

## 荷受けコンテナによる粳の乾燥\*

村田 敏\*\*・宮内樹代史\*\*・堀 昭善\*\*

## Rough Rice Drying by the Paddy Container

Satoshi MURATA\*, Kiyoshi MIYAUCHI\*, Yoshiki HORI\*

[Keyword] paddy container, drying, rough rice

## I 緒 言

コンバインによる収穫が普及した現在、ントリーエレベータやライスセンタなどの共乾施設には、高水分の粳や小麦が一時期に集中して持ち込まれる。このため、原料搬入の時間帯集中によって生じる搬入受け入れの混雑・長時間待ち合わせ、一括受け入れによる弊害、長時間滞貨のための呼吸熱発生による品質の劣化などの問題が生じる。このような問題に対処するため、荷受けコンテナが広く利用され、効果を発揮している。この荷受けコンテナは、排風機を設置することで、一時的な貯留装置としてだけでなく、呼吸熱が引き起こす高水分穀物層の温度上昇による品質劣化を防ぐ排熱、冷却装置として、さらには補助乾燥装置としても利用することが考えられている。

われわれは先に、荷受けコンテナの貯留中の小麦の昇温、通風による冷却、風量と圧力分布等の測定と解析を行い、その基本特性を明らかにしたが、今回は、常温通風乾燥機としての特性に注目し、荷受けコンテナのより有効な利用を目的として、排風機を取り付け通風することにより、コンテナ内材料の水分が目的水分に達するまでの期間、排風機運転中のコンテナ内材料の温度と含

水率の変化および通風量を測定し、解析したので、その結果を報告する。

## II 測定方法

## 1. 供試機

本研究に使用した荷受けコンテナは、排風機 SA-302 (100V-100W 単相) を装備した、型式 2FA (S社製、容量 2 m<sup>3</sup>、質量 211 kg) である。その概略図を図 1 に示す。

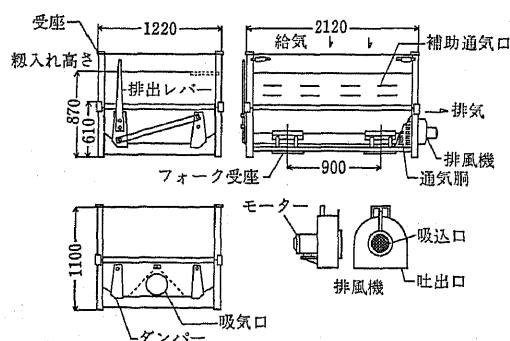


図1 荷受けコンテナ及び排風機の概略図  
Fig.1 Schematic diagram of the paddy container and blower

## 2. 供試材料

測定に供試した材料は、1989年10月30日に福岡県粕屋郡で収穫され、当日、粕屋農協久山ントリーエレベータに持ち込まれた粳であり、品種はレイホウ、初期含水率は23.2% (w. b.)、使用した粳の質量は944kgであった。

\* 平成元年4月 第49回農業機械学会年次大会(宮崎大学)にて講演

\*\* 九州大学農学部 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1  
☎092-641-1101 EXT.6296)

Faculty of Agriculture, Kyushu University,  
Higashi-ku, Fukuoka, 812 Japan

3. 測定方法

供試材料の籾を入れた荷受けコンテナをコンテナごと台秤(積載質量1300kg)に載せ、一日毎の重量変化、堆積材料表面のコンテナ内での沈下量、給・排気口の空気温湿度と、コンテナ内各点の材料温度の変化を測定した。

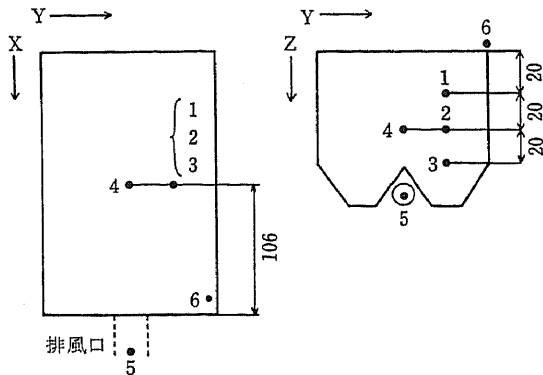


図2 荷受けコンテナ内の温度測定点  
Fig.2 Measuring points of temperature in the paddy container

温度測定点は図2に示す6点で、コンテナ内の4点についてはCC熱電対(素線径0.3mm)を堆積層の籾中に挿入して測定し、排風口の温度はそのままCC熱電対で測定した。給気口では、温湿度プローブ(ヴァイサラHMP-115Y)により温度、湿度を測定した。測定値はポータブルハイブリッドレコーダ(横河北辰電機3087形)に記録した。

また、排風機運転中の堆積材料表面の風速を熱線風速計(KANOMAX Anemomaster MODEL 1002, 1006)で一日毎に測定した。

III 測定結果と解析

1. コンテナ内各点の温度変化

高含水率の穀物を堆積しておくと、呼吸作用によって穀温が25~35°Cにまで上昇し、品質劣下の恐れが生じる<sup>1)</sup>。排風機を運転する一つの理由は、呼吸熱の蓄積による穀温の上昇を防ぐためである。図3に、図2で示した測定点の温度を示

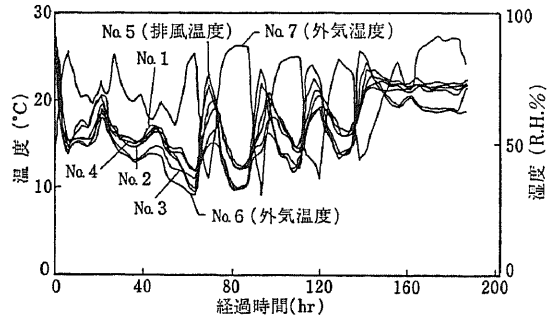


図3 各測定点における温度の経時変化  
Fig.3 Changes of temperatures of measuring points in the paddy container

す。No. 1~4はコンテナ内各点の穀物温度、No. 5, 6は排・給気口の温度、No. 7は給気口(外気)の湿度である。今回は実験開始と同時に排風機を運転したので、測定開始時に25~30°Cであった穀温が3時間で、外気温からその湿球温度の間にはほぼ一致し、以後外気の温度に追従して変化し、極端な変化はみられなかった。これは、排風機を運転することで、呼吸熱による温度上昇を完全に防いでいるためと考えられる。表1に一日毎の各点の温度変化と給気口の湿球温度および湿度を示す。

表1 各点の温度と外気の空気状態

Table 1 Temperatures of measuring points and conditions of atmosphere

経過時間(時刻) (hr)	穀温 1	穀温 2	穀温 3	穀温 4	排風温度	外気温度	外気湿度	湿球温度	エンタルピー (kJ/kg)
0.00 10/30 16:20	24.70	27.50	26.00	28.50	23.90	23.01	47.86	15.92	44.42
17.42 10/31 09:45	19.50	16.10	15.40	17.10	15.70	20.58	60.62	15.73	43.92
41.34 11/01 09:40	14.70	15.50	14.10	16.10	13.10	14.87	80.54	12.92	36.37
65.75 11/02 10:05	17.30	14.50	13.30	15.00	12.40	19.56	48.75	13.25	37.12
90.08 11/03 10:25	16.60	14.90	14.50	15.00	13.60	19.32	50.39	13.28	37.20
113.50 11/04 09:50	19.40	17.40	16.90	17.60	16.10	20.03	48.89	13.65	38.16
137.77 11/05 10:06	22.40	19.50	18.80	19.70	18.20	25.40	45.23	17.42	48.82
162.04 11/06 10:22	20.60	22.00	21.60	21.60	20.80	21.00	68.02	17.08	47.93
185.94 11/07 10:16	21.20	22.40	22.50	21.90	22.20	22.31	81.18	20.00	57.28

温度は°C, 湿度はR.H.%

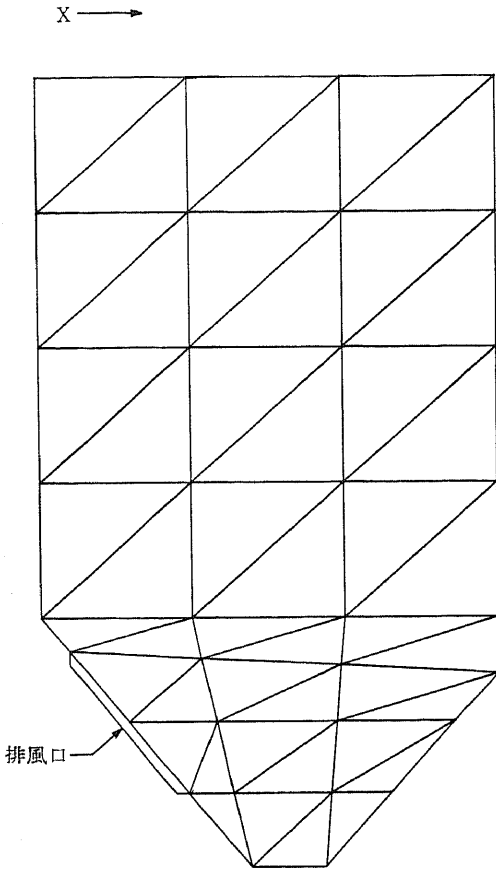


図4 荷受けコンテナの三角形要素分割モデル  
Fig.4 Chart of the section of the paddy container divided into trigonal elements for FEM

2. 節点モデル及び等圧線図

荷受けコンテナ内の静圧分布を知るために、断面に対して、単位厚さの二次元定常熱伝導方程式を導入し、これを三角形要素を用いた二次元の有限要素法によって解析した。荷受けコンテナの断面は図1から分かるように左右対称であるから、解析は右半分のみとし、接点数34、要素数46となるように分割した。図4に荷受けコンテナの三角形要素分割モデルを示す。この場合の空気の流れを支配する方程式は以下のラプラス方程式に従う。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

境界条件として、籾を入れたときの静圧を20mmAq、空の 때가3mmAqであったことから、コンテナ内の上端の静圧に20-3=17mmAq、下部

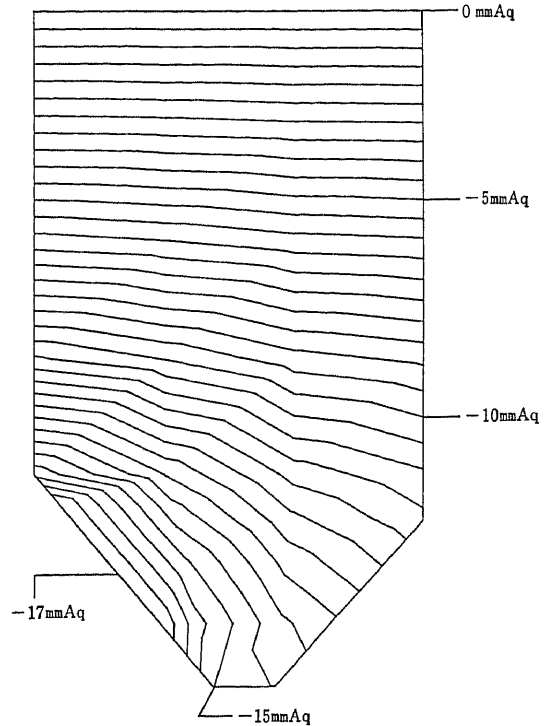


図5 荷受けコンテナ内の等圧線図  
Fig.5 Calculated isobaric line in the paddy container

開口部の静圧に0を境界各接点に与え計算すると、等圧線を得ることができる。図5に荷受けコンテナ内の等圧線図を示す。通気係数<sup>2)</sup>は0.16m<sup>2</sup>/min・m<sup>2</sup>・(mmAq/m) (=2.72×10<sup>-4</sup> (m/sec)/(Pa/m))なので、この等圧線より風量を推算すると約9.6m<sup>3</sup>/minとなる。

3. 含水率の変化

本研究では荷受けコンテナの有効利用という視点から、これを常温通風乾燥装置として利用することを目的としている。常温通風では、平均の空気状態が10月であれば、福岡では、17℃、72% (R. H.)で、籾の平衡含水率が14% (w. b.)であるから、長時間通風すれば目的とする含水率14.5% (w. b.)に達することが出来るし、また、層が厚くとも、最初生じた乾燥むらも最終的に外気の平衡含水率に全体が達して解消されて、一様な乾燥の行われる点に大きな特長があり、荷受けコンテナが乾燥装置として、利用出来る方法を与える。

さて、この乾燥法では、含水率は全体の測定を開始する直前と、終了直後にのみ、試料ビンに採

取ることによって、直接測定出来るが、途中の経過については、測定値がないので、次のような方法で間接的に測定した。

### (1) 測定1

第1の方法は、コンテナの総重量変化を測定し、コンテナ内材料の含水率変化を算出する方法である。コンテナ内には収穫・荷受け時に混入したと考えられる、籾以外の不純物が大量に含まれている。この不純物を $w$ 、不純物を取り除いた籾に含まれる初期水分を $w_0$ とすると、初期含水率 $M_0$ は、

$$M_0 = \frac{w_0}{W_0 - x} \times 100 \quad (2)$$

となり、最終含水率 $M_f$ は、

$$M_f = \frac{w_0 - ((W_0 - x) - w_f)}{w_f} \times 100 \quad (3)$$

となる。

ここに、 $W_0$ は不純物を含んだ籾の初期重量、 $w_f$ は不純物を除いた籾の最終重量である。

初期含水率 $M_0$ 及び最終含水率 $M_f$ は、測定開始時と終了時に試料を採取し10g粒-135°C-24時間法により測定した。 $M_0$ 、 $M_f$ を入れてこれを解くと、 $x = 35.79$ 、 $w_0 = 212.5$ となり、重量変化からコンテナ内の籾の含水率が推定される。ただし、不純物は排風機可動後一日で吹き飛んだと仮定する。

### (2) 測定2

いま一つの方法は、先に求められた風量を一定とし、3時間毎の給・排気口の温度と給気口の相対湿度から、通風により単位時間当りに蒸発した水分を算出し、含水率を求める方法である。

入口(給気口)空気の温湿度から湿り空気線図 $h$ での空気状態が決まる。通風の際、空気が等湿 $t$ 温度線に沿って空気状態が変化すると仮定する。(これは表1に見るように出口風温と出口付近の穀温が初期に湿球温度に漸近していることから裏付けられる)。出口(排気口)空気の状態が決まる。二つの空気状態の絶対湿度差を求め、それに風量と時間を乗ずると、蒸発水分が算出される。これより、時間毎の含水率は次の式で表される。

$$M_n = \frac{W_{n-1} \cdot m_{n-1} - \sum v \cdot \Delta x}{W_{n-1} - \sum v \cdot \Delta x} \quad (4)$$

ここで、 $M_n$ は3時間毎の含水率、 $M_{n-1}$ 、 $W_{n-1}$ は

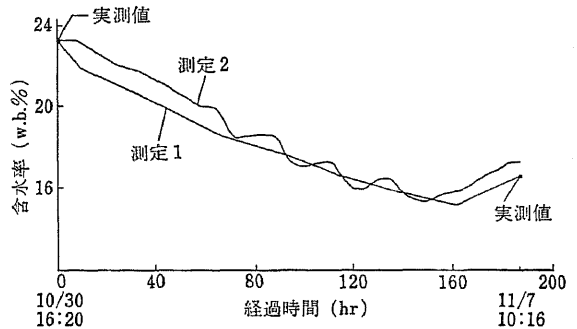


図6 含水率の経時変化

Fig. 6 Changes of moisture contents of grain in the paddy container

3時間前の含水率と重量、 $v$ は風量(一定)、 $\Delta x$ は時間(3時間)である。

### (3) 結果

図6に経過時間による含水率の変化を示す。初期含水率23.2%(w.b.)であったものが排風機運転開始後160時間で、15.17%(w.b.)まで下降している。1週間程度で、目的含水率に達するものと推察される。

3時間毎のデータ(測定2)で、はじめは一樣に下がっているのが、70時間あたりから波うって変化しているのは一日の間での温湿度変化が影響しているものと思われる。

160時間過ぎから、含水率が減少から上昇に転じているのは、降雨で外気の平衡含水率が大幅に上昇して、吸湿が行われたためである。この防止には、5~6°Cの風温の上昇が必要である。例えば、外気の状態を(22.31°C, 81.18% R.H.)から(28.00°C, 57.76% R.H.)に5.69°C上昇させるとして、必要な熱量は、 $(63.11 - 57.28) \times (9.6 / 0.871 / 60) = 1.07 \text{ kJ/s} = 1.07 \text{ kW}$ である。これを与える期間は24時間程度であるから、電力量は25.7kW・hとなり、電熱ヒーターによる加熱で十分な効果をあげることができる。

### 4. 各層含水率の分布

測定終了時、最終含水率を求める際、コンテナ内各層の籾を持ち帰り、深さによる含水率の変化を調べた。測定点及び測定値は図7に示すとおりで、平均含水率は16.58%(w.b.)となった。また、A~C点、及び層全体の深さによる含水率の変化を図8に示す。表層と底層でやや高い含水率を示すが、測定終了前に外気が高温になったた

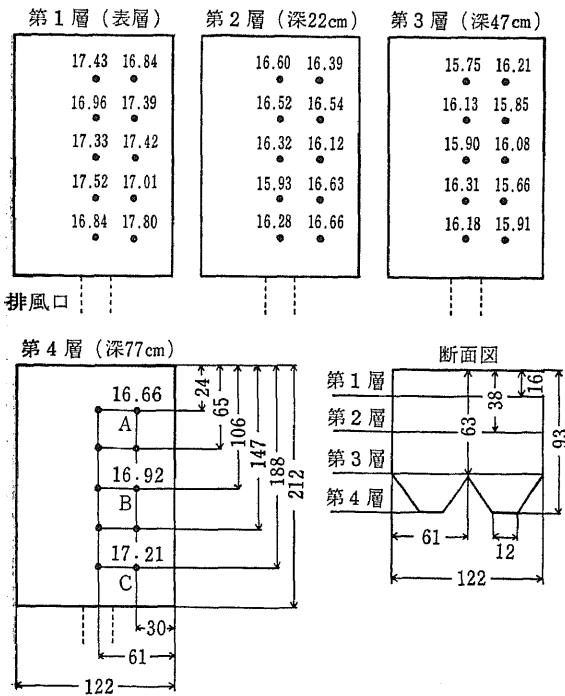


図7 各層における最終含水率測定点と測定値  
Fig.7 Measuring points and the final moisture contents

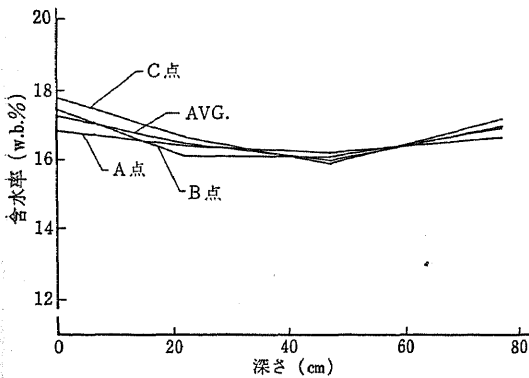


図8 深さによる含水率の相違 (測定 1989年11月7日)  
Fig.8 Changes of moisture contents at various depths

め、空気と接している層から湿ってきたためと推察される。全体に渡って、大きな乾燥むらはなかった。

### 5. 体積の変化

荷受けコンテナの容量は先にも示した通り、2 m<sup>3</sup>であるが、コンテナ内にははじめ1.65m<sup>3</sup>の籾が堆積していた。これが、終了時には、1.59m<sup>3</sup>となった。かさ密度は555.27kg/m<sup>3</sup>から530.05 m<sup>3</sup>に変化している。

### 6. 品質について

測定終了後、籾すり、精米して試食した結果、食味に特に異常はなかった。C.E.における乾燥米との比較は今回行っていない。

## V 摘 要

荷受けコンテナによる籾の通風乾燥特性の測定ならびに測定結果の解析を行って、以下の事が得られた。

1. 排風開始3時間以降、コンテナ内各点の温度は外気に支配され、排風機運転により、呼吸熱蓄積のための温度上昇は完全に抑制されている。
  2. 荷受けコンテナに排風機を装着することで収穫直後、含水率が23.2%(w.b.)であった籾を、一週間で15%(w.b.)前後にまで乾燥することができる。また、1kWのヒーターを24時間程度作動させることによって、簡単で確実な乾燥効果をあげることができる。
  3. 排風機による通風乾燥において、コンテナ内での乾燥むらはなかった。
  4. 水分蒸発により、籾のかさ密度は555.27 kg/m<sup>3</sup>から530.05kg/m<sup>3</sup>に変化している。
- これらの結果から荷受けコンテナは単なる一時貯留槽としてだけでなく、乾燥装置としても利用できることがわかった。

## 参 考 文 献

- 1) 村田 敏, 田川彰男, 石川真人, 宮本真吾: 荷受けコンテナの特性調査と解析, 農機誌, 51 (1), 103-108, 1979
- 2) 渡辺鉄四郎: 通風乾燥機の使い方, 60, 新農林社, 1961

(原稿受理平成元年12月13日・質問期限平成3年3月31日)