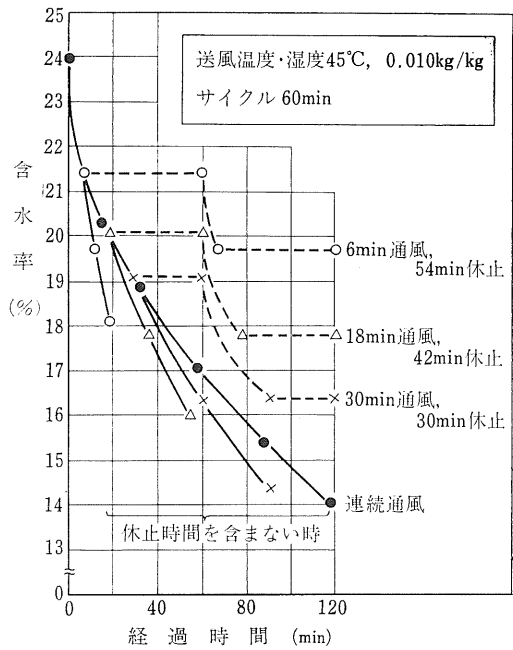
第Ⅲ-20図 乾燥過程



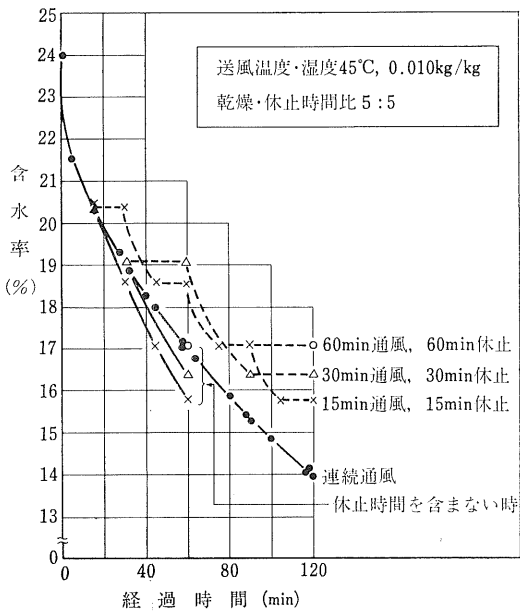
第Ⅲ-21図 乾燥過程



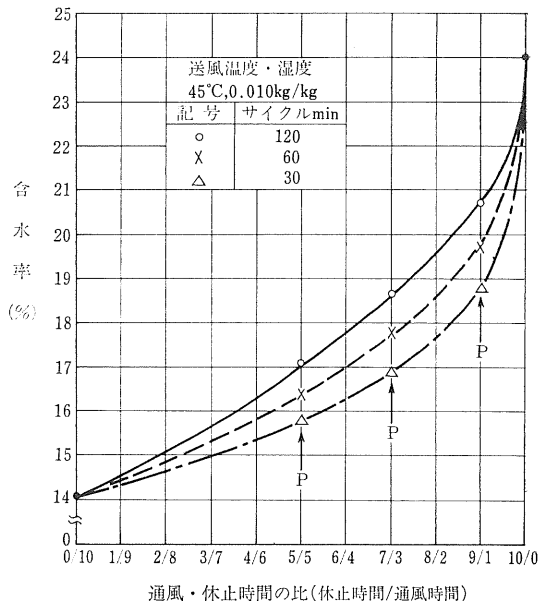
第Ⅲ-22図 全胴割れ率と重胴割れ率



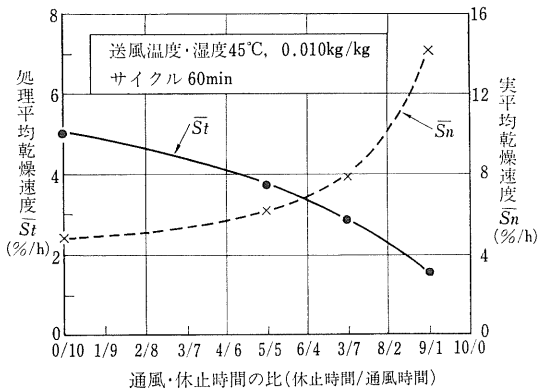
第Ⅲ-24図 1サイクルの所要時間が一定の時の通風・休止時間の比と乾燥過程の例



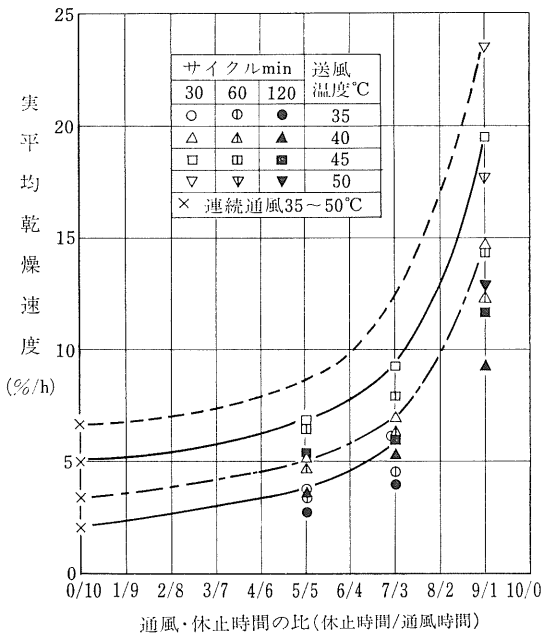
第Ⅲ-23図 通風・休止時間比が一定の時の1サイクルの所要時間と乾燥過程の例



第Ⅲ-25図 通風・休止時間の比および1サイクルの所要時間と乾燥開始より120分経過後の含水率 (0/10は連続通風, 10/0は無通風を示す)

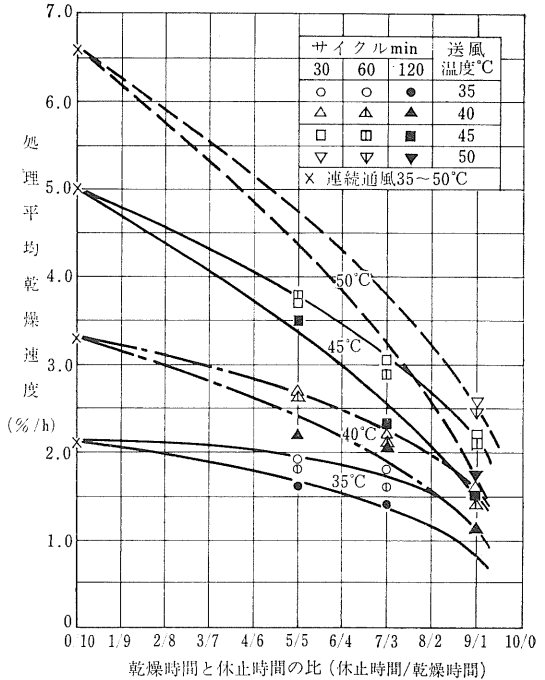


第Ⅲ-26図 通風・休止時間の比と乾燥開始より120分経過時の平均乾燥速度



第Ⅲ-27図 通風・休止時間の比、送風温度などと規格含水率近辺まで乾燥した時の実平均乾燥速度

(1) 通風時の送風温度が同じで、かつ、通風・休止時間の比も一定で、1サイクルの所要時間のみ異なる時は、1サイクルの所要時間が短い方が乾燥が速くなる。すなわち、通風と休止の時間を小刻みに繰返した方が乾燥速度は速くなる。しかし、細分割りにより乾燥速度を速めうる効果がどの程度の限界になるかということは、本実験範囲では判明しなかった(第Ⅲ-23図、第Ⅲ-25図中のPの場合、第Ⅲ-27図、第Ⅲ-28図参照)。



第Ⅲ-28図 通風・休止時間の比、送風温度などと規格含水率近辺まで乾燥した時の処理平均乾燥速度

(2) 通風時の送風温度が同じ場合は、1サイクル内で通風時間の占める割合が大きくなるほど、1サイクルの所要時間の長短が乾燥速度に与える影響は少なくなる傾向にある。極端な場合を考えると、休止時間を有しない連続通風での乾燥速度は1サイクルの所要時間の長短と無関係である。また、この逆の場合も同様な傾向にある(第Ⅲ-25図参照)。

(3) 通風時の送風温度が同じで、かつ1サイクルの所要時間が一定で、通風・休止時間の比のみ異なる場合、1サイクル内で通風時間の占める割合が大きくなるほど処理平均乾燥速度は速くなり、連続通風した場合が最も速くなる。逆に、実平均乾燥速度はこの割合が大きくなるほど遅くなる(第Ⅲ-24図、第Ⅲ-26図参照)。

(4) 通風・休止時間の比が異なる場合の送風温度が乾燥速度に与える影響についてみると、1サイクル内で休止時間の占める割合が大きくなるほど、また、送風温度が高くなるほど実平均乾燥速度は速くなる。特に通風・休止時間の比が3:7以上になると送風温度が同じ場合でも実平均乾燥速度は飛躍的に速くなり、送風温度が異なる場合の実平均乾燥速度の差も大きい(例えば、第Ⅲ-27図において、1サイクルの所要時間30分、通風・休止

時間の比が 5 : 5, 3 : 7 の場合において, 送風温度 40 °C と 45 °C であった時の実平均乾燥速度の差の絶対値を考えると, 5 : 5 の場合約 2 %/h, 3 : 7 の場合約 5 %/h となる。

一方, 処理乾燥時間より考えた処理平均乾燥速度からみると, 送風温度が高くなるほど, また, 1 サイクル内で通風時間が占める割合が大きくなるほど, この乾燥速度は飛躍的に速くなる。このことは, 1 サイクル内で通風時間が占める割合が小さくなるほど, 送風温度を高くした割には処理平均乾燥速度を上げえないことを示している (第Ⅲ-28 図参照)。

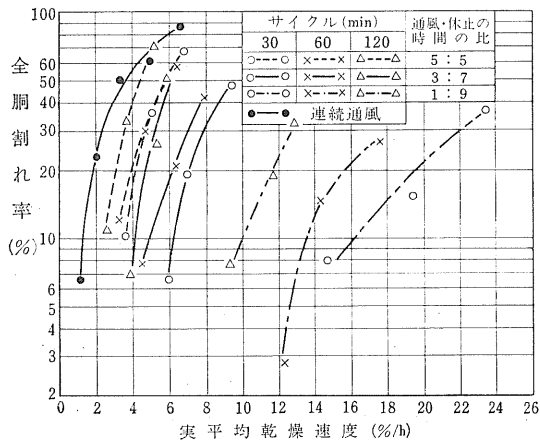
以上を総合すると, 籾を規格含水率近辺まで乾燥する場合に通風時の送風温度が同じであれば, 1 サイクル内で通風時間の占める割合が小さくなるほど, 通風中の乾燥速度は速くなる。しかし, 処理乾燥時間からみると, 本実験範囲では通風・休止時間の比, 1 サイクルの所要時間をどのように組合せても連続通風以上に短くしなかつた。

## 2) 乾燥速度の限界

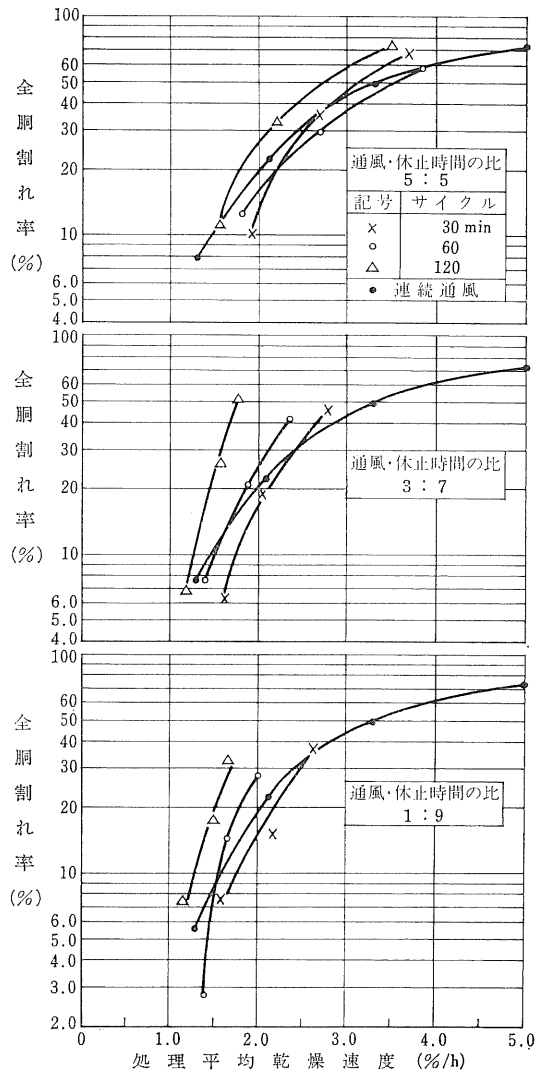
実平均乾燥速度と全胴割れ率の関係および処理平均乾燥速度と全胴割れ率の関係を第Ⅲ-29 図, 第Ⅲ-30 図に示す。これらの図より, 全胴割れ率を 10% まで許容した場合の実平均乾燥速度, および処理平均乾燥速度の最高限界のそれぞれについて, 1 サイクルの所要時間をパラメータにしてこれらの通風・休止時間の比の関係を求めると第Ⅲ-31 図, 第Ⅲ-32 図のごとくである。

第Ⅲ-31 図より実平均乾燥速度の限界について, 次のことがいえる。

(1) 1 サイクルの所要時間が同じで, 通風・休止時間の比が異なる場合は, 1 サイクル内で休止時間の占める



第Ⅲ-29 図 実平均乾燥速度などと全胴割れ率



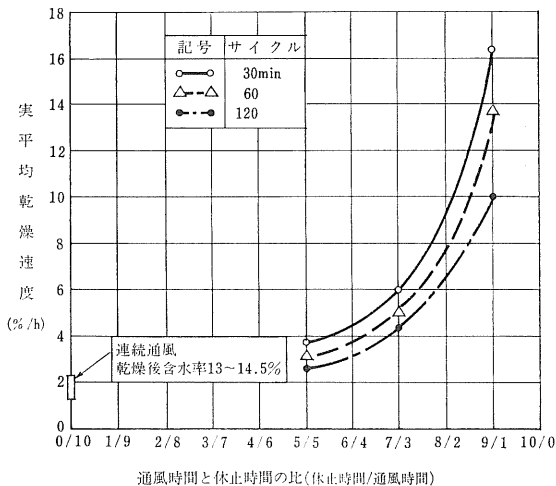
第Ⅲ-30 図 処理平均乾燥速度などと全胴割れ率

割合が多くなるほど, この限界は高くなる。

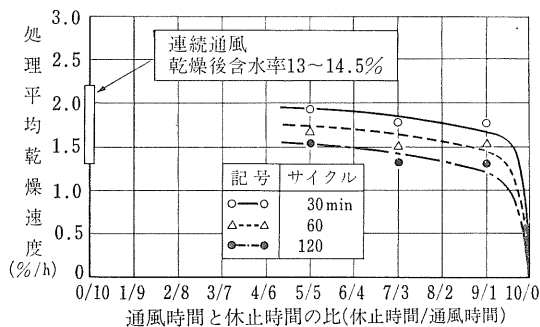
(2) 通風・休止時間の比が同じ時は, 1 サイクルの所要時間が短くなるほどこの限界は高くなる。

(3) (1), (2) による限界の差を実験範囲でみると, 通風時間に対する休止時間の比が大きくなるほど, 顕著にあらわれる。また, このことは休止時間が長くなるほど, 乾燥中に乾燥速度を上げて, その割に胴割れの発生が少ないことを示している。

## 3) 処理乾燥速度の限界



第Ⅲ-31図 通風・休止時間の比などと限界実平均乾燥速度（乾燥終了時の全胴割れ率を10%まで許容した場合）



第Ⅲ-32図 通風・休止時間の比などと限界処理平均乾燥速度（乾燥終了時の全胴割れ率を10%まで許容した場合）

処理平均乾燥速度の限界については、第Ⅲ-32図より次のことがいえる。

(1) 通風・休止時間の比が同じ時は、1サイクルの所要時間が短い方がこの限界を上げうる可能性があるが、1サイクルの所要時間が30分と120分のように異なる場合でもこの限界の差は0.5%/h内外である。

(2) 1サイクルの所要時間が同じで、通風・休止時間の比が異なる場合は、そのサイクル内で休止時間の占める割合が多くなるほど、この限界は低くなる傾向にあるが、実験範囲ではその差は顕著ではない。

(3) しかし、連続通風乾燥による場合の乾燥速度の限界以上に、この限界を高めうる可能性はほとんどない。

1), 2), 3)を総合すると、通風・休止時間の比が同じ時には、1サイクルの所要時間の短い方が実および処理

平均乾燥速度ともに速くなり、1サイクルの所要時間が同じ時には、そのサイクル内で通風時間の占める割合が小さい方が実平均乾燥速度は速くなるが、処理平均乾燥速度は逆に低くなる。

また、乾燥後の胴割れ率を一定の値まで許容した時の実平均乾燥速度の限界は、1サイクル内で休止時間の占める割合が大きく、1サイクルの所要時間が短いほど高くなる。すなわち、休止時間が長くなるほど乾燥中、高速度で乾燥しても胴割れの発生は少ない。一方処理平均乾燥速度の限界は、通風・休止時間の比による差は比較的少なく、1サイクルの所要時間が短い方がやや高くしうる可能性があるといえるが、それほど大きいものではない（第Ⅲ-32図参照）。また、実験範囲の間欠通風乾燥での処理乾燥時間は連続通風乾燥による場合と同程度か、むしろ長くなる傾向にあり、どのような乾燥時間と休止時間の組合せによる間欠通風乾燥でも連続通風乾燥よりは速く乾燥しえないということを示している（第Ⅲ-32図参照）。このように、間欠通風乾燥では、乾燥中は乾燥速度を上げうるが、規格含水率まで穀を乾燥するまでの処理乾燥時間は連続通風乾燥以上に速くできないということであり、結果的にはこの処理乾燥時間中、連続通風乾燥による場合と同程度に米粒内に歪が集積されるものと考えられる。

#### 4) 送風温度の限界

送風温度と乾燥後の全胴割れ率の関係を第Ⅲ-33図に示す。この図より全胴割れ率を10%まで許容した場合の通風時間と休止時間の比などと許容最高送風温度の関係を求めたものを第Ⅲ-34図に示す。

この図によると次のようなことがいえる。

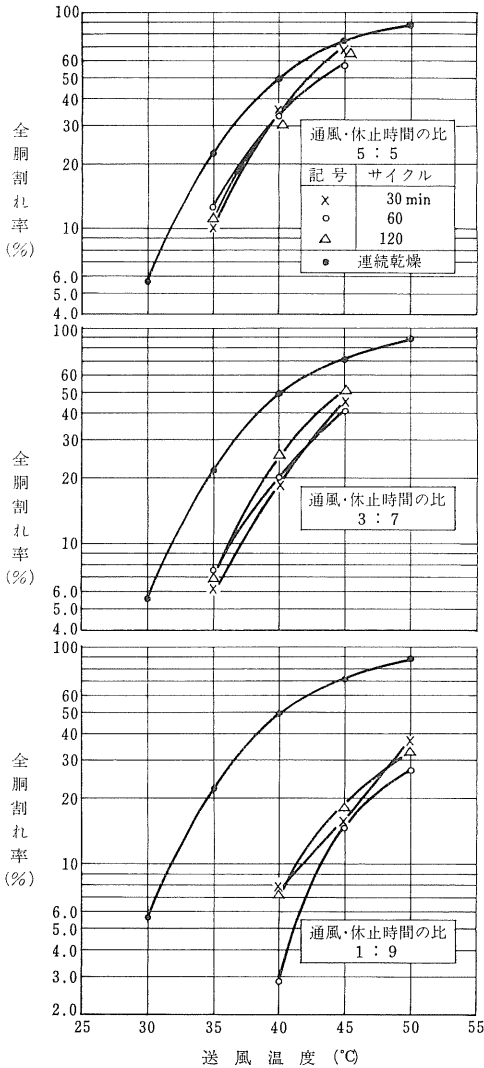
(1) 通風・休止時間の比が同じ時は、1サイクルの所要時間の長短にかかわらず、この限界はほぼ同程度であり、明確な差は認められない。

(2) 通風・休止時間の比が異なる場合は、1サイクル内で休止時間が占める割合が大きくなるほど、送風温度は高くしうる。すなわち、処理平均乾燥速度を限界まで高めるためには、この割合が大きくなるほど、送風温度を高くする必要がある。

#### 5) 実験の循環式乾燥機への適用

本実験結果を間欠通風乾燥方式を取入れた循環式乾燥機にそのまま適用するに際しては、通風部の風量、通風休止期間におけるタンク部中の粒量など実際の場合とそぐわない面もあるが、このような循環式乾燥機で通風部とタンク部が明確にわかれ、穀が通風部とタンク部を交互に移動しながら乾燥される第Ⅲ-35図に示すような構造

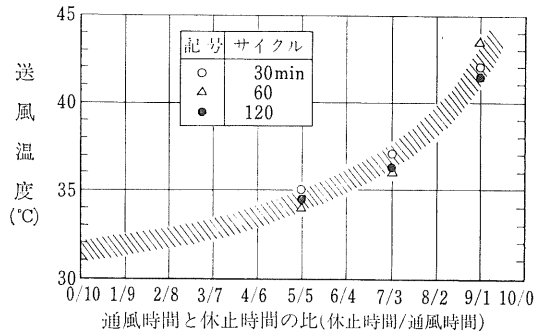




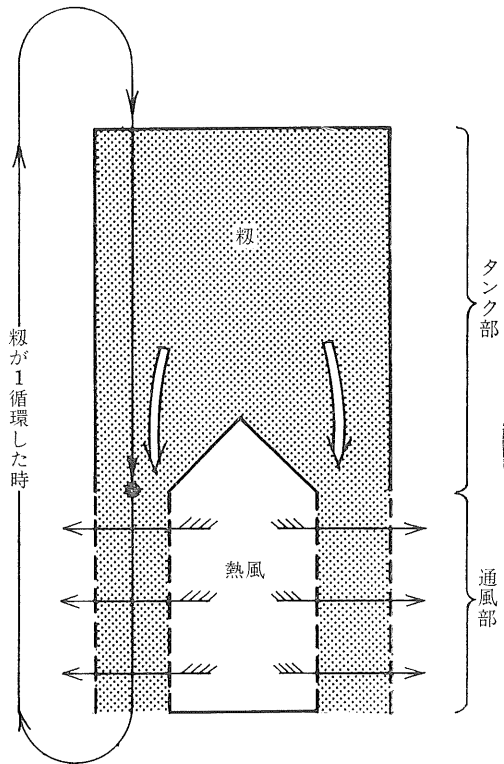
第Ⅲ-33図 送風温度などと全胴割れ率

のものにこの結果を適用することができる。この場合、乾燥箱中の籾全量が均一な含水率に乾燥されるためには、1つのサイクルが完了することが必要である。したがって、規格含水率まで籾を乾燥するための所要時間は第Ⅲ-17図に示すような仮想処理乾燥時間となり、この場合の乾燥速度は仮想処理平均乾燥速度となる。

さて、このような乾燥機において、①通風部とタンク



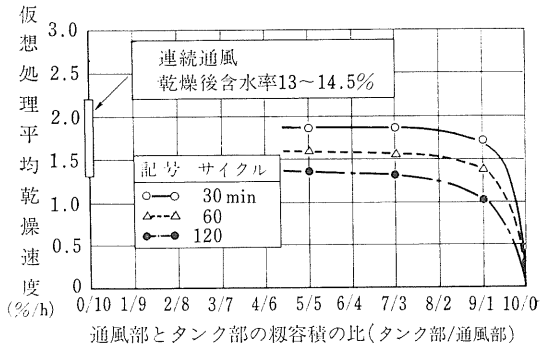
第Ⅲ-34図 通風・休止時間の比などと限界送風温度（乾燥終了時の全胴割れ率を10%まで許容した場合）



第Ⅲ-35図 通風部とタンク部とが明確に分離している循環式乾燥機の概念図

部の籾の容積比はどのような場合に乾燥速度を最も速めうるか。②循環時間(1サイクルの所要時間)はどうするか。③送風温度はどのように設定するか。④通風部1回通過当りの乾減含水率はどの程度にとどめたらよいか、などに関して、本実験結果から次のことがわかる。

まず乾燥後の全胴割れ率を10%まで許容した場合の仮想処理平均乾燥速度の限界を通風部とタンク部の籾容量



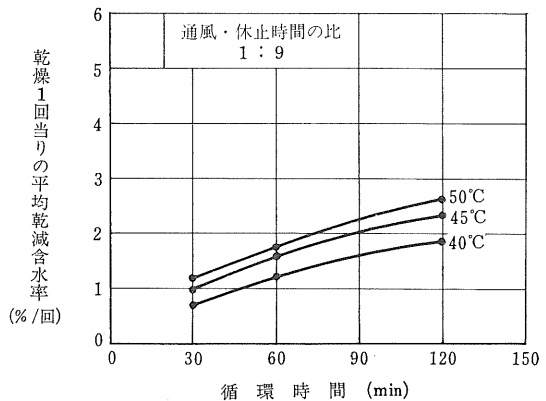
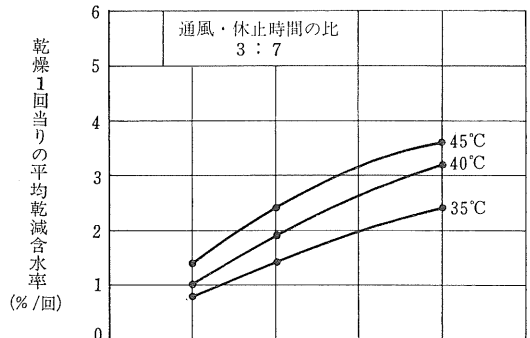
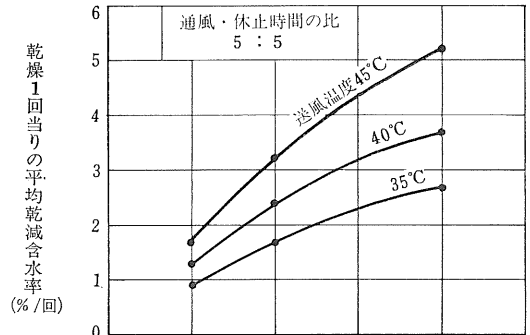
第Ⅲ-36図 通風部とタンク部の収容積比などと限界仮想処理平均乾燥速度（乾燥終了時の全胴割れ率を10%まで許容した場合）

比の異なる場合について示すと、第Ⅲ-36図のようになる。この図に示される傾向は第Ⅲ-32図に示したものと変わらない。次に、通風1回当りの乾減含水率と通風・休止時間や循環時間などとの関係は第Ⅲ-37図のごとくである。これらの図によると次のようなことがわかる。

(1) 通風部に入る収容積がタンク部に比較して大きく、循環時間が短い方が、送風温度を低くでき、かつ乾燥速度も速く、乾燥後の胴割れの発生も少なくしうる可能性がある。

(2) また、このような乾燥方式で規格含水率まで乾燥する場合は、通風部1回通過当りの乾減含水率が少ない方が好ましい。この乾減含水率が大きい場合、規格含水率近辺になったとき、終了時点によっては未乾燥、過乾燥の問題が生ずることがある。この面からも第Ⅲ-37図に示すように循環時間が短い方が、1回当りの乾減含水率が少なく、また乾燥速度も速めうることから考え合せて好ましいと考えられる。

(3) 送風温度は通風部の収容積がタンク部に比べて大きくなるほど、低くする必要がある。実際の乾燥機では構造上、通風部とタンク部の収容積比は一定であるが、乾燥機運転に際しては収容積の投入量に応じて、1循環当りの通風・休止時間の比が変わり、極端な場合も考えると、連続から構造上の通風部とタンク部の収容積比まで変動する。したがって、実用的な乾燥機においては、収容積の投入量の多少に応じて最適な送風温度を設定することが必要になる。



第Ⅲ-37図 通風・休止時間の比、循環時間などと乾燥1回当りの平均乾減含水率

## IV

# 各種乾燥機における乾燥条件と胴割れ

## A. 概 説

前章までにおいて、薄い層における乾燥のさいの胴割れの挙動について報告したが、現在農家が使っている乾燥機の状況もこれに近い状態の場合もあり、また、いわゆる厚い層の状態、しかも穀粒が動いている場合と、静止している場合と両方が考えられる。

(注) この厚い層は英米では Deep bed drying ともいわれている。すなわち、堆積層全体の穀粒が送入空気と同じ温度、湿度の空気にふれておらない状態の通風乾燥の場合で、風量が少ない場合に相当する。

薄い層の乾燥状態から厚い層の乾燥速度を推定する試

みは数多くなされているが<sup>30), 31), 32), 34), 35)</sup>、いまだ実的に確立した方法はない。さらに、静置状態の厚い層における実験の例<sup>36), 37)</sup>もあるが、穀物が動いている場合の品質の問題を、薄い層から直ちに厚い層のすべての状態に対して推論することはきわめて困難なことである。そこで、現在普及している形式またはそれに近い乾燥機を用いてその乾燥試験のなから、厚い層における乾燥速度と胴割れの関係をみて、一般の乾燥機における風量や送風温度設定の参考資料をえようとしたのがこの章のねらいである。

## B. 風量比が比較的多い場合の柱状式と山形多管式の循環式乾燥機による乾燥試験

### 1. 目的

循環式乾燥機の送風温度、循環速度、風量比等と乾燥速度および胴割れの関係を求め、循環式乾燥機で穀を乾燥させた場合の限界の乾燥速度やその限界に近づけるための循環式乾燥機の風量、送風温度などの条件を求めようとするものである。

### 2. 方法

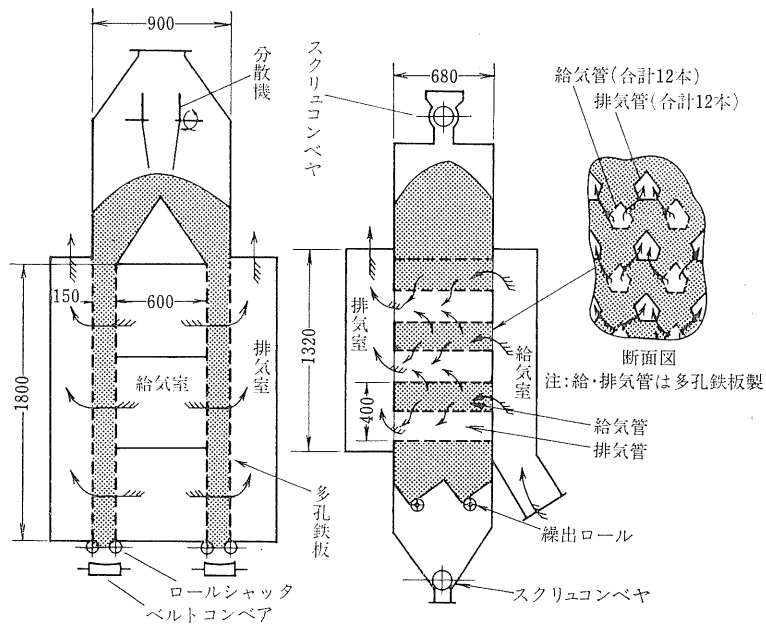
第IV-1図に示すような収容容量約600kgの柱状式と800~900kgの山形多管式の循環式乾燥機を用いた。

柱状式は、乾燥塔の中央に上、中、下室にわけられた給気室があり、これらは各々風路を介して3台の送風機で連絡されている。給気室の両側には幅15cmの間隔で2枚の多孔鉄板を張った穀物槽があり、このなかを穀物が上から下方に流動する。槽中の穀物は槽下端のロールシャッタを開いて自然落下させ、これをペルトコンベア、バケットエレベータなどによって槽上部に返され、乾燥機内を循環する。バーナはガンタイプ式のもので、灯油を燃料とする間接加熱方式のものである。

山形多管式は、乾燥箱中に給気管と排気管が交互にしかも千鳥状に配列されているものである。穀物は給気管と排気管の間をジグザグに落下し、乾燥箱下端の繰出ロールで強制的に繰出され、スクリュコンベア、バケットエレベータなどによって再び乾燥箱内上部に返され、循環する。バーナは回転噴霧式のもので、灯油を燃料とする直接加熱方式のものである。

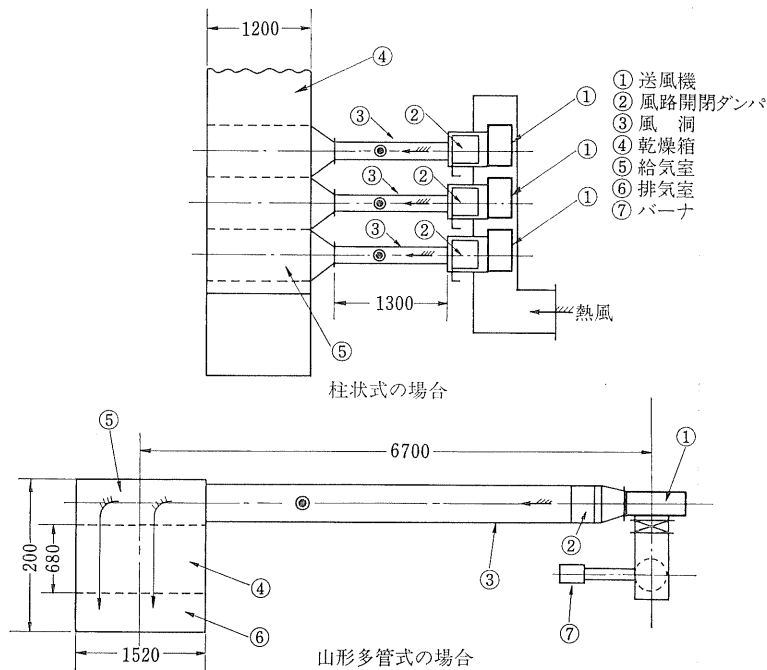
#### 1) 測定項目および測定方法

- (1) 含水率：10g粒-100°C-24h法によって求めた。
- (2) 外気温度・湿度：乾燥中送風機による吸込み空気温度、湿度をアスマン湿度計で一定時間間隔で測定した。
- (3) 送風温度：給気室の温度を電子管式平衡自記記録温度計で自記させておき、一定時間間隔で測定した。
- (4) 風量・静圧：第IV-2図に示す位置でピトー管、ゲッチングマンノメータを使用して動圧を測定し、風量を算出した。また、静圧は給気室中のものを測定した。



- 柱状式 収容容量 約600kg  
山形多管式 収容容量 約900kg
- (注) (1) いずれの乾燥機も自然落下およびバケットエレベータ揚穀により穀物は循環する。  
(2) 矢印は空気の移動方向。

第IV-1図 試験用乾燥機



第IV-2図 風量測定位置 (◎印にピトー管をおく)

- (5) 重量：乾燥前後の材料を麻袋につめ、これらを、秤量150kg、感量100gの台秤を用いて秤量した。
- (6) 乾燥時間：穀に送風を開始した時から停止した時点までの時間とした。

(7) 穀の性状

- ① 胴割れ：穀を手むきした玄米500粒を透視法により調査した。なお、乾燥中、乾燥後に採った試料については、これらを小さなガラスビンにいっぱいにして密閉し、48時間以上30°Cの定温機内で貯蔵後に調査した。
- ② 品目別分析重量歩合：乾燥前後の材料より試料をとり、これらを手選別し、重量歩合によってそれぞれを表示した。

2) 試験の手順

供試材料は農機研附属農場において手刈りで収穫した稲を自動脱穀機で生脱し、できる限り変質しないように留意して少なくとも15時間以上放置したものである。材料を乾燥機に張込んだのち乾燥塔の給気室に風が送られ込まないように、第IV-2図のごとくダクトの途中に取付けたダンパで風路を閉じるとともに、送風機で発生する風を屋内に散逸できるようにあらかじめしておいた。次

にバーナに点火後、送風機を駆動し、送風温度が設定温度に到達後、ダンパを開いて熱風を給気室に送り込むと同時に、乾燥機中の穀物の循環を開始した。送風量は風量調節用ダンパにより所定の風量比になるように調節し、測定は試験中1回行なった。循環量はロール開度（柱状式）や繰出ロールの回転数を調節（山形多管式）して、乾燥中は常に一定になるようにした。乾燥中は、一定場所より一定時間間隔で試料を採り、含水率、胴割れなどについて測定調査し、乾燥状況を把握した。

3) 試験条件

試験条件を第IV-1表に示す。試験番号のCは柱状式、Lは山形多管式である。これらの試験のうち、試験番号C-5のみ乾燥中15分間循環、15分間循環停止の周期を繰返した。また試験番号L-3ではコンバインで収穫した穀を供試した。

3. 結果および考察

試験結果の主要なものをとりまとめて第IV-2表に示す。I・Bの試験で求めた初期含水率および平均乾燥速度と胴割れ許容線図（送風空気絶対湿度0.007kg/kg、風量きわめて大、前掲第II-13図参照）に、試験C-1～L-3の結果をプロットしたのが第IV-3図である。また、風

第IV-1表 試験条件

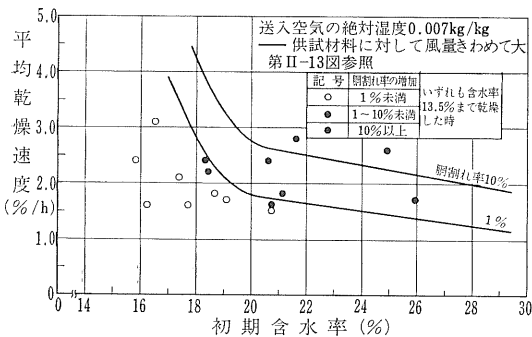
試験番号	供試材料条件					初期含水率	含水率のむら(サンプル数15点の標準偏差)	乾燥機投入重量	風量比	送入空気		穀毎時平均循環量
	穀の品種	品目別分析重量歩合			乾燥前胴割れ率					平均温度	平均絶対湿度	
		単粒	枝梗付着粒・穂切粒	脱粒粒・碎粒								
C-1	クサブエ	86.6	12.8	0.2	0.0	24.91	1.02	609.55	0.03~0.42	37.3	0.009	9.6
C-2	〃	87.7	11.7	0.3	0.0	21.62	1.15	599.92	0.57	35.6	0.009	6.8
C-3	〃	87.7	11.5	0.4	0.0	20.60	0.62	609.04	0.32	35.9	0.005	7.0
C-4	〃	86.7	12.8	0.1	0.0	19.13	0.33	581.48	0.18	35.9	0.006	8.6
C-5	〃	89.9	9.6	0.1	0.0	17.66	0.39	596.42	0.17	35.8	0.008	6.9
C-6	〃	88.7	10.7	0.2	0.0	15.76	0.43	597.86	0.32	35.9	0.008	10.7
C-7	〃	89.5	9.8	0.3	0.0	16.54	0.55	603.59	0.31	40.6	0.008	9.8
C-8	〃	90.3	9.4	0.2	0.0	16.15	0.69	602.03	0.16	40.5	0.009	8.4
C-9	ヤマビコ	90.2	9.0	0.4	4.8	18.32	0.21	613.61	0.16	45.3	0.002	8.9
C-10	クサブエ	87.4	11.8	0.5	0.0	18.41	0.44	613.82	0.32	35.2	0.003	10.2
C-11	〃	85.2	14.1	0.6	0.0	17.42	0.53	615.19	0.17	42.2	0.003	10.8
C-12	日本晴	83.8	15.7	0.4	0.2	20.67	0.91	606.45	0.17	39.8	0.012	1.0
C-13	クサブエ	80.1	19.7	0.1	0.0	25.87	0.89	632.70	0.17	39.7	0.008	1.1
L-1	日本晴	78.3	20.3	1.2	0.2	18.73	1.27	787.59	0.31	38.0	0.009	4.0
L-2	〃	83.5	16.2	0.1	1.0	20.72	0.39	939.05	0.19	40.0	0.009	3.2
L-3	〃	77.0	17.3	4.7	0.4	21.11	0.57	948.50	0.19	39.8	0.008	3.5

(注) (1) 胴割れ率は重胴割れ率で示す。(2) 試験番号C-5は乾燥中15分循環、15分循環停止。

第Ⅳ-2表 試験結果

試験番号	乾燥終了時								含水率 13.5% 乾燥時					送風馬力		
	重量	平均含水率	含水率のむら	重胴割れ率	品目別分析重量合			乾燥時間	平均乾燥速度		乾燥時間	重胴割れ率	平均乾燥速度		平均毎時除去水分	除去水分1kg当り供給熱量
					単粒	枝梗付着粒・穂粒	脱粒粒・碎粒		測定含水率より	重量より						
C-1	523.25	12.90	0.49	17.4	98.9	0.3	0.7	4.83	2.48	2.56	4.40	16.8	2.6	18.3	—	PS
C-2	542.90	13.38	0.22	4.0	98.2	1.0	0.7	3.00	2.74	2.74	2.94	3.9	2.8	19.1	3.6	5.0
C-3	559.91	13.72	0.24	4.4	98.5	0.8	0.7	2.83	2.43	2.46	2.94	4.8	2.4	17.0	2.3	1.2
C-4	539.79	12.71	0.19	0.6	99.0	0.4	0.3	4.00	1.60	1.56	3.33	0.5	1.7	11.4	1.9	0.2
C-5	562.16	13.01	0.18	0.4	96.7	2.5	0.2	3.50	1.33	1.44	2.67	0.0	1.6	10.7	1.9	0.2
C-6	577.06	12.59	0.24	0.0	96.7	2.5	0.4	1.50	2.11	2.03	0.94	0.0	2.4	16.6	2.3	1.2
C-7	577.17	12.61	0.10	0.2	96.6	2.7	0.3	1.33	2.95	2.86	0.99	0.2	3.1	21.4	2.2	1.2
C-8	579.61	13.07	0.20	0.2	97.0	2.3	0.5	2.00	1.53	1.62	1.70	0.1	1.6	10.8	2.3	0.2
C-9	574.82	13.04	0.16	22.4	98.8	0.3	0.7	2.25	2.35	2.45	2.02	14.9	2.4	14.2	2.2	0.3
C-10	575.87	13.08	0.18	1.2	99.0	0.3	0.6	2.33	2.29	2.31	2.25	1.0	2.2	16.0	2.4	1.4
C-11	579.94	12.38	0.18	6.2	98.2	1.1	0.6	2.50	2.02	2.01	1.88	0.2	2.1	13.4	2.1	0.3
C-12	553.15	12.78	0.27	3.4	93.7	5.6	0.6	5.00	1.58	1.53	4.55	1.7	1.6	11.1	2.5	0.3
C-13	540.80	12.84	0.43	12.2	97.9	1.3	0.5	8.00	1.62	1.58	7.30	12.1	1.7	12.3	2.3	0.3
L-1	739.11	13.33	0.29	3.0	91.0	7.6	1.1	3.00	1.80	1.70	2.90	2.8	1.8	16.4	3.5	1.1
L-2	859.55	13.36	0.21	0.8	90.8	8.6	0.2	5.00	1.47	1.47	4.90	0.8	1.5	16.0	2.9	1.0
L-3	—	13.09	0.13	5.6	84.7	10.7	3.6	4.50	1.78	—	4.25	5.1	1.8	19.6	2.3	1.1

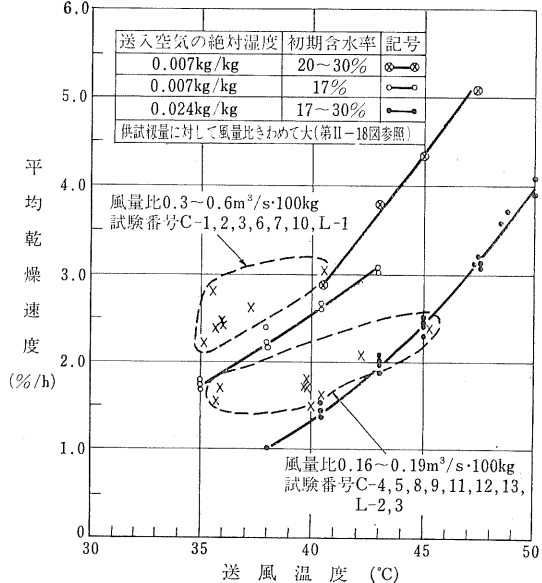
(注) (1) 吸込み空気温度17°Cと仮定し、空気熱量より算出。  
 (2) 送風機の静圧効率50%とし、風量と給気室静圧より算出。



第Ⅳ-3図 初期含水率、平均乾燥速度と重胴割れ率

量比、送風温度と平均乾燥速度の関係をⅡ・Bの試験で求めた第Ⅱ-18図の値も含めてプロットしたのが第Ⅳ-4図である。これらによって次のことが判明した。

(1) 風量比がきわめて多い場合の試験によって、初期含水率が低いほど、乾燥後の胴割れの発生を少なくして乾燥速度を上げることが判明したが、実用に近い乾燥機による本実験結果からも、風量比が約0.2m³/s・100kg以上と比較的多い場合、初期含水率が20%以下で乾燥開始時の胴割れがほとんど認められないものについて、平



第Ⅳ-4図 送風温度、平均乾燥速度と風量比

均乾燥速度を2%/h程度にしても胴割れの増加を少なくしうる可能性があり、初期含水率24%程度になると胴割れが非常に増加する危険性があるといえる(第Ⅳ-3図参

照)。

(2) 一定の温度で連続的に含水率13.5%まで乾燥するときの平均乾燥速度についてみると、胴割れがあまり多く発生しないような送風温度条件で風量比が0.3~0.6m<sup>3</sup>/s・100kgの場合は、風量比がきわめて多い場合に比べて、それほど大きな差はないものと思われる。風量比が0.2m<sup>3</sup>/s・100kg程度になると差がでるようである(第IV-4図参照)。

(3) 乾燥中に穀物を連続循環したり間欠循環した場合や、乾燥機中の穀物の流下方法が異なる場合について、

風量比が約0.2m<sup>3</sup>/s・100kgで、送入空気条件や初期含水率がほぼ同一であった試験のうちC-4とC-5、C-12とL-2等を比較すると平均乾燥速度や乾燥後の胴割れ率の増加に大きな差は認められなかった。

風量比が0.2m<sup>3</sup>/s・100kgの場合のように比較的大きいとき、循環程度にこの実験による程度の差があったとしても、また、型式が異なっても乾燥の状況には大きな影響はないといえる。しかし、風量比が少なく、かつ、循環速度が遅いような場合の比較では、間欠循環が胴割れ率の増加の面から逆に不利になる可能性も考えられる。

### C. 柱状式の循環式乾燥機を用いた時の風量比などと胴割れの関係

#### 1. 目的

IV・Bで用いた柱状式の循環式乾燥機を一部改造し、送風温度を低くして風量を多くした場合と、高温で風量を少なくした場合について、穀を連続的に含水率13.5%程度に乾燥する際に、胴割れ発生状況からみた乾燥速度増加の可能性の有無をたしかめようとするものである。

#### 2. 方法

試験として望ましいのは同一の品種、含水率、性状が同一の穀で、外気温度、湿度条件も同じにして同時試験を行なうことである。しかし、試験の都合上、品種、含水率、性状は同一の穀、また、乾燥機も同一のものを用いたが、試験日をずらして比較試験を行なった。なお、このほかにIV・Bの補足実験も2、3行なった。

実験用乾燥機を第IV-5図に示す。主な改造点は次のとおりである。

① 送風機を変速機とモータで連結して送風機の回転数を変えられるようにし、これと風路の途中に設けたダンパの調節とによって任意の風量で乾燥機に送風できるようにした。

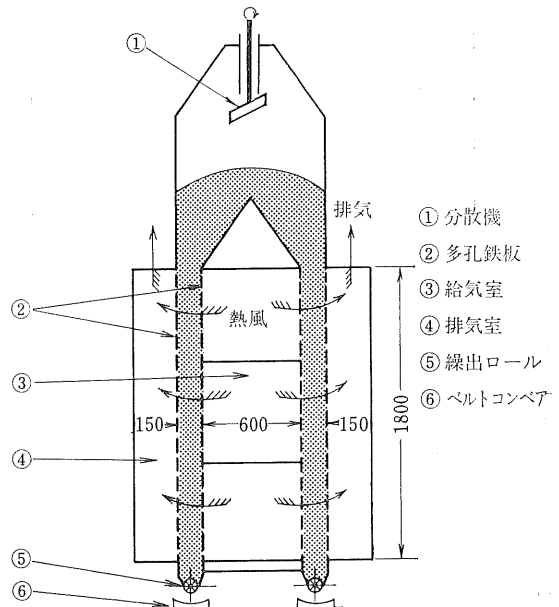
② 乾燥箱の下端には繰出ロールを取付け、これを間欠的に回転させて穀物を繰出すようにし、繰出量、すなわち循環量の調節は変速機を用いて繰出ロールの回転数を変えることによって行なえるようにした。

③ 乾燥箱上部の分散機は往復運動をするものから回転運動をするものにし、乾燥箱の穀の上層がより均平になるようにした。

④ ガンタイプ式のバーナに電磁ポンプを新たに組み込み、可変抵抗器で電磁ポンプの電圧を変えて、バーナノズルからの燃料噴霧量をより簡便に調節できるようにし、送風温度の安定を計るようにした。

測定項目および測定方法はIV・Bの場合とほぼ同じであるが、乾燥前後の供試穀の重量は、秤量2t、感量2kgのロードメータ4台を使用し、このうえにタンクを載せ、これに供試穀を入れて秤量した。

試験条件は第IV-3表のとおりである。供試材料はいずれも農機研附属農場でえられたものであり、試験番号C-14~C-16およびC-22、C-23は、手刈り後直脱穀し1回唐箕選したものであり、試験番号C-17~C-21およびC-24~C-26は自脱コンバインで収穫後1回唐箕選したものである。



第IV-5図 実験用乾燥機

第Ⅳ-3表 試 験 条 件

比較 試験区	試験番号	供 試 材 料 条 件						胴割れ率
		穀 の 品 種	品 目 別 分 析 重 量 歩 合					
			単 粒	枝梗付 着粒・ 穂切粒	脱稈粒・ 碎粒	異 物 その他		
Ⅰ	C-14	トネワセ	89.9	8.7	1.2	0.2	0.0	
	C-15	〃	86.4	12.4	0.9	0.3	0.0	
	C-16	〃	90.5	8.0	1.2	0.3	0.0	
Ⅱ	C-17	日本晴	84.5	15.2	0.2	0.1	0.0	
	C-18	〃	82.1	17.5	0.4	0.0	0.0	
	C-19	〃	81.4	18.1	0.4	0.1	0.0	
Ⅲ	C-20	日本晴	82.2	17.6	0.2	0.0	0.0	
	C-21	〃	78.9	20.9	0.2	0.0	0.0	
	C-22	トネワセ	84.8	14.2	0.7	0.3	0.0	
	C-23	〃	86.0	13.2	0.6	0.2	0.0	
	C-24	日本晴	82.9	16.8	0.3	0.0	0.4	
	C-25	中生新千本	95.2	4.4	0.4	0.0	0.4	
	C-26	農林8号	90.2	9.6	0.2	0.0	0.0	

試験番号	初 期 含 水 率	含水率の むら (サンプル 数15点の 標準偏差)	含水率の 変動係数	乾 燥 機 投 入 重 量	風 量 比	送 入 空 気		穀毎時 平 均 循 環 量
						平均温度	平均絶対 湿 度	
C-14	22.20	0.16	0.007	717	0.16	40.0	0.012	1.4
C-15	22.62	0.22	0.010	720	0.04	50.4	0.013	1.4
C-16	20.35	0.67	0.033	680	0.09	45.2	0.010	1.4
C-17	25.35	0.64	0.025	708	0.10	37.9	0.009	1.5
C-18	26.70	0.11	0.004	720	0.05	48.2	0.009	1.5
C-19	26.82	0.16	0.006	756	0.19	35.0	0.010	1.5
C-20	19.86	0.05	0.003	786	0.18	34.4	0.006	1.6
C-21	19.90	0.09	0.005	749	0.05	44.8	0.006	1.5
C-22	19.20	0.08	—	675	0.05	52.7	0.008	1.2
C-23	17.46	—	—	935	0.09	40.0	0.006	1.6
C-24	21.12	0.18	—	661	0.06	45.4	0.007	1.4
C-25	19.58	0.10	—	629	0.04	45.1	0.008	1.3
C-26	22.12	0.21	—	808	0.09	40.0	0.008	1.7

(注) 胴割れ率は、重胴割れ率で示す。



### 3. 結果および考察

試験結果をとりまとめたものを第Ⅳ-4表に示す。この表より風量比と平均乾燥速度、重胴割れ率との関係、また風量比、送風温度と重胴割れ率の増加との関係などについて求めたものを第Ⅳ-6図、第Ⅳ-7図に示す。

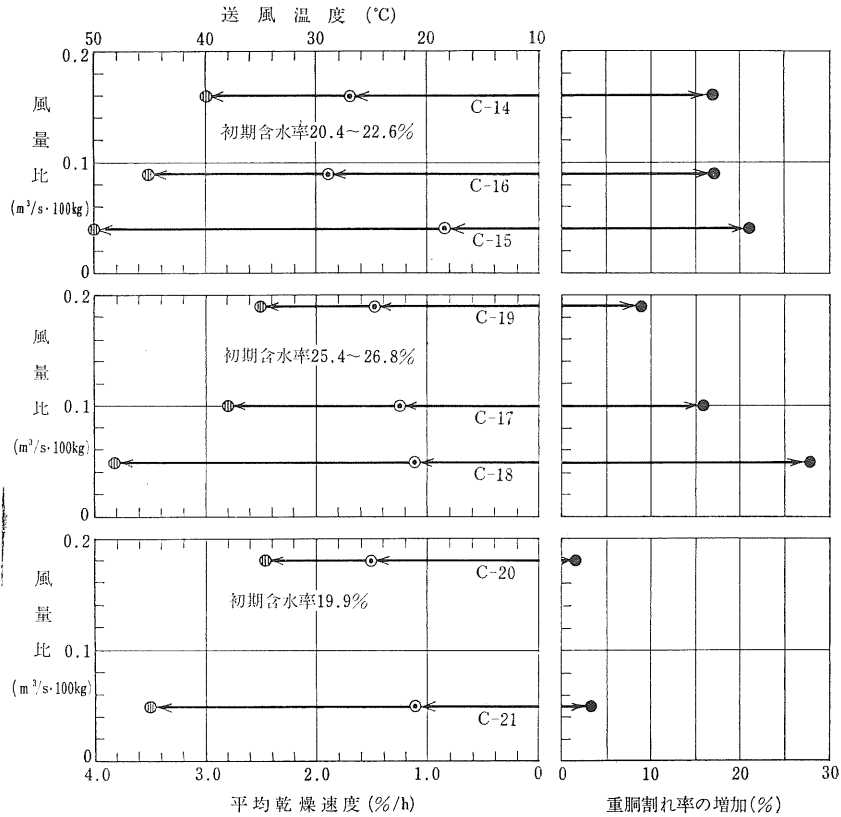
これらより次のことが判明した。

(1) 各比較試験区内で風量比と乾燥後の重胴割れ率の関係についてみると、比較試験区Ⅰの試験条件の範囲内ではいずれの試験も乾燥後の重胴割れ率について有意差がなく同程度であったとみなされる。Ⅱでは試験番号C-17とC-19には有意差がなく、C-17、C-19とC-18を比較すると、C-18の方が明らかに胴割れが多かった。また、Ⅲでは有意差がなかった(第Ⅳ-4表、第Ⅳ-6図参照)。

これらから逆に風量比と平均乾燥速度の関係についてみると、比較試験区Ⅰにおいて、重胴割れ率の増加を一定に押えたとすれば、風量比の多い場合に比較して風量比の少ない場合は、もはや平均乾燥速度を上げえないことを示している。Ⅱでは風量比が少ない方が平均乾燥速度は低かったにもかかわらず重胴割れ率の増加が非常に多かったことを示している。ⅢではⅠと同様な傾向を示している(第Ⅳ-6図参照)。

以上を総合していえることは、低温多風量の方が高温少風量に比べて平均乾燥速度を速くしても、胴割れ率の増加を押えるといえる。また、この傾向は比較試験区Ⅱにみられるように、初期含水率が高いほど顕著であった。

(2) 胴割れ率の増加を一定にすれば、初期含水率が低



(注) (1) 平均乾燥速度、重胴割れ率の増加は含水率13.5%になった時点の推定

(2) ○：風量比対平均乾燥速度

●：風量比対送風温度

●：風量比対胴割れ率の増加

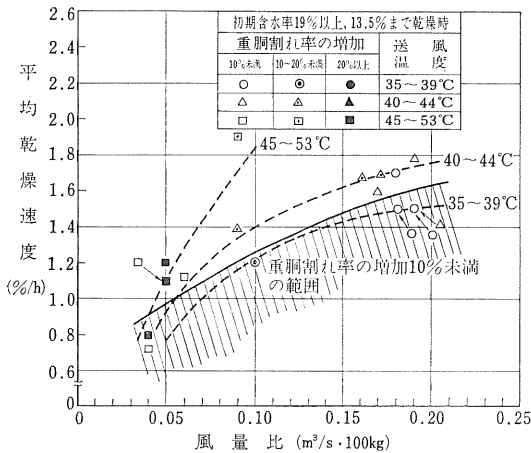
第Ⅳ-6図 風量比と送風温度、平均乾燥速度、重胴割れ率の増加

第Ⅳ-4表 試 験 結 果

試験番号	乾 燥 終 了 時									
	重 量	平 均 含水率	含水率 のむら	含水率の 変動係数	乾 燥 時 間	平均乾 燥速度	胴割 れ率	品目別分析重量歩合		
								単粒	枝梗付 着粒・ 穂切粒	脱稈粒・ 碎粒
kg	%	±%		h	%/h	%	%	%	%	
C-14	641	12.95	0.07	0.005	5.67	1.63	24.4	97.7	1.3	0.6
C-15	646	13.65	0.17	—	10.75	0.83	19.2	97.1	1.8	1.0
C-16	628	13.72	0.35	0.026	3.77	1.76	18.6	95.4	3.0	0.8
C-17	608	13.16	0.29	0.022	10.00	1.22	18.1	96.9	2.4	0.2
C-18	604	12.63	0.12	0.010	13.00	1.08	28.2	94.8	4.7	0.4
C-19	635	12.76	0.10	0.008	10.00	1.41	10.8	95.8	3.6	—
C-20	723	12.81	0.19	0.015	5.00	1.41	2.2	94.4	5.2	0.2
C-21	686	12.53	0.06	0.005	7.00	1.05	6.4	92.6	6.7	0.2
C-22	626	12.90	0.14	—	5.50	1.15	38.8	94.1	4.5	0.6
C-23	897	14.04	—	—	2.82	1.21	1.2	94.4	4.6	0.7
C-24	605	13.76	0.11	—	6.50	1.13	7.0	93.9	5.7	0.2
C-25	586	13.71	0.35	—	8.00	0.73	1.4	98.9	0.7	0.3
C-26	734	14.24	0.17	—	5.25	1.50	12.4	98.3	1.3	0.2

試験番号	含 水 率 13.5% ま で 乾 燥 時					送 風 馬 力**	備 考
	乾燥時間	胴割れ率	平均乾燥 速 度	平均毎時 除去水分	除去水分 1 kg当り 供給熱量*		
	h	%	%/h	kg/h	×10 <sup>3</sup> kcal/kg	PS	
C-14	5:10	17.3	1.71	14.1	2.3	0.55	* 吸込み空気温度 17°Cと仮定し、 空気温度の上昇 に伴う熱量増加 より計算  **送風機の静圧効 率50%とし、風 量と給気室静圧 より算出
C-15	10.90	20.6	0.84	7.0	1.5	0.01	
C-16	3.68	19.4	1.86	14.6	1.4	0.13	
C-17	9.67	15.9	1.23	10.0	1.7	0.12	
C-18	12.30	28.2	1.07	8.9	1.5	0.03	
C-19	9.20	9.3	1.45	12.7	2.3	0.77	
C-20	4.25	1.5	1.50	13.6	2.2	0.92	
C-21	5.45	3.4	1.12	10.2	1.1	0.20	
C-22	4.80	24.2	1.19	9.3	1.5	0.02	
C-23	—	—	—	—	—	0.22	
C-24	7.00	7.2	1.09	9.0	1.4	0.03	
C-25	8.30	1.5	0.72	5.3	1.6	0.02	
C-26	6.30	13.5	1.37	12.8	1.4	0.19	

(注) 胴割れ率は重胴割れ率で示す。



第IV-7図 風量比、送風温度、平均乾燥速度などと重胴割れ率

### D. タンク部と通風部の収容量の異なる循環式乾燥機の風量比の大小などと胴割れの関係

#### 1. 目的

これまでの試験において、1回の乾燥処理量に対して通風部の大きい柱状式乾燥機などを用いて穀の乾燥試験を行ない、風量比を大きくすることにより、乾燥速度を上げて乾燥に伴う胴割れの発生を少なくしうることを知ったが、このような乾燥機は乾燥しなければならぬ収量の変動に対しての適用性が小さいという欠点がある。この点に関して、現在、比較的多く普及しつつある循環式乾燥機のうち、乾燥箱が通風部と無通風のテンパリングタンク部よりなるものは、風量をさらに増加させようとするれば構造上やや難点があるように思われるが、収量の変動に対してはある程度の適用性をもっているため、本試験はこの種乾燥機による乾燥の高速化に関する資料を得ようとするものである。

#### 2. 方法

1回の乾燥で処理しなければならぬ収量に対して、通風部が柱状式のもので、この部分が多いものと小さいものの2機種を用い、風量比の大小、循環時間の長短と乾燥速

くなるほど、風量比の多少にかかわらず、送風温度は相対的に高くしうる（試験番号C-19とC-20、C-18とC-21を参照）。この結果はII・Bで述べた薄い層における傾向と一致する。

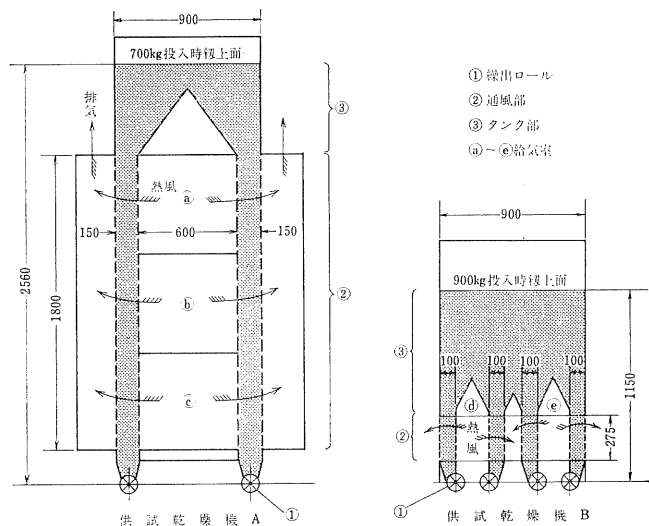
(3) 胴割れ率の増加を一定に押えようとするれば、風量比が大きいかほど送風温度を低くする必要がある。高温で風量比が小さい場合は、同じ平均乾燥速度で乾燥された時でも、胴割れ率の増加の変動が大きく、常に一定の性能が発揮されがたい傾向にあるようであった。しかし、このことに関してはなお多くの試験によって立証する必要がある（第IV-7図参照）。

(4) 乾燥後の乾燥むらを含水率の変動係数よりみると、0.003~0.033と小さかった。

(注) 穀物用循環型乾燥機の国営検査の基準によると0.05以下とされている。

度および胴割れの関係と比較検討した。

供試した乾燥機は、第IV-8図に示すように通風部の大きさが1回の乾燥で処理する収量に対して大きい供試乾燥機A（IV・Cで用いたものと同じ）と小さい供試乾燥機



第IV-8図 供試乾燥機の乾燥箱

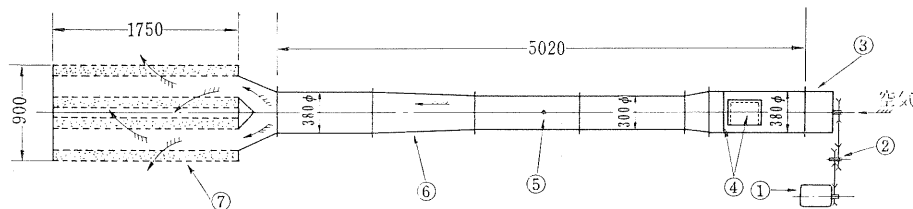
Bの2機種で、品種、含水率、性状が同一の籾をこれらの乾燥機に入れて、風量比、送風温度、籾が乾燥箱を1循環する時間などの条件を等しくして同時試験を行なった。

1回の試験で使用した籾量は供試乾燥機Aで700kg、供試乾燥機Bで900kgで、これらの投入籾容積を10とすると、各供試乾燥機の通風部とタンク部の容積比はAで通風部6、タンク部4、Bで通風部1、タンク部9であった。なお、供試乾燥機Aのみを使用し、第IV-8図の⑥の部分のみから籾に通風するようにして通風部の大きさを変えた場合の試験も行なった。

測定項目および測定方法は、IV・B、Cに準じたが、循環時間は繰出ロールから流下する籾流量を一定時間間隔で測定し、乾燥中はこの流量が常に一定になるよう、その都度繰出ロールの回転数を調節し、測定時点の流量の平均値より次式によって求めたものを循環時間  $\theta_f$  とした。

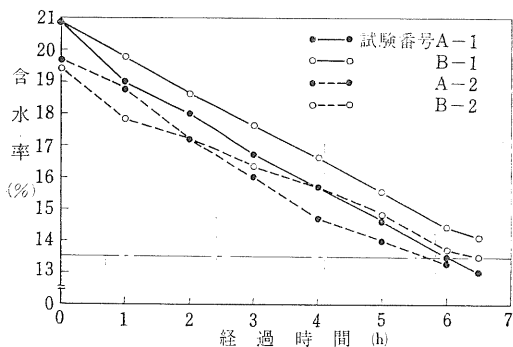
$$\theta_f = \frac{\text{籾の乾燥機投入重量 kg}}{\text{毎時平均流量 kg/h}} \times 60(\text{min})$$

なお、供試乾燥機Bの風量は第IV-9図に示す位置で測定した。



①モータ ②無段変速プーリ ③送風機 ④風路切換シャッタ  
⑤風量測定位置 ⑥風洞 ⑦乾燥箱

第IV-9図 供試乾燥機Bの風量測定位置



第IV-10図 風量比が小さい場合の循環時間の長短と乾燥過程 (第IV-5表参照)

試験条件を第IV-5表に示す。表中の試験番号Aは供試乾燥機A、Bは供試乾燥機Bである。供試した籾の品種はすべて日本晴で、農機研附属農場において自脱コンバイン収穫後、1回唐箕選したもののである。

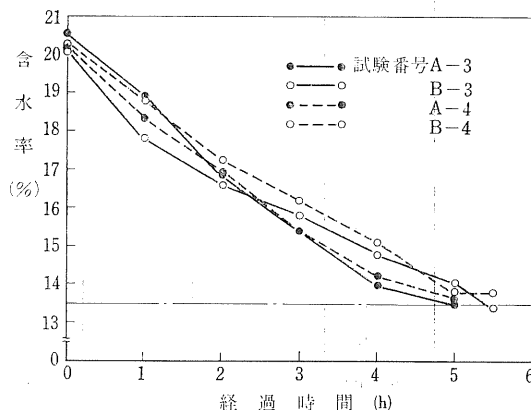
### 3. 結果および考察

試験結果を第IV-6表に示す。

#### 1) 循環時間と乾燥速度の関係

乾燥機中を籾が循環する時間を長くした場合と短くした場合とで、乾燥速度にどの程度の影響を及ぼすか、試験結果よりこれらの関係をみると、第IV-10図~第IV-12図のごとくである。

風量比  $0.05\text{m}^3/\text{s} \cdot 100\text{kg}$ 、送風温度  $48^\circ\text{C}$  で循環時間が20分と60分 (第IV-10図、第IV-12図(1)) とを比べると、供試乾燥機A、Bともに循環時間の短い方が含水率13.5%まで乾燥時の平均乾燥速度は  $0.1\%/h$  程度速くなったが、風量比  $0.1\text{m}^3/\text{s} \cdot 100\text{kg}$ 、送風温度  $42^\circ\text{C}$  で循環時間20分と60分 (第IV-11図、第IV-12図(2)) の場合についてみると、供試乾燥機Aでは20分の方が  $0.1\%/h$  速く、供試乾燥機Bでは差がなかった。したがって、循環時間の速い方がやや乾燥速度が速くなる傾向にあるが、実質的には乾燥



第IV-11図 風量比が大きい場合の循環時間の長短と乾燥過程 (第IV-5表参照)

第Ⅳ-5表 試 験 条 件

試 比 較 番 号	験 区 号	試 験 番 号	乾燥処理 量に対する 比		品目別分析重量歩合				乾燥前胴割れ率		
			通風部	タンク部	単 粒 %	枝梗付 着粒・ 穂切粒 %	脱稈粒・ 碎粒 %	わらく ずその 他 %	軽 %	重 %	全 %
Ⅰ	イ	A-1	6	4	89.7	9.4	0.9	0.0	1.6	0.4	2.0
		B-1	1	9							
	ロ	A-2	6	4	89.7	9.8	0.4	0.1	0.8	0.8	1.6
		B-2	1	9							
Ⅱ	イ	A-3	6	4	88.5	10.9	0.5	0.1	1.3	0.3	1.6
		B-3	1	9							
	ロ	A-4	6	4	89.7	9.7	0.6	0.0	1.2	1.0	2.2
		B-4	1	9							
Ⅲ		A-5	6	4	89.9	9.7	0.4	0.0	2.0	1.0	3.0
		A-6	2	8	88.3	11.0	0.6	0.1	4.4	0.2	4.6
		A-7	2	8	85.0	13.7	0.9	0.4	3.2	0.8	4.0

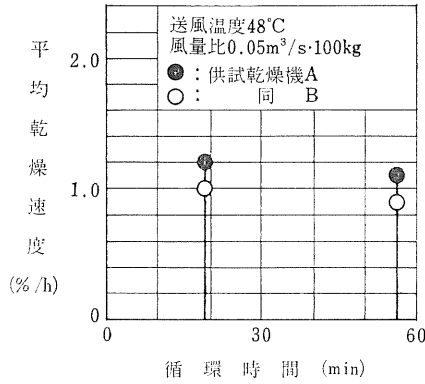
試 験 番 号	初 期 含 水 率	含 水 率 の 変 動 係 数 (サンプ ル15点 の標準 偏差)	含 水 率 の 変 動 係 数	乾 燥 機 穀 投 入 重 量	風 量 比	送 入 空 気			1 循 環 所 要 時 間
						平 均 外 温	平 均 送 温	平 均 絶 湿 対 度	
A-1	20.88	±0.38	0.018	705	0.053	21.9	48	0.007	19
B-1	20.85	0.19	0.009	904	0.050	19.3	49	0.008	19
A-2	19.66	0.20	0.010	724	0.051	20.0	48	0.008	56
B-2	19.43	0.24	0.012	901	0.048	19.0	48	0.009	56
A-3	20.48	0.26	0.013	703	0.094	18.2	42	0.008	57
B-3	20.13	0.21	0.010	902	0.11	19.0	42	0.010	52
A-4	20.26	0.10	0.005	701	0.10	15.5	42	0.008	19
B-4	20.30	0.20	0.010	901	0.11	16.4	42	0.009	18
A-5	24.87	0.23	0.009	706	0.21	12.7	35	0.005	19
A-6	24.07	0.25	0.010	700	(0.17) (0.12)*	15.3	48	0.005	19
A-7	23.67	0.30	0.013	701	0.13	15.1	42	0.005	20

(注) \*印は乾燥開始から60分の間の風量比で、60分以降は0.12m<sup>3</sup>/s・100kg。

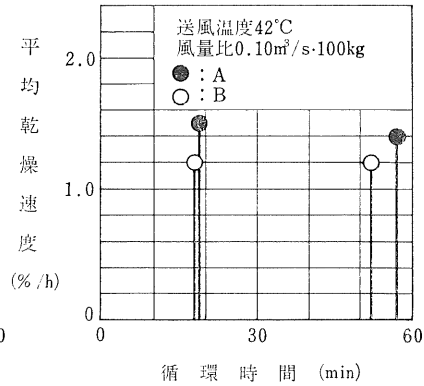
第Ⅳ-6表 試 験 結 果

試 験 番 号	乾 燥 終 了 時									
	籾重量	平 均 含水率	含水率 のむら	含水率 の変動 係 数	乾 燥 時 間	平均乾 燥速度	品目別分析重量歩合			
							単 粒	枝梗付 着粒・ 穂切粒	脱稈粒・ 碎粒	わらくず その他
kg	%	±%		h	%/h	%	%	%	%	
A-1	639	13.03	0.19	0.015	6.50	1.21	95.3	3.6	1.0	0.1
B-1	826	14.13	0.24	0.017	6.50	1.03	96.6	1.9	1.3	0.2
A-2	670	13.32	0.36	0.027	6.00	1.06	93.6	5.9	0.5	0.0
B-2	837	13.48	0.24	0.019	6.50	0.92	91.2	8.1	0.5	0.2
A-3	648	13.44	0.42	0.031	5.00	1.41	93.6	5.8	0.5	0.1
B-3	828	13.38	0.25	0.019	5.50	1.23	93.1	6.2	0.5	0.2
A-4	639	13.09	0.17	0.013	5.00	1.43	97.4	1.8	0.6	0.2
B-4	829	13.81	0.20	0.014	5.50	1.17	95.0	4.5	0.4	0.1
A-5	613	12.98	0.17	0.013	7.00	1.70	98.9	0.4	0.6	0.1
A-6	604	12.59	0.26	0.021	5.00	2.30	98.0	1.6	0.7	0.2
A-7	610	13.09	0.21	0.016	6.00	1.76	97.9	1.5	0.3	0.3

試 験 番 号	乾 燥 終 了 時			含水率 13.5% まで乾燥時推定				備 考
	胴 割 れ 率			乾 燥 時 間	平 均 乾 燥 速 度	全 胴 割 れ 率	除去水分 1kg当り 供給熱量*	
	軽	重	全					
	%	%	%	h	%/h	%	×10 <sup>3</sup> kcal/kg	
A-1	5.8	4.8	10.6	6.0	1.2	10	1.2	* 吸込み空気温度17°C と仮定し、空気温度の 上昇に伴う熱量増加よ り計算
B-1	1.8	0.0	1.8	7.1	1.0	3	1.4	
A-2	1.2	15.8	17.0	5.6	1.1	16	1.3	
B-2	1.2	0.4	1.6	6.5	0.9	2	1.5	
A-3	1.3	10.9	12.2	4.9	1.4	12	1.5	
B-3	1.2	1.4	2.6	5.4	1.2	3	2.0	
A-4	1.2	11.4	12.6	4.6	1.5	13	1.5	
B-4	1.8	2.4	4.2	5.9	1.2	5	2.2	
A-5	3.2	29.6	32.8	6.3	1.8	30	1.9	
A-6	0.4	66.9	67.3	4.0	2.6	65	—	
A-7	0.4	35.0	35.4	5.8	1.8	34	1.7	

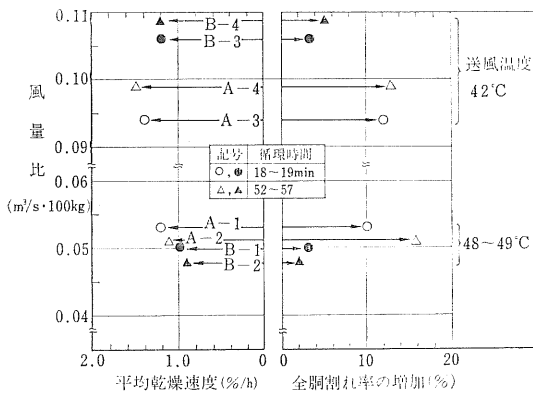


(1)



(2)

第IV-12図 風量比の多少および循環時間の長短と平均乾燥速度  
(含水率13.5%まで乾燥した時)



第IV-13図 循環時間、風量比、送風温度などと乾燥速度および胴割れ率(含水率13.5%まで乾燥した時)

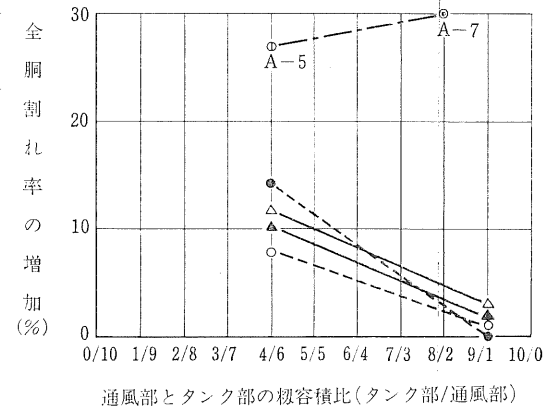
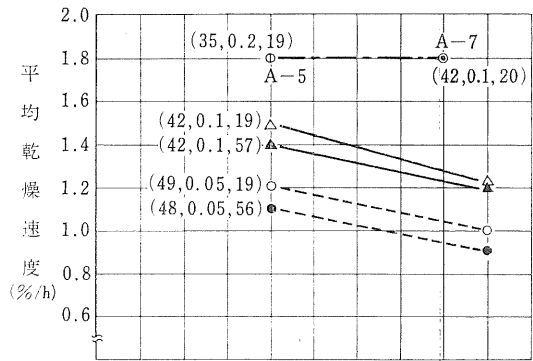
速度にはほとんど差がないものと考えてもよいと思われる。なお、乾燥前後の含水率のむらからみると、循環時間が長い方がやや乾燥後にむらが大きくなるような傾向にあるが、明確ではなかった。

#### 2) 風量比と乾燥速度および胴割れの関係

風量比が乾燥速度と胴割れに与える影響についてみると第IV-13図、第IV-14図のごとくである。

第IV-10図~第IV-12図からも風量比、送風温度条件が同じであれば、通風部の胴容積比の大きい方が平均乾燥速度は速くなるといえる。

また、風量比が $0.05\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{kg}$ と $0.1\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{kg}$ とを比較すると、風量比の多い方が送風温度を下げたにもかかわらず、いずれの乾燥機でも平均乾燥速度は $0.2\%/h$ 程度速くなっており、しかも第IV-13図に示すように乾燥後の全胴割れ率は風量の少ないものと同じ程度であった。



(注) (1) 含水率13.5%まで乾燥した時  
(2) ( )内は送風温度 $^{\circ}\text{C}$ 、風量比 $\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{kg}$ 、循環時間minを示す。

第IV-14図 乾燥処理初量に対する各部の胴容積比と平均乾燥速度および全胴割れ率の増加

このことは、胴割れの面から風量比が $0.05\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{kg}$ よりも $0.10\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{kg}$ の方が乾燥速度を速くするというものであり、Ⅳ・Cの試験結果と同じ結論を得た。

また風量比、送風温度条件が同じであれば、通風部における容積比の大きい方が平均乾燥速度は速くなったが、同時に乾燥後の胴割れも多かった(第Ⅳ-14図)。逆に考えると、通風部の大きいものほど送風温度を下げる必要があり、通風部の小さいものでは送風温度を高くするということになる。

ここで、通風部の容積比が異なる場合で、平均乾燥速度を同じにした時に、乾燥後の胴割れ率がはたして同程度に期待できるかということに関して、試験番号A-5、A-7の試験結果をみると、供試材の乾燥開始時の含水率なども幾分異なるが、風量比が $0.1\sim 0.2\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{kg}$ と比較的多く、循環時間が20分程度で短い場合は適切な送風温度が設定され、平均乾燥速度が同じくらいになれば、乾燥後の胴割れ率も同程度になるという結果を得た(第Ⅳ-14図)。

## E. 連続送り式乾燥機とタンクを組合せたマルチパス乾燥方式における乾燥条件と胴割れ

### 1. 目的

間欠的に通風して乾燥する方式(テンパリング乾燥方式あるいはマルチパス乾燥方式)の運転方法に関する資料を得る。

風量比がきわめて大きく、かつ、テンパリング時間(通風休止時間と同意味)が十分長い場合と2時間以内の比較的短い場合の乾燥条件と胴割れの関係および実用的な風量比でテンパリング乾燥方式を採用した循環式乾燥機による乾燥試験などより、この種乾燥方式の運転方法に関する資料を一部得たが、本試験ではさらに、連続送り式乾燥機とタンクを組合せた、いわゆるマルチパス乾燥方式を想定し、風量比が実用範囲で比較的多い模型的な乾燥装置を用い、乾燥途中にテンパリング期間を1回だけ設けた場合と数回設けた場合の送風温度、1回の乾燥時間などと胴割れの関係を求めようとした。

### 2. 方法

試験に用いた乾燥機はⅣ・Bで用いた山形多管式とⅣ・Cで用いた柱状式で、試験測定項目および測定方法はⅣ・B、

Cに準じたが、供試材料の重量測定は通風直後、テンパリング後その都度測定した。乾燥中は一部の試験を除いて紐を循環させた。また、テンパリング期間中は紐を乾燥機より取り出し、40kg入りの麻袋にそれぞれ詰め、これらを保温材(発泡スチロール)で覆うか、または鋼板製のタンクに入れて、一定時間だけ放置した。

乾燥途中に1回だけテンパリング期間を設けた場合の試験と、これを数回設けた場合の試験に分け、これらの試験条件を第Ⅳ-7表、第Ⅳ-8表に示す。なお、表中の試験番号MPは柱状式、LMPは山形多管式の乾燥機を用いた場合である。

### 3. 結果および考察

1) 乾燥途中に1回だけテンパリング期間を設けた場合の試験結果を第Ⅳ-9表に示す。

(1) 初期含水率、送入空気条件がほぼ同じで、テンパリング時間の異なる試験MP-1とMP-2において、テンパリング時間が4時間と20時間とで2回目の乾燥による平均乾燥速度についてみるとその差はほとんどなかつ

第Ⅳ-7表 試験条件

試験番号	紐の品種	乾燥前			風量比	送入空気		紐毎時平均循環量	乾燥方法		
		乾燥機投入量 kg	初期含水率 %	胴割れ率 %		平均温度 ℃	平均絶対湿度 kg/kg		1回目乾燥時間 h	休止時間 h	2回目乾燥
MP-1	クサブエ	638.15	24.95	0.0	0.17	44.7	0.009	1.3	1.50	4	連続
MP-2	//	653.60	24.51	0.0	0.16	44.7	0.008	1.3	1.50	20	//
MP-3	日本晴	670.40	24.19	0.0	0.29	44.6	0.007	1.3	1.50	20	//
LMP-1	//	964.05	23.73	0.8	0.26	45.0	0.008	4.2	1.50	20	//



第Ⅳ-8表 試験条件

試験番号	穀の品種	乾燥前			風量比	送入空気		親毎時 平均循環量	乾燥方法		
		乾燥機 投入量	初期 含水率	重胴 割れ率		平均 温度	平均絶 対湿度		1回当 りの乾 燥時間	1回当 りの休 止時間	乾燥 回数
MP-4	クサブエ	kg 606.75	% 26.26	% 0.0	m <sup>3</sup> /s・100kg 0.34	°C 49.1	kg/kg 0.007	t/h 1.2	min/回 30	h/回 4	回 4
MP-5	〃	612.70	26.38	0.0	0.33	49.5	0.006	0	30	4	4
MP-6	中生新千本	648.05	24.62	2.6	0.31	61.1	0.005	1.0	12	4	6
MP-7	〃	640.95	21.49	0.0	0.31	44.9	0.005	1.3	30	4	4
MP-8	〃	622.70	21.70	0.0	0.32	48.8	0.005	1.1	20	4	4
MP-9	〃	623.95	22.35	1.4	0.32	54.7	0.004	1.1	12	4	6
MP-10	〃	636.65	22.63	0.0	0.31	49.9	0.004	1.1	30	4	4
LMP-2	日本晴	910.40	21.04	0.6	0.29	45.0	0.008	4.2	30	4	4
LMP-3	〃	910.40	21.89	0.2	0.30	50.0	0.008	4.2	30	4	4

第Ⅳ-9表 試験結果

試験番号	1回目乾燥時				2回目乾燥時				
	乾燥 時間	乾燥後 含水率	平均乾 燥速度	乾燥後 重胴 割れ率	乾燥前 含水率	乾燥後 含水率	乾燥 時間	平均乾 燥速度	乾燥後 重胴 割れ率
MP-1	h 1.50	% 20.54	%/h 2.94	% 1.6	% 20.43	% 13.21	h 3.50	%/h 2.06	% 29.8
MP-2	1.50	20.22	2.86	0.0	19.94	13.12	3.50	1.95	16.6
MP-3	1.50	18.52	3.78	0.0	18.31	12.18	2.50	2.45	20.4
LMP-1	1.50	18.51	3.48	1.2	18.38	11.97	2.50	2.56	8.4

試験番号	2回目含水率13.5%乾燥時			全乾燥期間含水率13.5%乾燥時				送風馬力	
	乾燥 時間	平均乾 燥速度	重胴 割れ率	平均乾燥速度		平均毎 時除去 水分	除去水分 1kg対 して供給 した熱量*	全**	乾燥前 穀100kg 当り
				休止時間 含まず	休止時間 含む				
MP-1	h 2.30	%/h 2.1	% 28.0	%/h 2.4	%/h 1.3	kg/h 17.6	×10 <sup>3</sup> kcal/kg 1.9	PS 0.24	PS 0.04
MP-2	3.10	2.1	14.0	2.3	0.5	17.4	1.9	0.24	0.04
MP-3	1.70	2.8	14.0	3.3	0.5	26.0	2.3	1.27	0.19
LMP-1	1.80	2.7	6.2	3.1	0.4	34.6	2.3	—	—

(注) (1) \*印は外気温度17°Cとし上昇温度、風量、乾燥時間より概算した場合。

(2) \*\*印は風量、給気室静圧より、送風機静圧効率50%として概算した場合。

たが、乾燥終了時における胴割れ率の増加はテンパリング時間の短い方が非常に多くなった。

(2) 乾燥条件中風量比のみが異なる試験MP-2とMP-3を比較すると、風量比が多い試験MP-3の方が乾燥が速かったにもかかわらず、乾燥終了時の重胴割れ率の増加は試験MP-2と同程度であった。このことは風量比が

0.16m<sup>3</sup>/s・100kgより0.29m<sup>3</sup>/s・100kgの方がなお、乾燥速度をかなり速くしうることを示しており、また、材料条件を検討しなければならないが、乾燥後の重胴割れ率の増加も少なくしうると推察される。

(3) 初期含水率が24~25%で乾燥時間1.5時間の1回目の乾燥において、風量比が大きい方が乾減含水率は

きかったが、風量比が  $0.2 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100\text{kg}$  程度で、この時の平均乾燥速度は  $3 \sim 4\%/\text{h}$  になり、重胴割れ率の増加は  $2\%$  以下ときわめて少なかった。

このように、乾燥途中で1回通風休止期間を設ける場合を考える際に、連続通風乾燥で規格含水率まで乾燥する方式と異なり、1回目の乾燥において、胴割れが増加していないことが必要なことはいままでもないが、実際規模の乾燥機において、重胴割れ率の増加を一定に押えた場合の送風温度、乾燥時間と乾減含水率の関係を求めておくことは、このような乾燥方式のみならず、予備乾燥と貯蔵乾燥方式を結びつけるうえでも重要な資料になりうる。

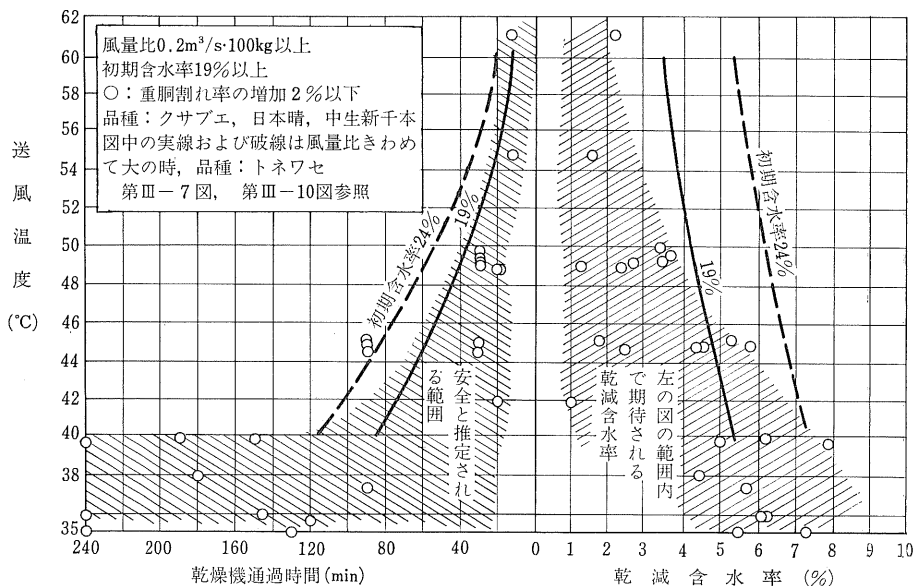
そこで、ここではⅣ・B～Ⅳ・D および本試験結果から風量比が比較的多い  $0.2 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100\text{kg}$  程度以上、1回目の乾燥終了時の重胴割れ率の増加  $2\%$  以下でかつ初期含水率が  $19\%$  以上のものについて、乾燥開始よりある乾燥時間がたったときの含水率と初期含水率との差を乾減含水率とし、その乾燥時間を乾燥機通過時間としてこれらと送風温度との関係を第Ⅳ-15図に示す。ただし、マルチパス方式の乾燥にあっては1回目の乾燥のみを対象としている。なお、図中には風量比がきわめて多い場合のⅢ・Cの実験結果の一部(第Ⅲ-7図、第Ⅲ-10図参照)も併記した。これらの関係は材料条件によってもかなりのばらつき

が生じることはすでに触れたとおりであるが、第Ⅳ-15図からいえることは、一般に風量比のきわめて多い場合のⅢ・Cの実験結果より、重胴割れ率の増加を一定に押えた時の送風温度と乾燥時間の関係を求めておき、この関係によって送風温度などを決定すれば、風量比が  $0.2 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100\text{kg}$  以上の場合ならば胴割れの点では安全であるといえよう。すなわち、完全にテンパリングした穀に通風して乾燥する場合に、胴割れの発生を押えてどの程度の時間通風しうるかを推測する場合の参考資料に供しうる。しかし、許容される乾減含水率は風量比がきわめて多い場合と比較すれば当然少なくなる。

2) 乾燥期間中に通風休止時間を数回設けた場合

すべての試験でテンパリング時間を4時間にとった場合の結果の主要なものをとりまとめて第Ⅳ-10表に示す。また、乾燥経過についての例を第Ⅳ-16図に、乾燥機通過時間、送風温度と胴割れの関係およびこの場合の乾燥機1回通過 (pass) 当りの平均乾減含水率の関係を第Ⅳ-17図、第Ⅳ-18図に示す。これらの図、表によって判明したことは次のとおりである。

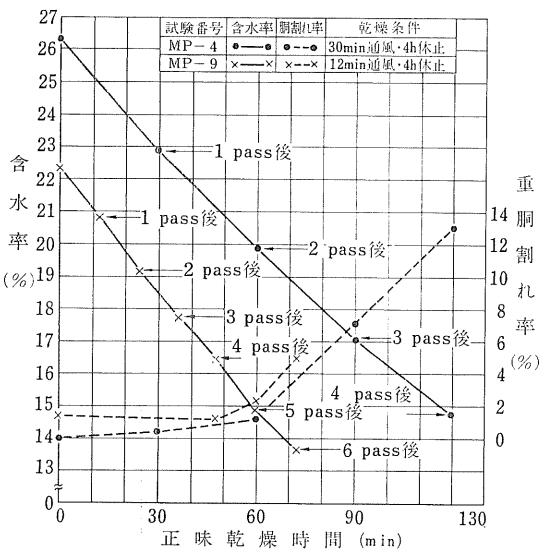
(1) 風量比が  $0.3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100\text{kg}$  程度で1回の乾燥機通過時間が  $30 \text{ min}$  の時には、通風中に穀を循環させても、静止させておいても、乾燥の速さ、乾燥後の胴割れ率の増加にはほとんど差がなかった(試験番号 MP-4, MP-



第Ⅳ-15図 重胴割れ率の増加を一定の値まで許した時の送風温度と通過時間および乾減含水率

第Ⅳ-10表 試験結果

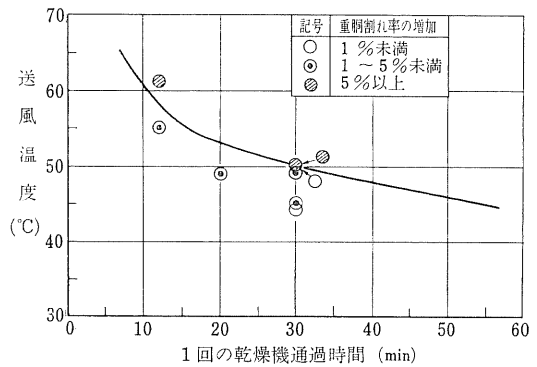
試験番号	乾燥終了時		乾燥時間		全乾燥期間平均				
	平均含水率	重胴割れ率	休止時間含まず	休止時間含む	乾燥1回当りの乾減率	乾燥速度(休止含まず)	乾燥速度(休止含む)	毎時除去水分	除去水分1kg当りに対して正味供給熱量
	%	%	h	h	%/回	%/h	%/h	kg/h	$\times 10^{-3}$ kcal/kg
MP-4	14.80	10.0	2.00	14.00	2.87	5.73	0.82	40.8	1.8
MP-5	15.08	13.0	2.00	14.00	2.83	5.65	0.81	40.8	1.8
MP-6	14.67	22.2	1.20	21.20	1.66	8.29	0.45	63.0	1.6
MP-7	13.20	2.5	2.00	14.00	2.07	4.15	0.59	30.6	2.0
MP-8	14.07	4.0	1.33	13.33	1.91	5.74	0.57	41.6	1.7
MP-9	13.65	5.0	1.20	21.20	1.45	7.25	0.41	52.4	1.6
MP-10	13.49	1.4	2.00	14.00	2.29	4.57	0.65	33.6	—
LMP-2	13.58	0.8	2.00	14.00	1.87	3.73	0.53	39.3	1.7
LMP-3	13.02	0.6	2.00	14.00	2.22	4.44	0.63	46.4	1.5



第Ⅳ-16図 乾燥過程の例

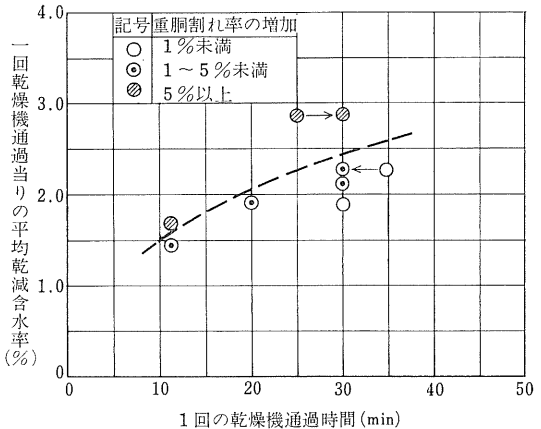
5参照)。通風中に穀を静止させておいた場合でも、テンパリング期間前後の排出入時にこの穀が混合されることが、結果的に差を生じさせなかったものと考えられる。

(2) 数回の乾燥機通過によって含水率が15%以下になった時点で胴割れ率の増加を一定に押えた場合、乾燥機通過時間が短いほど送風温度の限界は高くなるが、乾燥機1回通過当りの平均乾減含水率は少なくなる。また、送風温度が高いほど、1回乾燥機通過当りの平均乾燥速度を上げうることは、Ⅲ・Cの薄い層における試験結果と一致し、胴割れの面からみると、マルチパス方式における送風温度を高くし、通過時間を短くすることが好まし



(注) 図中の実線は初期含水率17%より重胴割れ率の増加を1%許容して14%以下の含水率まで1回で乾燥する時の送風温度と許容乾燥時間を示す。なお、乾燥前の穀は十分テンパリングされたもので風量はきわめて大(第Ⅲ-7図, 第Ⅲ-10図参照)

第Ⅳ-17図 1回の乾燥時間、送風温度と重胴割れ率



第Ⅳ-18図 1回の乾燥機通過時間、乾減含水率と重胴割れ率

いが、温度をあげるということは高含水率の場合、食味などの2次の品質の面での劣化をまねくおそれも考えられるので、この辺の検討は十分なされねばならない。

風量比がきわめて大きく、かつ乾燥前に十分長くテンパリングされた粳で、乾燥に伴う胴割れ率の増加を一定以下に押えようとする時には、一定の送風温度でも初期含水率が低くなるほど乾燥時間を短くする必要があることは、すでに指摘したとおりであるが(Ⅲ・C参照)、実際規模での試験において、胴割れが数回の乾燥機通過後に急激に増加するケースが多いという点から(第Ⅳ-14図)、むしろ規格含水率近辺の低含水率から次の乾燥機通過の際の乾燥機通過時間、送風温度と胴割れの関係をつかむことが重要であることを示しており、しかも、これらの関係が高含水率からのマルチパス乾燥方式における乾燥機通過時間、送風温度の関係をも規制するといえるであろう。

(3) この試験範囲で、含水率が15%以下になった時点で重胴割れ率の増加が5%以下であったものについて、休止時間を除いた正味乾燥時間のみで計算した平均乾燥速度は4~7%/hと非常に速くなっているが、休止時間も含めた場合の平均乾燥速度は0.4~0.7%/hできわめて遅く、Ⅳ・B~Ⅳ・Dの循環式乾燥機によった場合の試験結果と比較して、テンパリング時間を4時間とした

場合の乾燥所要時間は、循環式乾燥機による場合以上に短くしえないといえよう。

(4) なお、第Ⅳ-11表に示すように、テンパリング期間中(4~20時間)の含水率の変化はきわめて少なく、粳を麻袋に詰めたり、タンクに入れて放置しておく場合は、この程度の放置時間では粳からの水分蒸散はほとんどないと考えてさしつかえないようである。

第Ⅳ-11表 テンパリング期間中の含水率の変化

試験番号	初期 含水率	テンパリング期間中の含水率の変化 (乾燥機通過直後の含水率) - (テンパリング後の含水率)				
		1*	2	3	4	5
	%	%	%	%	%	%
MP-1	25.0	-0.1				
MP-2	24.5	-0.3				
MP-3	24.2	-0.2				
LMP-1	23.7	-0.1				
MP-4	26.3	-0.6	-0.4	-0.5		
MP-5	26.4	+0.1	-0.4	0.0		
MP-6	24.6	+0.1	0.0	-0.3	-0.5	-0.2
MP-7	21.5	-0.4	-0.2	-0.2		
MP-8	21.7	-0.1	+0.1	+0.4		

(注) \*の項の1~5の数字はテンパリング回数を示す。

## 高温通風における超高速乾燥と胴割れ

### 1. 概説

前章までにおいて、現在一般の乾燥機に使用されている70°C以下程度の送風温度における乾燥状況と胴割れの挙動について報告したが、さらにこの温度範囲を拡大し、かつ風量がきわめて多く、きわめて短時間で穀を乾燥処理したときの挙動に関しては現在までのところは少ない。一方、高含水率の穀を飛躍的に速く乾かすことによって乾燥機の収容部の容積をきわめて小さくして、乾燥機の価格を低廉化し、高性能なコンバイン収穫方式に対応する乾燥機開発の要望が強い。しかしながら、急速に乾燥すれば胴割れが多くなるという一般的知見もあり、この限界について、これまで実験を確認してきたところである。高含水率の穀を規格含水率近辺まで乾燥するときの平均乾燥速度の限界は、毎時1.5%前後の低いものであると推定される（このことに関しては本報告Ⅵにおいてふれる）。しかし、実験の過程において、きわめて高温で穀を超高速で乾燥したさい、穀自身の組織の変化によってきわめて胴割れしにくい性質に変化することを見出したので、その結果をここに報告し、新しい乾燥法開発の資料としたい。もっとも穀自身の組成の変化がほとんどみられず水のみが除去された状態というのが前章までに報告した胴割れの挙動と解釈しうるであろうが、穀自身の化学変化もともなう状態における胴割れと乾燥速度に関する挙動に関しては本章でのべるようにきわめて複雑であり、この問題は今後残されたものとしてさらに研究していく必要がある。

### 2. 目的

米の乾燥法に関する新しい分野の開発を目的として、種々の含水率の穀に100°C以上の高温を含む種々の温度の空気を大量に送り、規格含水率近辺まで乾燥させた場合の穀の乾燥状況と品質についての知見を得ようとするものである。

### 3. 方法

第Ⅴ-1図に示すような平型静置式乾燥機を用い、熱源としては回転噴霧式バーナを用いた。穀乾燥時の送風温度の監視に熱電対式記録計と水銀棒状温度計と両方を用

いた。乾燥箱の周辺には単なる充てん材として小麦を入れ、試験のための穀は中心部に入れてできるかぎり均等な風量が穀に送られるようにした。熱電対の測温部を熱風が穀にはいる直前の位置におき、送風温度を測定し記録した。

供試材料として農機研附属農場において9月下旬収穫された含水率29%前後の穀（品種はタマヨド）およびこれを含水率24%と18%に常温通風乾燥で調整した穀を用いた。これらの穀を各々麻袋に入れて低温貯蔵庫（2～4°Cに調節）中に保存し、実験開始前日の夕方取り出し常温放置したものを供試した。

1回の乾燥で供試した穀は3kgで、風量比は8～11 m<sup>3</sup>/s・100kgであった。

第Ⅴ-1表のような条件で実験を行ない、乾燥前後および乾燥途中に随時試料をとり、10g粒-100°C-24h法によって含水率を測定するとともに、これらの試料の一部を密閉して30°Cの定温機中に48時間以上貯蔵後に穀を手むきし、この玄米250粒について胴割れを調査した。さらに乾燥後の試料については低温貯蔵庫に2ヵ月以上いれ、その後、発芽率、脂肪酸度、一部の実験区に対してTZ値およびブラベンダーアミログラフによる特性値などを調査した。また胴割れの少ないHD-3-E, HD-1-Gを精米し、電気釜で炊飯したものについて試食を行った。

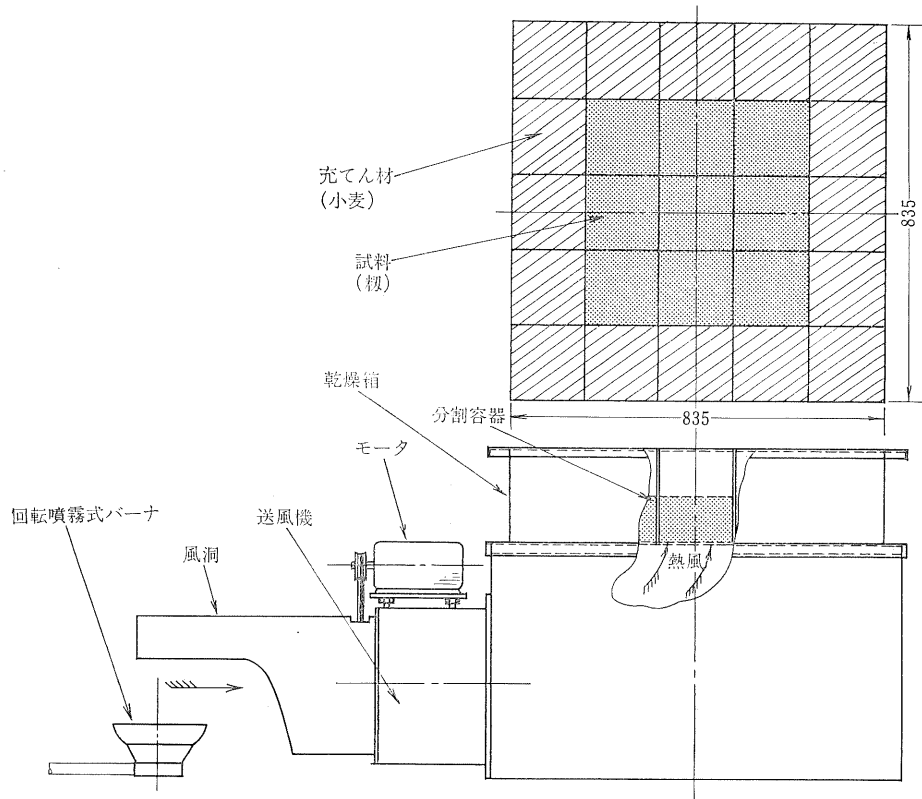
### 4. 結果および考察

乾燥曲線と胴割れ増加の状況の例を第Ⅴ-2図に示し、実験結果をとりまとめて第Ⅴ-2表に示す。

#### 1) 送風温度と平均乾燥速度の関係

含水率13.5%まで乾燥した場合の平均乾燥速度 $\bar{S}$ は送風温度、湿度は無論のこと、風量比、初期含水率、材料の性状などによって大きく変わる可能性があるが、ここで送風温度のみから平均乾燥速度をみると、両対数方眼紙上では第Ⅴ-3図のようになった。

この図より送風温度 $t$ が60～130°Cの範囲だと平均乾燥速度 $\bar{S}$ はほぼ直線で示され、 $\bar{S}$ は送風温度 $t$ の約4乗に比例し、この実験の程度の大風量では高温送風におい



第Ⅶ-1図 供試乾燥機

第Ⅶ-1表 実験条件と実験番号

初期含水率	送風温度 °C				
	120	90	80	60	40
%					
29	HD-1-A	HD-1-B	HD-1-C	HD-1-D	HD-1-E
29	HD-1-G				
18	HD-3-A	HD-3-B	HD-3-C	HD-3-D	HD-3-E
24	HD-2-A	HD-2-B	HD-2-C	HD-2-D	HD-2-E

て含水率29%から13.5%まで乾燥するのに5分弱の時間で超高速度乾燥できることが判明した。

2) 送風温度と乾燥後の胴割れとの関係

第Ⅶ-2表より含水率13.5%まで乾燥したときの被害粒となる重胴割れ率を推定したもの(第Ⅶ-2図に示すような胴割れ増加の時間的变化から含水率が13.5%になった時点における胴割れ率を推定する)と送風温度および初期含水率の関係をみると第Ⅶ-4図のごとくである。

ある含水率の粒を13.5%まで一定温度の熱風で連続乾燥する場合、乾燥後の胴割れ率は送風温度が80°C程度ま

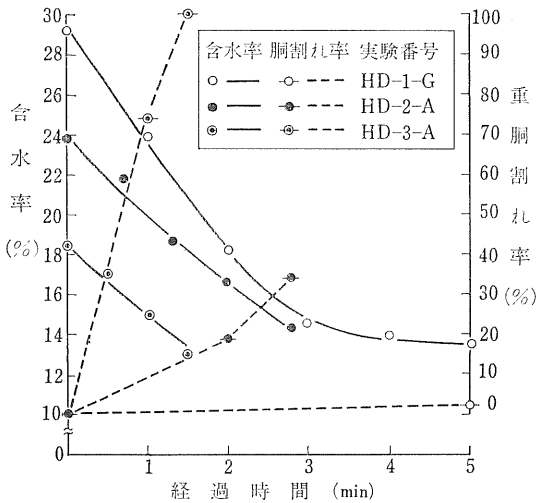
では増加し、さらに送風温度を高めて乾燥すると、逆に減少することが判明した。すなわち胴割れ率がついに100%となる胴割れ飽和点が存在した。

胴割れ率100%となる送風温度の範囲は乾燥前の含水率によって異なり、これを第Ⅶ-5図で示すように胴割れ飽和帯とすると、胴割れ飽和点はいずれの含水率でも80°C前後であったが、胴割れ飽和帯は乾燥前の含水率が高いほど狭くなり、低いほど広がる傾向にあり、この帯をはさんで送風温度が高くなっても低くなっても胴割れは減少した。

第Ⅴ-2表 実験結果

試験番号	送風温度	初期	乾燥後	乾燥所	含水率13.5%乾燥時(推定)		乾燥後の米粒の剛度		2ヵ月間貯蔵後			
		含水率	含水率	要時間	所要時間	重割れ率	挫折剛度	圧砕剛度	玄米含水率	脂肪酸度	籾発芽率	T Z 値
		%	%	min	min	%	kg	kg	%	mg	%	%
HD-1-A	115	29.0	14.3	6	7	17	無	無	14.0	7.8	0	—
HD-1-B	92	28.9	14.9	10	12.8	72	//	//	15.9	14.0	0	—
HD-1-C	79	29.3	12.7	27	23.6	96	//	7.1	13.5	8.8	0	—
HD-1-D	61	29.2	11.6	100	78	75	//	6.4	13.0	11.4	0	5.5
HD-1-E	40	29.2	12.7	330	282	43	4.6	7.5	13.9	14.9	85	87.0
HD-1-G	130	29.2	13.4	5	4.6	2	無	無	13.7	15.2	0	—
HD-2-A	116	23.8	14.3	2.8	3.3	38	5.1	//	—	9.9	0	—
HD-2-B	92	23.8	14.4	8	9.5	100	無*	6.3	15.2	10.0	0	—
HD-2-C	79	24.3	13.4	18	17.8	100	//*	6.4	14.1	7.8	0	—
HD-2-D	61	24.0	12.7	80	69	79	4.2*	6.4	13.7	6.8	15	84.5
HD-2-E	40	24.1	13.7	240	254	37	4.7	7.2	14.9	9.6	95	86.0
HD-3-A	120	18.4	13.1	1.5	1.4	95	無*	7.9	14.4	7.2	0	—
HD-3-B	92	18.4	13.1	3	2.4	99	//*	7.1	14.4	6.5	0	—
HD-3-C	81	18.4	12.8	9	5.8	99	//*	6.0	13.2	8.1	0	—
HD-3-D	60	18.3	13.5	30	30	68	3.9	6.4	14.7	8.6	78	92.0
HD-3-E	40	18.3	13.8	100	112	6	4.5	7.1	14.8	8.2	76	83.0

- (注) (1) 乾燥前の胴割れは認められなかった。  
 (2) \*印は剛度調査時点で、多条胴割れの多かったことを示す。  
 (3) 脂肪酸度の単位は、mgKOH/100g dry matter.  
 (4) なお、実験時の大気絶対湿度は 0.006~0.010kg/kg であった。



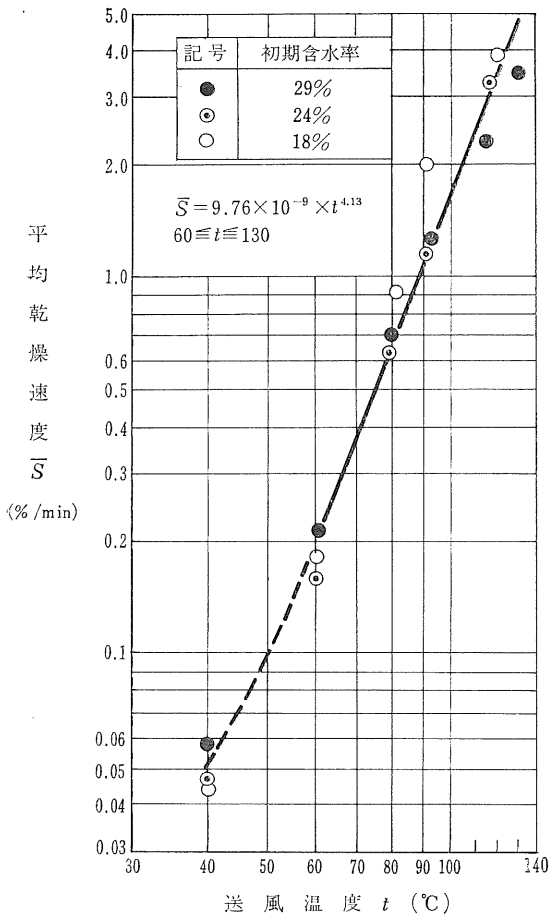
第Ⅴ-2図 乾燥過程と重割れ率

一方、乾燥直後より8時間以内で米粒剛度を調査したところ、第Ⅴ-6図のように胴割れ飽和点近辺、またはこれを越えた米粒には挫折、圧砕剛度がいずれかまたは両方存在しない領域があることが認められた。とくに胴割

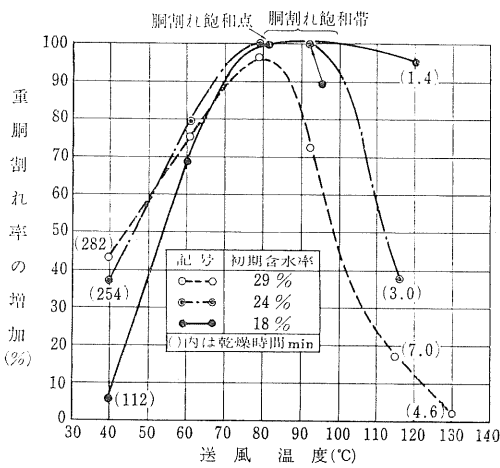
れ飽和帯を大きく越えた実験番号HD-1-A, HD-1-G, HD-2-A の米粒には圧砕剛度はまったく存在せず塑性的な変形を示し、米粒内の澱粉が糊化しているのではないかと思われた。このような組成変化が高温乾燥時に胴割れの発生を少なくしたとも考えられる。このような組成変化が80°C以上の高温領域において高温ほど、また初期含水率の高いほどはなほだしいと考えれば第Ⅴ-4図に示すような初期含水率が高いほど、送風温度が高いほど、乾燥後の胴割れが少なくなることが説明されよう。

3) 送風温度と貯蔵後の発芽率, T Z 値, 脂肪酸, アミログラム特性値, 食味などの関係

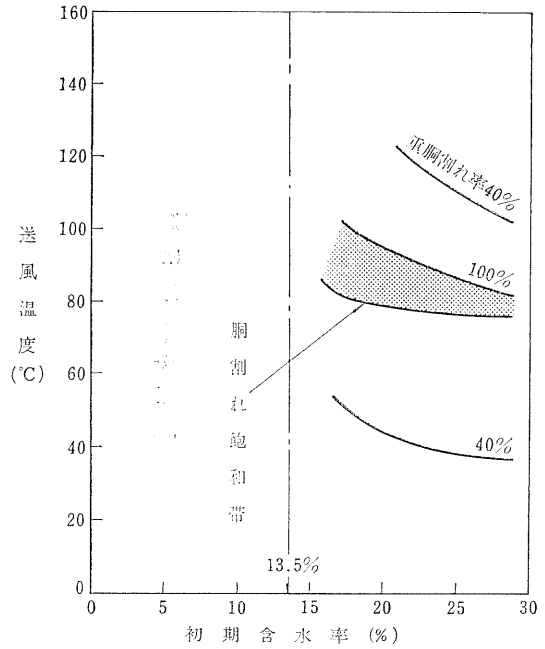
貯蔵後の発芽は40°C乾燥区ではいずれの含水率でもおおむね良好であったが、60°C乾燥区では初期含水率18%のもののみ40°C乾燥区によるものとそん色はなかった。このことは乾燥前の含水率が高くなるほど、発芽障害のおこる限界の送風温度が低くなることを意味する。80°C以上ではいずれの含水率でも発芽しなかった。さらに、40°C, 60°C乾燥区で米粒の生命力を示すT Z 値を調査したところ、実験番号HD-1-Dを除いていずれも80%であ



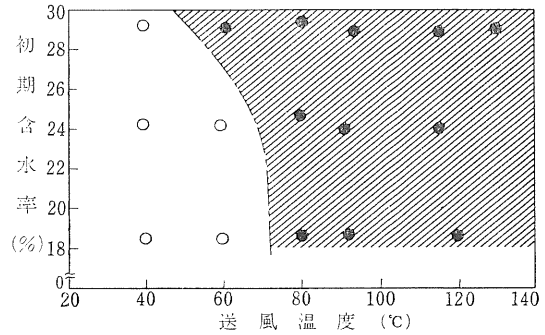
第V-3図 送風温度と含水率13.5%まで乾燥する時の平均乾燥速度



第V-4図 初期含水率、送風温度などと含水率13.5%まで乾燥時の重割れ率

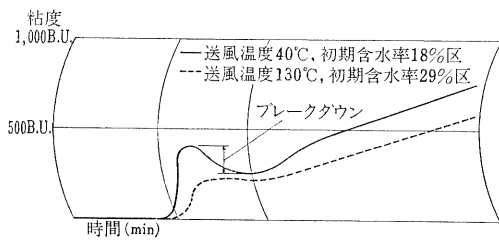


第V-5図 初期含水率、送風温度からみた銅割れ飽和帯の存在



● 挫折、圧砕剛度のいずれか、または両方存在しない領域  
 ○ 両剛度が存在する領域

第V-6図 含水率13%近辺まで乾燥した時の玄米の剛度



第V-7図 精米粉のアミログラムの例



り、HD-2-Dで発芽率をTZ値と比較すると、TZ値と発芽率の間には相関はかなり低いという結果になった。

含水率29%の粳をとくに高温で乾燥したHD-1-Gの乾燥後の粳、玄米、精米ともに、これらを1昼夜水浸しておくと米粒の腹から背にかけて裂けるという特異な現象が認められた。

玄米の脂肪酸度について乾燥前の送風温度による明確な関係は認められなかった。このことは高温をかけて急速に乾燥してもそれだけでは玄米の脂肪酸には大きな変化をきたさないことを示している。

粳摺した玄米、とくに実験番号HD-1-EとHD-1-Gのものについて比較すると、40°C乾燥区より130°C乾燥区の方が透明度が高いように思われた。また、高温乾燥時は一般にいわれている熱損傷による茶褐色粒、赤褐色粒は明白には認められなかった。

胴割れの比較の少ないHD-1-G、HD-3-Eを精米した結果、前者は糖層および胚芽の除去が著しく困難であり、両者ともほぼ同程度の糠の除去が行なわれるように精米したものについて普通の炊飯を行ない試食した結果、前者は著しく粘りが低下していた。また、この精米

を粉碎しブラベンダーアミログラフにかけた結果の例を示すと第V-7図のごとくである。HD-3-EとHD-1-Cを比べると、40°C乾燥区の前者に比べて高温乾燥区のもの、その様相が著しく異なりブレイクダウンがみられず、パーボイルドライスに近い様相<sup>89)</sup>を呈していた。

以上の結果を総合すると、実用的に次のようなことがいえる。

(1) 高含水率粳の高速急速乾燥は粳の性質が現在の日本人の一般的な嗜好にとってマイナスの方向に変わる可能性がある。

(2) 高含水率の粳を高温、大風量で超高速乾燥したときには、なお、検討の要はあるが、パーボイルドライスと類似のものとなり、この種の米の製法にはこのような方式が使用しうる可能性がある。また、この方式によれば圃場から収穫されたものを直接この種の米に加工しえて、しかも高含水率のものほど有利になり、乾燥が超高速で行なわれることによって乾燥機の収容部の容積を飛躍的に小さくして、乾燥コストを低廉化しうる可能性がある。

## VI

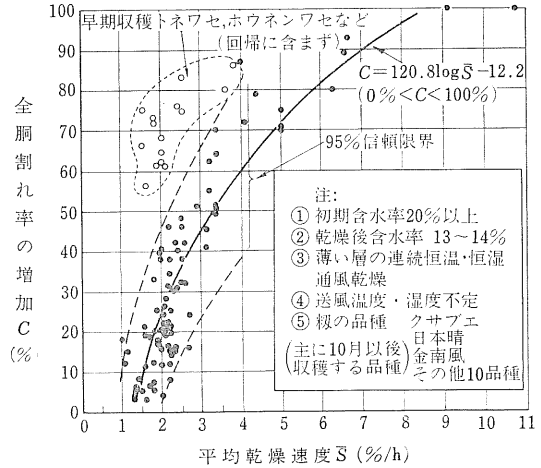
### 実験結果の実用面への適用

わが国に普及している乾燥機を、静止した靱層に風を送る静置式乾燥機と、靱を移動しながら風を送って乾燥する穀物移動式乾燥機にわけると、前者の場合、最も胴割れが発生しやすい部位は、送入空気がまず最初にあたる靱層である。それは風量が靱量に比して多くない、いわゆる厚い層に相当する一般の乾燥機では、送入空気が靱層にはいつてのち、靱を乾かすことによって、それ自身温度が下降、湿度が上昇するため、最初にあたる層からはなれるほど、乾燥能力が低下し、空気送入部から遠ざかった層ほど、送入部にある靱よりもゆるやかに乾燥が行なわれるからである。それゆえ、ある一定の温度、湿度の空気を厚い層の靱に送った場合でも、層全体の靱についてみたときの胴割れは、層へはいつてからの空気の温度下降、湿度上昇の程度を支配する風量比や初期含水率によって異なることになる。これらのすべての場合について説明することはきわめてむずかしく、実用的な条件としてはもっとも胴割れが発生しやすい空気送入部の靱においても胴割れが僅少なことが、簡便な方法として考えられる。その空気送入部近辺の靱の胴割れに関する挙動は、厚い層の送入空気の温度、湿度に相当する条件の空気が送られる場合の薄い層の状況と同じである。

よって、Ⅱ・Bでのべた関係、とくに第Ⅱ-6図、第Ⅱ-7図は薄い層における靱の初期含水率と送入空気の温度、湿度条件を示し、厚い層すなわち一般の静置式乾燥機における送入空気を設定する場合の資料として用いるものと考えられる。

ただし、Ⅱ・Cでのべたように靱の性状などによっても胴割れの程度が変わることに注意する必要がある。Ⅱ・Bで用いた靱の性状はその胴割れの発生 の 挙動からみて、10月頃に収穫するものとしては普通の胴割れ発生程度のものともみることができる。

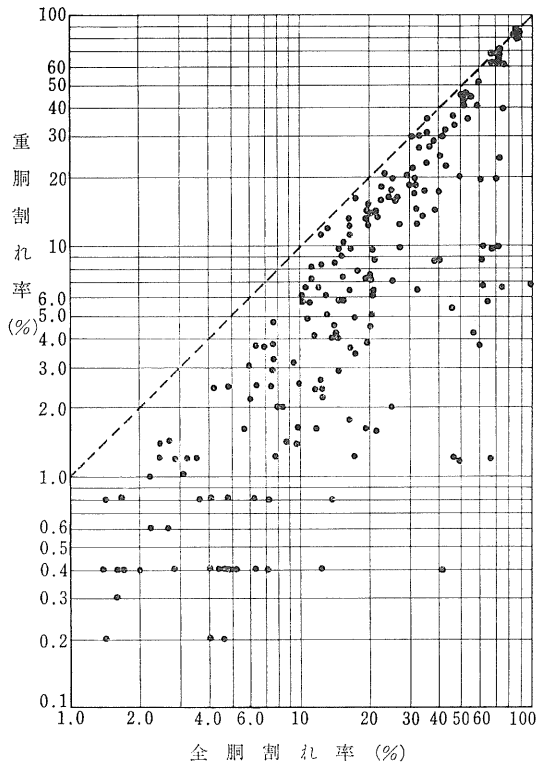
いま、本研究で行なった薄い層における連続通風乾燥で、規格含水率まで乾燥させたものについて胴割れ率と平均乾燥速度の関係をとってみると、第Ⅶ-1図のようになる。この図の点は初期含水率20%以上のもののみを選び、農林省関東東山農試で行なわれたこの種の乾燥試験結果<sup>30)</sup>も含めたものである。



第Ⅶ-1図 薄い層で連続恒温恒湿通風乾燥で靱を規格含水率近辺まで乾燥した時の平均乾燥速度と全胴割れ率

この図によると、とくに早期に収穫されたものを除き、全胴割れ率10%を許容する平均乾燥速度は初期含水率が20%以上から規格含水率近辺まで乾燥させる場合、平均的にみて毎時1.5%であることがわかる。かつ、この回帰された曲線の性質からみて、平均乾燥速度をそれ以上にあげた場合の胴割れの発生程度のばらつきは大きくなり、できうれば、毎時1.5%以下程度で乾燥を行なうのが安全性が高いことがわかる。

以上のことは、通常の靱で初期含水率20%以上の靱を乾燥した場合、乾燥用の送入空気の温度、湿度を一定とするならば、靱を規格含水率まで乾かす場合の平均乾燥速度を、全胴割れ率10%許容したとき、1.5%/h程度以上にあげることが困難なことを意味する。本研究の靱ではこの全胴割れ率と重胴割れ率の関係を第Ⅱ-2図、第Ⅱ-21図、第Ⅲ-22図に示しており、これらの図を総合すると第Ⅶ-2図のように両者の相関はかなり低い。しかしながら、品種、性状が同じものについては第Ⅱ-2図、第Ⅲ-22図に示すように高い相関を示している。いずれにしても、全胴割れ率10%というのは重胴割れにして数%とい



第Ⅶ-2図 規格含水率近辺まで乾燥した時の手むき玄米の全胴割れ率と重胴割れ率

うことを意味し、実用的にはこれ以下の胴割れにとどめなければならない。

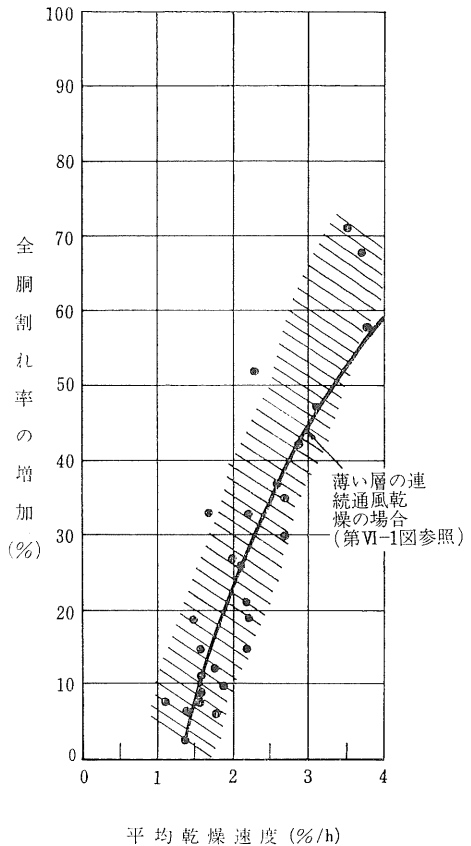
さらに、Ⅲで行なった薄い層における試験結果を間欠通風乾燥の結果と同様な図に示せば、第Ⅶ-3図のようになる。

この場合は、通風休止時間も乾燥時間に含めて平均乾燥速度を求めたものである。

これによると、第Ⅶ-1図の連続通風乾燥以上には平均的にみた場合、乾燥速度をあげえないことがわかるであろう。

穀物移動式乾燥機においても、Ⅳでのべたように風量比が $0.2\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{kg}$ 以上の連続通風乾燥型式のものではⅡ・Bでのべたような送風温度がほぼ適用される。これより風量比が小さいものや、間欠通風の場合は、実際規模または模擬化した試験によって送風温度を設定しなければならない。

数種のものについてこの種の試験を実施した結果をⅣにおいて報告したが、この結果によって実用的にはこの種乾燥機についてほぼ次のようなことがいえる。

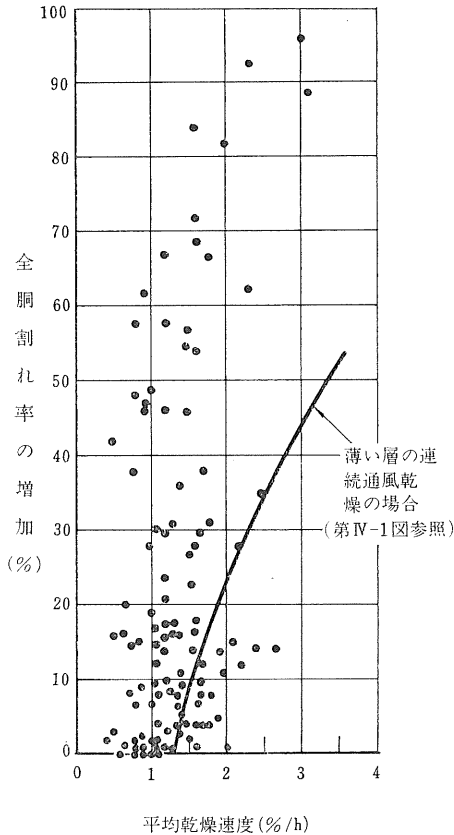


- (注) ① 初期含水率24%  
 ② 乾燥後含水率13~15%  
 ③ 粳の品種日本晴  
 ④ 間欠通風乾燥  
 ⑤ 通風は薄い層  
 ⑥ 乾燥中の通風期間中は送風温度一定  
 ⑦ 湿度一定、送風温度不定  
 ⑧ 平均乾燥速度は通風休止期間も含めた乾燥時間で求めた

第Ⅶ-3図 薄い層の間欠通風乾燥における平均乾燥速度と全胴割れ率

すなわち、胴割れの増加の程度を一定に押えて規格含水率まで乾燥させる場合、間欠的に通風する方式をとって、休止時間を乾燥所要時間を含んで考えれば、連続的に通風し、風量比が大きい場合より乾燥速度を増加しえないように思われる。ただし、送入空気温度、湿度は乾燥の全期間一定の場合である。

本研究の結果から、規格含水率近辺まで乾燥させた場合の平均乾燥速度(毎時乾減率)と胴割れ増加の程度(ただし、初期含水率にも影響されるので含水率20%以



- (注) ① 初期含水率20~30%  
 ② 乾燥後含水率13~15%  
 ③ 7社20機種以上の乾燥試験結果, 農機研の試作乾燥機によるものを含む  
 ④ 試験・研究機関のデータを使用  
 (文献40)~58))

第Ⅶ-4 図 乾燥機の平均乾燥速度と全胴割れ率

上から乾燥させたもののみを収録)との関係を示す第Ⅶ-1図と, 現在まで行なわれた各研究や検査機関での実用の乾燥機の試験結果からえた同じような関係を示す第Ⅳ-4図とを対比させてみると, ほとんどの点が薄い層における乾燥速度より遅いところで胴割れの発生が多くなっている。

このことは, 薄い層以上に乾燥速度をあげることは非常に困難なことを示している。

もし, 胴割れがなく, しかも非常な高速乾燥を期待するならばⅤでのべたように極端な高温によって玄米自体を胴割れのおこりにくい性状に変化せしめて乾燥する必要があるが, この場合は当然胴割れ以外の品質は変化するであろう。

## 摘 要

米粒の胴割れと精米時の碎粒に関して相関関係があることが報告され、それ以来わが国の米の検査規格のなかにも胴割れ粒が被害粒の1つとしてみなされ、玄米の等級を左右するものの1つになっている。本報告はこの米粒の胴割れと乾燥条件との関係を求め、乾燥機の設計運転の資料を得ることを目的として行なったものである。

また、現在、籾の人工乾燥には堆積層に空気を送って乾燥する方法がほとんど大部分なのでこのような場合に対応しうるような資料をえようとした。それらの実験結果をここで要約すれば次のごとくである。

### 1) 薄い層における連続通風乾燥の場合

(1) まず送風温度、湿度、籾の初期含水率（乾燥開始時の含水率）と籾を規格含水率近辺（含水率13.5%程度）まで乾燥させた場合の胴割れ発生の状況を求めるため、種々の温度、湿度でかつ乾燥期間中恒温、恒湿の空気を籾に送りうる実験装置を作り、風量比（籾100kg 当り風量）をきわめて大きくして薄い層と考えられる状態において試験を行なった結果を第II-7図、第II-13図に示した。

これらによれば初期含水率が高いほど、胴割れの発生を一定に押えて乾燥する場合には、送風温度を低くする必要があり、平均乾燥速度もあげられない。これは普通の乾燥では高含水率からの急速乾燥のむずかしさを意味する。胴割れの発生が粒内の水分分布の不均一に起因するという従来の知見からみて、高含水率のものの方が乾燥含水率が多くなり、粒内の水分分布がより不均一になる傾向があることから、このような結果をもたらすのであろう。

(2) 次に品種や収穫時期などの要因と胴割れの発生の難易との関係を求めるため、薄い層と考えられる状態において、送風温度、湿度を一定にした空気（温度40°C、絶対湿度0.010kg/kg）を、品種や収穫時期などを変えた籾に送り、平均乾燥速度と胴割れ率の増加程度をしらべた。籾はすべて農機研附属農場において栽培されたもので、ほぼ大粒、中粒、小粒のものを含み、かつ、比較的早く収穫しうるものから遅く収穫しうるものまで21品種を選定し、さらに一部の品種をのぞき含水率や刈取時期を変えたもの総計50回の試験を行なった。

その結果、全体を通じて胴割れ発生程度にかなりの差がみられ、一般に早期に収穫されたもの（実験では9月18日より29日に収穫されたもの）は、それ以降に収穫されたものに比べて胴割れがおこりやすくまた、粒の大きいものは割れやすいことなどが判明した。

(3) さらに籾を人工乾燥する場合、乾燥直後玄米に胴割れがみられないか、または少ない場合でも、乾燥終了後時間がたつにつれて胴割れが増加する現象がある。そこで乾燥後、貯蔵温度や通風の有無などによってこの増加の状況がどのように変わるかをしらべる実験を行なった。

種々の温度、湿度条件下で乾かされた籾を、数種の温度のもとで密閉貯蔵した場合の胴割れの時間的な増加をしらべた結果、時間に対して指数関数的に増加し、ほぼ48時間で一定の値に達した。また、終極に達する胴割れ率は絶対湿度が高い状況で乾燥された籾の場合、乾燥後の貯蔵温度が0°Cの方が30°Cに比べてやや少なかった。絶対湿度の低い空気条件の場合は両者に有意な差が認められなかった。

また乾燥直後に密閉貯蔵したものと、乾燥直後より一時通風後密閉貯蔵したものについて終極に達する胴割れ率の値を比べると、通風した場合、とくに高湿の空気を送らないかぎり胴割れ率の値に増加はみられなかった。むしろ、通風条件によっては胴割れ率が乾燥直後密閉貯蔵したものより少なくなる現象がみられた。また、終極に達する胴割れ率の増加はそれほど変わらなくても、一定の値に達するまでの時間が通風した場合、著しく短縮される現象がみられた。

いずれにしても乾燥後の胴割れ調査には貯蔵条件を一定にして、48時間以上貯蔵してから行なう必要があり、本実験においてはとくに明記しないかぎり全部を通じて乾燥後30°C中で48時間以上密閉貯蔵したのちの調査値をとった。

### 2) 薄い層における間欠通風乾燥の場合

(1) まず籾を間欠的に通風して乾燥させる場合、その通風休止時間と休止中の貯蔵温度が次の乾燥（2次乾燥）にどのような影響を与えるかをしらべるため一定の含水

率まで乾燥された粃を種々な温度で密閉貯蔵し、その後一定条件で2次乾燥を行ない、2次乾燥において一定時間経過後の含水率および一定含水率まで乾燥する時の通風時間を指標として、これと休止時間、および休止時間中の粃貯蔵温度などの関係を求めた。その結果、休止時間が短い間はそれによって2次乾燥の際の乾燥速度が大きく影響し、とくに4時間付近まではそれが著しい。休止時間が48時間程度たてば、次の乾燥に休止時間がほとんど影響しなくなる。休止中の貯蔵温度については、貯蔵温度が高くなるほど2次乾燥における乾燥速度が速くなり、この傾向は休止時間が短いほど顕著であった。

(2) 次に通風休止時間がきわめて長く、粒中の水分分布が均一化されて(いわゆる水分安定状態)から、次の乾燥に移るといった方式をとった場合に、通風中の乾燥速度と一定の含水率に達したときの胴割れの状態を知る簡便な方法を考案した。これは初期含水率および送風温度がわかれば、通風時間の長短にかかわらず胴割れの発生状況を知りうるものであるが、本報告における実験では送入空気の絶対湿度が0.010 kg/kg、休止中の密閉貯蔵温度が30°C、送風温度の範囲が40°Cから70°Cまでであった。

実験としては、粒内の水分分布が均一化されていると考えられる種々な含水率の粃に種々な温度の空気を送り、薄い層の状態乾燥を行ない、含水率の降下にしたがって経時的に胴割れ率が増加する程度をしらべ、一定の胴割れが発生する所要時間およびそのとき降下しうる含水率と初期含水率の関係を送風温度別にグラフであらわした(第Ⅲ-7図、第Ⅲ-10図参照)。これより乾燥の状況および胴割れ率の増加程度を推測しうると考えられる。

なお、この実験結果から、ある初期含水率から乾燥させる場合、胴割れ発生を一定に押えるならば、送風温度が高いほど乾燥速度をあげることがわかった。

(3) さらに通風休止時間が短い間欠通風乾燥において、すべての条件に対応する資料を求めることは困難なので、送風温度、通風時間および休止時間は種々な値をとるが、その各々が乾燥開始より終了までの間で変わらない場合についての資料を得るための実験を行なった。ただし、送入空気の絶対湿度は0.010 kg/kgで一定とした。

その結果、規格含水率近辺まで乾燥した状況をみて次のことがいえる。

(i) 休止時間も含めて乾燥時間とした時の平均乾燥速度は、通風と休止時間の比が同じ場合、1回の休止時間と通風時間を含めた1サイクルの時間が短いほど速くなる。

(ii) 通風と休止時間の比が同じでサイクルが異なる場合で、胴割れ率を一定に押えた場合の平均乾燥速度はサイクルの時間が短くなるほど、この限界をやや高くしうるが、それほど高い値ではない。また、この実験の範囲内においては、連続通風乾燥による場合の平均乾燥速度の限界以上にこの限界を高めえないようである。

(iii) 胴割れ率を一定に押えた場合の送風温度の限界は、通風と休止時間の比が同じとき、1サイクルに要する時間の長短にかかわらずほぼ一定と考えられ、この比が異なるときは通風時間に対する休止時間の比が大きくなるほど、送風温度を高くしうる。

### 3) 各種乾燥機の場合

循環式乾燥機や連続送り式乾燥機のような穀物移動式乾燥機の場合の乾燥条件と胴割れの関係を求めるため、2、3の型式の異なる実験用乾燥機を試作するとともに市販の乾燥機も含めて試験を行なった。

(1) まず試作した実験用柱状式乾燥機と山形多管式乾燥機において種々の含水率の粃を供試し、風量を変えて実験を行なった結果、先の薄い層において知りえたように、初期含水率が低いほど乾燥後の胴割れの発生を少なくして平均乾燥速度をあげることがわかった。

(2) 次に一定の温度で連続的に循環乾燥させた場合の平均乾燥速度は、胴割れをおこさない程度の送風温度条件下では、風量比が0.3 m<sup>3</sup>/s・100 kg以上であれば平均乾燥速度に与える風量比の影響は少ない。

さらに胴割れ率を一定に押えた場合、柱状式の乾燥機における試験結果より、初期含水率が低くなるほど、風量比の多少によらず送風温度を高くしうる。このことは薄い層の実験結果と一致する。

(3) また通風部と無通風のタンク部よりなる循環式乾燥機において、通風部とタンク部の収容量の比を1:9、6:4、2:8にとった場合の実験を行なった。この試験において、循環速度(1循環の所要時間が19~57分)そのものが平均乾燥速度に与える影響は少なく、また、いずれの場合も胴割れを少なくして乾燥するには風量比が大きくなるほど有利のように思われ、タンク部にはいる粃も含めて全体の収量に対する風量比が同じ時でも、通風部の収量が多いほど、若干平均乾燥速度は大きくなるが、胴割れ率の増加を一定に押えた場合の平均乾燥速度には両者とも大きい差はない。しかし、通風部にはいる収量がタンク部にはいる収量に対して少ないほど、同一の乾燥速度をうるためには送風温度を高くする必要がある。

(4) さらに風量比が実用範囲に近い連続送り式乾燥機

とタンクを組合せたマルチパス乾燥方式における熱風温度と乾燥時間などと胴割れとの関係を求め、この乾燥方式の運転資料をえた。

#### 4) 高温通風における超高速乾燥の場合

1), 2), 3) でのべた人工乾燥における胴割れの状況は、現在普通の乾燥に用いられている送風温度70°C程度以下の場合に対応する資料であるが、さらに高温かつ大風量で超高速乾燥した場合の状況について知るため試験を行なった。

含水率29%, 24% および18%の粳を送風温度40~130°Cの範囲で一定にとり、風量比8~11m<sup>3</sup>/s・100kgとして、規格含水率近辺まで連続通風乾燥した場合の米粒の胴割れと若干の2次的品質に関する調査も行なった。

(1) 含水率13.5%まで乾燥した時点での送風温度 $t$ と重胴割れ率の関係をみると、 $t=80^{\circ}\text{C}$ 近辺で極大となり、それより高温ではむしろ減少することが認められた(第Ⅶ-4図参照)。すなわち送風温度の上昇によって、胴割れ飽和点(胴割れ率100%になる温度)および胴割れ飽和帯(胴割れ率100%が持続する温度帯)が存在する。

この胴割れ飽和帯以上の高温において胴割れ率が減少する程度は初期含水率が高いほど顕著であった。

このような現象は高含水率の玄米が高温超高速乾燥によって、糊化し胴割れしにくい性質になったものと考えられる。

(2) この実験の範囲において、含水率13.5%まで乾燥するときの平均乾燥速度は送風温度 $t$ の約4乗に比例し

て増大し、初期含水率29%,  $t=130^{\circ}\text{C}$ においては、約5分間で超高速乾燥ができ胴割れはきわめて少なかった。

(3) 送風温度130°Cで胴割れ飽和帯を越え、かつ胴割れ率がきわめて少なかった乾燥終了時含水率約13%の米粒の性質をしらべた結果、粳摺、精米後の米粒はガラス状の透明な状況を呈し、炊飯後の食味はねばりが少なかった。

また、ブラベンダーアミログラフによる試験ではブレイクダウンがほとんど0 B.U.であり、パーボイルドライスと類似の性質をもっていることが判明した。

(4) この試験の結果を実用的に考えると高含水率の粳を高温大風量で超高速乾燥した場合は、粳の性質が現在の日本人の一般的な嗜好にとってマイナスの方向に変わる可能性があるが、他方、パーボイルドライスと類似のものとなり、この種の米の製法には高温による超高速乾燥法が使用しうる可能性がある。

#### 5) 実用面への適用

前記の試験結果をもととして、熱風温度の設定に関して考察を行ない、更に、この試験結果以外のものも加えて、考察を行なった結果、4)でのべたように高温通風による超高速乾燥の場合は別として、含水率20%以上の粳を規格含水率まで乾かし、かつ、胴割れ率を10%以内(重胴割れ率にして数%)にとどめる場合、平均乾燥速度で1.5%/h以上あげることが困難であることが判明した。

# 参 考 文 献

(Literatures)

- 1) 農林省告示第132号「農産物規格規程」
- 2) 二瓶貞一：精米と精穀，地球出版，354～359(1941)
- 3) 農林省食糧研究所：米の品質と貯蔵利用，食糧技術普及シリーズ (7)，25 (1969)
- 4) 岡村保：胴割米歩合と搗精碎米歩合との関係，農学研究 22，91～105 (1934)
- 5) 近藤万太郎・岡村保：吸湿に因る胴割米の成生に就きての実験的研究，農学研究 15，1～32 (1930)
- 6) 近藤万太郎・岡村保：玄米が吸湿せし時の膨脹の方向と胴割米成生との関係，農学研究 19，143～152 (1932)
- 7) 岡村保：胴割米に関する研究，農学研究 27，166～194 (1937)
- 8) 垂井不二男：水稻生籾の脱穀と乾燥に関する実験的研究，福井県農試特別報告 (2)，1～62 (1966)
- 9) 佐藤正夫：胴割れ機構，農業および園芸39 (19)，1421～1422(1964)
- 10) 長戸一雄：胴割米の発生に関する研究，日作紀 33，82～89 (1964)
- 11) 垂井不二男・杉原収：コンバイン収穫による異常籾の発生と乾燥，農機誌 28 (2)，100～102 (1966)
- 12) 山下律也：籾の乾燥(I)，農機誌 28(3)，162～166 (1967)
- 13) 石倉教光他：水稻の立毛胴割れ発生，農業技術 22，31～33 (1967)
- 14) 中村公則・原城隆：胴割米発生機構の解析(I)，東北農試研究速報 7，47～52 (1966)
- 15) 寺中吉造他：胴割米発生機構の解析(II)，東北農試研究速報 6，37～43 (1967)
- 16) 木根淵旨光：胴割米の発生と刈取時期および乾燥法との関係，農業および園芸 43 (3)，1247～1250 (1968)
- 17) S. M. Henderson: The Causes and Characteristics of Rice Checking, Rice Jour. 57 (5), 16～18 (1954)
- 18) S.M.Henderson: Milled Rice Yields. Tests Show Yield and Quality Affected by Drying-Air Temperature and Humidity, Calif. Agr., 11 (7), 6, 15 (1957)
- 19) J. L.Schmidt and W. V. Hukill: Effect of Artificial Drying on the Yield of Head Rice and the Germination of Rice, Rice Jour. 59 (13), 28～31 (1956)
- 20) J. H. Thompson et al.: Drying Characteristics of Western Rice—Colusa 1600 Variety, Rice Jour. 58(11), 14～19 (1955)
- 21) T. Wasserman et al.: Drying Characteristics of Western Rice—Caloro Variety (I), Rice Jour. 59(3), 12～16 (1956)
- 22) T. Wasserman et al.: Drying Characteristics of Western Rice—Caloro Variety (II), Rice Jour. 59(4), 41～45 (1956)
- 23) T. Wasserman et al.: Improvements in Commercial Drying of Western Rice (I), Rice Jour. 61(4), 30～38, 61(5), 40～46 (1958)
- 24) T. Wasserman et al.: Improvements in Commercial Drying of Western Rice(II), Rice Jour. 61(7), 9～14 (1958)
- 25) Research on Conditioning and Storage of Rough and Milled Rice, A Review through 1958, Report of U.S. Dept. of Agri. and others, 1～55 (1959)
- 26) O. R. Kunze and C. W. Hall: Relative Humidity Changes that Cause Brown Rice to Crack, Trans. of the ASAE 8(3), 396～405 (1965)
- 27) 平田森三：割れ目の物理学，自然 22 (5)，17～31 (1967)
- 28) 食糧庁検査課：国内産米穀被害粒等限界基準品解説書，1～11 (1956)
- 29) W. V. Hukill: Drying of Grain Storage of Cereal Grains and Their Products, 402～421 (1954), A.A.C.C.
- 30) C. W. Hall: Drying Farm Crops, 245～275 (1957), Agric. Consulting Asso.
- 31) 渡辺鉄四郎・清水浩：籾の人工乾燥について，農機誌 Ⅹ (3) (4)，11～20 (1951)

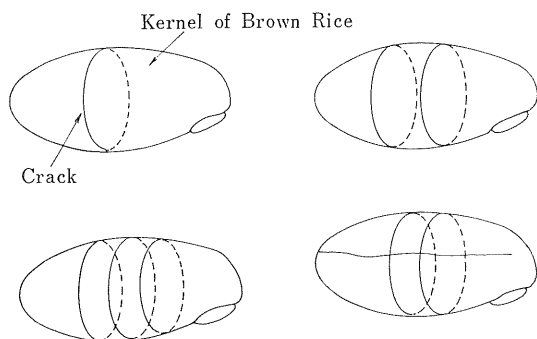


- 32) 麦類研究会：通風乾燥法における乾燥の過程，麦研叢書 38，1～48 (1959)
- 33) S. M. Henderson and S. Pabis: Grain Drying Theory, J. Agric. Engng Res. 7(2), 85～89 (1962)
- 34) J. M. Henderson and S. M. Henderson: A Computational Procedure for Deep-bed Drying, J. Agric. Engng Res. 13(2), 87～95 (1968)
- 35) F. W. Bakker-Arkema et al.: Simultaneous Heat and Mass Transfer during the Cooling of a Deep Bed of Biological Products under Varying Inlet Air Conditions, J. Agric. Engng Res. 12(4), 297～307 (1967)
- 36) 田原迫昭爾：農産物の熱風乾燥法に関する研究(1)，鹿児島大学農学部報 (17)，350～362 (1966)
- 37) 田原迫昭爾：農産物の熱風乾燥法に関する研究 (2)，鹿児島大学農学部報 (18)，207～262 (1968)
- 38) R. E. Ferrel and J. W. Pence: Use of the Amylograph to Determine Extent of Cooking in Steamed Rice, Cereal Chem. 41 (1), 1～9 (1964)
- 39) 関東東山農試農機具部：昭35年度試験成績，124～125 (1961)
- 40) 新潟県農試：昭38年度農業機械に関する試験成績，146～163 (1964)
- 41) 新潟県農試：大規模乾燥施設に関する試験成績，3～39 (1965)
- 42) 全購連農業機械部：共同乾燥調製施設用金岡式揚穀循環乾燥機の高水分粳の乾燥テスト成績，2～26 (1965)
- 43) 農林水産技術会議：昭40年度生粳の乾燥貯蔵法に関する特別研究推進会議資料，83～92，108～117 (1966)
- 44) 新潟県農試：昭40年度農業機械に関する成績，128～135 (1966)
- 45) 農機研：昭40年度乾燥貯蔵用機械に関する都道府県の研究結果概要(続編)，1～39 (1966)
- 46) 富山県農試：昭40年度農業機械試験研究成績書，1～23 (1966)
- 47) 農林水産技術会議：昭41年度生粳の乾燥貯蔵法に関する特別研究推進会議資料，117～123，163～176 (1967)
- 48) 秋田県農試：昭41年度農業機械に関する試験成績，50～73 (1967)
- 49) 宮城県農試：昭41年度農機具に関する試験成績，107～109 (1967)
- 50) 長野県農試：昭41年度農業機械に関する試験成績，185～228 (1967)
- 51) 京都府農試：水稲機械化栽培技術体系に関する試験，27～34 (1968)
- 52) 宮城県斉藤報恩農業館：昭43年度農業機械に関する調査研究成績書，84～87 (1969)
- 53) 新潟県農試：循環型乾燥機の性能に関する試験，1～77 (1969)
- 54) 三重県農試：昭43年度農業機械化関係試験成績書，90～94 (1969)
- 55) 大阪府農林技術センター：昭43年度水稲栽培機械化関係試験成績書，66～71 (1969)
- 56) 農機研：昭43年度都道府県の乾燥貯蔵用機械に関する研究成績概要，5～129 (1969)
- 57) 農機研：普通型コンバインとライスセンタによる収穫から乾燥調製までの諸機械の調査研究 1965～1969，77～122 (1969)
- 58) 農機研：全国都道府県農試昭44年度研究成績(収穫・乾燥・調製用機械に関する研究)，171～242 (1970)

## SUMMARY

In the Official Rice Inspection Standards of Japan, since it was reported that there was a correlation between crack ratio of kernels in brown rice and ratio of broken kernels when it was milled, cracked kernels have been dealt with damaged kernels and crack ratio of kernels in brown rice is the one that affects the grade of the brown rice.

In Japan, brown rice kernels on the surface of which a crack ring or rings break out are graded as damaged kernels by the Official Rice Standards of Japan (see Fig. 1).



**Fig. 1** Examples of Cracked Kernel Graded as Damaged Kernel for the Official Rice Inspection Standards

The purpose of the experiment in this report is to find the relation between drying conditions of rough rice and crack ratio in brown rice kernels and to obtain the information for design and operation of dryers by the results of the experiment.

The experiment was carried out from 1965 to 1969.

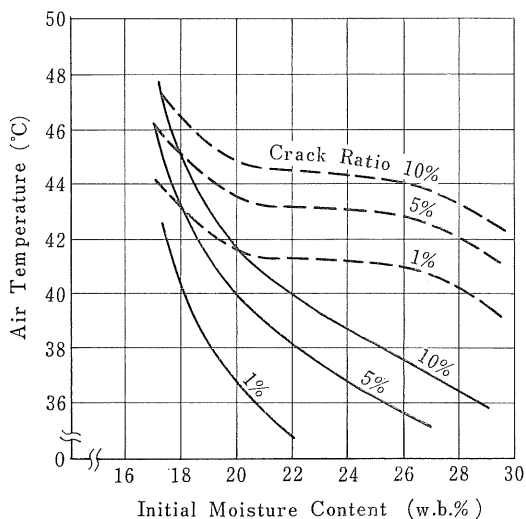
Almost all of artificial rice drying is now done by moving air through a rough rice layer, and so these studies were done to obtain the data for these drying methods.

### 1. Drying Rate and Crack Ratio for Continuous Air Flow through the Thin Layer

(1) To obtain the relation among temperature

and humidity of drying air, initial moisture content of rough rice and crack ratio of rice kernels, when dried to the regulational percent moisture (13.5~15.0% in rough rice) qualified for the Official Rice Inspection Standards of Japan, an experimental device, which is able to force the air of a uniform condition through a rough rice layer during a drying period, was designed and built. Each drying test was performed on a thin layer drying basis and at various drying air temperatures and humidities.

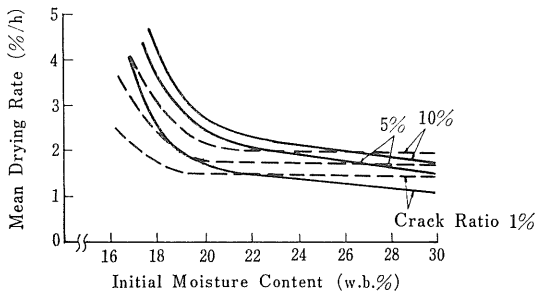
The results for these tests are shown in Fig. 2 and Fig. 3.



- Note: (1) Drying Air Absolute Humidity;  
 — 0.007 kg/kg  
 --- 0.024 kg/kg  
 (2) Final Moisture Content; about 13.5%  
 (3) Initial Crack Ratio; 0%  
 (4) Crack Ratio;  

$$\frac{\text{Cracked Kernels in Sample}}{\text{Total Kernels of Sample}} \times 100(\%)$$
  
 (5) Cracked Kernel; One Graded as in Damaged Kernel for the Official Rice Inspection Standards  
 (6) Variety of Rice; KUSABUE

**Fig. 2** Relation among Initial Moisture Content, Air Temperature and Crack Ratio in Thin Layer Drying



Note: (1) The Same as Note (1)~(6) in Fig. 2  
 (2) Mean Drying Rate;  

$$\frac{\text{Initial M.C.(\%)} - \text{Final M.C.(\%)}}{\text{Drying Time (h)}}$$
  
 (3) M.C.; Moisture Content

**Fig. 3** Relation among Initial Moisture Content, Mean Drying Rate and Crack Ratio in Thin Layer Drying

According to these figures, it was found that it was necessary to dry rice at lower drying air temperature as an initial moisture content of rough rice increased, and the higher the initial moisture content of rough rice, the lower the mean drying rate (percent moisture content per hour on wet basis) must be permitted under a condition of less crack ratio, when it was dried down to the regulational percent moisture.

According to the information of the studies that the moisture gradient within individual kernels during drying would be expected to cause cracking, there will be larger range of moisture content to be removed in high moisture rough rice than low moisture rough rice, when it is dried to a certain moisture content, and the moisture gradient within each kernel by removing moisture during drying period will be larger as an initial moisture content increases, and then much cracking will result after drying.

(2) In order to explore the difference of the characteristics on the outbreak of cracking in rice kernels in the forced air drying, the drying tests of rough rice with many kinds of varieties harvested at various periods were made under a constant drying air temperature of 40°C and absolute humidity of 0.010 kg/kg of dry air.

Then the relation between the crack ratio of rice kernels developed when rough rice was dried down to 13.5 percent moisture and the characteristics of rice kernels for cracking was clarified.

Twenty one varieties of rough rice different in sizes of kernels and periods of harvesting were grown and harvested in various moisture

contents at the attached farm of the Institute of Agricultural Machinery in Saitama Prefecture.

The considerable differences in crack ratios of kernels among all the tests have were observed and it was found that the comparatively early harvested rough rices (harvested from September 12 to 29) were easy to crack compared with the rough rices harvested after that, and the comparatively larger kernels with higher initial moisture contents were easy to crack.

(3) In spite of lower or no crack ratio of kernels directly after drying and being kept without drying or wetting during the period of store after drying, a phenomenon of increasing crack ratio as the time goes after drying had been observed, and the effects on the phenomenon of crack ratio increasing were investigated with regard to the temperature and ventilating conditions during store from the end of main drying in which rough rice was dried down to 12~14 percent moisture with heated air to the observed time of crack ratio. After drying at various air temperatures and absolute humidities, the rough rices were stored in tightly sealed bottles and kept at constant temperatures and the increasing circumstance of crack ratio with time goes from the end of drying was observed. Also the experiments of ventilated air of various kinds of nearly natural temperature and absolute humidity to kernels after the drying were made.

The results of the investigation are as follows:

(a) The crack ratio in the case of nonventilation after the heated drying has increased exponentially with progress of time and reached a constant value in about 48 hours.

The case of drying by the heated air with the higher absolute humidity of 0.024 kg/kg of dry air clarified that the differences of crack ratio reached finally between 0°C and 30°C storing temperatures were larger at 30°C storing temperature more than at 0°C. However, in the case of drying with the lower absolute humidity of 0.007 kg/kg of dry air, the differences were not observed for the both temperatures during the period of store.

(b) In the case of the ventilation with nearly natural temperature and ordinary humidity (near 0.010 kg/kg of dry air) or lower humidity than that from the end of drying with heated air, a remarkable difference on increasing of crack ratio as finally reached has never been observed distinctly compared with the store condition in tight sealing without ventilation. Of course, in the case of the ventilation at special high humid-

ity, for example about 0.020 kg/kg of dry air at 28°C, the crack ratio reached finally after store following ventilation was larger than in the sealing condition, because the kernels absorbed moisture. However, there were also the cases that the crack ratio reached finally was less in high humidity air ventilation than in the case stored closely without ventilation. The cause of the fact seems that the equilibration of moisture between the outside of kernel and the inside of it occurred as the surface of kernels absorbed some moisture after rapid drying.

(c) According to the result of the experiment, it was considered that the survey of rice cracking after drying should be made after keeping for 48 hours or longer. Then throughout the experiment of this report, the samples observed on crack ratio were sealed tightly and stored for 48 hours or longer at 30°C after drying.

## 2. Drying Rate and Crack Ratio for Intermittent Air Flow through the Thin Layer

(1) In the case of drying with intermittently ventilation, the effect of the nonventilation time on the mean drying rate of the following drying (secondary drying) was investigated. The rough rice was dried to a certain moisture content as the first drying with the various temperatures of air and then the secondary drying with a certain air condition after storing in tightly sealed bottles was carried out. The time required to dry to a certain moisture content by the secondary drying and the moisture content reached during a certain period by the secondary drying were observed and then the relations among the time and the moisture content mentioned above, the storing temperature and the storing time in tightly sealed bottles were obtained.

Consequently, the state of drying which was capable to be indicated with the drying time or the moisture content in the secondary drying mentioned above showed little change with the differences of the storing time by 48 hours. The drying time or the moisture content for the secondary drying was effected by storing temperature, and the higher the storing temperature, the higher the drying rate of the secondary drying process.

(2) A convenient method was developed in order to predict the mean drying rate, the ventilation and the cracking aspects in a certain moisture content after drying, when the rest time of ventilation (tempering time) without drying from

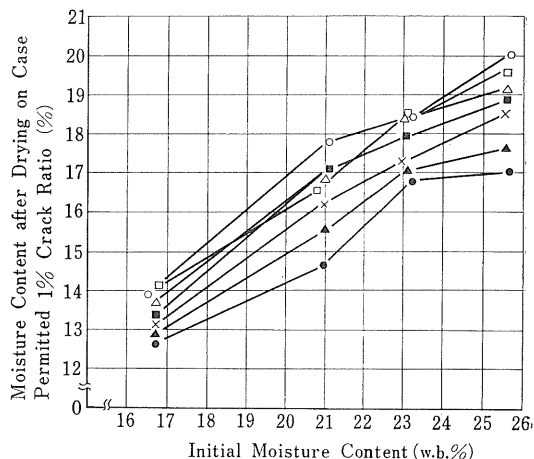
the end of the first drying to the beginning of the next drying was so long that the moisture equilibrated throughout the kernels.

We would be able to know the aspect of cracking outbreak, regardless of drying time with heated air, if we could know an initial moisture content and a drying air temperature, provided that the absolute humidity is 0.010 kg/kg of dry air, the tempering condition during the store is 30°C and drying air temperature extends to 40 to 70°C.

As the method of the experiment, the air of various temperatures was ventilated in rough rices of various initial moisture contents with the uniform distribution of moisture in each kernel, and the drying have been done with the thin layer.

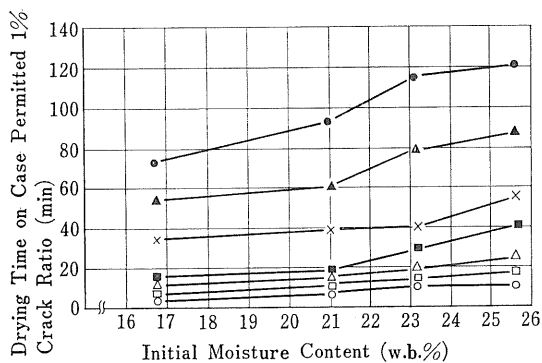
The increasing aspect of crack ratio was investigated with progress of time according to moisture content reducing and then it was graphed for the relations between the initial moisture content and the time from the beginning of drying to the time of outbreak of a certain crack ratio, and the downnable moisture content for individual air temperatures.

The results such as Fig. 4 and Fig. 5 were obtained in order to predict the increasing aspect



- Note: (1) Air Temperature;  
 ● 40°C ▲ 45°C × 50°C ■ 55°C  
 △ 60°C □ 65°C ○ 70°C  
 (2) Absolute Humidity of Air;  
 0.010kg/kg  
 (3) Initial Crack Ratio; 0%  
 (4) Cracked Kernel; One Graded as  
 Damaged Kernel for the Official  
 Rice Inspection Standards  
 (5) Variety of Rice; TONEWASE

Fig. 4 The Reduction of Moisture Content Permitted in Continuous Drying of Thin Layer



Note: The Same as Note in Fig. 4

Fig. 5 The Drying Time Permitted in Continuous Drying of Thin Layer

of drying circumstance and crack ratio from these figures.

In addition, as the result of this experiment, it was clarified that the mean drying rate was able to make faster with the higher temperature when rice was dried from a certain initial moisture content, provided that over a certain crack ratio was not allowed. However, in the drying with high temperature the downable moisture in the case of continuously drying was smaller than in the case of lower temperature.

(3) As it was difficult to obtain the data applied for all of drying conditions in intermittent heated air drying (multi-pass drying) with a short time tempering, these tests were done to obtain the information about multi-pass drying in which drying air temperature, pass time through a dryer and tempering time were various values, but each item was constant from the start of drying to the end. However, the absolute humidity was a constant value of 0.010 kg/kg of dry air throughout the tests. The tests were made with a simulated form in which rough rice was dried intermittently on a thin layer of it.

The results of the experiment are able to be applied to the circulating dryer grain holding compartments of which are divided into a ventilation section and a tempering section without ventilation, and in which grain remove regularly between the both sections with circulation.

The results derived from the case of rough rice dried to approximately the regulational percent moisture content are as follows:

(a) When the ratio of pass time through the ventilation section of dryer to tempering time per one cycle of grain circulation was constant, the

mean drying rate in total drying and tempering operation time was accelerated as this cycle was shortened.

(b) If the rice was dried under the condition permitting a certain ratio of cracked kernels with the drying to the regulational percent moisture and the ratio of a pass time to a tempering time in one cycle of grain circulation was constant, it was recognized that the critical mean drying rate was accelerated as this one cycle was shortened, but was not accelerated more than that in continuous heated air drying within these tests.

(c) Under the above condition, it was considered that the critical drying air temperature keeping less crack ratio was not related with the length of a cycle of grain circulation and approximately a constant to the length of the time, and critical drying air temperature rose as the ratio of tempering time in one cycle of grain circulation increased.

### 3. Drying Conditions and Crack Ratio for Some Types of Dryers

The objectives of these tests were to search for the effects of drying condition on crack ratio of rice kernels for grain moving type dryers like circulating dryer or continuous flow dryer through comparatively near scale tests for practical use. Some types of the experimental dryer and the commercial made dryer were used on rice drying tests.

(1) On the results of drying tests with two types of the experimental columnar vertical chamber type dryer and the inverted air channel proto-type dryer with various initial moisture contents of rough rice, air flow rates and drying air temperatures, it was found that rough rice of lower initial moisture content could be accelerated more the mean drying rate under the condition permitting a certain crack ratio than rough rice of higher initial moisture content, similarly for a thin layer drying.

(2) When rough rice drying was done with a uniform temperature of drying air, with continuous circulation of rough rice and under a condition of practical drying air temperature to prevent cracking from drying, the effect of rate of air flow on the mean drying rate was little at the air flow rate above 0.3 m<sup>3</sup> per second per 100 kg of rough rice.

As the results of tests done with the columnar vertical chamber type dryer, if rough rice drying was done under a constant ratio of cracked

kernels after drying, the critical drying air temperature was able to be raised relatively as initial moisture content of rough rice decreased, similarly in case of thin layer drying.

(3) Three types of circulating heated air dryer consisting of a drying section and a tempering section (the ratios of a rough rice holding capacity in a drying section to a holding capacity of rough rice in a tempering section were 1:9, 6:4 and 2:8 respectively) were used for the rough rice drying tests.

The outline of the investigation about the results of these tests was as follows:

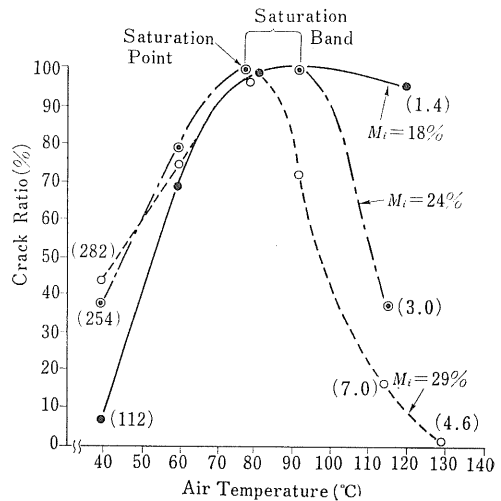
(a) The circulating flow rate of grain itself, when a rate of one pass of rough rice in the dryer was from 19 to 57 minutes, had little effect on mean drying rate. For each dryer, the more the air flow rate, the more advantageous to reduce cracked kernels.

(b) When the air flow rate in rough rice to a total holding capacity of each dryer and the drying air temperature were the same for those dryers, there was a little increase in the mean drying rate as the holding capacity in a drying section increased, but under a constant ratio of cracked kernels after drying, the critical mean drying rates for each dryer showed not large differences. In these cases, in order to get the same mean drying rate, it would be necessary to adjust the drying air temperature so that it reaches higher value, as the holding capacity in drying section decreases.

(4) For the multi-pass drying system with tanks and continuous grain flow dryers the air flow rate of which is close by the range of practical use, some data to operate in this drying system was obtained on the relation among drying air temperature, drying time and so on.

#### 4. Crack Ratio in Very High Drying Rate with High Temperature Air Flow

The data of cracking in artificial drying as mentioned in 1. 2. and 3. correspond with general drying methods in which drying air temperature is below about 70°C. This experiment is intended to know the trend in which the drying at very high rate was done with higher temperature and more plenty of air flow rate. The crack and the other qualities of rice were investigated when the rough rices of moisture contents of 29, 24 and 18 percent were dried continuously to about the regulational percent moisture, and drying temperatures in each moisture content was in the range of 40 to 130°C,



- Note: (1)  $M_i$ ; Initial Moisture Content %  
 (2) Values in Brackets at Near Point Show Drying Time in Minute from  $M_i\%$  to 13.5%  
 (3) Final Moisture Content: about 13.5%  
 (4) Initial Crack Ratio; 0%  
 (5) Cracked Kernel; One Graded a Damaged Kernels for the Official Rice Inspection Standards  
 (6) Variety of Rice; TAMAYODO

Fig. 6 Crack Ratio on Various Air Temperatures and Initial Moisture Contents in Forced Air Drying

and air flow rate was 8 to 11m<sup>3</sup> per second per 100 kg of rough rice.

(a) On the correlation between drying air temperature at t°C and crack ratio %, when the moisture content of rough rice became 13.5 percent moisture by drying, it was found out that the crack ratio was attained to maximum at t°C equal to nearly 80°C. The higher air temperature over this temperature, the lower crack ratio broke out (see Fig. 6). By raising of air temperature, the saturation point of crack ratio (the temperature when crack ratio of rice is 100 percent) and the saturation band of crack ratio (the range of the temperature when crack ratio continuously remains at 100 percent) were recognized.

In the case of higher air temperature beyond the saturating band of crack ratio, it was remarkable that the higher initial moisture content, the lower crack ratio under a certain temperature condition.

The above phenomenon seems to be attributed to the fact that rough rice of high moisture

content is gelatinized and the outbreak of crack become difficult even if it is dried with high temperature and very high drying rate.

(b) In the range of these experimental conditions, the mean drying rate (percent per hour) when the rough rice was dried to 13.5 percent moisture increased in proportion to nearly four powers of drying air temperature  $t^{\circ}\text{C}$ . The rough rice of 29 percent initial moisture content could be dried rapidly at  $130^{\circ}\text{C}$  for about 5 minutes and crack ratio was little.

(c) The result of the investigation for drying of rough rice to about 14 percent final moisture content at  $130^{\circ}\text{C}$  in which crack ratio was little beyond the saturation band of crack ratio was as follows.

It was recognized that the qualities of brown rice and milled rice were gelatinized, transparent like a glass, and the taste of the cooked rice lacked in stickiness.

Moreover, according to the Brabender Amylograph, the breakdown was nearly zero B.U., therefore, it became clear that this rice had one of the characteristics of perboiled rice (see Fig. 7).

(d) The results of the experiment mean practically as follows.

For the drying of high moisture content rough rice with heated air, the characteristics of rice tend to change for the worse against present Japanese customary taste. However, on the other side, when high moisture content rough rice was dried rapidly with plenty of heated air

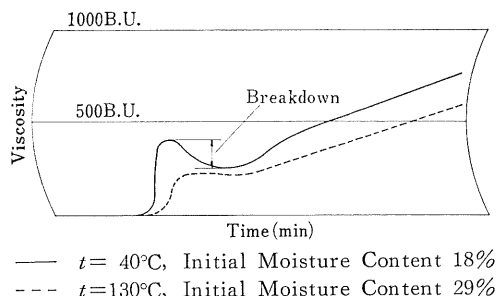


Fig. 7 Amylograph Curves of Milled Rice

flow, its characteristics of the rice quality become quite alike perboiled rice. In order to produce such kind of rice, the rapid drying method with heated air of high temperature will be possible for use.

### 5. Application of the Results to Practical Use

The establishment of drying air temperature for various types of dryers was taken into consideration, based on the above experiment results.

In parallel with other experiment results concerned, it was found that it would be difficult to obtain 1.5 percent per hour for the mean drying rate, in the case of drying over 20 percent moisture rough rice to the regulational percent moisture level and at the same time keeping up a few crack ratio, except in the case of the very high rate drying with high temperature air flow, previously mentioned in the item of 4.

---

人工乾燥における米の胴割れに関する実験的研究

—研究所報告第8号—

昭和46年10月25日発行

頒価 1,400円

埼玉県大宮市日進町1丁目 農業機械化研究所

---

印刷・製本／富士美術印刷株式会社

製作／不二出版株式会社（東京都北区西ヶ原1-26-3）