

# 人工乾燥における穀物含水率の 電氣的検出に関する研究

—研究所報告第11号—

伴 敏 三・鈴木光雄

---

STUDIES ON ELECTRICAL DETECTION OF  
GRAIN MOISTURE CONTENT IN  
ARTIFICIAL DRYING

—Technical Report No. 11—

Toshizo BAN・Mitsuo SUZUKI  
Institute of Agricultural Machinery  
Omiya, Japan  
April 1977

---

昭和 52 年 4 月

農業機械化研究所

埼玉県大宮市日進町1丁目

## まえがき

高品質の穀物を得るには、乾燥・調製作業が合理的に行われることが必要である。とくに雨天の多いわが国では乾燥・調製作業は農作業上重要な位置を占めており、これに関する研究の歴史は長い。なかでも人工乾燥法に関する研究成果は、大型循環式立型乾燥機に結実し、この普及により高品質の米麦の大量供給が可能となった。

しかし小規模農家による穀物生産と乾燥調製施設の大規模化は、施設利用上新たな問題を提起した。特に個別に荷受けした品種・含水率の異なる穀を所望含水率まで乾燥させる場合に必要な含水率の測定作業に多くの労力と時間が費されるようになった。

本研究は、穀物を流動状態で非破壊のままその含水率を連続的に測定し得る検知装置を開発し、乾燥・調製作業を自動化することによりこれらの問題を解決しようとするもので、各種条件下における穀物の電気的特性と含水率測定法についての基礎研究および含水率検出装置の試作と実用試験研究である。

本稿はこれら研究を担当した研究第二部主任研究員伴敏三<sup>ばんとしぞう</sup>、研究員鈴木光雄<sup>すずき みつお</sup>が42年度以降51年度まで実施してきた研究成果をとりまとめたものである。

本稿が穀物の乾燥・調製分野の研究の発展に役立つことを希望する次第である。

昭和52年 4 月

農業機械化研究所

## 目 次

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 緒 言                               | 1  |
| I 人工乾燥における穀物の電気的特性                | 2  |
| 1. 目 的                            | 2  |
| 2. 方 法                            | 2  |
| 3. 結 果                            | 7  |
| 4. 考 察                            | 8  |
| II 電気容量式含水率検知における計測値に与える各種要素の解析   | 15 |
| 1. 目 的                            | 15 |
| 2. 方 法                            | 15 |
| 3. 結果および考察                        | 17 |
| 4. 流動状態における要因解析                   | 19 |
| III 穀物の流動状態における含水率検出装置の試作研究       | 22 |
| 1. 目 的                            | 22 |
| 2. 方 法                            | 22 |
| 1) 検出装置の試作                        | 22 |
| 2) 試験方法                           | 22 |
| 3. 試験結果および考察                      | 26 |
| 1) 平板2重円環電極                       | 33 |
| 2) 平板1重円環電極                       | 35 |
| 3) 円筒電極                           | 35 |
| 4) 円筒円環電極                         | 37 |
| 4. 各種電極の比較                        | 37 |
| IV 試作電極の共同乾燥調製貯蔵施設の荷受け用としての適用性の検討 | 38 |
| 1. 目 的                            | 38 |
| 2. 試験方法                           | 38 |
| 1) 電極の改良                          | 38 |
| 2) 試験方法                           | 38 |
| 3. 試験結果および考察                      | 38 |
| 1) 平板2重円環電極                       | 38 |
| 2) 円筒円環電極                         | 44 |
| 3) 市販水分計                          | 44 |
| 4. 結 論                            | 44 |
| V 含水率検出器付自動乾燥機の試作研究               | 46 |
| 1. 概 説                            | 46 |
| 2. 乾燥状態における水分検知精度                 | 46 |
| 3. 自動停止回路の組込み                     | 48 |
| 4. 結 論                            | 49 |
| VI 摘 要                            | 50 |
| SUMMARY                           | 54 |

## 緒 言

穀物の電氣的特性が含水率の変化によって変ることを利用して、含水率を検出する含水率計は広く普及しているが、含水率が自動的に、かつ、連続的に検出できて、乾燥機や乾燥施設の自動制御の検出装置として使用しうるものに関しては、若干の研究<sup>1)2)</sup>があるとはいうものの、ほとんど普及にいたっていない。

本研究は、このような人工乾燥時における場合も含めて、また、穀物の流動状態において、含水率を自動検出できる装置の開発を目的として行なったものである。

すなわち、まず(1)乾燥時または乾燥や吸湿状態にない場合や温度が異なる場合等における電氣的特性の挙動、次いで(2)穀物の性状等と電氣的特性の関係を追求して人工乾燥時における精度の高い検知装置の開発資料を得ることができた。さらに、この結果を利用して、(3)乾燥機等の自動制御の際に必要な含水率自動検出装置の開発、(4)乾燥・調製・貯蔵施設等における荷受け用含水率検出に対する適用性の検討、また(5)試作含水率自動検出装置を装着した含水率検出器付自動乾燥機の試作研究を行ない、これらの結果がこの報告である。なお、この試験は、1967年から1975年まで行なったものであり、その間に農

業機械化研究所の事業報告や研究成績にその都度報告したが、今回はそれらを取りまとめたものである。

本研究に関しては当時乾燥調製貯蔵用機械研究にたずさわっていた同僚諏澤健三（当研究所研究第3部主任研究員）を始め、今も同じ目的の研究を続けている同僚鷹尾宏之進（当研究所所員）および、この研究の当時研修生として在籍された石谷与佳、柴利直一の両氏（静岡製機株式会社）、福井一郎氏（石川県専門技術員）の協力はもとより絶えざる助言をいただいた当研究所理事渡辺鉄四郎、元研究第2部長江崎春雄（現筑波大学教授）の諸氏、また、本稿を閲読された前調査役和崎皓三氏に対して深甚の謝意を表するとともに、各種装置の試作等に関してご協力いただいた静岡製機株式会社、ケット科学研究所、大島農機株式会社、全国農業協同組合連合会や試験材料の提供に当って協力をおしかなかった当研究所附属農場竹村義一主任研究員に対して深くお礼を申し上げる次第である。

1977.4

伴 敏 三  
鈴 木 光 雄

# I

## 人工乾燥における穀物の電気的特性

### 1. 目的

穀物が長時間密閉放置され、穀粒内の水分分布が平衡化した状態（これを以下、水分安定状態と称する）と、人工乾燥時における穀粒のように、水分の不均衡状態が存在する場合（水分不安定状態）とにわけ、電気的特性がどのように変化するかをしらべ、人工乾燥時に適合するような含水率検出装置の開発改良の資料とする。

なお、ここでは、乾燥機等の自動制御に使用しうる含水率検出装置の開発を目標にしているため、非破壊で測定することが好ましいので、この目標に対して適用性が高いと思われる電気容量式の検出を想定して、主としてこの方式についての検討を行なう。

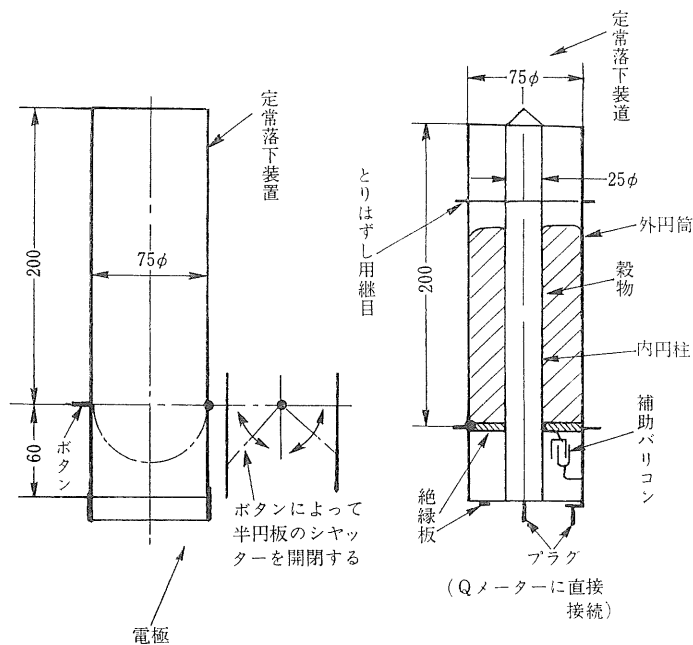
### 2. 方法

実際の検出装置の開発にさいして、電気容量のうち、100KHz から 10MHz 程度の高周波を用いて測定する方

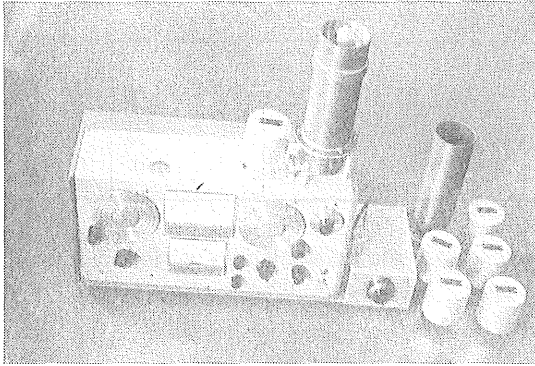
法を想定し、この範囲における電気的特性の挙動について検討を行なった。

穀物の電気的特性の測定に関しては、既に、米国において、S. O. Nelson らの報告がある<sup>3)</sup>。氏らの測定目的が高周波誘電加熱の資料をうる目的であり、また、その測定された値は水分安定状態における特性とみなしうることができる。しかし、その装置に関しては今回の試験の目的に合うものと考えられたので、若干の修正を行ない基本的には氏らの方法を採用した。

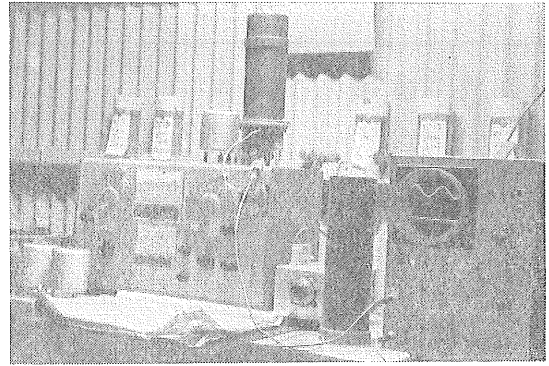
装置は第 I-1 図、第 I-2 図に示すような電極と、Q メータ（横河ヒューレットパッカード製 QM-12C）を組合せたものである。円筒電極に穀物を投入する方法として、第 I-1 図に示すような定常落下装置を試作した。測定の際の写真を第 I-3 図に示す。電極の材料は黄銅である。



第 I-1 図 電極および穀物定常落下装置



第 I-2 図 実験に用いた Q メータと電極



第 I-3 図 実験風景

第 I-1 表 実 験 条 件

| 実験番号  | 種 類    | 品 種       | 測定試料重量 | 温 度   | 周 波 数      | 含 水 率    |
|-------|--------|-----------|--------|-------|------------|----------|
|       |        |           | g      | °C    | MHz        | %        |
| W-1   | 小 麦    | 農 林 61 号  | 300    | 26~27 | 0.1, 1, 10 | 8.3~24.5 |
| B-1   | 大 麦    | 関 取 埼 1 号 | 300    | 26~28 | 0.1, 1, 10 | 7.6~27.0 |
| B B-1 | ビ ール 麦 | 中生新生ゴールド  | 300    | 28    | 0.1, 1, 10 | 6.9~21.9 |

第 I-2 表 実 験 条 件

| 実験番号 | 種類 | 品 種   | 電氣的特性測定前乾燥条件 |         |        |        |            |                    |
|------|----|-------|--------------|---------|--------|--------|------------|--------------------|
|      |    |       | * 対応する乾燥試験番号 | 送 入 空 気 |        | 初 期含水率 | 風量比        | 乾 燥 方 法            |
|      |    |       |              | 平均温度    | 平均絶対湿度 |        |            |                    |
|      |    |       |              | °C      | g/kg   | %      | m³/s·100kg |                    |
| P-1  | 粳  | くさぶえ  | C-13         | 39.7    | 8      | 25.9   | 0.17       | 連続通風循環             |
| P-2  | "  | 日 本 晴 | LMP-2        | 45.0    | 8      | 21.0   | 0.29       | **乾燥時間30min-休止時間4h |
| P-3  | "  | "     | LMP-3        | 50.0    | 8      | 21.9   | 0.30       | 30min-4h           |
| P-4  | "  | くさぶえ  | MP-1         | 44.7    | 9      | 25.0   | 0.17       | 1.5h-4h            |
| P-5  | "  | "     | MP-4         | 49.1    | 8      | 26.3   | 0.34       | 30min-4h           |
| P-6  | "  | 中生新千本 | MP-6         | 61.1    | 5      | 24.6   | 0.31       | 12min-4h           |
| P-7  | "  | "     | MP-7         | 44.9    | 5      | 21.5   | 0.31       | 30min-4h           |
| P-8  | "  | "     | MP-9         | 54.7    | 4      | 22.4   | 0.32       | 12min-4h           |
| P-9  | "  | "     | MP-10        | 49.7    | 4      | 22.6   | 0.31       | 30min-4h           |

(注) (1) \* 研究所報告第 8 号「人工乾燥における米の胴割れに関する実験的研究」46, 57, 58 ページの表の試験番号と対応するもので、詳細な条件は同報告を参照されたい。

(2) \*\* 間欠乾燥。表示されている乾燥時間が 1 回の乾燥時間である。

(3) 測定時の試料重量は 300 g, 測定周波数は 0.1, 1, 10MHz

第 I-3 表 実 験 条 件

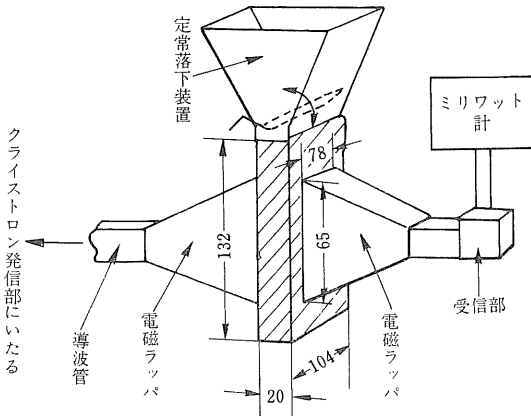
| 実験番号  | 種類 | 品 種       | 測定試料重量 | 温 度     | 周波数        | 含水率       |
|-------|----|-----------|--------|---------|------------|-----------|
|       |    |           | g      | °C      | MHz        | %         |
| P T-1 | 粳  | 中 生 新 千 本 | 300    | 11.5~34 | 0.1, 1, 10 | 13.3~19.8 |

(注) 第 I-2 表中の乾燥試験番号 MP-9 において、粳を所要の含水率にした後、極めて長時間放置後測定。

小麦, 大麦, ビール麦については、水分安定状態と考えられる場合の電氣的特性の値を求めた。その実験条件を第 I-1 表に示す。粳については第 I-2 表に示すような種々の乾燥条件で乾燥されたものについて、乾燥直後または乾燥後、密閉放置し、平均含水率が変らない状態にして、経時的に特性を求めた。また、粳の長時間密閉放置されたものについて、穀物の温度が特性に与える影響をしらべるため、密閉状態で室温を種々変えて、ほ

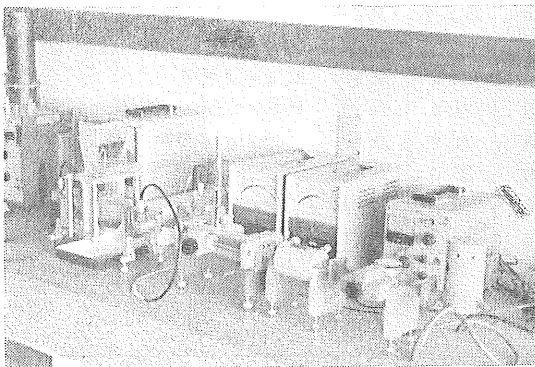
第 I-4 表 実 験 条 件

| 実 験 番 号 | 種 類 | 品 種   | 電氣的特性測定前乾燥条件 |                 |                   | 測 定 試 料 重 量             |                       | 温 度<br>°C |
|---------|-----|-------|--------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------|
|         |     |       | 送風温度<br>°C   | 初 期<br>含水率<br>% | 風量比<br>m³/s・100kg | Qメータによる<br>電気容量の場合<br>g | マイクロ波の<br>減衰比の場合<br>g |           |
| P U-1   | 粳   | 中生新千本 | 40           | 27.6            | 約10               | 300                     | 160                   | 19~20     |



- (注) (1) 寸法は内りのりをあらわす。  
 (2) マイクロウェーブの周波数は $9400 \pm 200$  MHz。  
 (3) マイクロウェーブの通過する試料の厚さは20mm。

第 I-4 図 マイクロ波による含水率検出装置の概略図



第 I-5 図 マイクロウェーブによる実験

粳の温度が室温に近くなった状態で測定を行なったが、その実験条件を第 I-3 表に示す。さらに、同一の含水率でも、乾燥後の経過時間によって、電気容量が変化すると推定されるが、電気容量の変化を含水率の検出に利用したとき、その変化が含水率にして何%に相当するかをしらべ、水分安定状態と不安定状態の電気容量のちがいで生ずる誤差を知る実験も行なった。この実験条件を第 I-4 表に示すが、これは乾燥後1時間経過後と、24時間経過後の電気容量の値を比較したものである。この場合、参考のため、第 I-4 図、第 I-5 図に示すよ

うなマイクロ波による減衰比の変化を利用した含水率計を試作し、その吸収率が水分安定と不安定状態でどう変わるかもしらべた。

なお、水分安定状態と考えられる状態で実験を行なった穀物は、約2°C中の低温庫に48時間以上放置し、実験の数時間前に常温または所定の温度に戻したものである。

含水率 $M$ に関しては、麦類では10g粒—100°C—24h—0.014kg/kg法、粳に関しては10g粒—100°C—24h—0.007kg/kg法で求めた値であり、特に明記しない限り、湿量基準含水率で示す。

注：この値より、例えば5g粉粳—105°C—24h—0.008kg/kgに換算する方法に関しては、伴らの報告を参照されたい。なお、10g粒とは定温乾燥時の一つの容器にいれる重量および状態、100°C—24hは乾燥温度時間、0.014kg/kgとは雰囲気の絶対湿度を示す。

見掛け密度 $d$ は、円筒電極に投入された穀物の容積を測定し、投入重量をこの容積で除して求め $g/l$ であらわした。また、穀物の温度 $t$ は測定直前または直後にサーミスタ温度計の感温部を堆積された穀物中に挿入して測定した。なお、本報告において特に明記しない限り、温度として穀物の温度を示す。

ここで、測定および検討の対象とした電氣的特性は、100KHz、1MHz、10MHzにおける誘電率 $\epsilon'$  (Real Permittivity)、誘電正切 $\tan \delta$  (Loss Tangent)であるが、これらの値は次のような方法により計算した。

$$\epsilon' = \frac{1.412 \Delta C (D_1^2 - D_2^2) \log \frac{D_1}{D_2}}{V} + 1 \dots \dots (I-1)$$

ここに、 $\Delta C$ ：試料をいれたときと入れないときの電気容量の差 (PF)

$D_1$ ：外円筒の内径 (cm)

$D_2$ ：内円筒の外径 (cm)

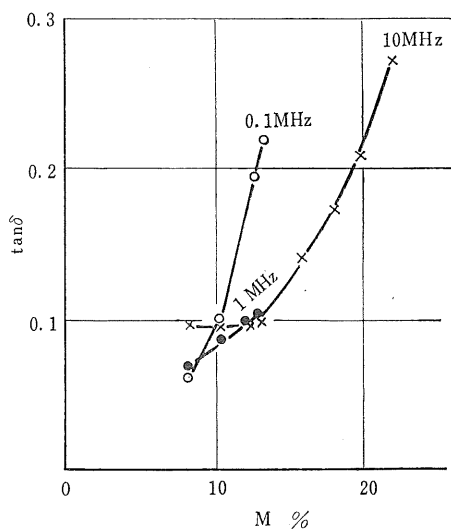
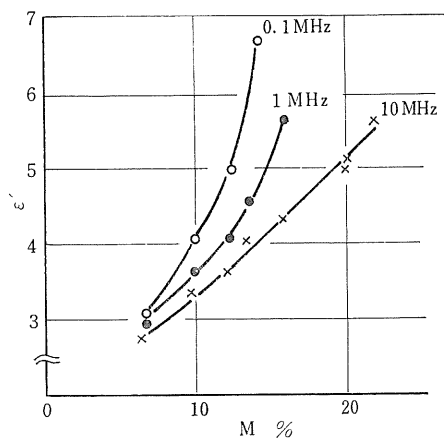
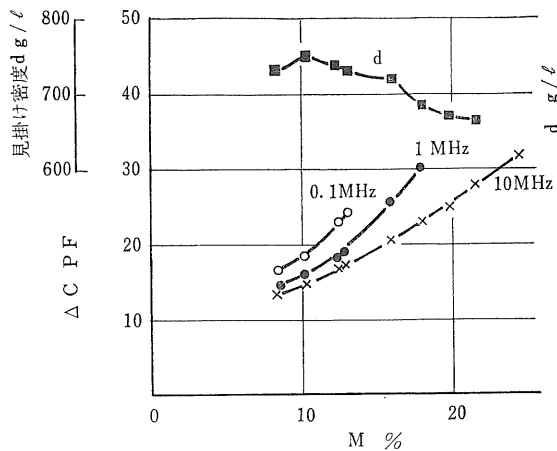
$V$ ：電極内穀物の見掛けの体積 (cm³)

$$\tan \delta = \frac{C_1}{\Delta C} \frac{(Q_2 - Q_3)}{Q_2 Q_3} \dots \dots \dots (I-2)$$

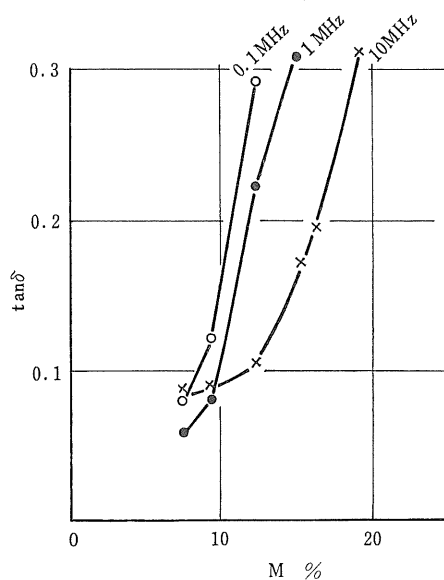
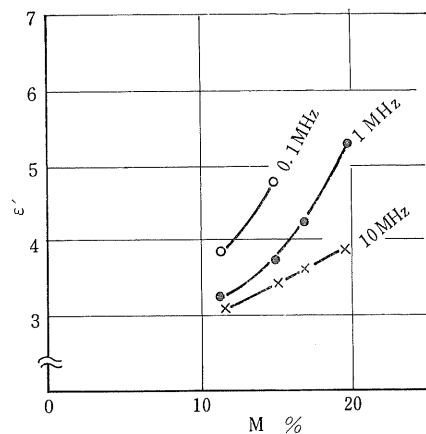
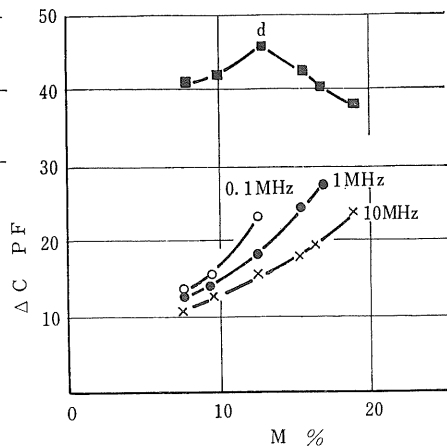
ここに  $C_1$ ：Qメータの同調容量 (PF)

$Q_2$ ：試料をいれないときの $Q$

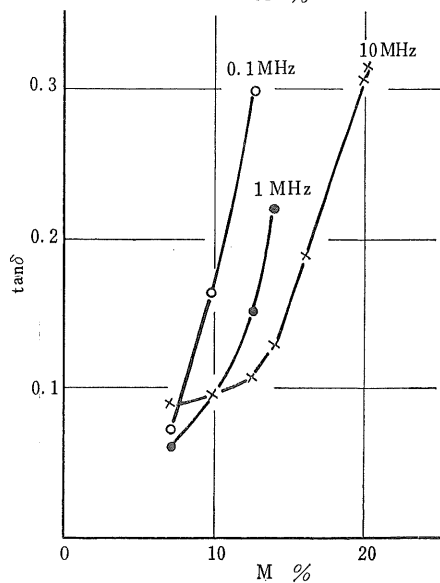
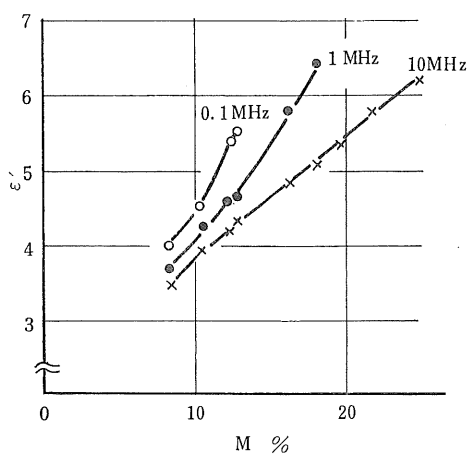
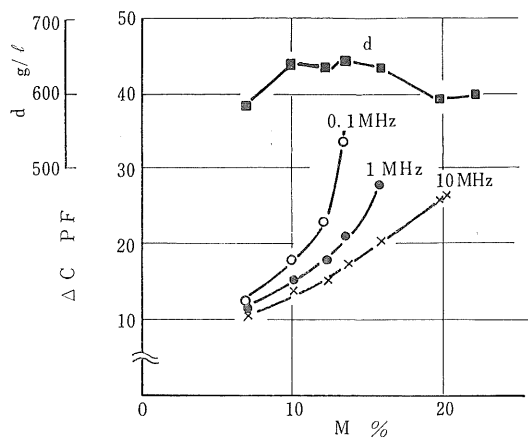
$Q_3$ ：試料をいれたときの $Q$



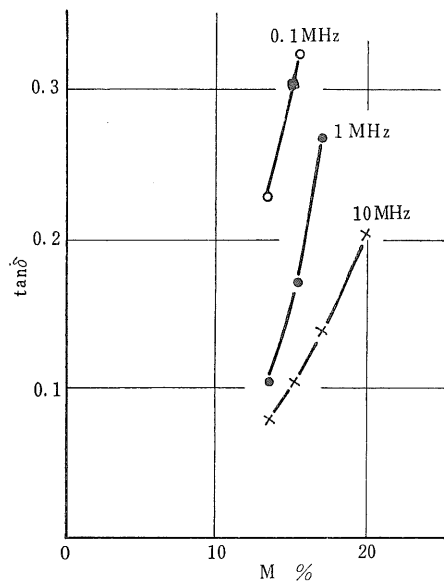
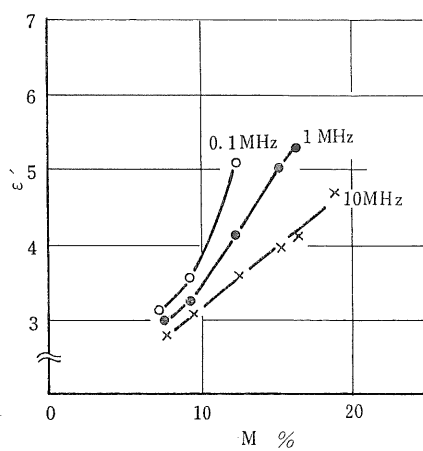
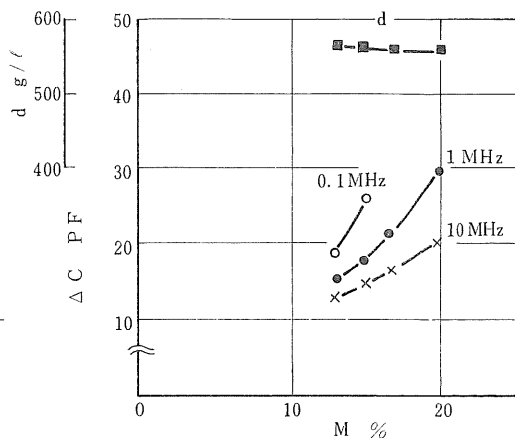
第 I - 6 図 小麦の含水率  $M$  と電氣的特性  
(実験番号 W-1)



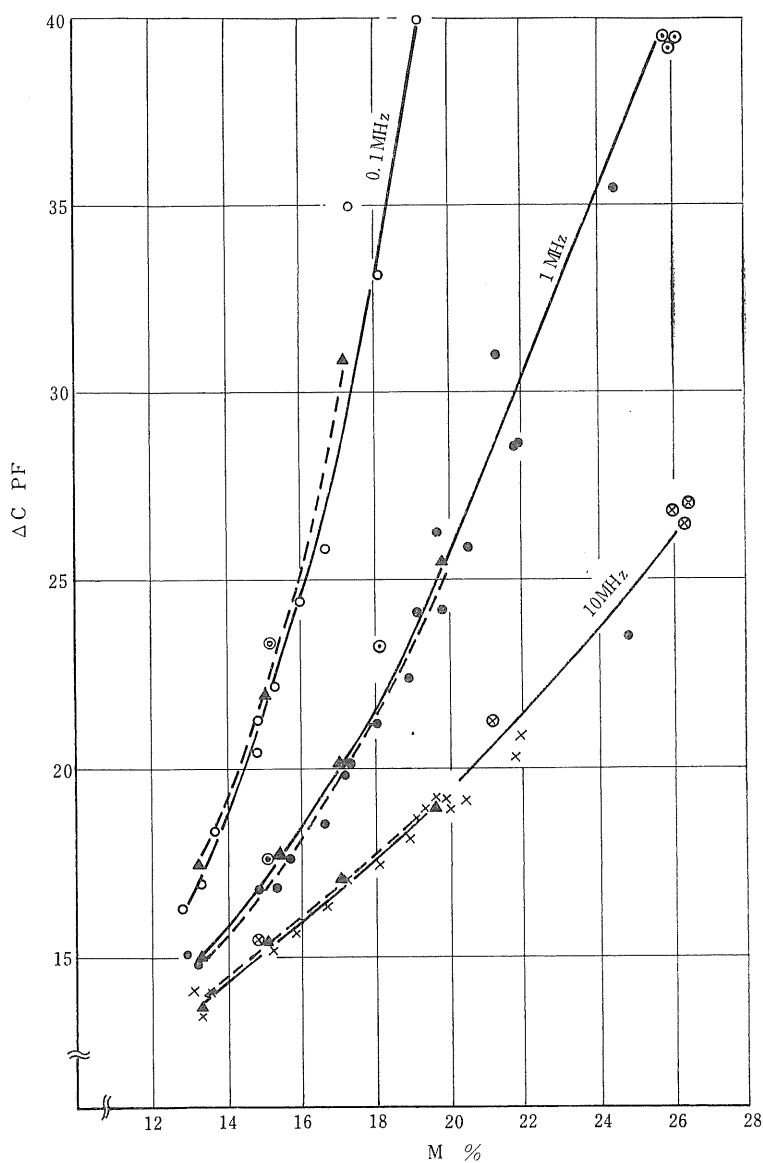
第 I - 7 図 大麦の含水率  $M$  と電氣的特性  
(B-1)



第 I-8 図 ビール麦の含水率Mと電気的特性 (BB-1)



第 I-9 図 粳の含水率Mと電気的特性 (その1) (PT-1, 27°C)



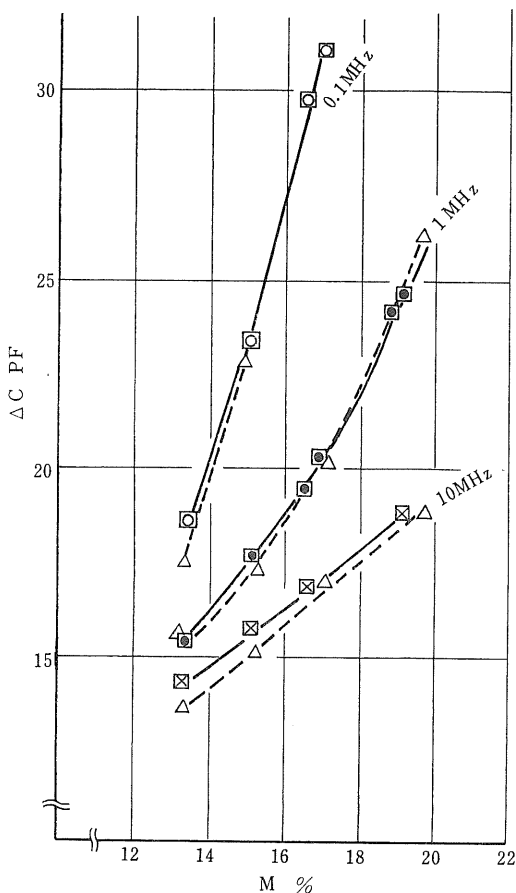
第 I-10 図 靱の含水率  $M$  と  $\Delta C$  (その 2)

(注) 中生新千本 (PT-1,  $16^{\circ}\text{C}$ )  $\blacktriangle \cdots \blacktriangle$   
 中生新千本 (MP-6, MP-7, MP-9,  $15 \sim 17^{\circ}\text{C}$ ),  $10\text{MHz} \times$ ,  $1\text{MHz} \bullet$ ,  $0.1\text{MHz} \circ$   
 くさぶえ (MP-1, MP-4  $15 \sim 17^{\circ}\text{C}$ ),  $10\text{MHz} \otimes$ ,  $1\text{MHz} \odot$ ,  $0.1\text{MHz} \ominus$

なお、誘電率が既知のベンゼン ( $20^{\circ}\text{C}$  において  $\epsilon' = 2.28$ ) について装置の検定を行ない、この場合に(1)式の関係が成立することを確かめた。

### 3. 結果

第 I-1 表に示す実験条件に対する結果は第 I-6 図～第 I-8 図のごとくである。



第 I-11 図 粳の含水率 M と  $\Delta C$  (その 3)

(注) 中生新千本 (PT-1, 18°C)  $\Delta$  ---  $\Delta$   
日本晴 (LMP-2, LMP-3, 17~19°C), 10MHz  $\times$ ,  
1MHz  $\square$ , 0.1MHz  $\square$

麦類の特性と比較する意味で粳の場合、第 I-4 表に示す実験条件の実験結果より、27°C における値を求めた。その結果は第 I-9 図のごとくである。

第 I-1 表に示す実験条件の実験結果より、乾燥後の密閉放置時間が 100 時間以上の場合における含水率と  $\Delta C$  の関係を抽出した結果は第 I-10 図、第 I-11 図のごとくである。

第 I-3 表に示す実験条件に対する結果は、第 I-12 図のごとくである。

第 I-2 表に示す実験条件のうち、一例として、実験番号 P-3, P-4 の場合について、乾燥後の特性の時間的変化は第 I-13 図~第 I-18 図のごとくである。

第 I-4 表に示す実験結果は第 I-5 表のごとくである。

第 I-5 表 実験結果 (実験番号 PU-1)

|                   | 含水率<br>% | Q メータによる電気容量 $\Delta C$ |       |        | ※マイクロ波の減衰比 $W/W_0$ |
|-------------------|----------|-------------------------|-------|--------|--------------------|
|                   |          | 0.1 MHz                 | 1 MHz | 10 MHz |                    |
| 乾燥後<br>1h<br>経過後  | 22.2     | —                       | 27.5  | 21.3   | 0.32               |
|                   | 20.1     | 30.5                    | 22.0  | 18.3   | 0.37               |
|                   | 18.2     | 25.8                    | 19.5  | 17.3   | 0.42               |
|                   | 16.3     | 21.3                    | 17.2  | 15.2   | 0.47               |
|                   | 14.6     | 18.1                    | —     | 14.4   | 0.51               |
|                   | 13.0     | 15.7                    | 14.5  | 12.7   | 0.55               |
| 乾燥後<br>24h<br>経過後 | 22.2     | —                       | 31.2  | 21.1   | 0.35               |
|                   | 20.1     | 41.0                    | 25.2  | 18.6   | 0.40               |
|                   | 18.2     | 32.5                    | 21.1  | 17.4   | 0.44               |
|                   | 16.3     | 23.7                    | 18.0  | 15.6   | 0.48               |
|                   | 14.6     | 18.9                    | —     | 14.1   | 0.53               |
|                   | 13.0     | 16.7                    | 14.7  | 13.2   | 0.56               |

(注) ※ マイクロ波の減衰比は無試料のとき電波強度  $W_0$  を 10mW とし、試料を挿入したときの強度  $W$  との比  $W/W_0$  であらわした。

#### 4. 考 察

1) 水分安定状態とみられる場合の電気的特性について

(1) 低含水率になれば  $\tan \delta$  が低くなるが、本試験においてこれが 0.1 以下になる各穀物の大略含水率を第 I-6 表に示す。

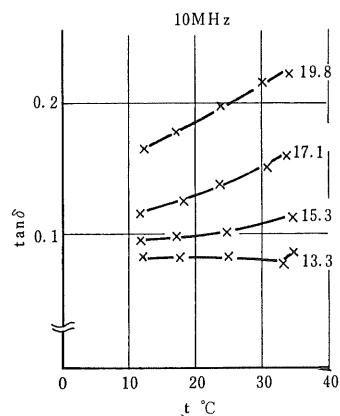
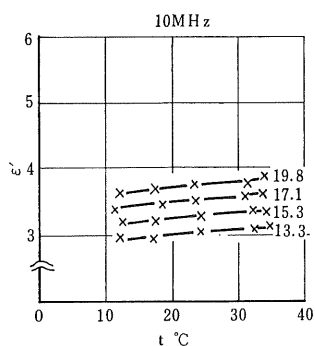
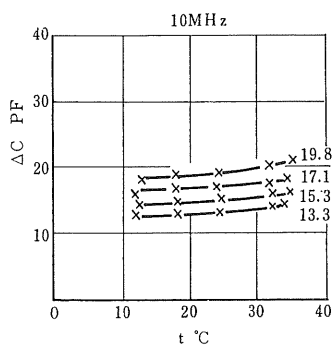
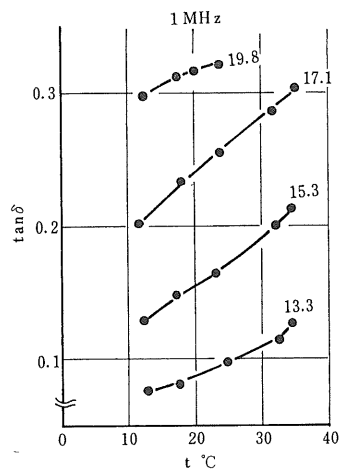
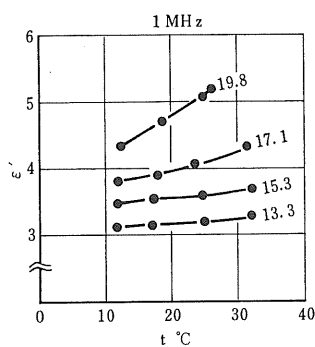
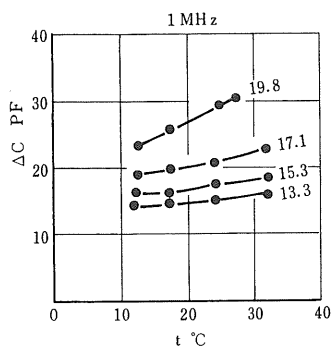
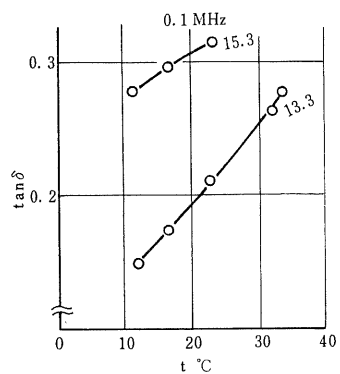
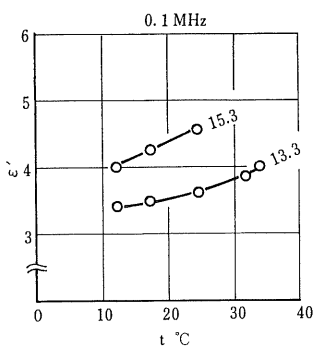
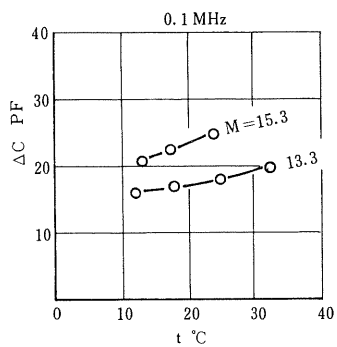
一般に、 $\tan \delta$  が 0.1 以上になると、真の  $\epsilon'$  の測定が困難になるといわれているが、第 I-6 表に示す値以上の含水率の測定においては特にこの点の配慮が必要であらう。

本試験に用いた Q メータ法による測定においても  $\tan \delta$  が 0.1 以上になると、 $\epsilon'$  は真の値よりも若干大きくなることが予想されるので、このことを念頭において考察を進めていく。

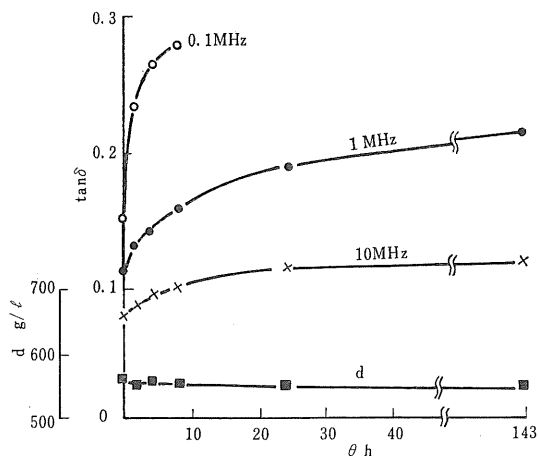
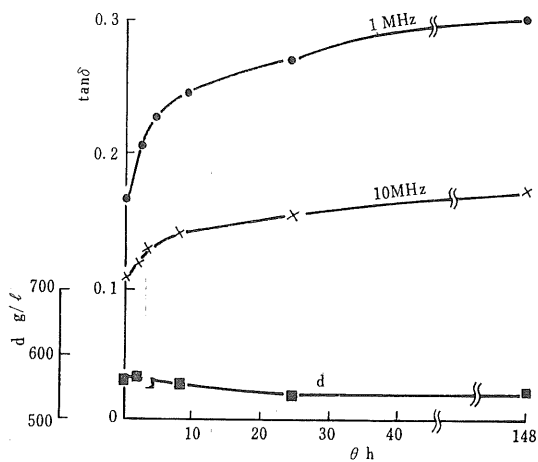
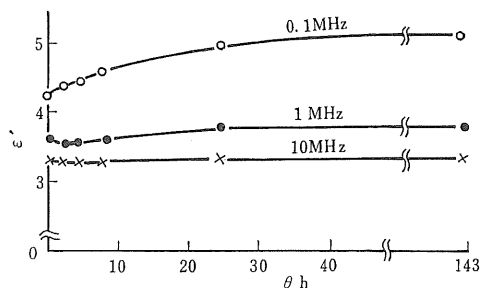
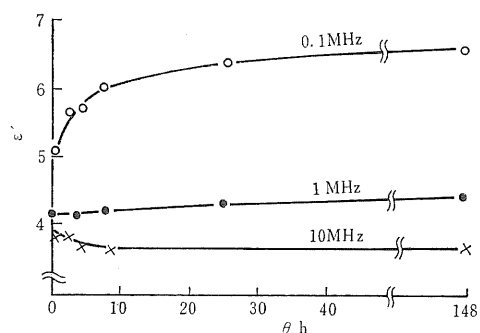
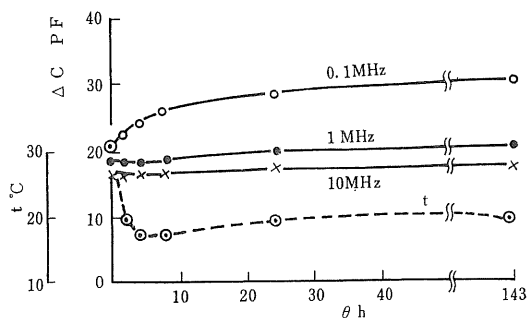
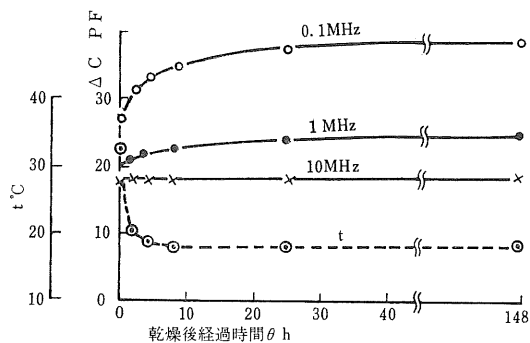
第 I-6 表  $\tan \delta$  が 0.1 以下になる大略含水率

| 種 類  | 測 定 周 波 数 |       |        | 温 度<br>°C | 推定に用いた実験番号 |
|------|-----------|-------|--------|-----------|------------|
|      | 0.1 MHz   | 1 MHz | 10 MHz |           |            |
| 小 麦  | 11        | 13    | 13     | 26~27     | W-1        |
| 大 麦  | 9         | 10    | 12     | 26~28     | B-1        |
| ビール麦 | 8         | 10    | 12     | 28        | BB-1       |
| 粳    | —         | 14    | 16     | 19~20     | P-3        |

(2) 第 I-12 図でわかるように、温度の増加とともに  $\Delta C$ ,  $\tan \delta$  が増加し、周波数が低いほど、含水率が高い

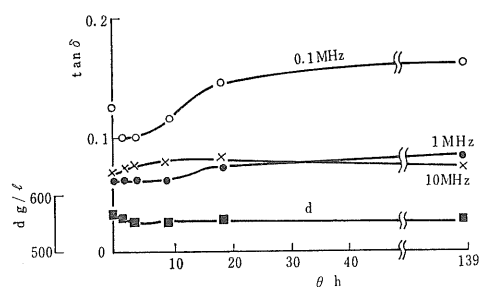
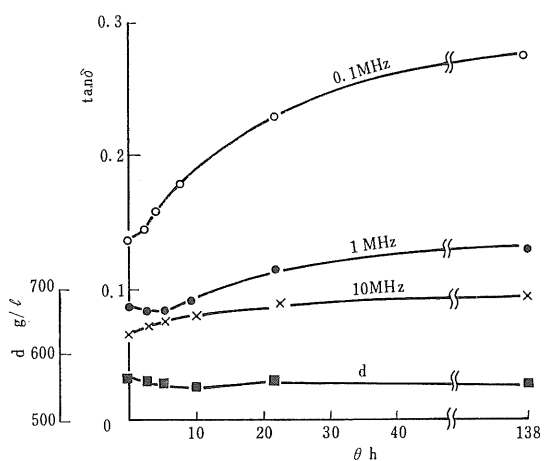
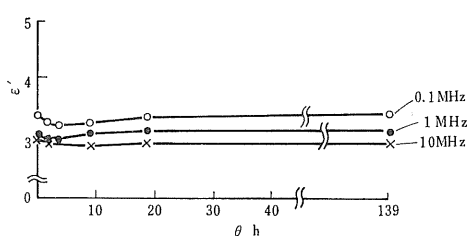
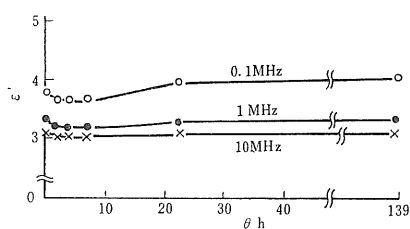
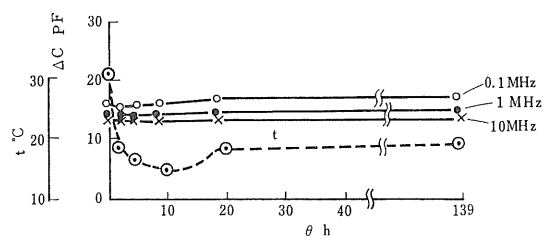
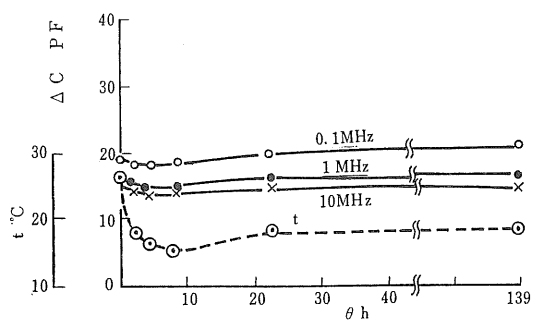


第 I -12 図 靱の温度  $t$  と電氣的特性 (PT-1,  $d=558\sim 570$  g/l)



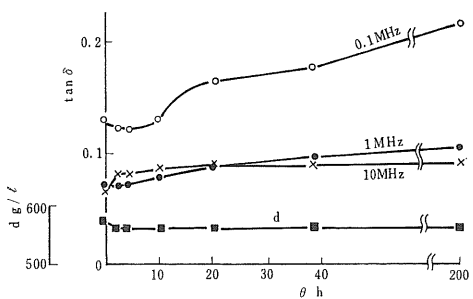
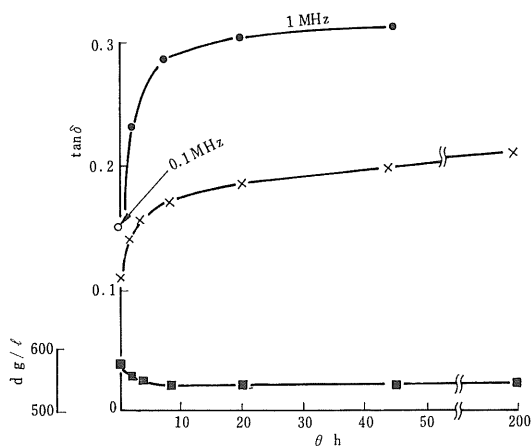
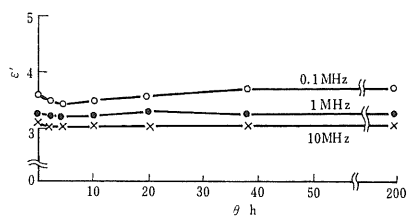
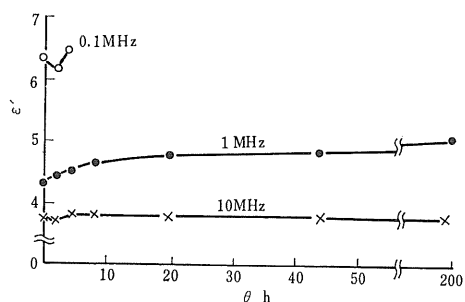
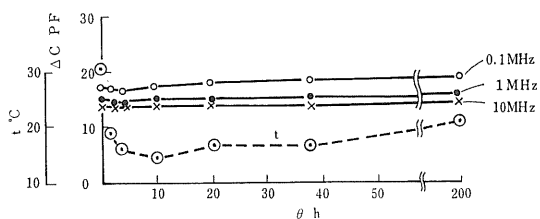
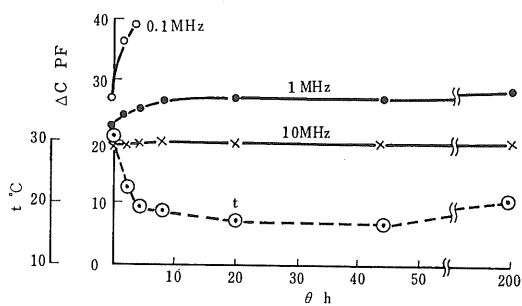
第 I-13 図 木の電氣的特性の経時的変化 (その 1)  
(P-3 第 1 回乾燥後,  $M=19.2\%$ )

第 I-14 図 木の電氣的特性の経時的変化 (その 2)  
(P-3 第 2 回乾燥後,  $M=16.6\%$ )



第 I-15 図 粉の電気的特性の経時的変化 (その 3)  
(P-3 第 3 回乾燥後,  $M=14.7\%$ )

第 I-16 図 粉の電気的特性の経時的変化 (その 4)  
(P-3 第 4 回乾燥後,  $M=12.6\%$ )



第 I-17 図 粉の電氣的特性の経時的変化 (その 5)  
(P-4 第 1 回乾燥後,  $M=20.4\%$ )

第 I-18 図 粉の電氣的特性の経時的変化 (その 6)  
(P-4 第 2 回乾燥後,  $M=13.2\%$ )

ほど、この増加の程度が大きい。しかし、この  $\Delta C$  が大きく変る範囲をみると、 $\tan \delta$  がいづれも高いところにある、この範囲の  $\epsilon'$  が真の  $\epsilon'$  ではなく、かつ、 $\tan \delta$  が高くなると、このような測定方法においては見掛けの  $\epsilon'$  が高くなるということが考えられるから、この試験のみでは真の  $\epsilon'$  が温度によってどの程度変化するかは明確でない。

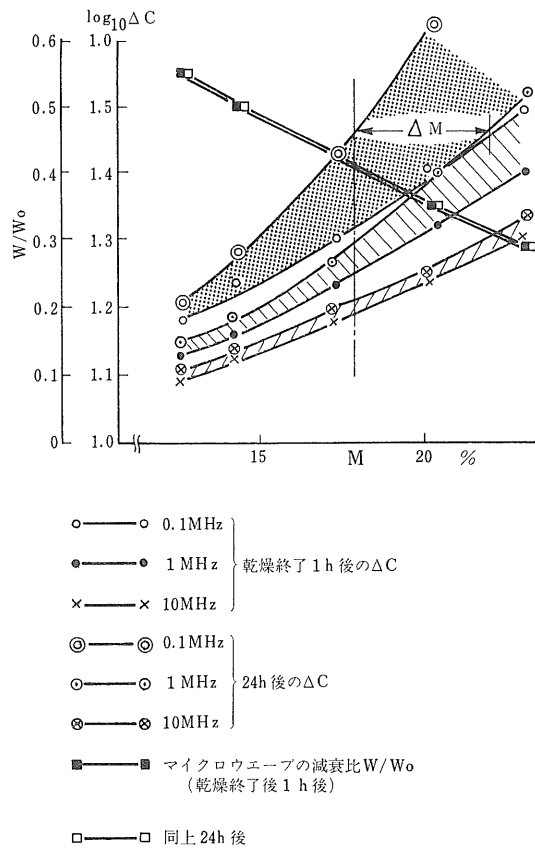
(3) 第10図、第11図等で見られるようには  $\Delta C$  は周波数の影響を受け実験した周波数の範囲では、周波数が低くなるほど、含水率の変化に対して  $\Delta C$  の変化は大きく、含水率の測定に有利と考えられるが、前述のように  $\tan \delta$  が高くなり、温度やその他後述の水分不安定時における穀粒内の水分分布の影響を受ける程度が大きくなることが考えられるので、その点では高い周波数を用いた方が有利であろう。

## 2) 水分不安定状態とみられる場合の電気的特性について

(1) 第 I-13図～第 I-16図をみると、穀の場合、乾燥直後より密閉放置されたものは時間の経過とともに、 $\Delta C$  や  $\tan \delta$  が増加することがある。この増加量は 0.1～10MHz の範囲では 0.1MHz の場合が大きく、1MHz、10MHz の順に小さい。この変化の程度は乾燥状態に影響され、一般に平均含水率が高いものはこの変化が大きい。ところで、乾燥直後に比較して、時間の経過とともに、穀物の温度が低下している。温度が下降すれば  $\tan \delta$  が小さくなるとみられるから、この  $\tan \delta$  の増大は温度の変化に起因するものではないと推測される。また、つまり方、すなわち見掛けの密度の変化の傾向およびその大きさからみて、見掛けの密度の変化でもないと考えられる。とすれば、これは穀粒内部の水分分布の状態の変化に起因しているものと考えられる。

本試験では  $\epsilon'$  もまた変化しているが、この大きく変化する範囲が  $\tan \delta > 0.1$  の範囲にあり、前述のように真の  $\epsilon'$  を示していないために、 $\tan \delta$  の増加に伴って変化したのかもしれない。しかし、 $\tan \delta < 0.1$  においても、その変化は明らかに認められるゆえに、水分安定状態と不安定状態の間には明らかに電気的特性の変化があり、この影響をとりのぞくか、または小さくおさえることが電気容量式の含水率計開発のさいに必要なである。

(2) 穀粒の平均含水率とともに、一粒中の内部の水分分布が、乾燥状況に影響を受けることは既知の事実であるが、乾燥の問題を論ずるのにこの水分分布の状態を知る必要がある。平均含水率の値を定温乾燥法などの従来の方法で測定し、あわせて、同一試料の  $\Delta C$  や  $\tan \delta$  の



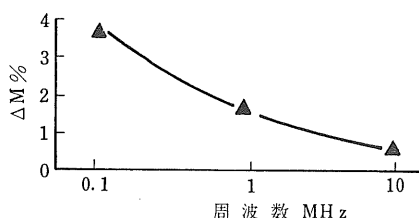
- 注：(1)  $\Delta M$  とは乾燥終了24h後における含水率18%の穀物の  $\Delta C$  と同一の  $\Delta C$  を図中の乾燥後1h後の曲線上にとり、これに相当する穀の含水率から18%を引いた値。  
(2) マイクロウェーブの減衰比は無試料のときの電波強度の  $W_0$  を10mWとし、試料を投入したときの強度を  $W$  としたときの  $W/W_0$ 。

第 I-19 図 電気容量、減衰比と含水率の関係の例

値を求めて、この両者の数値をもって、水分の分布状態を知る方法の可能性も本試験結果は示唆しているものと考えられる。

3) 穀粒の平均含水率が同一の場合、電気容量によって推定した含水率の値が、水分安定状態と不安定状態とで、その差が小さい測定方法について

前記 2) の (1) によっても、水分安定状態と不安定状態とで、 $\Delta C$  や  $\tan \delta$  の値の変化の少ないのは周波数の高い場合であったが、この変化が少なくても、含水率1%の変化に対して、その差自体も小さいので、これのみでは標記の測定方法が周波数が高い方がよいとは断定し



第 I-20 図 周波数と  $\Delta M$  の関係

がたい。そこで、第 I-5 表の結果をもととし、さらに、 $\Delta C$  と含水率の関係をグラフにとり（第 I-19 図参照）、このグラフに示す  $\Delta M$  と周波数との関係を第 I-20 図に示した。参考のため第 I-19 図にはマイクロ波の減衰比と含水率の関係もこれにプロットした。この場合、乾燥直後でなく、乾燥後 1 時間経過後を水分不安定の場合としてとったが、これは乾燥直後では  $\Delta C$  や  $\tan \delta$  の変化が大きく、測定時間を厳密に規制しなければ同一経過時間における  $\tan \delta$  や  $\Delta C$  の数値がえられない。実際にはこの規制はむづかしく、比較的变化の少ない 1 時間後の

値をもって、各条件のものを比較した。ゆえに、実際乾燥直後の水分不安定時と安定時との差は大きい、傾向として、この問題を検討するにさしつかえないと考えられる。

さて、この図によると次のようなことがいえる。

(1) 電気容量による測定では 0.1~10MHz の範囲において、乾燥直後（水分不安定状態）と、十分時間が経過した水分安定状態との電気容量の差にもとづく含水率検出のさいの誤差（第 I-19 図、第 I-20 図の  $\Delta M$  の大小に関係がある）が 1MHz 以下の場合大きくなる。0.1, 1, 10MHz の範囲では 10MHz が最もこの誤差が小さい。

(2) マイクロウェーブの減衰比は水分安定状態と不安定状態において、(1)でのべたような誤差を小さくしうる可能性があるが、なお、容器内での見掛け密度の影響や装置自体の検討を行なう必要があり、ここではその可能性のみについて言及するにとどめる。

以上のことから考えて、電気容量式をとる含水率の検出について、1MHz 以上をとるのがよいということが判明した。

## II

# 電気容量式含水率検知における 計測値に与える各種要素の解析

### 1. 目的

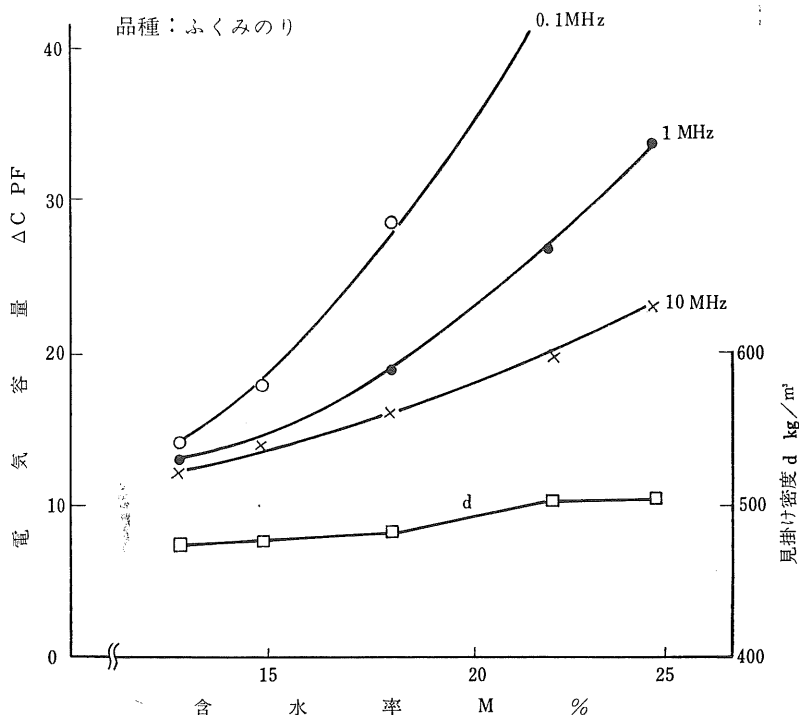
電気容量式による含水率検知において、含水率以外にも、その選別程度や、見掛けの密度、品種等によって、その測定値すなわち電気容量の値が影響を受ける可能性がある。このような電気容量に影響をおよぼす因子や、その程度を知って、この種、検知装置の開発改良の資料にするために、重回帰分析を主とした解析を行なう。

### 2. 方法

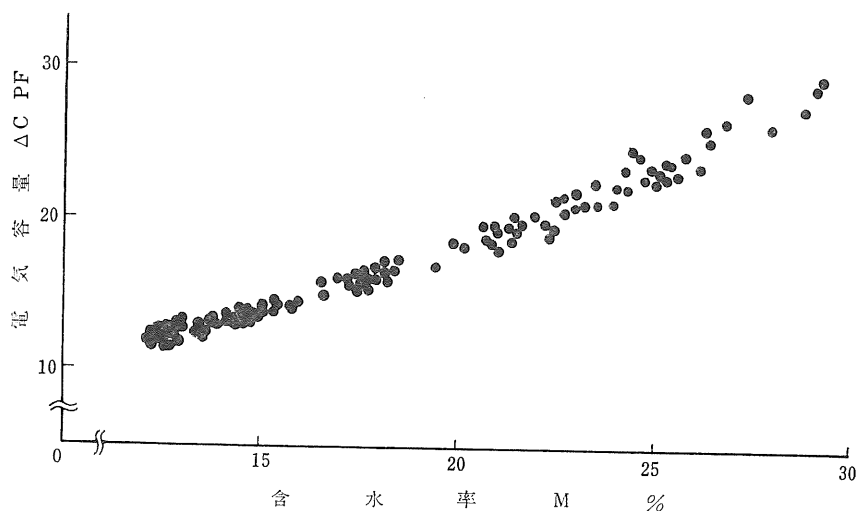
試験装置はIで用いたのと同様で、第I-1図に示す円筒電極および、第I-2図に示すQメータを用いた。試料はIと同様、長時間密閉放置され水分安定状態に達したと思われるものを用いた。円筒電極に投入した試料重は300g一定とした。

第II-1表 実験条件

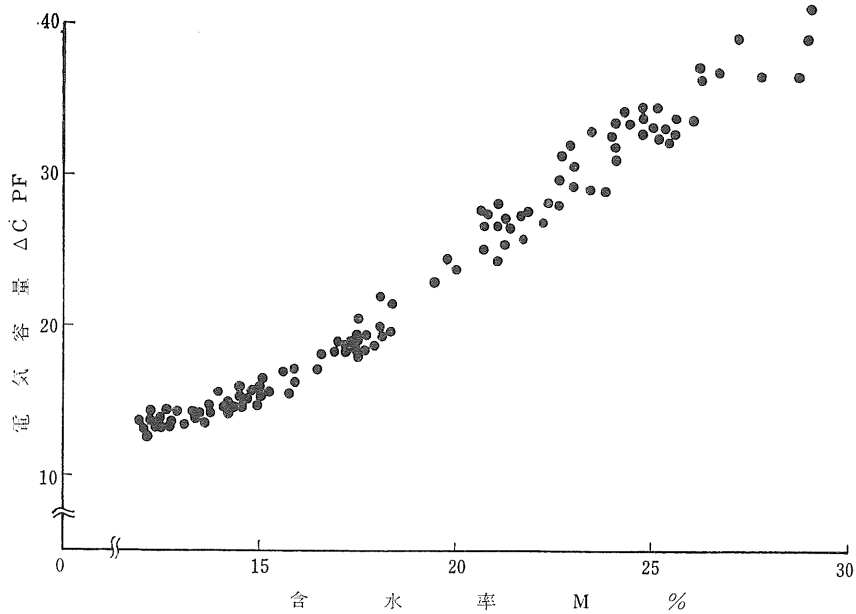
| 粗 品 種                  |       | 22 品 種        |      |       |
|------------------------|-------|---------------|------|-------|
| 測 定 周 波 数              |       | 0.1MHz        | 1MHz | 10MHz |
| 同 上 測 定 点 数            |       | 91            | 122  | 126   |
| 含 水 率 (%)              |       | 12.0 ~ 32.9   |      |       |
| 穀 温 (°C)               |       | 17.5 ~ 21.0   |      |       |
| 見掛け密度(kg/m³)           |       | 460.5 ~ 606.3 |      |       |
| 選別重量歩合<br>(含有率)<br>(%) | 単 粒   | 92.89 ~ 99.36 |      |       |
|                        | 枝梗+穂切 | 0.44 ~ 6.85   |      |       |
|                        | わら屑等  | 0.035 ~ 0.75  |      |       |
| 電 気 容 量 (PF)           |       | 11.8 ~ 46.0   |      |       |



第II-1図 電気容量測定の実例



第Ⅱ-2図 10MHzにおける測定



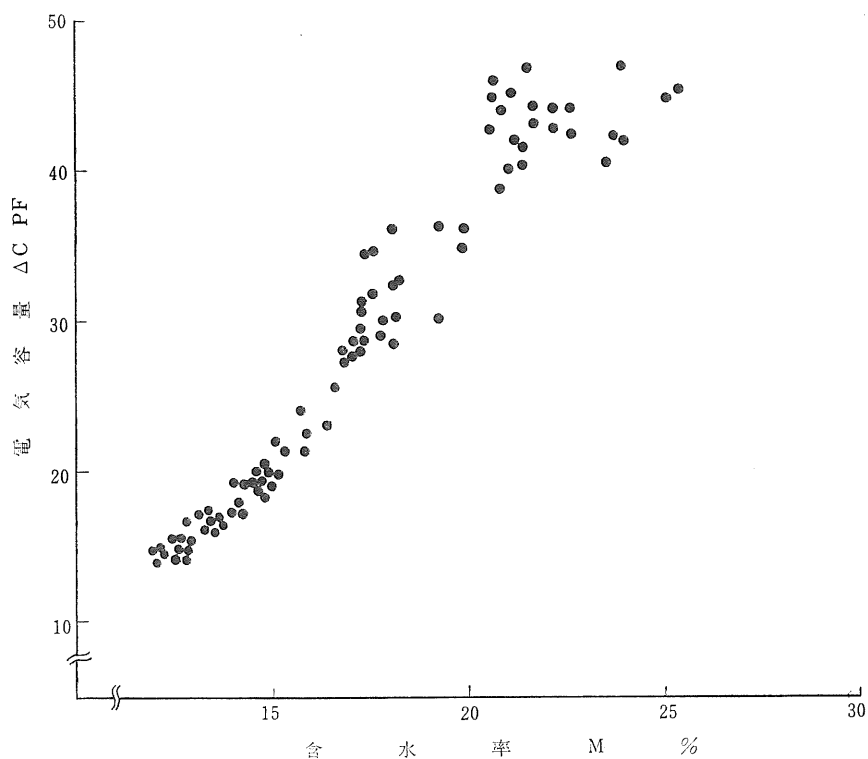
第Ⅱ-3図 1MHzにおける測定

実験条件すなわち、測定因子およびその範囲を第Ⅱ-1表に示す。

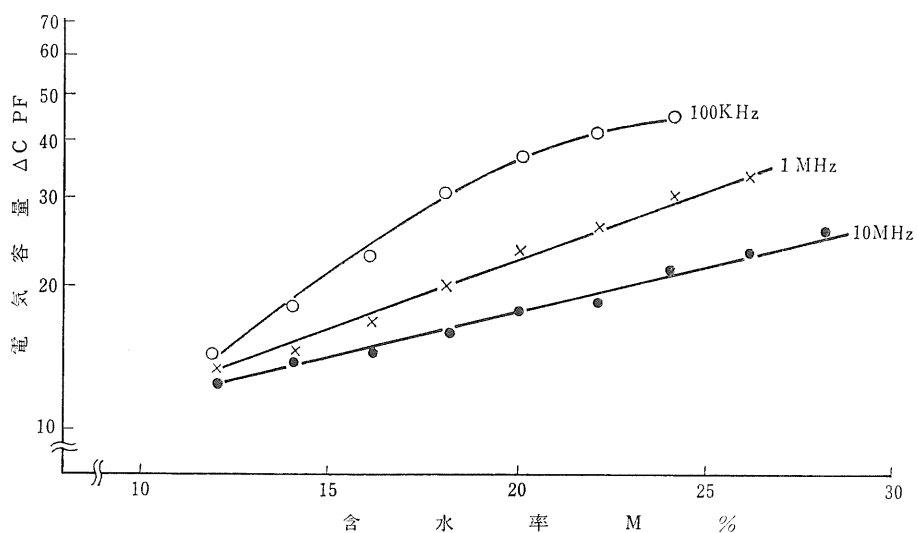
実験により得られた試料の電気容量 ( $\Delta C$ , すなわち、試料をいれたときといれないときの電気容量の差) を特性値として、各測定周波数 (0.1, 1, 10MHz) において、 $\log \Delta C$  に対して、重回帰を行ない、重回帰効果、偏回

帰係数等の検定を行なった。

なお、含水率は 10g 粒—100°C—24h—0.004kg/kg によった値である。選別重量歩合における枝梗付着粒とは枝梗が 5 mm 以上ついたものをいい、穂切粒とは 2 粒以上の穀粒が連なっているものとした。また、見掛けの密度は円筒電極に材料を投入後、その容積を測定し、投入



第Ⅱ-4図 100KHzにおける測定



第Ⅱ-5図 各周波数間関係

重量をこの容積で除して求めた。

### 3. 結果および考察

電気容量測定結果の一例を第Ⅱ-1図に示す。

第Ⅱ-2図～第Ⅱ-4図に各測定周波数における全測定点をプロットした。第Ⅱ-2図～第Ⅱ-4図に示す各測定点の電気容量を含水率1%ごとに分割し、その各々につ

いて平均値を求め、かつ、その値を対数軸にとり第Ⅱ-5図に示した。

第Ⅱ-2図～第Ⅱ-4図に示す結果をもととして、被測定量すなわち特性値としての $\Delta C$ を対数であらわしたとき、各因子すなわち、含水率等と、 $\log \Delta C$ は直線関係に近い値となることに着目して、各因子について、重回帰を行ない、重回帰全体の有意性と、偏回帰係数を求めた。

一般に、被測定量に対して、多くの因子が影響することが予想され、かつ、その影響が一次式で近似可能な場合には次式で表わされる。

$$y = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_i x_i + \dots + a_n x_n + e \quad \dots\dots (Ⅱ-1)$$

ここに、 $x_i$ は独立変数を、 $a_1, a_2, \dots, a_n$ は偏回帰係数を表わし、 $e$ は確率的な誤差をあらわす。

本試験において、 $y$ および $x_i$ は第Ⅱ-2表に示すもので、計算の結果求められた重回帰係数およびそれぞれの因子の偏回帰係数、 $T$ 値を第Ⅱ-3表に示す。

第Ⅱ-2図～第Ⅱ-4図から測定周波数が高くなるほど、ばらつきが少なくなることがわかるが、第Ⅱ-5図の $\log \Delta C$ に対する線型重回帰の場合にも周波数が高くなるほど、ばらつきは小さくなることをわかる。これらのことは数値的には第Ⅱ-3表に示されている。

また、各周波数に対応する測定値について、第Ⅱ-3表に示す有意差のある因子のみを変数として、新たに回帰式をつくると、第Ⅱ-4表(上)のようになる。

第Ⅱ-2表 回帰式に用いた因子

| 一般的<br>な記号 | 実験的<br>な記号      | 記号の内容                       |
|------------|-----------------|-----------------------------|
| $y$        | $\log \Delta C$ | $\Delta C$ は電気容量(PF)        |
| $x_1$      | M               | 含水率(W.B.%)                  |
| $x_2$      | t               | 穀温(°C)                      |
| $x_3$      | d               | 見掛け密度(kg/m <sup>3</sup> )   |
| $x_4$      | s               | 重量分析歩合のうちの単粒含有率(%)          |
| $x_5$      | u               | 〃 (穂切粒+枝梗付着粒)含有率(%)         |
| $x_6$      | i               | 〃 (脱稈粒+碎粒+<br>わら屑+異物)含有率(%) |

さらに、第Ⅱ-2図～第Ⅱ-5図について、単にMと $\log \Delta C$ との関係の回帰式をつくると、第Ⅱ-4表(下)のようになる。

以下の結果を総合して考えると、次のようなことがいえよう。

第Ⅱ-4表をみると、測定周波数によるばらつき、すなわち精度を回帰直線からの標準偏差の大小で比較してみると、いずれも周波数が高くなるほど標準偏差が小さくなり、精度がよくなることがわかる。さらに、各、含水率の測定に影響を与える各因子を考慮にいれて修正した場合とそうでない場合は、当然前者の方が精度がよいということになるが、0.1MHzの場合は問題外として、

第Ⅱ-3表 重回帰分析結果

| 測定<br>周波数 | 重相<br>関係数 | 因子   | 偏回<br>帰係<br>数 | T 値   |
|-----------|-----------|------|---------------|-------|
| 0.1 MHz   | 0.965     | M※※  | 0.0462        | 30.06 |
|           |           | t ※  | 0.0147        | 2.44  |
|           |           | d    | -0.0004       | 1.59  |
|           |           | s    | -0.0038       | 1.10  |
|           |           | u    | -0.0469       | 1.29  |
|           |           | i ※  | -0.0880       | 2.62  |
| 1 MHz     | 0.990     | M※※  | 0.0313        | 59.58 |
|           |           | t    | 0.0025        | 0.96  |
|           |           | d    | 0             | 0.14  |
|           |           | s    | 0.0040        | 0.27  |
|           |           | u    | 0.0006        | 0.04  |
|           |           | i    | -0.0097       | 0.67  |
| 10 MHz    | 0.996     | M※※  | 0.0214        | 90.35 |
|           |           | t    | 0.0011        | 0.92  |
|           |           | d ※※ | 0.0002        | 3.71  |
|           |           | s    | -0.0057       | 0.80  |
|           |           | u    | -0.0091       | 1.22  |
|           |           | i    | -0.0085       | 1.20  |

(注) (1) ※ 危険率5%で有意

※※ 危険率1%で有意

(2) ここにいうT値とは統計量のt値である。

第Ⅱ-4表 回帰式およびその精度

| 計 算 条 件                   | 周 波 数   | 回 帰 式                                        | 標 準 偏 差     |
|---------------------------|---------|----------------------------------------------|-------------|
| 有意になった因子を回帰式の変数として入れたとき   | 0.1 MHz | $M = 20.502 \log \Delta C - 0.414 t - 3.772$ | 1.021 $S_r$ |
|                           | 1 MHz   | $M = 31.258 \log \Delta C - 22.407$          | 0.740       |
|                           | 10 MHz  | $M = 45.982 \log \Delta C - 0.007d - 34.276$ | 0.559       |
| $\Delta C$ のみを変数として回帰したとき | 0.1 MHz | $M = 20.930 \log \Delta C - 12.323$          | 1.084       |
|                           | 1 MHz   | $M = 31.258 \log \Delta C - 22.407$          | 0.740       |
|                           | 10 MHz  | $M = 45.128 \log \Delta C - 36.574$          | 0.576       |

第Ⅱ-5表 各変量間の相関係数

|               |       | 含 水 率  | 温 度    | 見 掛 け 密 度 | 選 別 歩 合 |        |       | $\Delta C$ |
|---------------|-------|--------|--------|-----------|---------|--------|-------|------------|
|               |       |        |        |           | 単 粒     | 枝梗+穂切  | わら屑等  |            |
| 含 水 率         |       | 1.000  | —      | —         | —       | —      | —     | —          |
| 温 度           |       | -0.099 | 1.000  | —         | —       | —      | —     | —          |
| 見 掛 け 密 度     |       | 0.566  | -0.322 | 1.000     | —       | —      | —     | —          |
| 選別歩合<br>(含有率) | 単 粒   | -0.071 | 0.030  | -0.029    | 1.000   | —      | —     | —          |
|               | 枝梗+穂切 | 0.059  | -0.045 | -0.050    | -0.994  | 1.000  | —     | —          |
|               | わら屑等  | 0.020  | 0.210  | -0.258    | -0.003  | -0.058 | 1.000 | —          |
| $\Delta C$    |       | 0.994  | -0.101 | 0.591     | -0.033  | 0.021  | 0.004 | 1.000      |

1MHz の場合はある程度、精度を犠牲にするならば、 $\Delta C$  と含水率の関係の他に因子を考慮しないですむが、精度を向上させようとする場合には 10MHz で見掛け密度  $d$  の修正を行なった方が精度をあげる。

また、含水率測定に实际的と考えられる 1MHz と 10MHz において、粳の選別程度（わら屑等の含有率）などに、この試験範囲では影響されないことがわかった。

なお、今回の試験では、温度をなるべく一定に行なったので、この温度範囲内であれば 100KHz 以外は  $\Delta C$  に対して有意差は認められなかったが、前述の I のように、さらに広い温度範囲では影響することが明確である。また、品種間の差は測定誤差等と比較すればさほど大きいとは思われなかった。

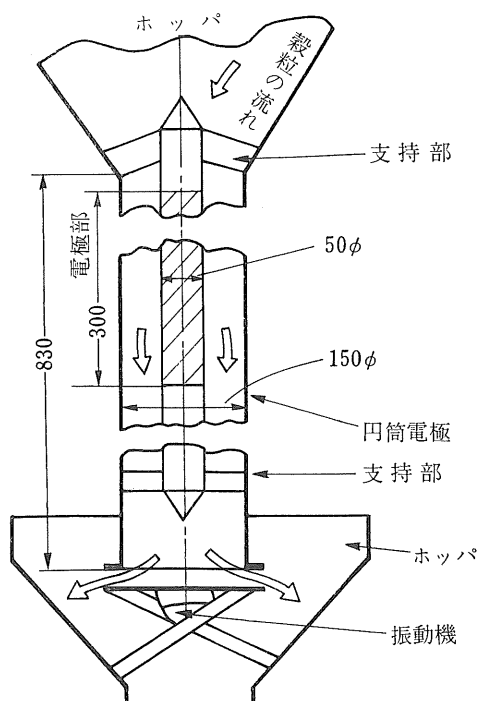
第Ⅱ-5表に、各変量間の相関係数を示す。この中で特に注目されるのは、この実験の範囲程度の選別状態の変化であれば、枝梗付着粒や、わら屑の含有率は見掛け密度に影響を与えない。すなわち、両変量間には関連はほとんどないことがわかった。

本実験は水分安定状態の粳について行なったものであるが、この場合においても、総合して、周波数の高い 10MHz 程度で含水率を測定する方式で、できるだけ見掛け密度の修正を行なって測定するのが高い精度がえられることがわかった。

#### 4. 流動状態における要因解析

誘電率は被測定物の密度、温度、組成物によって影響を受ける事が一般に知られている。しかし、2, 3でのべた Qメータによる基礎試験では穀温の範囲が狭かったので穀温と誘電率との関係には有意な差はなかった。また、流動状態において連続的に含水率を検知する場合、流量の影響も考慮する必要がある。そこで流動状態においてこれらの要因も含めて検討するために2, 3と同様に、電気容

量  $\log C$  に対して重回帰分析を行った。穀物の電気容量  $C$  を高周波において連続的に記録するには、浮遊容量の影響を除くために電極部に直接計測する必要があるので、 $C$  の変化を周波数の変化とする変換器を電極部に直接取り付け、ここからさらに、同軸ケーブルにて周波数を電圧に変換する計器に接続させて、含水率の変化を連続的に記録した。電気容量  $C$  (PF) の読み取りは、あらかじめ微調整ダイヤル付のバリコンで、目盛と  $C$  の関係を電気容量計で読み取っておいたものを電極の代りに変換器



第Ⅱ-6図 電極部の概要

第Ⅱ-6表 流動状態での実験条件

| 測定周波数：10MHz<br>測定点数：28点<br>粳品種：日本晴，西風 |       |    |             |
|---------------------------------------|-------|----|-------------|
| 因                                     | 子     | 記号 | 範囲          |
| 含水率 (%)                               |       | m  | 11.4～28.3   |
| 穀温 (°C)                               |       | t  | 10.5～27.5   |
| 100g 容積 (cc/100g)                     |       | b  | 158.3～187.0 |
| 循環穀粒流量 (t/h)                          |       | Q  | 0.12～3.10   |
| 選別重量歩合 (含有率) (%)                      | 単粒    | s  | 85.2～98.0   |
|                                       | 枝梗+穂切 | u  | 0.2～2.9     |
| 電気容量 (PF)                             |       | C  | 28.7～92.3   |

に取り付けて、記録計との較正を行って読み取った。

測定周波数は10MHzのみとし、電極は第Ⅱ-6図に示すように、内径50φ、外径150φの黄銅製の同軸円筒型とし、絶縁材にはポリスチロールを用いた。この電極の上部にホッパーを設けて、水分調整を行って2～3日以上経た約50kgの粳をバケットエレベータで循環させながらCの変化を連続的に記録した。循環穀粒流量は電極下部のホッパーにパイプレータを取り付けた制御板を設け、パイプレータの電圧を変える事によって変化させた。試験条件を第Ⅱ-6表に示す。

ところで流動状態における見掛けの密度の測定は、それと密接な関連があり、かつ、簡便なブラウエル穀粒計を用いて100g容積(cc/100g)として表示した。穀温は魔法ビンに入れて測定した。含水率は135°C-10g粒-24h-0.008kg/kgで表示した。結果を第Ⅱ-7表に示す。

含水率と有意な関係をもった因子について再び重回帰を行って得た式は、次のⅡ-2式である。

第Ⅱ-7表 流動状態における重回帰分析結果

| 因子  | 偏回帰係数   | T 値   |
|-----|---------|-------|
| M※※ | 0.0248  | 32.27 |
| t※※ | 0.0031  | 3.67  |
| b※※ | -0.0041 | 9.79  |
| s   | -0.0254 | 0.77  |
| u   | -0.0275 | 0.82  |
| Q   | -0.0328 | 0.94  |

但し、bは100g容積(cc/100g)  
重相関係数：0.994

$$M = 39.072 \log C - 0.097t + 0.152b - 71.100 \cdots (\text{Ⅱ-2})$$

注：Sr=0.52

この試験においては穀温の範囲が静止状態で測定した前述の2,3の場合よりもかなり大きかったのでやはり有意となっている。そして流動状態の含水率検出において最大の懸案である穀粒流量は、この試験範囲ではCに影響を与えない事を見出した。この事は流動状態における含水率検出に非常に有利になると思われる。

また、穀粒が循環している間に枝梗などがとれたり、表面がすべすべして来て100g容積が急速に低下する現象がみられたが、データ解析に当っては1つの実験の中から循環開始5分後と、粳の性状が安定した時点(20～30分後)の2点を取って行った。

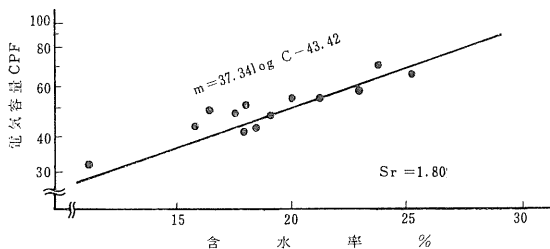
これらの両者について各々Ⅱ-2式を用いて穀温や100g容積について修正を行ったのち、MとlogCとで単回帰を行ったものについてその時の相関係数や、回帰からの標準偏差を求めたものをⅡ-8表に示す。なお、この修正値はほぼ実験時の平均値に近い値を用いた。また、当然の事ではあるが、各修正値を変えても回帰定数以外は変わらない。この結果より、循環開始直後のように性状が安定していない粳，すなわち100g容積が急速に低下

第Ⅱ-8表 単回帰式と修正の効果および精度

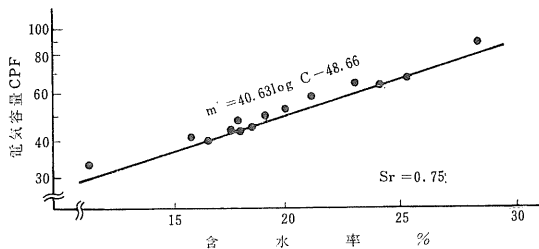
| 修正条件                       | 単回帰式                         | 相関係数  | 回帰からの標準偏差 |
|----------------------------|------------------------------|-------|-----------|
| 循環開始5分後<br>実測値             | $M = 37.341 \log C - 43.422$ | 0.915 | 1.80      |
| 穀温のみ20°Cに修正                | $M = 37.051 \log C - 43.275$ | 0.941 | 1.45      |
| 100g容積のみ180cc/100gに修正      | $M = 40.735 \log C - 48.585$ | 0.980 | 0.91      |
| 穀温20°C，100g容積180cc/100gに修正 | $M = 40.445 \log C - 49.410$ | 0.987 | 0.73      |
| 性状安定時<br>実測値               | $M = 37.991 \log C - 46.094$ | 0.987 | 0.69      |
| 穀温のみ20°Cに修正                | $M = 40.229 \log C - 50.279$ | 0.989 | 0.66      |
| 100g容積のみ165cc/100gに修正      | $M = 39.896 \log C - 49.253$ | 0.993 | 0.51      |
| 穀温20°C，100g容積165cc/100gに修正 | $M = 39.121 \log C - 48.220$ | 0.993 | 0.50      |

第Ⅱ-9表 各変量間の相関係数

|                  | 含水率    | 穀温     | 100g容積 | 単粒     | 枝梗+穂切  | 流量     | log PF |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 含水率              | 1.000  |        |        |        |        |        |        |
| 穀温               | -0.340 | 1.000  |        |        |        |        |        |
| 100g容積           | -0.002 | -0.369 | 1.000  |        |        |        |        |
| 単粒(含有率)          | 0.002  | -0.229 | -0.008 | 1.000  |        |        |        |
| (枝梗+穂切)<br>(含有率) | 0.090  | 0.125  | 0.057  | -0.984 | 1.000  |        |        |
| 流量               | -0.511 | 0.536  | -0.358 | 0.232  | -0.398 | 1.000  |        |
| log PF           | 0.923  | -0.117 | -0.358 | 0.030  | 0.034  | -0.323 | 1.000  |



第Ⅱ-7図 循環開始5分後  $t, b$  は任意



第Ⅱ-8図 第Ⅱ-7図において  $t=20^{\circ}\text{C}, b=180\text{cc}/100\text{g}$  に修正したもの

する（見掛けの密度は大きくなる）粳では修正した効果が大きく、穀温の影響はそれほど大きくない。この事は性状安定時の粳についてもいえるが、精度の面からは大きな効果は期待し難い。

これらの結果より、共同乾燥施設の荷受けなどに適用する場合は見掛け密度の修正を考慮する必要があるが、粳が循環している間に性状が安定と思われる循環式乾燥機などに適用する場合は、比較的修正が簡単と考えられる穀温の修正のみで十分と思われる。循環開始5分後のものについてCとMについて単回帰したものを第Ⅱ-7図に、これを第Ⅱ-2式によって  $t=20^{\circ}\text{C}, d=180\text{cc}/100\text{g}$  に修正したものを第Ⅱ-8図に示す。

次に第Ⅱ-9表は各変量間の相関係数である。静止状態の2, 3の場合との大きな相異は流量の因子が入っていることである。この因子と他の因子の相関係数は他と比較して一般に大きな値になっているが、この値は流動状態独特のものと考えられ興味のある数字である。まず含水率と流量の相関係数は含水率が高くなる程流れ難くなる事を、穀温と流量の関係では穀粒が循環している内に摩擦によって穀温が上昇する事を、100g容積と流量の関係は穀粒が循環している間に表面がすべすべして見掛け密度が大きくなる事を、単粒および枝梗穂切の含有率と流量の関係では循環している間に枝梗などがとれて、単粒が多くなる様子を表わしていると考えられる。しかし、注意しなければならないのは、これら各変量間の平等の相関係数は偏相関係数でみなければならない事である。

### III

## 穀物の流動状態における含水率検出装置の試作研究

### 1. 目的

乾燥機の自動制御の方法として、例えば循環式乾燥機において、乾燥機内の穀物の含水率を自動的に検出して、また含水率が所望の値になったとき乾燥機を自動的に停止させたり、連続送り式乾燥機において、乾燥機通過前の穀物の含水率を自動的に検出して、その穀物流量を変えて、乾燥機通過後の穀物の含水率を一定の値にするという装置の開発の要望が大きい。さらに、穀類乾燥調製貯蔵施設等の穀物移動系路の種々な部位において、人手でサンプリングすることなく自動的に穀物の含水率を、精度を上げるため、できるだけ多くの穀物について非破壊で連続的に検出して指示する装置の開発の要望も大きい。これらの自動化の要望に答えるためには、まず、含水率を自動的に検出する装置の開発が必要である。よって、この種の装置の開発に関しての試作研究を行なうが、重点は乾燥機の自動制御を目的とし、循環式乾燥機等の穀物の流路に取り付けられる小型で簡便な検出装置を開発し、検出精度および穀品種、温度、見掛けの密度などの相異による検出量の相異を求め、実用性を確かめることにある。

### 2. 方法

#### 1) 検出装置の試作

##### (1) 検出回路

基本的には、高周波領域における誘電率 $\epsilon'$ が、含水率

と相関関係があることを利用する方式を用いた。すなわち、 $\epsilon'$ をあらわす単純な式は次のごとくである。

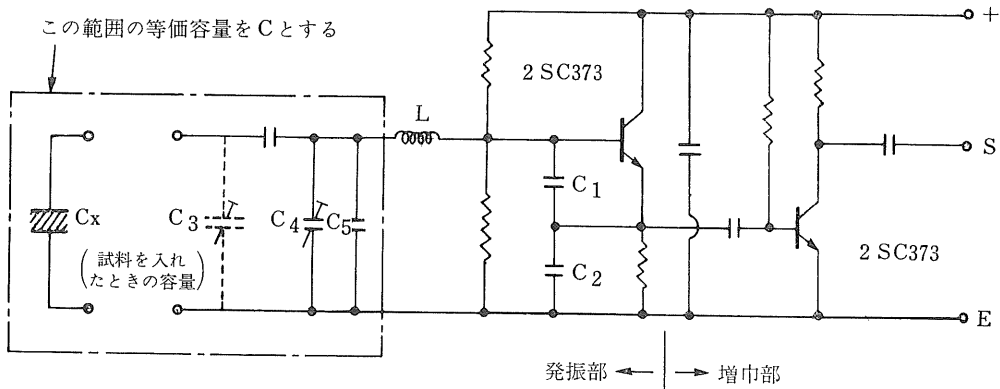
$$\epsilon' = C_x / C_0 \dots\dots\dots (\text{III}-1)$$

ここに、 $C_0$ ：電極間が空洞である場合の電気容量 PF

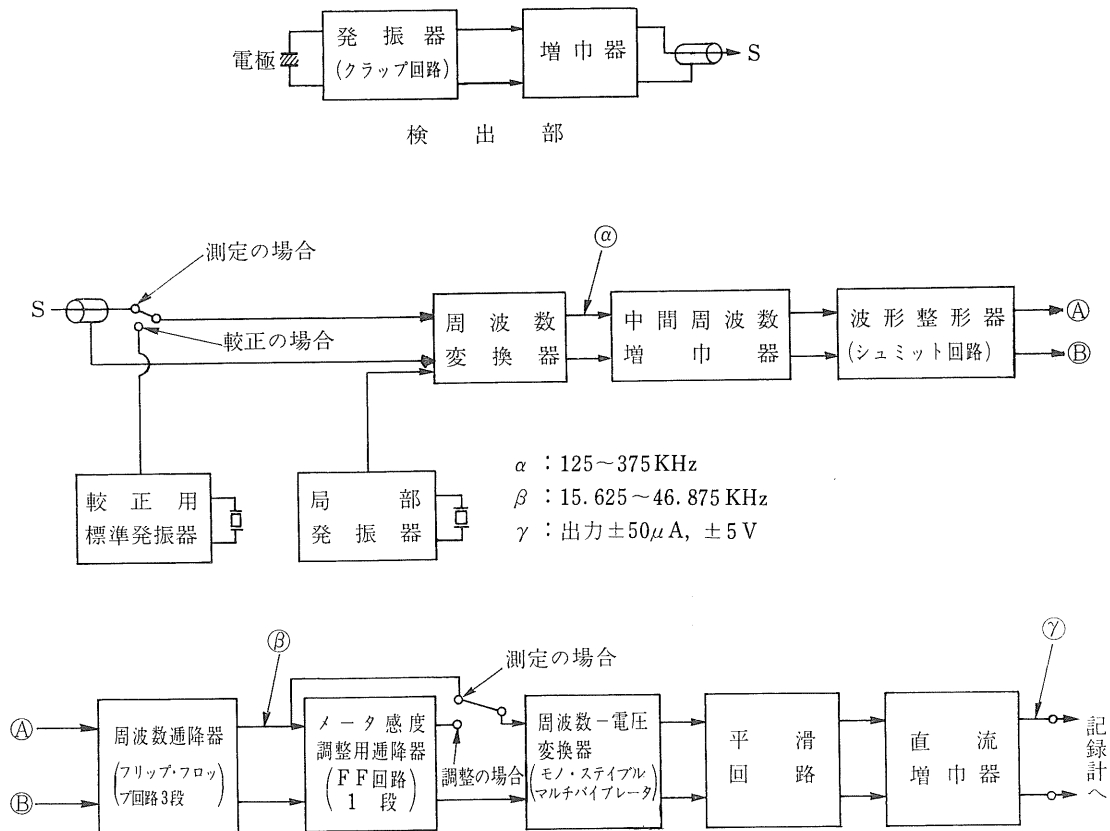
$C_x$ ：電極間に物質が挿入されたときの電気容量 PF

I で述べたように、 $\epsilon'$ は含水率によって大きく変わるもので、電極の形状が一定であれば、電気容量 $C_x$ を測定するだけで、含水率が測定しうることになる。この場合、I、II において $\Delta C$ すなわち、 $C_x - C_0$ を一つの指標としたが、 $\Delta C$ と含水率の関係を利用することも同じ意味である。ただ、複雑な電極の場合は含水率と $\Delta C$ の関係は、たとえ穀物の $\epsilon'$ が判明していてもあらかじめ検出しておいて、その検定された関係から $\Delta C$ を測定して含水率を推定しなければならない。

さて、この $\Delta C$ を求めるには種々の方法があるが、ここでは、電極および穀物の電気容量を含む回路の電気容量と、インダクタンスを組合した回路で形成された発信回路において、穀物の含水率による電気容量の変化すなわち、 $\Delta C$ の変化によって、発信周波数を変えることを利用し、その周波数を計数して、あらかじめその周波数と含水率の関係を求めておき、含水率を知るという方法をとった。なお、実際には周波数をさらに電圧に変換して、記録または指示させた。



第III-1図 電極に組込んだ回路



注：各回路は定電圧電源に接続

第Ⅲ-2図 含水率検出装置の回路系統図

この発振回路は、第Ⅲ-1図のようなクラップ発振回路とした。また、Ⅰ、Ⅱの試験の結果から測定時の周波数は 10MHz 程度が好ましいということがわかり、この程度の周波数における  $4C$  が求められるよう測定電極容量  $C$  の範囲により、発信周波数を  $10.000\text{MHz} \pm 0.125\text{MHz}$  および  $10.1250\text{MHz} \pm 0.0625\text{MHz}$  のいずれかとした。

注：10MHz 以上の方がよいかもしれないが、装置の安定性等の点から 10MHz をえらんだ。

さて、検出電極を含めた  $C$  の値を、これらの各周波数について求める式は、

$$C = \frac{1}{\omega^2 L - \frac{1}{C'}} \dots\dots\dots (Ⅲ-2)$$

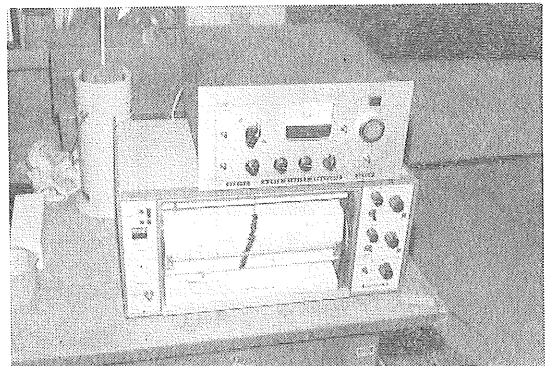
$$\text{ここに、} \frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\text{かきかえれば、} \frac{1}{C} = (2\pi f)^2 L - \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \dots\dots\dots (Ⅲ-3)$$

これをさらにかきかえると、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C+C'}{LC'}} \dots\dots\dots (Ⅲ-4)$$

ここでは、穀物の含水率測定範囲 (10~30%) から推定した場合の測定穀物の誘電率範囲を 2.5~5.5 と仮定する (Ⅰの第 1-9 図、および第 1-10 図より推定)。もちろん被測定物のない状態では、 $\epsilon=1.0$  であり、電気容量



第Ⅲ-3図 周波数-電圧変換器および記録装置

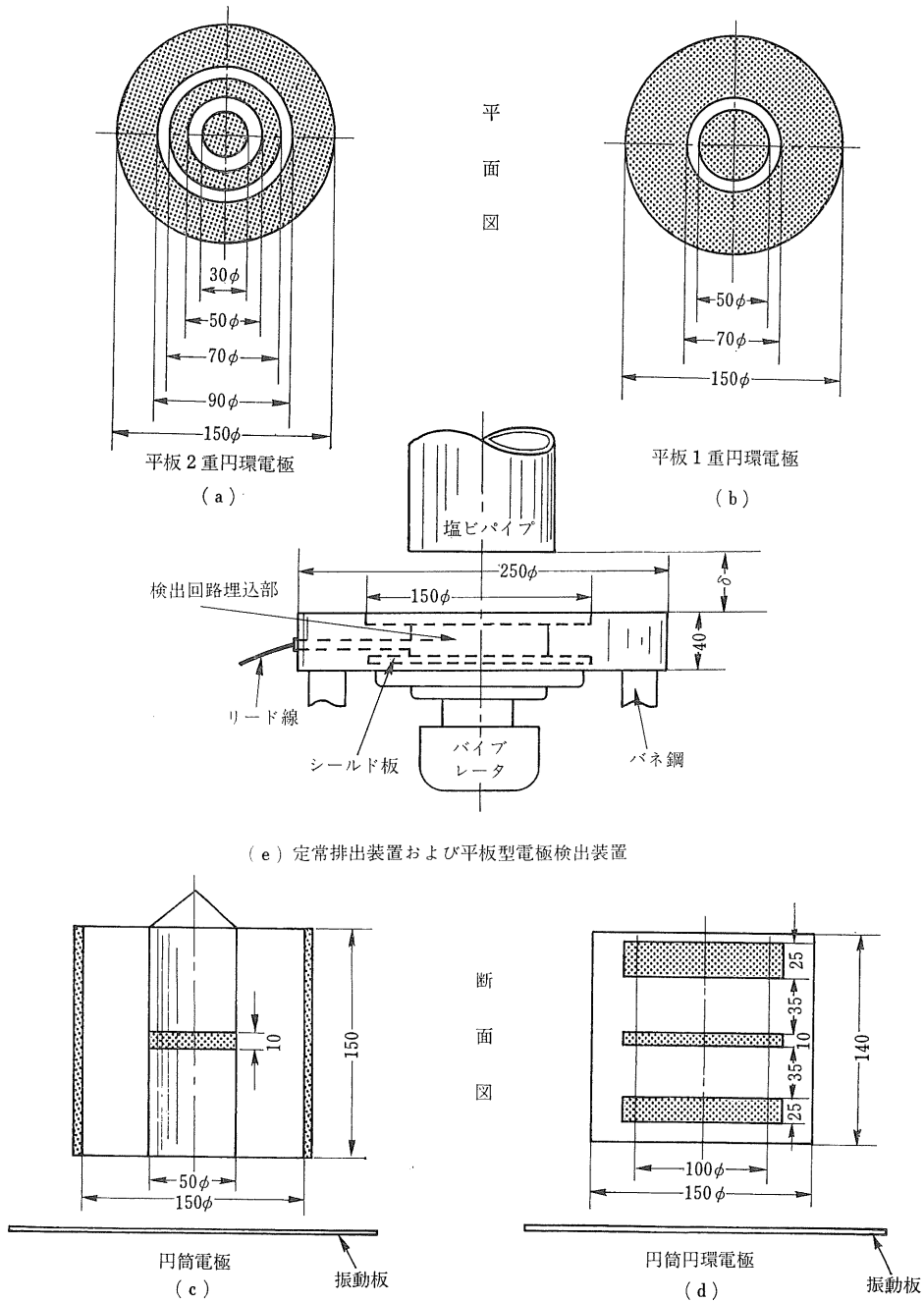
は  $C_0$  なので、前記誘電率に対する電気容量は、 $2.5C_0 \sim 5.5C_0$  となる。(Ⅲ-3) 式によって上記の計測回路における測定周波数範囲に対応する  $C$  の変化量を求め、さらに、これを  $2.5C_0 \sim 5.5C_0$  に対応させたときの  $C_0$  に相当する発振周波数を (Ⅲ-4) 式で求め、これを  $f_0$  として、最初

空容器における調整点のめやすとした。

なお、第Ⅲ-1 図の回路における発振の条件としては、

$$C_1 \div C_2, C_1 C_2 > C \dots\dots\dots (Ⅲ-5)$$

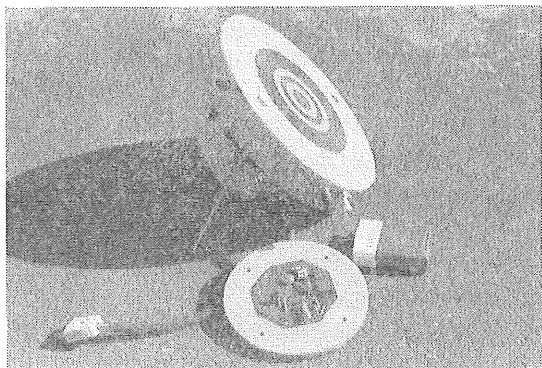
となり、 $C_2/C=10 \sim 20$  とした。ここで、 $C_1, C_2$  は固定であり、 $C$  が可変すなわち、検出電極部の容量である。



第Ⅲ-4 図 試 作 電 極 (注) ■の部分 は黄銅製

また、電極の種類の違いによって、測定試料の誘電特性が前記の仮定値とちがうことなどもあって、第Ⅲ-1図中の  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_5$  を調節し測定希望含水率の範囲を安定した検出範囲にもってくる操作を行なった。

さらに、この発振周波数を電圧に変換し、記録または指示させるための回路の系統図を第Ⅲ-2図に示す。この外観の写真は第Ⅲ-3図のとおりである。



第Ⅲ-5図 平板型電極と定常排出装置内部に組込んだ含水率検出回路



第Ⅲ-6図 MDP-712 を取り付けた実験装置

## (2) 電極の試作

種々の型の電極が考えられるが、工作の難易や電気力線の形状、測定深さ、シールドの程度、電極容量などを考慮して第Ⅲ-4図に示すような4種の電極を試作した。電極が空状態のときの仮定容量  $C_0'$  は各々 (a) が 1.56PF, (b) が 1.08PF, (c) が 1.86PF, (d) が 0.95PF である。なお、この  $C_0'$  は各電極について含水率の異なる数種類の粉を供試し、適正検出範囲 (10~30%) がフルレンジになるように、Ⅲ-1図の  $L$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  を決めて、Ⅲ-4式より 9.875 MHz と 10.125 MHz (または 10.0625 MHz と 10.1875MHz) に対応する  $C$  を求め、その変化量を誘電率範囲で割って求めた値である。

電極の材料としてはいずれも黄銅を用い、支持材料には高周波絶縁特性と機械加工性の良好な ABS 樹脂を用いた。平板型電極の場合は検出装置全体をコンパクト化するため振動板中に電極を配置し、その中にプリント配線した検出回路を組込んだ (第Ⅲ-5図)。このため振動板全体も ABS 樹脂で試作した (第Ⅲ-6図)。

円筒型電極の実験をする場合は図中の塩ビパイプの代りに電極を取り付け、平板型電極は単なる振動板として用いた。

含水率検出時に振動を加えるのは、これによって穀物の流動状態を均一にし、見掛けの密度の影響をなるべく小さくしようとするためであると同時に、穀粒流量を制御しようとするためである。しかし、この種の流路系において、含水率の検知のさいの検出値には流量がほとんど影響しない事は先のⅡ・4ですでに求めている。

振動板の振動モードは上下方向と円板の中心を軸とする回転振動の合成であり、主振動数は 100Hz である。振動加速度はバイブレータ電圧 100V のとき、穀粒のない状態において円板の上下方向で約 2.2G 外周の接線方向で 1.5G, 中心方向に対して 1.2G であった。

注：Gは重力の加速度。

## 2) 試験方法

試験は穀物の流動状態において、下記5つの項目を定量的に求める事を主として行う。

### ① 電極の形状の相異による検出精度の相異

第Ⅲ-1表 試験条件

| 電 極 の 型            | 平板 2重円環電極      | 平板 1重円環電極 | 円 筒 電 極 | 円筒円環電極  |
|--------------------|----------------|-----------|---------|---------|
| 同 上 記 号            | MDP-712        | MDP-711   | MDR-711 | MDC-711 |
| 粗 品 種              | 日 本 晴          | 中生新千本     | トヨニシキ   | コシヒカリ   |
| 温 度 (°C)           | 10, 20, 30, 40 |           |         |         |
| 含 水 率 (%)          | 11.2 ~ 24.6    |           |         |         |
| 100g 容 積 (cc/100g) | 155 ~ 188      |           |         |         |

- ② 含水率の相異による検出量の相異
- ③ 穀品種の相異による検出量の相異
- ④ 温度の相異による検出量の相異
- ⑤ 100g 容積の相異による検出量の相異

これらを一覧表にすれば、Ⅲ-1表のようになる。

穀粒内に水分むらのある状態、すなわち乾燥直後から数時間～十数時間の間は検出電気容量に影響を与えるので(1参照)、高水分で収穫された各品種の穀を5～7段階に水分調整したのち、腐敗の防止とテンパリングを兼ねて2～3℃の低温室に約25kg入りの自脱コンバインの麻袋に入れて1週間以上放置し、実験開始1～2日前に試験装置の入っている恒温恒湿室に入れ、室温と穀温が同一になるようにした。

実験装置を第Ⅲ-7図に示す。循環開始直後は急速に100g容積が少なくなるので上記②、③、④の試験の場合、最初に使用する穀は本試験に先だち、約10kgを0.5～1.5t/hrの流量にて10～30分間循環させ、記録計の指示値が変化しなくなるのを確認してから試験を行った(こ



第Ⅲ-7図 円筒型電極の実験と穀の流動の様子

の状態を以下「性状安定状態」という)。また、この間の含水率の変化は測定誤差の範囲内であった。⑤の実験において使用したコシヒカリは普通型コンバインで収穫した穀をそのまま用いたが、他はいずれも自脱コンバインで収穫した穀を精選機(唐箕)にかけて用いた。各穀品種についての重量分析歩合を第Ⅲ-2表に示すが、表中「使用後」としてあるのは20℃にて4種の電極について実験終了後サンプリングして求めたものである。

見掛けの密度に関する測定はⅡ・4と同様、ブラウエル穀粒計を用い100g容積として間接的に表わした。このサンプルは各々の実験の最後に流量を測定したものの中よりサンプリングした。なお、ここでいう穀物流量とは5～10秒間サンプリングしてt/hで表わしたものをいう。また穀粒流量はパイプレータ電圧を変えることによって変えることができたが、本試験の間は全試験を通じて100V一定として行った。

含水率の記録方式は電気容量の変化を発振周波数の変化としてとらえているので、これをさらに第Ⅲ-2図に示すような回路で電圧に変換して連続的に記録した。この場合、電極が空状態のとき、温度の変化などによる挙動を監視するため、標準発振器と局部発振器を切換スイッチによって交替させ、空状態のときも測定範囲内で監視できるようにした。また、この装置の主要部分はすべてIC化した。

含水率の測定は135℃-10g粒-24h-0.008kg/kg法によった。

### 3. 試験結果および考察

各電極ごとに試験条件および結果をまとめて第Ⅲ-3表～第Ⅲ-6表に示す。なお、各表の右側または下の表は主として100g容積の変化による検出電圧の変化を室温20℃において調べたものである。各電極について検出電圧と含水率を軸にして各条件をプロットしたものが第Ⅲ-8図～第Ⅲ-11図である。これらの各図において(a)、(b)は性状安定状態の同一穀品種で温度の相異による検出電圧の相異を示し、(c)は20℃で性状安定状態における穀

第Ⅲ-2表 供試材料分析重量歩合(含有率)

|           | 日 本 晴 |      | 中生新千本 |      | トヨニシキ |      | コシヒカリ |      | 普コン収穫<br>コシヒカリ |   |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|----------------|---|
|           | 使用前   | 使用後  | 前     | 後    | 前     | 後    | 前     | 後    | 前              | 後 |
| 単 粒 %     | 91.2  | 94.7 | 97.4  | 97.8 | 90.7  | 95.8 | 88.6  | 93.2 | 85.0           | — |
| 脱 稈・碎 粒   | 0.0   | 1.2  | 0.1   | 0.6  | 0.5   | 1.7  | 0.3   | 3.4  | 3.0            | — |
| 枝 梗 付 着 粒 | 6.9   | 3.3  | 1.9   | 1.2  | 7.9   | 2.2  | 9.7   | 2.0  | 9.6            | — |
| 穂 切       | 1.4   | 0.1  | 0.5   | 0.1  | 1.1   | 0.1  | 1.2   | 0.2  |                | — |
| 屑・空 粒     | 0.0   | 0.2  | 0.1   | 0.5  | 0.1   | 0.1  | 0.2   | 1.0  | 1.5            | — |

第Ⅲ-3表（その1） 平板 2 重円環電極

|      | 日 本 晴                                        |                                              |                                        |                                              | 中 生 新 千 本                                    |                                              |                                        |                                              | ト ヨ ニ シ キ                                    |                                              |                                        |                                              | コ シ ヒ カ リ                                            |                                                      |                                               |                                                      |
|------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|      | 含水率<br>W.B%                                  | 電圧<br>V                                      | 100g<br>容 積<br>cc/100g                 | 流量<br>t/h                                    | 含水率<br>W.B%                                  | 電圧<br>V                                      | 100g<br>容 積<br>cc/100g                 | 流量<br>t/h                                    | 含水率<br>W.B%                                  | 電圧<br>V                                      | 100g<br>容 積<br>cc/100g                 | 流量<br>t/h                                    | 含水率<br>W.B%                                          | 電圧<br>V                                              | 100g<br>容 積<br>cc/100g                        | 流量<br>t/h                                            |
| 10°C | 20.6<br>18.1<br>16.8<br>15.0<br>14.6         | 5.20<br>3.80<br>3.00<br>2.20<br>2.00         | 163<br>160<br>161<br>162<br>161        | 0.40<br>0.61<br>0.82<br>1.23<br>1.56         | 23.0<br>19.4<br>18.0<br>16.4<br>13.4         | 7.05<br>4.30<br>3.40<br>2.60<br>0.95         | 162<br>161<br>164<br>165<br>171        | 0.63<br>0.99<br>1.13<br>1.44<br>1.74         | —                                            |                                              |                                        |                                              | —                                                    |                                                      |                                               |                                                      |
| 20°C | 22.6<br>19.3<br>17.4<br>16.5<br>15.1<br>14.2 | 7.35<br>4.80<br>3.50<br>3.15<br>2.45<br>2.05 | 162<br>163<br>163<br>163<br>164<br>166 | 0.29<br>0.38<br>0.45<br>0.55<br>0.61<br>0.57 | 24.6<br>22.1<br>21.3<br>17.0<br>15.7<br>14.5 | 9.50<br>6.75<br>6.05<br>3.55<br>2.50<br>1.90 | 161<br>162<br>162<br>166<br>170<br>171 | 0.57<br>0.89<br>1.16<br>0.71<br>0.87<br>0.84 | 23.4<br>18.0<br>16.4<br>15.7<br>14.9<br>12.6 | 7.80<br>3.60<br>2.70<br>2.30<br>2.05<br>1.35 | 165<br>164<br>166<br>166<br>166<br>167 | 0.24<br>0.62<br>0.88<br>0.95<br>1.60<br>2.75 | 20.5<br>20.1<br>19.7<br>17.6<br>16.4<br>16.3<br>13.2 | 4.55<br>4.15<br>3.65<br>2.65<br>2.15<br>2.25<br>0.95 | 173<br>177<br>182<br>176<br>173<br>169<br>174 | 0.29<br>0.27<br>0.20<br>0.48<br>0.89<br>1.40<br>1.77 |
| 30°C | 19.1<br>17.3<br>16.3<br>14.8<br>14.2         | 5.70<br>4.70<br>4.15<br>3.55<br>3.40         | 162<br>159<br>160<br>160<br>159        | 0.47<br>0.73<br>0.92<br>2.13<br>2.88         | 19.6<br>17.5<br>16.2<br>14.8<br>13.1         | 6.40<br>5.05<br>4.35<br>3.20<br>2.40         | 163<br>162<br>162<br>163<br>167        | 0.60<br>0.80<br>1.09<br>1.03<br>1.20         | —                                            |                                              |                                        |                                              | —                                                    |                                                      |                                               |                                                      |
| 40°C | —                                            |                                              |                                        |                                              | 17.9<br>16.5<br>15.5<br>14.2<br>13.0         | 6.15<br>5.20<br>4.65<br>3.80<br>3.15         | 161<br>162<br>162<br>165<br>167        | 0.64<br>0.72<br>0.99<br>1.00<br>1.13         | —                                            |                                              |                                        |                                              | —                                                    |                                                      |                                               |                                                      |

第Ⅲ-3表（その2） 平板 2 重円環電極

|      | コ シ ヒ カ リ                                    |                                           |                               |                                        |                                           | 日 本 晴                                        |                                           |                               |                                        |                                           | 中 生 新 千 本                                    |                                           |                               |                                        |                                           |
|------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
|      | 含水率<br>W.B%                                  | 電圧<br>V                                   | 循環<br>時間<br>min               | 100g<br>容 積<br>cc/100g                 | 流量<br>t/h                                 | 含水率<br>W.B%                                  | 電圧<br>V                                   | 循環<br>時間<br>min               | 100g<br>容 積<br>cc/100g                 | 流量<br>t/h                                 | 含水率<br>W.B%                                  | 電圧<br>V                                   | 循環<br>時間<br>min               | 100g<br>容 積<br>cc/100g                 | 流量<br>t/h                                 |
| 20°C | 17.5<br>17.6<br>17.6<br>17.5<br>17.5<br>17.3 | —<br>2.70<br>2.80<br>3.00<br>3.40<br>3.60 | 0<br>2<br>5<br>10<br>20<br>30 | 181<br>177<br>174<br>173<br>166<br>163 | —<br>0.42<br>0.56<br>0.83<br>1.48<br>1.72 | 19.0<br>19.3<br>19.1<br>19.2<br>19.2<br>19.1 | —<br>3.90<br>4.10<br>4.10<br>4.15<br>4.20 | 0<br>2<br>5<br>10<br>20<br>30 | 170<br>169<br>169<br>167<br>162<br>163 | —<br>0.24<br>0.28<br>0.41<br>0.52<br>0.48 | 21.3<br>21.3<br>21.2<br>21.3<br>21.1<br>21.0 | —<br>5.00<br>5.30<br>5.40<br>5.70<br>5.80 | 0<br>2<br>5<br>10<br>20<br>30 | 177<br>173<br>171<br>164<br>161<br>161 | —<br>0.27<br>0.42<br>0.71<br>1.02<br>0.85 |
| 20°C | 13.7<br>13.7<br>13.7<br>13.6                 | —<br>1.20<br>1.40<br>1.60                 | 0<br>2<br>5<br>10             | 181<br>175<br>171<br>167               | —<br>0.85<br>1.44<br>2.77                 | —                                            |                                           |                               |                                        |                                           | —                                            |                                           |                               |                                        |                                           |
| 20°C | 11.2<br>11.1<br>11.2<br>11.2<br>11.3<br>11.2 | —<br>0.25<br>0.35<br>0.45<br>0.90<br>1.15 | 0<br>2<br>5<br>10<br>20<br>30 | 181<br>177<br>176<br>171<br>167<br>161 | —<br>0.76<br>0.81<br>1.95<br>2.42<br>2.46 | —                                            |                                           |                               |                                        |                                           | —                                            |                                           |                               |                                        |                                           |

第Ⅲ-4表（その1） 平 板 1 重 円 環 電 極

|      | 日 本 晴       |         |                        |           | 中 生 新 千 本   |         |                        |           | ト ヨ ニ シ キ   |         |                        |           | コ シ ヒ カ リ   |         |                        |           |
|------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|
|      | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h |
| 10°C | 21.0        | 3.75    | 163                    | 0.77      | 23.0        | 5.05    | 162                    | 0.53      | —           |         |                        |           | —           |         |                        |           |
|      | 18.1        | 2.80    | 162                    | 1.13      | 19.5        | 3.35    | 161                    | 0.86      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 16.7        | 2.40    | 162                    | 1.51      | 17.9        | 2.80    | 162                    | 1.13      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 16.1        | 2.25    | 162                    | 2.04      | 16.4        | 2.25    | 165                    | 1.33      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 15.0        | 2.00    | 163                    | 2.93      | 13.6        | 1.35    | 171                    | 1.60      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 14.4        | 1.85    | 163                    | 2.86      | —           | —       | —                      | —         |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | —           | —       | —                      | —         | —           | —       | —                      | —         |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
| 20°C | 24.0        | 5.75    | 160                    | 0.45      | 24.0        | 6.40    | 162                    | 0.29      | 22.7        | 5.25    | 164                    | 0.33      | 21.4        | 2.75    | 171                    | 1.04      |
|      | 19.6        | 3.55    | 161                    | 1.00      | 21.5        | 4.80    | 164                    | 0.44      | 17.5        | 3.00    | 164                    | 0.83      | 20.9        | 3.45    | 175                    | 0.93      |
|      | 17.5        | 2.85    | 164                    | 1.43      | 20.7        | 4.40    | 164                    | 0.44      | 16.1        | 2.50    | 165                    | 1.10      | 20.4        | 3.30    | 182                    | 0.51      |
|      | 16.7        | 2.65    | 164                    | 1.98      | 16.8        | 2.85    | 164                    | 0.75      | 15.4        | 2.35    | 164                    | 1.36      | 18.4        | 2.55    | 176                    | 1.30      |
|      | 15.2        | 2.30    | 167                    | 0.80      | 15.6        | 2.45    | 168                    | 0.78      | 14.5        | 2.30    | 164                    | 0.55      | 17.0        | 2.30    | 174                    | 0.86      |
|      | 14.2        | 2.00    | 170                    | 0.59      | 14.5        | 2.05    | 172                    | 0.81      | 12.3        | 1.90    | 163                    | 0.87      | 16.7        | 2.30    | 171                    | 1.27      |
|      | —           | —       | —                      | —         | —           | —       | —                      | —         | —           | —       | —                      | —         | 13.2        | 1.40    | 177                    | 2.03      |
| 30°C | 18.0        | 3.80    | 163                    | 0.55      | 20.6        | 5.20    | 161                    | 0.48      | —           |         |                        |           | —           |         |                        |           |
|      | 16.3        | 3.25    | 160                    | 0.84      | 18.2        | 4.05    | 162                    | 0.59      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 15.4        | 2.95    | 164                    | 2.12      | 17.2        | 3.60    | 164                    | 0.70      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 14.2        | 2.70    | 160                    | 1.99      | 15.7        | 3.10    | 163                    | 0.90      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 13.5        | 2.65    | 159                    | 2.54      | 15.4        | 2.90    | 165                    | 0.90      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | —           | —       | —                      | —         | 13.6        | 2.45    | 168                    | 1.02      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | —           | —       | —                      | —         | —           | —       | —                      | —         |             |         |                        |           |             |         |                        |           |

第Ⅲ-4表（その2） 平 板 1 重 円 環 電 極

|      | コ シ ヒ カ リ   |         |                 |                        |           | 日 本 晴       |         |                 |                        |           | 中 生 新 千 本   |         |                 |                        |           |
|------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|
|      | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h |
| 20°C | 17.0        | —       | 0               | 183                    | —         | 19.5        | —       | 0               | 170                    | —         | 20.5        | —       | 0               | 175                    | —         |
|      | 17.2        | 2.30    | 2               | 181                    | 0.17      | 19.4        | 3.00    | 2               | 171                    | 0.22      | 20.3        | 3.65    | 2               | 174                    | 0.23      |
|      | 17.1        | 2.15    | 5               | 178                    | 0.19      | 19.5        | 3.30    | 5               | 166                    | 0.30      | 20.3        | 3.70    | 5               | 171                    | 0.30      |
|      | 17.0        | 2.45    | 10              | 174                    | 0.30      | 19.4        | 3.30    | 10              | 165                    | 0.35      | 20.4        | 3.80    | 10              | 168                    | 0.40      |
|      | 17.0        | 2.45    | 20              | 169                    | 0.57      | 19.3        | 3.30    | 20              | 164                    | 0.42      | 20.2        | 3.90    | 20              | 163                    | 0.65      |
|      | 16.9        | 2.65    | 40              | 162                    | 1.46      | 19.2        | 3.40    | 40              | 164                    | 0.40      | 20.1        | 4.05    | 40              | 161                    | 0.57      |
| 20°C | 11.3        | —       | 0               | 186                    | —         | —           |         |                 |                        |           | —           |         |                 |                        |           |
|      | 11.4        | 0.80    | 2               | 182                    | 0.78      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.2        | 0.90    | 5               | 179                    | 0.77      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.3        | 1.00    | 10              | 174                    | 1.72      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.4        | 1.10    | 15              | 170                    | 2.69      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
| 20°C | 11.4        | —       | 0               | 185                    | —         | —           |         |                 |                        |           | —           |         |                 |                        |           |
|      | 11.5        | 0.90    | 2               | 181                    | 0.22      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.3        | 0.90    | 5               | 183                    | 0.32      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.2        | 1.05    | 10              | 177                    | 0.47      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.3        | 1.20    | 20              | 176                    | 0.58      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.3        | 1.40    | 40              | 167                    | 0.89      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.3        | 1.60    | 60              | 167                    | 0.87      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |

第Ⅲ-5表(その1) 円筒電極

|      | 日本晴         |         |                        |           | 中生新千本       |         |                        |           | トヨニシキ       |         |                        |           | コシヒカリ       |         |                        |           |
|------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|
|      | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h |
| 10°C | 20.8        | 5.65    | 162                    | 0.52      | 23.0        | 7.60    | 163                    | 0.27      | —————       |         |                        |           | —————       |         |                        |           |
|      | 18.2        | 4.80    | 161                    | 0.67      | 19.4        | 5.85    | 163                    | 0.43      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 16.8        | 4.35    | 160                    | 0.74      | 17.8        | 5.25    | 162                    | 0.58      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 15.0        | 4.15    | 161                    | 0.91      | 16.4        | 4.70    | 165                    | 0.62      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 14.3        | 4.00    | 162                    | 0.88      | 13.4        | 3.45    | 170                    | 0.57      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
| 20°C | 23.4        | 6.65    | 161                    | 0.42      | 24.6        | 8.50    | 161                    | 0.46      | 22.1        | 6.35    | 163                    | 0.44      | 22.0        | 4.95    | 170                    | 0.80      |
|      | 19.5        | 5.00    | 162                    | 0.57      | 22.0        | 6.80    | 163                    | 0.65      | 18.1        | 4.45    | 165                    | 0.77      | 21.6        | 4.50    | 174                    | 0.77      |
|      | 17.7        | 4.25    | 165                    | 0.62      | 21.1        | 6.40    | 163                    | 0.74      | 16.4        | 3.80    | 166                    | 0.93      | 21.0        | 4.05    | 178                    | 0.80      |
|      | 16.8        | 3.95    | 164                    | 0.74      | 17.1        | 4.75    | 165                    | 1.22      | 15.7        | 3.55    | 168                    | 0.94      | 18.6        | 3.50    | 175                    | 1.20      |
|      | 15.2        | 3.55    | 166                    | 0.75      | 15.8        | 4.10    | 169                    | 1.14      | 14.8        | 3.40    | 167                    | 1.13      | 17.0        | 3.15    | 175                    | 1.01      |
|      | 14.3        | 3.10    | 169                    | 0.69      | 14.7        | 3.35    | 172                    | 1.09      | 12.3        | 3.15    | 166                    | 1.30      | 16.7        | 3.25    | 173                    | 1.06      |
|      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |             |         |                        |           | 13.0        | 2.15    | 180                    | 1.00      |
| 30°C | 19.0        | 5.15    | 161                    | 0.50      | 20.7        | 6.85    | 164                    | 0.33      | —————       |         |                        |           | —————       |         |                        |           |
|      | 17.1        | 4.80    | 160                    | 0.61      | 18.3        | 5.75    | 162                    | 0.40      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 16.0        | 4.45    | 160                    | 0.69      | 17.1        | 5.15    | 161                    | 0.45      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 14.7        | 4.25    | 159                    | 0.83      | 15.4        | 4.25    | 165                    | 0.47      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 14.1        | 4.15    | 159                    | 0.93      | 13.6        | 3.65    | 167                    | 0.51      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
| 40°C | —————       |         |                        |           | 17.9        | 5.55    | 162                    | 0.48      | —————       |         |                        |           | —————       |         |                        |           |
|      |             |         |                        |           | 16.3        | 4.95    | 162                    | 0.56      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      |             |         |                        |           | 15.1        | 4.50    | 162                    | 0.76      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      |             |         |                        |           | 14.1        | 4.00    | 165                    | 0.75      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      |             |         |                        |           | 12.7        | 3.45    | 167                    | 0.67      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |

第Ⅲ-5表(その2) 円筒電極

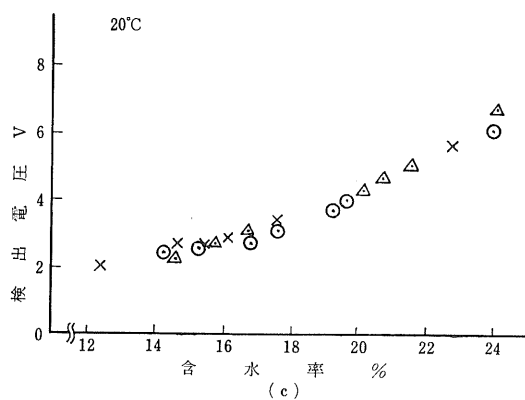
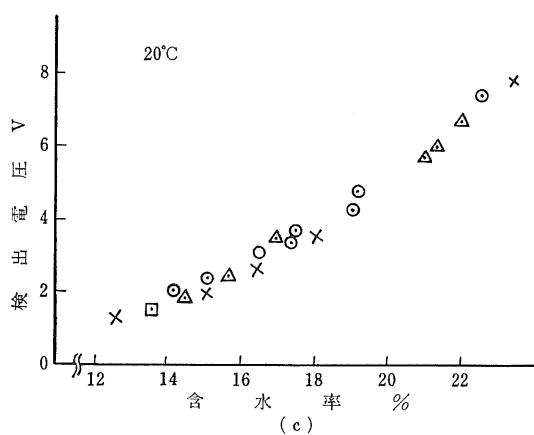
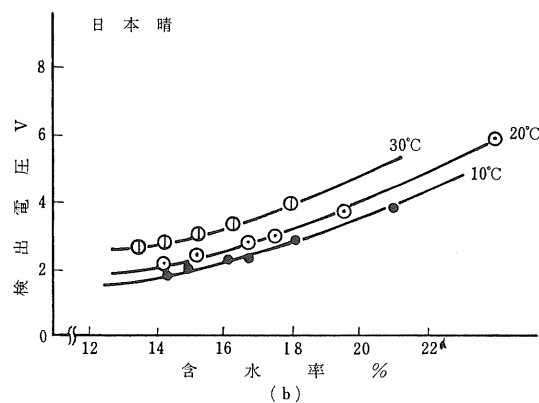
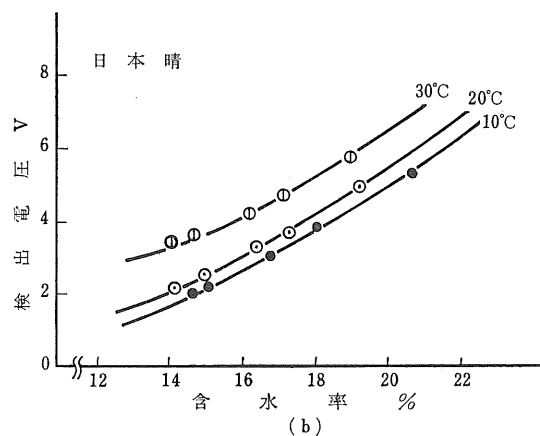
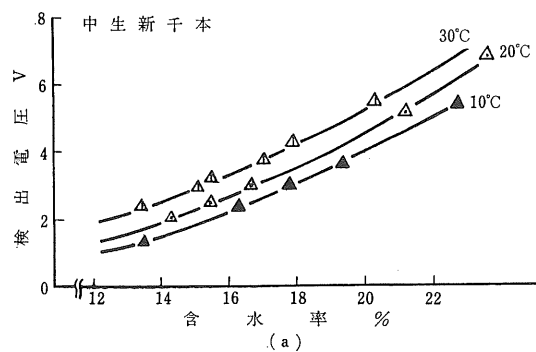
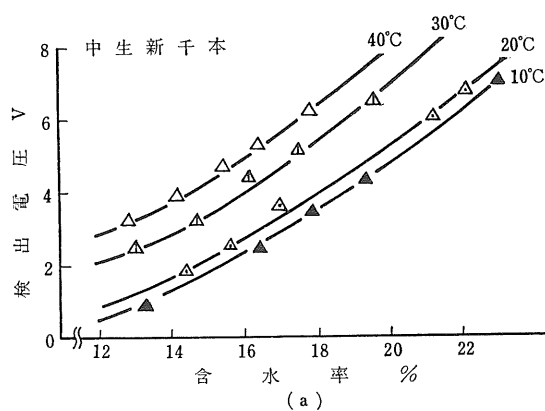
|      | コシヒカリ       |         |                 |                        |           | 日本晴         |         |                 |                        |           | 中生新千本       |         |                 |                        |           |
|------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|
|      | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h |
| 20°C | 17.6        | —       | 0               | 180                    | —         | 19.6        | —       | 0               | 171                    | —         | 21.1        | —       | 0               | 175                    | —         |
|      | 17.2        | 3.50    | 2               | 176                    | 0.55      | 19.5        | 4.55    | 2               | 170                    | 0.25      | 21.3        | 5.50    | 2               | 174                    | 0.19      |
|      | 17.2        | 3.85    | 5               | 170                    | 0.70      | 19.6        | 4.75    | 5               | 166                    | 0.29      | 21.2        | 5.65    | 5               | 173                    | 0.22      |
|      | 17.3        | 4.30    | 10              | 168                    | 0.92      | 19.6        | 4.85    | 10              | 165                    | 0.36      | 21.2        | 5.90    | 10              | 170                    | 0.32      |
|      | 17.2        | 4.65    | 20              | 163                    | 1.04      | 19.5        | 4.95    | 20              | 164                    | 0.42      | 21.3        | 6.10    | 20              | 165                    | 0.48      |
|      | 17.1        | 4.80    | 30              | 162                    | 1.06      | 19.4        | 5.00    | 30              | 161                    | 0.39      | 21.0        | 6.05    | 30              | 161                    | 0.54      |
| 20°C | 13.7        | —       | 0               | 179                    | —         | —————       |         |                 |                        |           | —————       |         |                 |                        |           |
|      | 13.7        | 2.55    | 2               | 176                    | 0.99      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 13.7        | 2.75    | 5               | 175                    | 1.30      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 13.6        | 3.05    | 10              | 170                    | 1.47      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 13.6        | 3.40    | 20              | 165                    | 1.59      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
| 20°C | 13.7        | 3.75    | 30              | 162                    | 1.41      | —————       |         |                 |                        |           | —————       |         |                 |                        |           |
|      | 10.8        | —       | 0               | 182                    | —         |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 10.8        | 2.05    | 2               | 178                    | 0.72      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 10.9        | 2.20    | 5               | 175                    | 0.92      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 10.9        | 2.40    | 10              | 171                    | 1.10      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 10.9        | 2.70    | 20              | 168                    | 1.40      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 11.0        | 2.95    | 30              | 165                    | 1.30      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |

第Ⅲ-6表(その1) 円筒円環電極

|      | 日本晴         |         |                        |           | 中生新千本       |         |                        |           | トヨニシキ       |         |                        |           | コシヒカリ       |         |                        |           |
|------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|-------------|---------|------------------------|-----------|
|      | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h |
| 10°C | 20.8        | 6.90    | 162                    | 0.51      | 23.3        | 6.80    | 163                    | 0.41      | —           |         |                        |           | —           |         |                        |           |
|      | 18.3        | 5.10    | 159                    | 0.76      | 19.6        | 5.50    | 162                    | 0.57      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 16.9        | 4.20    | 162                    | 0.98      | 18.2        | 4.15    | 163                    | 0.71      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 15.2        | 3.15    | 162                    | 1.59      | 16.5        | 2.65    | 165                    | 0.88      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 14.5        | 2.90    | 162                    | 1.94      | 13.4        | 1.45    | 170                    | 0.96      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
| 20°C | 22.3        | 8.85    | 161                    | 0.49      | 20.3        | 7.60    | 161                    | 0.46      | 23.7        | 9.00    | 168                    | 0.09      | 21.6        | 5.60    | 172                    | 0.58      |
|      | 19.1        | 5.80    | 162                    | 0.65      | 18.3        | 5.70    | 163                    | 0.68      | 17.9        | 4.50    | 165                    | 0.42      | 21.1        | 4.40    | 175                    | 0.52      |
|      | 17.3        | 4.25    | 163                    | 0.90      | 16.8        | 4.25    | 165                    | 0.92      | 16.2        | 3.05    | 166                    | 0.48      | 20.6        | 3.40    | 179                    | 0.51      |
|      | 16.4        | 3.75    | 163                    | 1.11      | 16.6        | 3.90    | 165                    | 0.93      | 15.9        | 2.00    | 169                    | 0.37      | 18.3        | 2.25    | 177                    | 0.98      |
|      | 15.1        | 2.95    | 164                    | 1.54      | 13.5        | 1.40    | 170                    | 0.75      | 15.1        | 1.70    | 168                    | 0.47      | 16.7        | 2.05    | 176                    | 2.63      |
|      | 14.3        | 2.35    | 165                    | 1.50      | —           | —       | —                      | —         | 11.8        | 0.90    | 169                    | 0.78      | 16.4        | 2.15    | 173                    | 3.38      |
|      | —           | —       | —                      | —         | —           | —       | —                      | —         | —           | —       | —                      | —         | 12.8        | 0.10    | 181                    | 3.78      |
| 30°C | 18.1        | 4.85    | 162                    | 0.50      | 19.8        | 8.25    | 163                    | 0.39      | —           |         |                        |           | —           |         |                        |           |
|      | 16.5        | 3.85    | 161                    | 0.75      | 17.6        | 5.95    | 162                    | 0.51      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 15.5        | 3.20    | 161                    | 1.13      | 16.4        | 4.55    | 164                    | 0.59      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 14.3        | 2.60    | 161                    | 0.69      | 14.8        | 2.85    | 165                    | 0.69      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |
|      | 13.6        | 2.10    | 160                    | 0.82      | 13.1        | 1.80    | 167                    | 0.71      |             |         |                        |           |             |         |                        |           |

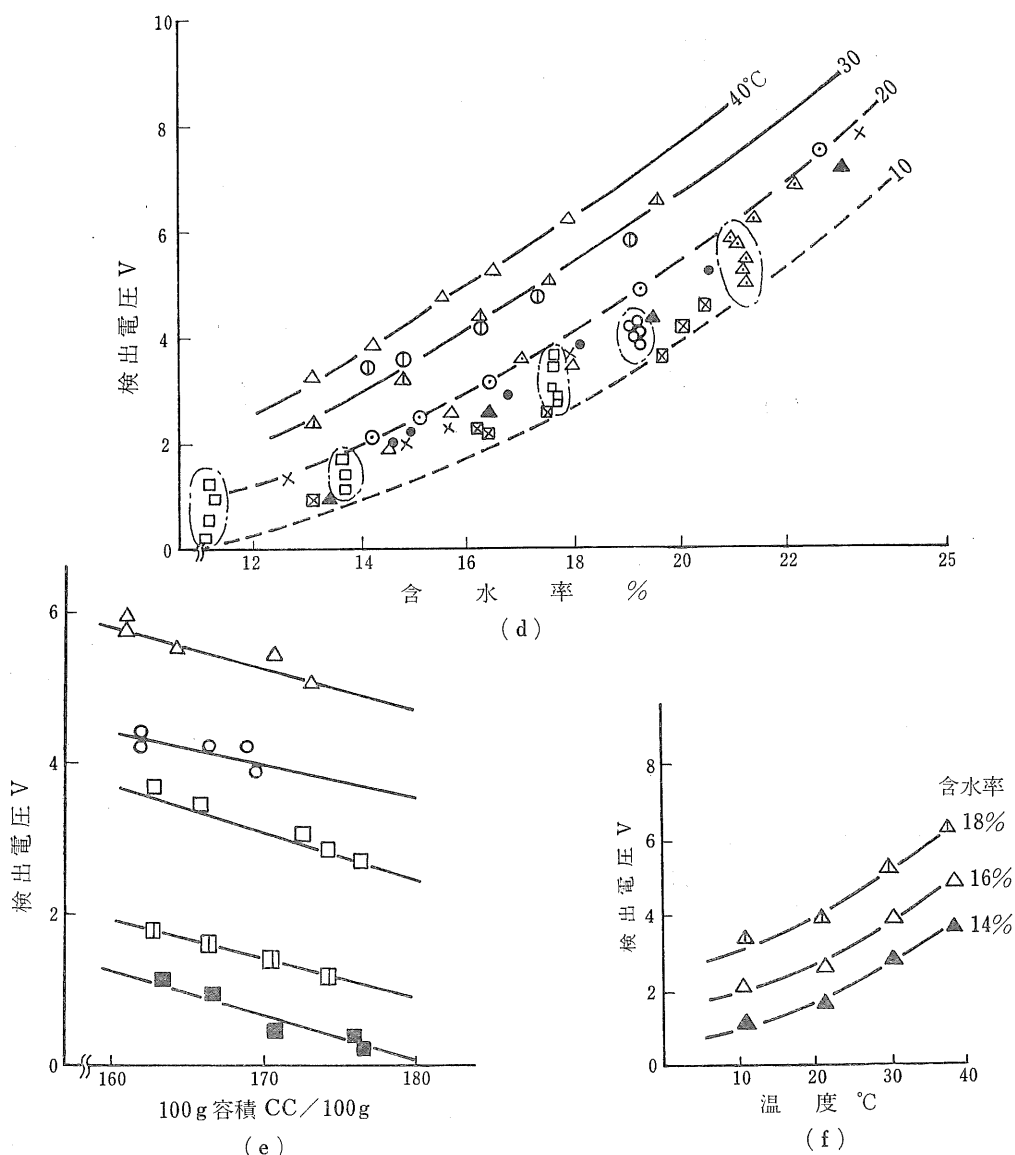
第Ⅲ-6表(その2) 円筒円環電極

|      | コシヒカリ       |         |                 |                        |           | 日本晴         |         |                 |                        |           | 中生新千本       |         |                 |                        |           |
|------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|-------------|---------|-----------------|------------------------|-----------|
|      | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h | 含水率<br>W.B% | 電圧<br>V | 循環<br>時間<br>min | 100g<br>容 積<br>cc/100g | 流量<br>t/h |
| 20°C | 18.2        | —       | 0               | 184                    | —         | 19.2        | —       | 0               | 170                    | —         | 21.1        | —       | 0               | 175                    | —         |
|      | 17.6        | 1.10    | 2               | 181                    | 0.21      | 19.0        | 3.70    | 2               | 171                    | 0.24      | 21.1        | 6.00    | 2               | 173                    | 0.23      |
|      | 17.5        | 1.10    | 5               | 180                    | 0.22      | 19.1        | 3.80    | 5               | 170                    | 0.28      | 21.4        | 6.50    | 5               | 169                    | 0.29      |
|      | 17.6        | 1.25    | 10              | 182                    | 0.22      | 19.0        | 4.05    | 10              | 167                    | 0.33      | 21.2        | 7.10    | 10              | 168                    | 0.46      |
|      | 17.5        | 2.40    | 30              | 167                    | 0.57      | 19.0        | 4.40    | 20              | 167                    | 0.43      | 21.1        | 7.85    | 20              | 161                    | 0.87      |
|      | —           | —       | —               | —                      | —         | 18.8        | 4.70    | 40              | 162                    | 0.48      | 21.0        | 7.95    | 30              | 161                    | 0.75      |
| 20°C | 13.7        | —       | 0               | 185                    | —         | —           |         |                 |                        |           | —           |         |                 |                        |           |
|      | 13.8        | —0.35   | 2               | 177                    | 0.43      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 13.8        | —0.15   | 5               | 175                    | 0.66      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 13.7        | 0.25    | 10              | 171                    | 0.76      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 13.8        | 1.35    | 20              | 162                    | 1.39      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |
|      | 13.9        | 2.15    | 30              | 161                    | 2.07      |             |         |                 |                        |           |             |         |                 |                        |           |



第Ⅲ-8図(その1) 平板2重円環電極の試験結果

第Ⅲ-9図(その1) 平板1重円環電極の試験結果

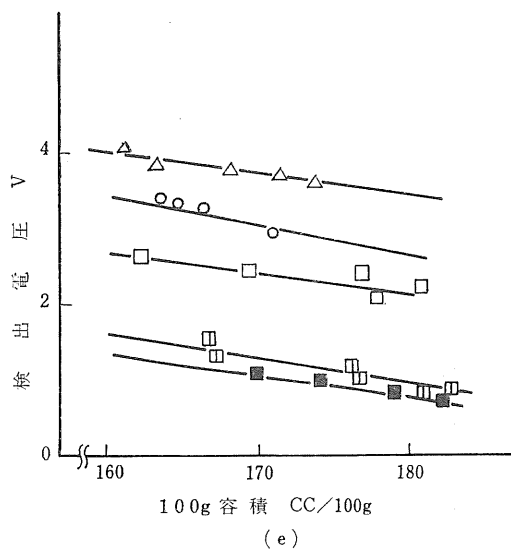
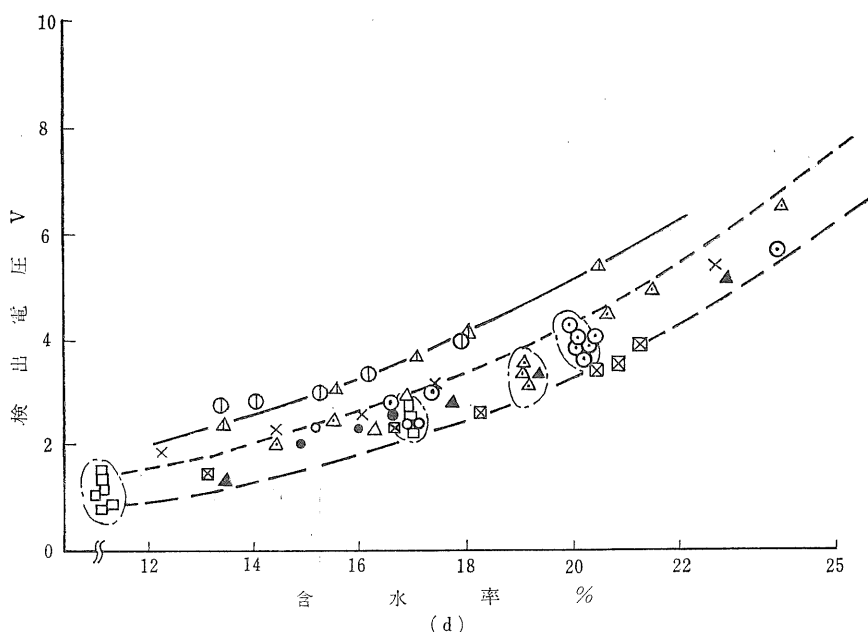


第Ⅲ-8図～第Ⅲ-11図の(a)～(d)までの図記号  
穀 温

|       | 10°C | 20°C | 30°C | 40°C |
|-------|------|------|------|------|
| 日 本 晴 | ●    | ○    | ⊕    |      |
| 中生新千本 | ▲    | △    | △    | △    |
| コシヒカリ |      | □    |      |      |
| トヨニシキ |      | ×    |      |      |

|                        |       |       |   |
|------------------------|-------|-------|---|
| 第Ⅲ-8図～第Ⅲ-11図<br>(e)の記号 | コシヒカリ | 11.2% | ■ |
|                        | "     | 13.8% | ▣ |
|                        | "     | 17.5% | □ |
|                        | 日 本 晴 | 19.2% | ○ |
|                        | 中生新千本 | 21.2% | △ |

第Ⅲ-8図(その2) 平板2重円環電極の試験結果



第Ⅲ-9図(その2) 平板1重円環電極の試験結果

品種などのバラツキの程度を示し、(d)は同一電極における全測定点をプロットしたものである。(e)は 100g 容積と検出電圧の関係を、(f)は温度と検出電圧の関係を示す。(d)において図印で表わした点は自脱コンバイン収穫のコシヒカリであるが、粳の性状が他の材料とかなり異なっており、同一流量、循環時間でも 100g 容積がなかなか

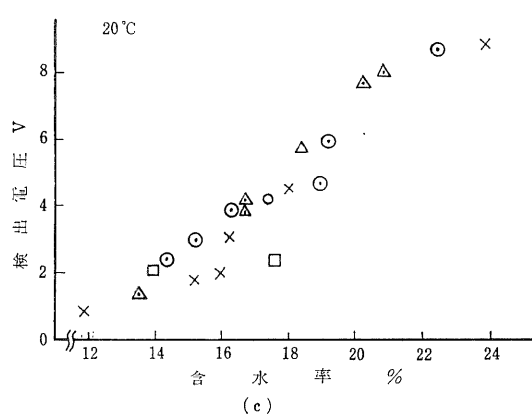
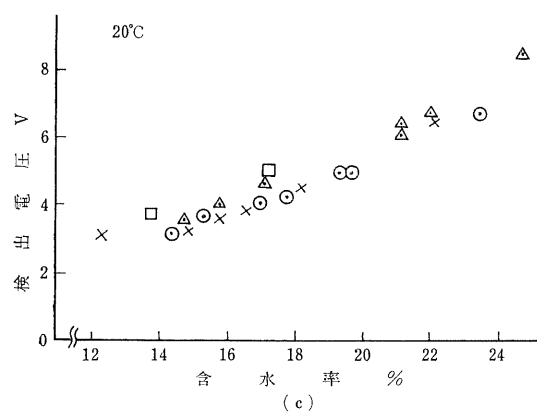
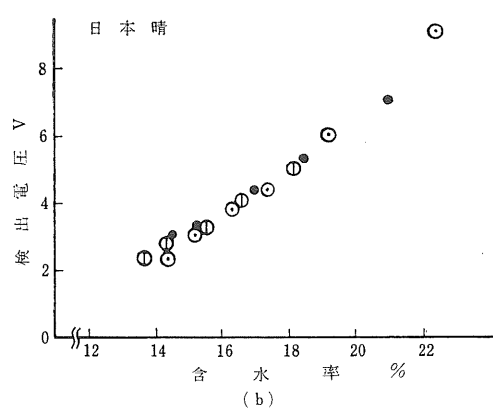
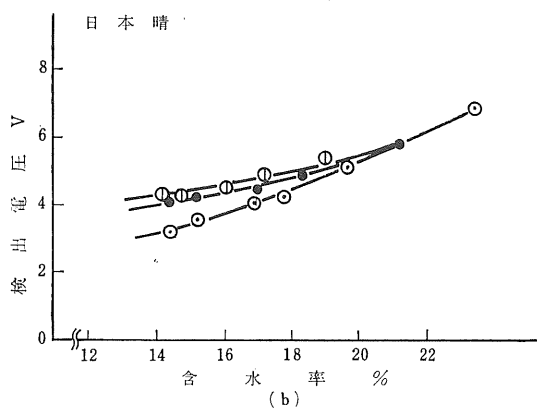
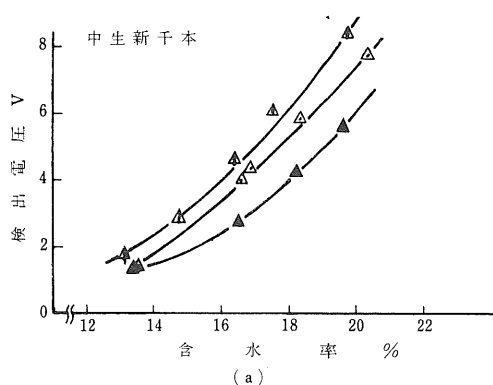
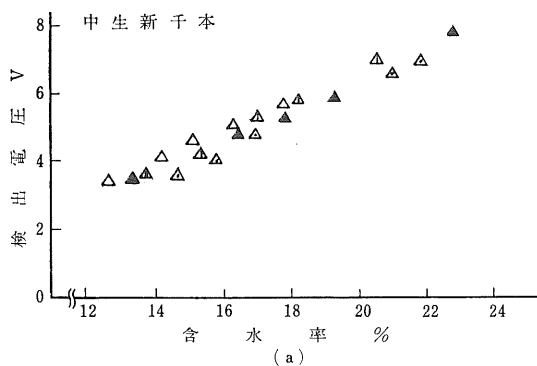
少なくならず、品質も少々悪化していた。また1点鎖線で囲んだグループは同一含水率の粳で、見掛け密度の変化による検出電圧の変化を見たものである。なお、振動板と上部の円筒との間隔(第Ⅲ-4図(e)の $\delta$ )を一定にしたときの 100g 容積と流量の関係を第Ⅲ-12図に示す。

図、表中に示した温度は実験時の恒温恒湿室の室温を示すが、これと穀温の差は $10^{\circ}\text{C}$ において $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ で $0 \sim +1.5^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ で $0 \sim -3^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$ で $-1 \sim -4^{\circ}\text{C}$ であった。また、各設定温度に対応した関係湿度の平均値はそれぞれ70%、60%、47%、36%であった。恒温恒湿室の設定値に対する精度は温度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、関係湿度は $\pm 2\%$ であった。また同一温度において関係湿度 $\pm 20\%$ の変化があっても、検出電圧のふれはほとんど見受けられなかった。

#### 1) 平板2重円環電極

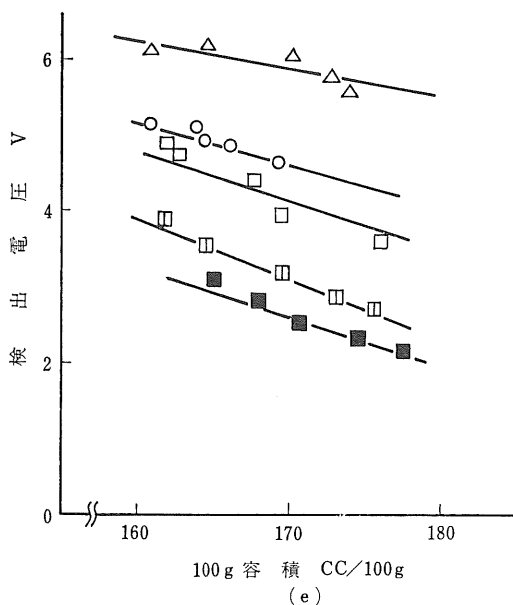
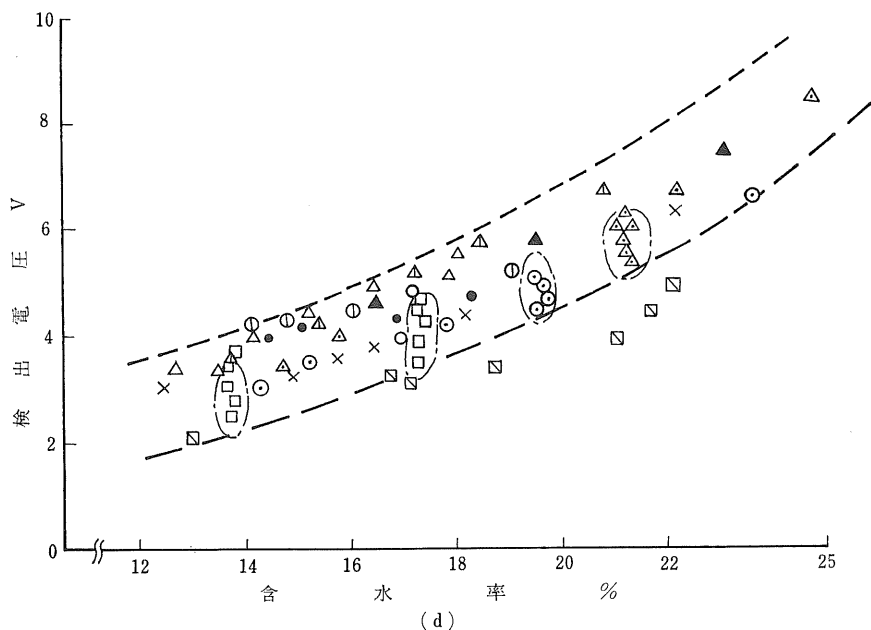
試験結果は第Ⅲ-3表および第Ⅲ-8図のとおりである。

この電極においては粳品種の相異による検出電圧の相異はほとんど認められず、また、含水率と検出電圧の関係は穀温に対してほぼ平行的であり、 $10^{\circ}\text{C}$ と $20^{\circ}\text{C}$ との巾は日本晴と中生新千本のいずれも同一検出電圧に対し、含水率にすれば0.5%前後であって少ないが、 $20^{\circ}\text{C}$ と $30^{\circ}\text{C}$ では約2%ぐらいの差が生じている。 $30^{\circ}\text{C}$ と $40^{\circ}\text{C}$ では中生新千本のみであるが約1.5%程度である。しかし実験温度 $40^{\circ}\text{C}$ の場合、実際の穀温はこれより $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 低い事実を考慮する必要がある。この電極の検知



第Ⅲ-10図(その1) 円筒電極の試験結果

第Ⅲ-11図(その1) 円筒円環電極の試験結果



第Ⅲ-10図(その2) 円筒円環電極の試験結果

可能上限含水率は20℃で、およそ25%であった。

温度が一定の場合、検出電圧より含水率を推定すれば、第Ⅲ-8-d図において、通常では±0.7%程度の範囲で推定が可能と思われる。

第Ⅲ-8-e図において見掛け密度の相異による検出電

圧の相異は各粳品種、含水率とも最大約1V程度であり、含水率に換算すればおよそ1.5%に当り、100g容積と検出電圧の関係は直線的である。また、温度と検出電圧の関係を含水率ごとに示したものが(f)である。

## 2) 平板1重円環電極

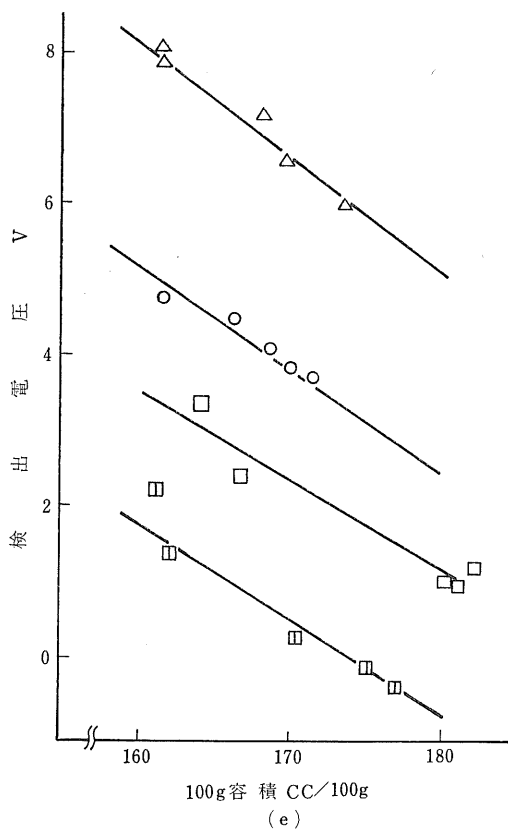
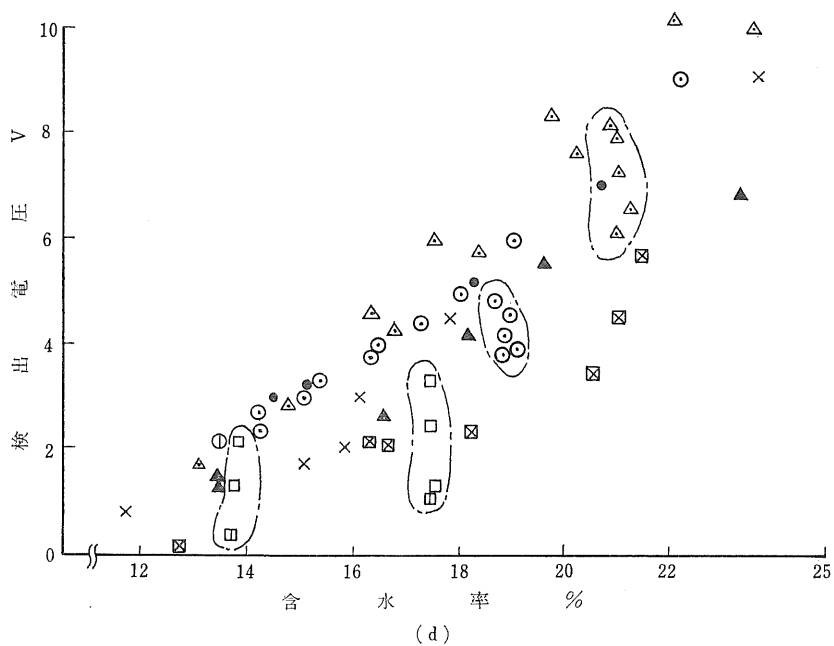
試験結果は第Ⅲ-4表および第Ⅲ-9図のとおりである。

この電極においては日本晴が他の粳品種とはやや異った傾向を示しているが、他の影響ほどは大きくない。含水率と検出電圧の関係の温度による影響は1)と同様平行的に生じており、2品種とも10℃と20℃で含水率の巾にして約1%、20℃と30℃では約2%となっている。見掛け密度の相異による検出電圧の相異は試作した4種の電極中で最小で、変動巾は検出電圧で約0.5Vで含水率にすればおよそ1.3%となり、100g容積との関係も直線的である。しかし、単位電圧当りの含水率の巾は平板2重円環電極と同程度である。この電極での実験における含水率検知の上限は30%まで可能であった。

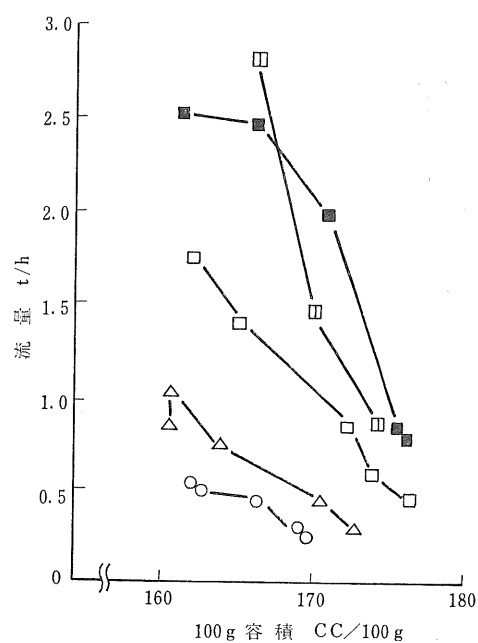
## 3) 円筒電極

試験結果は第Ⅲ-5表および第Ⅲ-10図のとおりである。

この電極においては中生新千本と他の粳品種では少々傾向が異っており、含水率と検出電圧の関係の温度による影響はあまり平行的でないが、その差は他の電極と比べて全体的に小さく、10℃～40℃の範囲で同一検出電圧のとき、含水率の巾で約1.5%である。また10℃と20℃の中生新千本と日本晴を比べると、差は小さいが



第Ⅲ-11図(その2) 円筒円環電極の試験結果



- 品種 コシヒカリ, 含水率17.5%,  $\delta$  (開度45mm)
- コシヒカリ, " 13.7%, 45mm
- コシヒカリ, " 11.2%, 40mm
- △ 中生新千本, " 21.1%, 42mm
- 日本晴, " 19.2%, 42mm

第Ⅲ-12図 循環流量と100g容積等の関係

他の電極とは逆の傾向を示している。見掛け密度の影響は上記2品種では0.6V程度、含水率にして約1.5%であり、普通型コンバイン収穫のコシヒカリでは1.5V程度で約3.5%となっている。100g容積と検出電圧の関係の直線性はあまり良くない。

#### 4) 円筒円環電極

試験結果は第Ⅲ-6表および第Ⅲ-11図のとおりである。

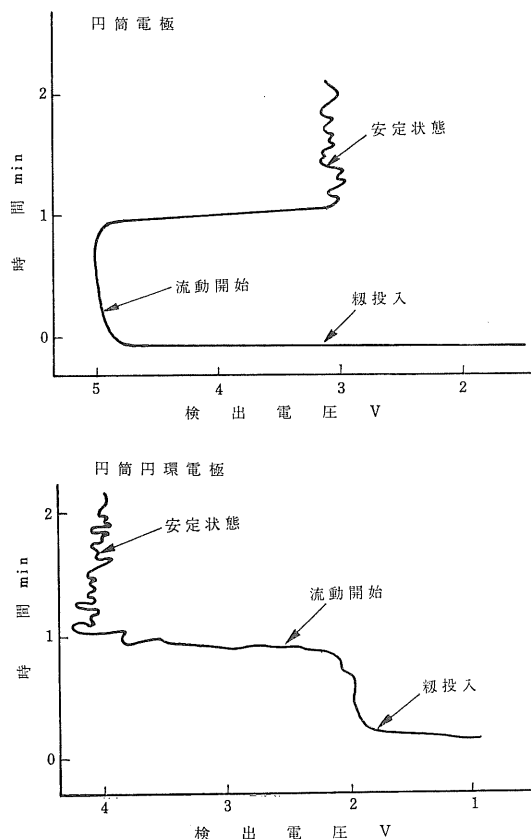
この電極においては粳品種による影響がかなりあるが、温度や見掛け密度の相異による影響も相当大きい。日本晴では10°C~30°Cの範囲でほとんど差がないが、中生新千本では大きく出ている。見掛け密度の相異による検出電圧の相異は試作した4種の電極の中で最大であるが、100g容積と検出電圧の関係は直線的である。

#### 4. 各種電極の比較

粳品種、見掛け密度(100g容積)による影響は円筒型電極より平板型電極の方が少なく、温度の相異による影響も平板型電極は粳品種に関係なく平行的に現われており、補正が行い易いと思われる。また100g容積と検出電圧の関係はいずれも直線的であった。平板型電極のなかでも1重円環電極は見掛け密度の変化による影響が少ないが、単位検出電圧当りの含水率の巾は2重円環電極と同程度である。また、平板型電極において振動板中に組込んだ含水率検知回路はパイプレータのすぐ上部に組込んだので、60°C程度まで温度が上昇したが安定しており、かつ全体の耐久性も良く実用上さしかえないものと思われた。また粳の流れを止めて振動だけを加えて見たが、それによる検出電圧のふれはほとんどなく、さらにパイプレータの電圧を10V~100Vの範囲で変化させても検出電圧に変化はなかった。

円筒円環電極の含水率検出精度は試作した4種の電極の中で一番悪かったが、見掛け密度の変化を大きくとらえているので、見掛け密度の修正用として使用できる可能性が残されている。

円筒型電極において粳を投入したのち、流動させると流動開始直後に急速に検出電圧が試作円筒電極においては下降、試作円筒円環電極においては上昇してある一定の値で一定の巾をもって安定する現象が見られたが、これは流動を開始すると粳が管壁に沿って縦に並び、電気力線は誘電率の高い方へ集中し易い性質があるため、見



第Ⅲ-13図 円筒型電極における流動開始直後の挙動

掛け上電気容量が変化するためと考えられる。このことは電気力線の向きが約90°異なると考えられる2つの円筒型電極において、その挙動が反対になっている事からもうなづける(第Ⅲ-13図)。また粳が管壁に沿って並ぶ事実は塩ビパイプに粳を入れ、そのままパラフィン流れ込んだものと、流動させてから同様に、2つをパラフィンが固ってから取り出したものの横断面と縦断面からも確認した。これらの事実より、乾燥機などの内部にセンサーを組込んで含水率を検出しようとするときには、センサーの取付位置により精度が左右される事があるので注意を要すると思われる。

# 試作電極の共同乾燥調製貯蔵施設の 荷受け用としての適用性の検討

第IV-1表 CE における試験結果

| 試料<br>No. | 含水率  | 電 圧 (V) |         | 100g 容 積 | 穀 温  | 収 穫 方 式 |
|-----------|------|---------|---------|----------|------|---------|
|           |      | MDP-712 | MDC-731 |          |      |         |
|           | %    | v       | v       | CC/100g  | °C   |         |
| 1         | 15.6 | 2.2     | 3.0     | 173      | 25.9 | 半 乾     |
| 2         | 25.3 | 9.5     | 8.0     | 173      | 24.2 | 普 コ ン   |
| 3         | 15.8 | 2.5     | 3.2     | 180      | 24.5 | 半 乾     |
| 4         | 17.1 | 2.9     | 3.8     | 169      | 21.5 | 〃       |
| 5         | 16.5 | 2.4     | 3.6     | 179      | 23.0 | 〃       |
| 6         | 16.8 | 2.9     | 4.0     | 170      | 23.5 | 〃       |
| 7         | 18.7 | 3.6     | 4.3     | 173      | 24.2 | 〃       |
| 8         | 23.8 | 7.5     | 7.5     | 172      | 24.0 | 普 コ ン   |
| 9         | 20.3 | 5.7     | 5.5     | 182      | 24.2 | 〃       |
| 10        | 17.4 | 3.9     | 4.9     | 164      | 24.5 | 半 乾     |
| 11        | 22.8 | 5.5     | 5.9     | 181      | 20.0 | 自 コ ン   |
| 12        | 18.7 | 2.4     | 3.1     | 189      | 20.3 | 半 乾     |
| 13        | 16.6 | 2.4     | 3.4     | 176      | 20.8 | 〃       |
| 14        | 16.3 | 2.3     | 3.5     | 170      | 20.4 | 〃       |
| 15        | 16.5 | 2.1     | 3.1     | 177      | 19.5 | 〃       |
| 16        | 15.3 | 1.8     | 3.0     | 177      | 19.0 | 〃       |
| 17        | 24.9 | 8.3     | 8.1     | 171      | 18.8 | 自 コ ン   |
| 18        | 17.5 | 2.6     | 3.1     | 175      | 20.5 | 半 乾     |
| 19        | 21.1 | 8.2     | 5.7     | 184      | 20.5 | 普 コ ン   |
| 20        | 22.1 | 5.7     | 6.0     | 166      | 20.2 | 〃       |
| 21        | 20.0 | 4.4     | 5.1     | 167      | 20.8 | 〃       |
| 22        | 24.2 | 8.9     | 8.3     | 167      | 19.0 | 〃       |
| 23        | 17.3 | 2.7     | 3.5     | 176      | 16.5 | 半 乾     |
| 24        | 18.9 | 3.4     | 4.8     | 171      | 16.1 | 〃       |
| 25        | 17.0 | 2.2     | 2.9     | 175      | 16.0 | 〃       |
| 26        | 18.1 | 3.4     | 4.3     | 163      | 16.3 | 〃       |
| 27        | 17.6 | 2.3     | 3.8     | 169      | 16.5 | 〃       |
| 28        | 23.3 | 6.7     | 7.0     | 173      | 20.0 | 普 コ ン   |
| 29        | 21.2 | 6.5     | 6.2     | 169      | 20.5 | 〃       |
| 30        | 22.1 | 6.8     | 6.5     | 164      | 19.8 | 〃       |
| 31        | 22.8 | 7.1     | 7.2     | 169      | 20.4 | 自 コ ン   |
| 32        | 17.9 | 3.1     | 4.1     | 166      | 19.9 | 半 乾     |
| 33        | 17.9 | 3.6     | 4.8     | 163      | 20.1 | 〃       |
| 34        | 18.0 | 3.1     | 3.9     | 168      | 20.6 | 〃       |
| 35        | 21.6 | 6.8     | 7.0     | 161      | 22.3 | 普 コ ン   |
| 36        | 20.0 | 5.5     | 4.9     | 179      | 21.7 | 〃       |
| 37        | 22.3 | 6.7     | 6.7     | 164      | 20.7 | 自 コ ン   |

第IV-2表 供試材料の分析重量歩合(含有率)

| 試料<br>No. | 精 粳  | 枝 梗<br>付着粒 | 穂切粒 | しいな | 空 粳<br>穀 | 脱稈粒 | 碎 粒 | わら屑 | 異 物 | 合計—<br>精 粳 | 合計—<br>(精粳+<br>枝梗付<br>着粒) | 枝梗付<br>着粒+<br>穂切粒 |
|-----------|------|------------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|------------|---------------------------|-------------------|
|           | %    | %          | %   | %   | %        | %   | %   | %   | %   | %          | %                         | %                 |
| 1         | 91.7 | 2.8        | 0.4 | 0.3 | 0.0      | 4.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.3        | 5.5                       | 3.2               |
| 2         | 79.5 | 13.9       | 3.7 | 0.0 | 0.0      | 1.6 | 0.1 | 1.0 | 0.1 | 20.5       | 6.6                       | 17.6              |
| 3         | 96.5 | 2.7        | 0.4 | 0.2 | 0.0      | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 3.5        | 0.8                       | 3.1               |
| 4         | 96.3 | 2.2        | 1.1 | 0.1 | 0.0      | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 3.7        | 1.5                       | 3.3               |
| 5         | 96.2 | 2.8        | 0.1 | 0.1 | 0.1      | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.8        | 1.0                       | 2.9               |
| 6         | 98.3 | 0.7        | 0.0 | 0.1 | 0.0      | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 1.7        | 1.0                       | 0.7               |
| 7         | 96.3 | 2.5        | 0.2 | 0.0 | 0.0      | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 3.7        | 1.2                       | 2.7               |
| 8         | 92.6 | 11.9       | 2.9 | 0.1 | 0.0      | 2.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 17.4       | 5.4                       | 14.8              |
| 9         | 90.8 | 2.6        | 0.6 | 0.4 | 0.1      | 4.2 | 0.7 | 0.3 | 0.4 | 9.2        | 6.5                       | 3.2               |
| 10        | 92.8 | 4.3        | 0.4 | 0.1 | 0.1      | 2.2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 7.2        | 2.8                       | 4.7               |
| 11        | 85.9 | 10.7       | 2.4 | 0.1 | 0.0      | 0.5 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 14.0       | 3.3                       | 13.1              |
| 12        | 96.6 | 2.8        | 0.2 | 0.2 | 0.0      | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 3.4        | 0.7                       | 0.3               |
| 13        | 95.6 | 2.7        | 0.0 | 0.1 | 0.0      | 1.5 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 4.4        | 1.7                       | 2.7               |
| 14        | 96.0 | 3.0        | 0.4 | 0.0 | 0.1      | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0        | 1.0                       | 3.4               |
| 15        | —    | —          | —   | —   | —        | —   | —   | —   | —   | —          | —                         | —                 |
| 16        | —    | —          | —   | —   | —        | —   | —   | —   | —   | —          | —                         | —                 |
| 17        | 83.4 | 13.4       | 1.0 | 0.1 | 0.1      | 1.6 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 16.7       | 3.3                       | 14.4              |
| 18        | 91.9 | 2.1        | 0.2 | 0.3 | 0.1      | 5.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.1        | 5.9                       | 2.3               |
| 19        | 90.5 | 3.6        | 1.3 | 0.5 | 0.2      | 2.7 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 9.5        | 5.8                       | 4.9               |
| 20        | 89.4 | 3.5        | 1.5 | 0.3 | 0.2      | 3.7 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 10.6       | 7.0                       | 5.0               |
| 21        | 92.5 | 2.8        | 0.3 | 0.0 | 0.1      | 3.8 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 7.5        | 4.7                       | 3.1               |
| 22        | 84.4 | 9.3        | 2.3 | 0.0 | 0.1      | 3.1 | 0.3 | 0.4 | 0.1 | 15.6       | 6.2                       | 11.6              |
| 23        | 90.5 | 6.4        | 0.5 | 0.1 | 0.2      | 1.9 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 9.5        | 3.1                       | 6.9               |
| 24        | 94.3 | 4.2        | 0.3 | 0.0 | 0.0      | 1.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 5.7        | 1.6                       | 4.5               |
| 25        | 90.4 | 6.4        | 2.2 | 0.2 | 0.0      | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 9.6        | 3.1                       | 8.7               |
| 26        | 94.2 | 0.4        | 0.0 | 0.1 | 0.1      | 5.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 5.8        | 5.4                       | 0.4               |
| 27        | 95.8 | 2.0        | 0.1 | 0.2 | 0.2      | 1.3 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 4.2        | 2.2                       | 2.1               |
| 28        | 86.4 | 7.5        | 1.7 | 0.1 | 0.1      | 3.7 | 0.1 | 0.4 | 0.0 | 13.6       | 6.1                       | 9.2               |
| 29        | 89.3 | 5.1        | 1.0 | 0.1 | 0.1      | 0.3 | 3.0 | 0.7 | 0.5 | 10.7       | 5.6                       | 6.1               |
| 30        | 81.7 | 10.4       | 3.8 | 0.1 | 0.1      | 3.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 18.3       | 7.9                       | 14.2              |
| 31        | 92.3 | 3.9        | 0.8 | 0.2 | 0.0      | 2.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 7.7        | 3.7                       | 4.7               |
| 32        | 98.0 | 0.9        | 0.0 | 0.2 | 0.1      | 0.7 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 2.0        | 1.1                       | 0.9               |
| 33        | 97.7 | 0.9        | 0.2 | 0.1 | 0.0      | 0.9 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 2.3        | 1.4                       | 1.1               |
| 34        | 94.3 | 3.8        | 0.3 | 0.2 | 0.1      | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.7        | 1.9                       | 4.1               |
| 35        | —    | —          | —   | —   | —        | —   | —   | —   | —   | —          | —                         | —                 |
| 36        | 93.0 | 2.6        | 0.4 | 0.2 | 0.1      | 2.6 | 0.4 | 0.1 | 0.5 | 7.0        | 4.4                       | 3.0               |
| 37        | 89.6 | 8.4        | 0.7 | 0.1 | 0.1      | 1.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 10.4       | 2.0                       | 9.1               |

第IV-3表 回 帰 分 析 結 果

市販されている含水率計による測定結果

Y: 標準法による含水率% (105°C-5h 法)

X: 含水率計による測定値%

Sr: 回帰直線からの標準偏差

電気抵抗式 A型  $Y=1.27 X-4.16$   $Sr=0.58$

〃 B型  $Y=1.42 X-7.15$   $Sr=1.04$

電気容量式 C型  $Y=0.95 X+2.06$   $Sr=0.63$

〃 D型  $Y=0.99 X+0.53$   $Sr=0.57$

試作電極による試験結果

M: 標準法による含水率% (135°C-24h 法)

V: 測定電圧 V

平板2重円環電極 (MDP-712)

実 測 値  $M_1=1.20V+14.00$   $Sr=0.94$

穀温のみ 20°C に修正  $M_2=1.22V+14.01$   $Sr=0.88$

100g 容積のみ 170cc/100g に修正  $M_3=1.21V+13.95$   $Sr=0.94$

穀温 20°C, 100g 容積 170cc/100g に修正  $M_4=1.23V+13.95$   $Sr=0.88$

円筒円環電極 (MDC-731)

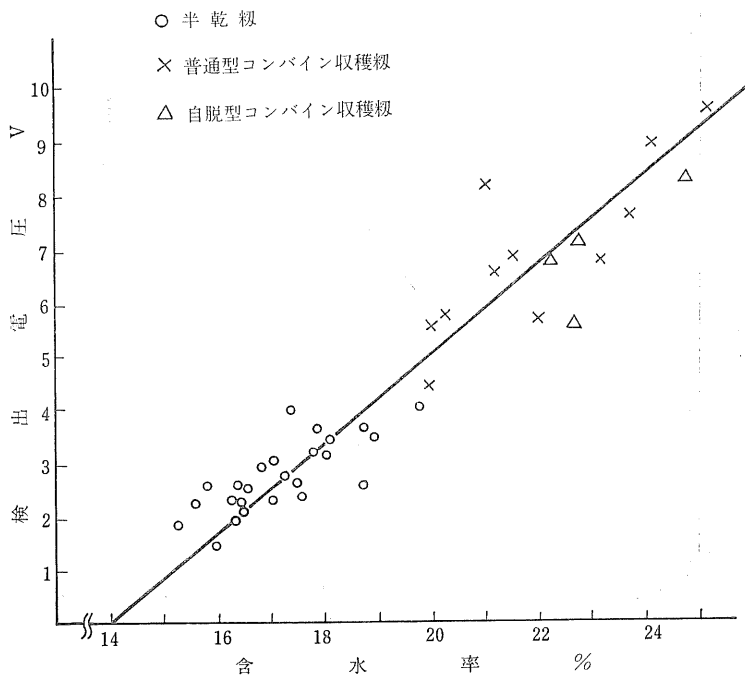
実 測 値  $M_1=1.66V+11.19$   $Sr=0.86$

穀温のみ 20°C に修正  $M_2=1.67V+11.22$   $Sr=0.84$

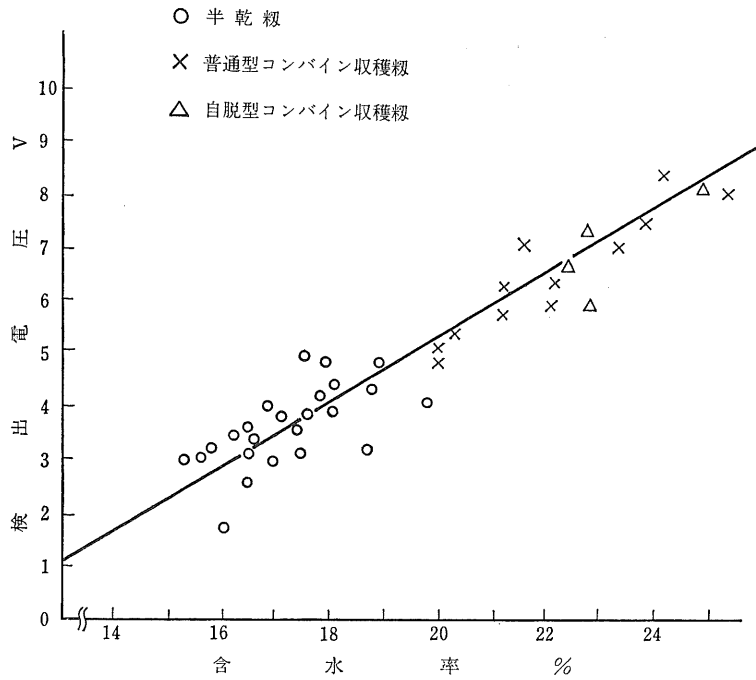
100g 容積のみ 170cc/100g に修正  $M_3=1.77V+10.51$   $Sr=0.73$

穀温 20°C, 100g 容積 170cc/100g に修正  $M_4=1.80V+10.49$   $Sr=0.66$

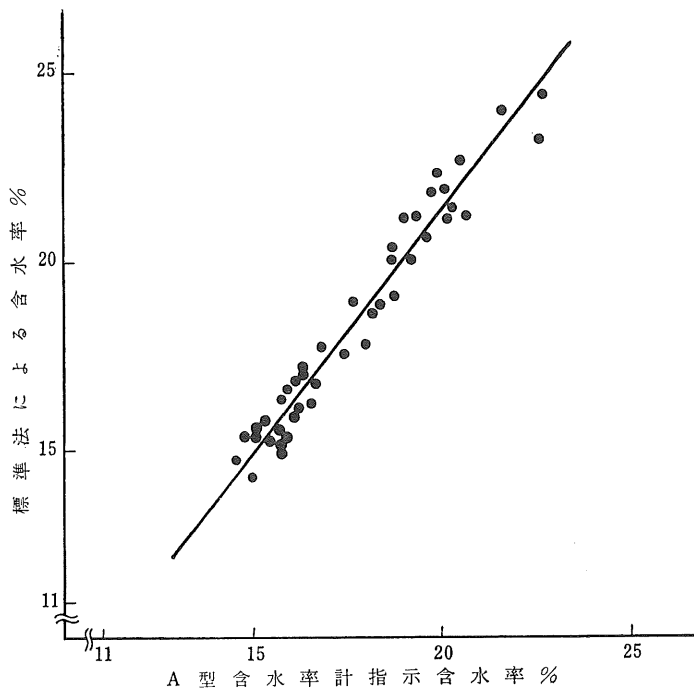
(注) 試作電極による試験結果は、含水率に対して、各因子について重回帰分析を行ない、各因子の含水率に対する係数を求めた後、その重回帰式を用いて、穀温や見掛け密度に対する実験値の修正を行ない、その修正された値を、さらに、各修正条件別に単回帰したものである。



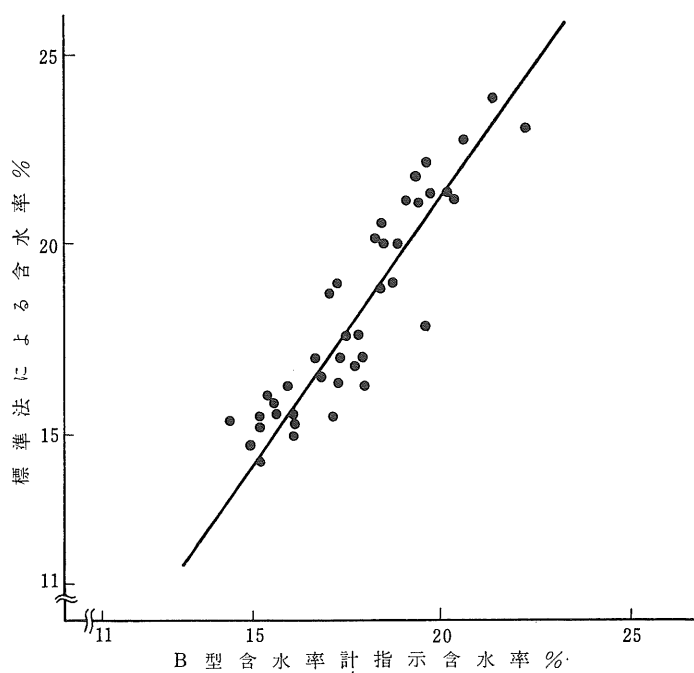
第IV-2図 MDP-712 の実験結果



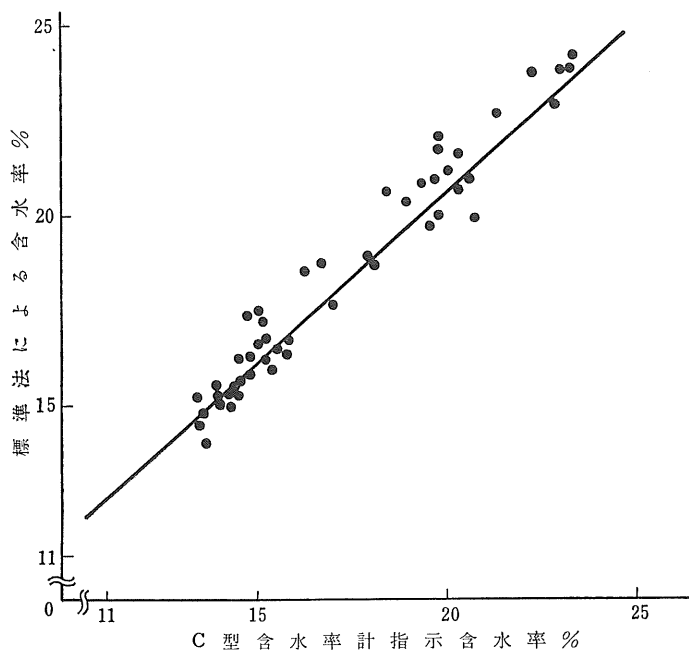
第IV-3図 MDC-731の実験結果



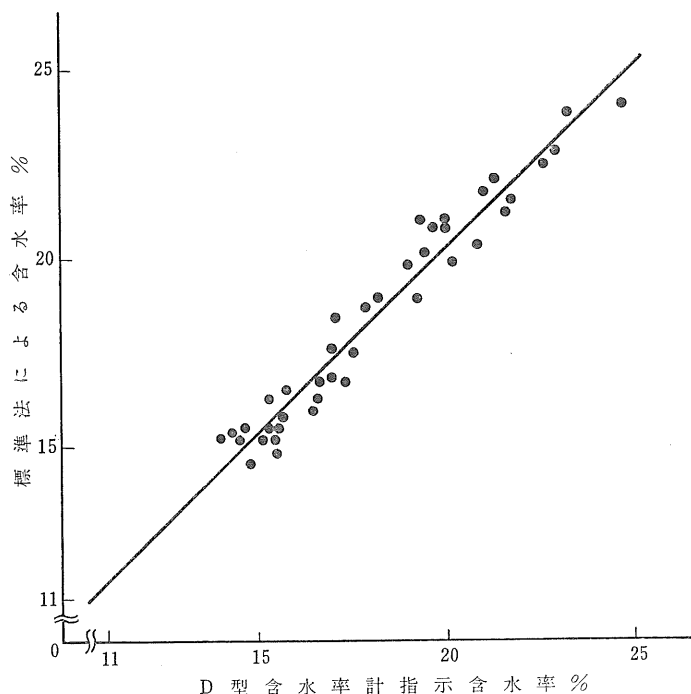
第IV-4図 A型含水率計の実験結果



第IV-5図 B型含水率計の実験結果



第IV-6図 C型含水率計の実験結果



第IV-7図 D型含水率計の実験結果

りかなりはずれているが、これは倒伏した稲を普通型コンバインで収穫した籾であったので、籾自体も汚れており、かつ未熟粒が比較的多かったためと思われる。

また、普通型コンバインで収穫した籾については、電極上の流動性に幾分難のものが多く、一般に指示値のふれ（記録計におけるふれ）が大きかった。

#### 2) 円筒円環電極 (MDC-731)

結果は第Ⅳ-3図のとおりである。

この電極の場合は、無修正でも MDP-712 の穀温、見かけ密度の両方を修正したものに比べて精度が良いが、さらに穀温、100g 容積等の修正をすれば精度が上がる。また、その程度は見掛け密度による方が大きい。

また、わら屑があっても比較的流動性がよく、指示値のふれが少なく、安定しており、荷受け時などの水分測定には、見掛け密度の修正法が確立すれば平板電極よりむしろ適していると思われる。

#### 3) 市販水分計

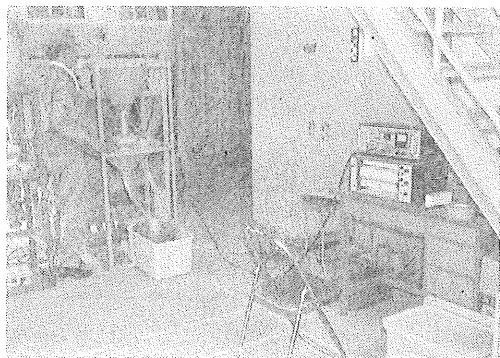
結果は第Ⅳ-4図～第Ⅳ-7図のとおりである。

各測定点は、いずれも3回の測定値の平均値とした値である。

#### 4. 結 論

供試した籾の品種は、ほとんどコシヒカリであったが、

普通型コンバイン、自脱型コンバインで収穫されたもの、バインダーで収穫された後、架干しされ、自脱で脱穀されたもの（半乾燥）等種々の選別程度や性状のものであり（第Ⅲ-8表参照）、このような場合夾雑物の多いものでは測定器に入れる際に、人間によってわら屑や未熟粒等を除去して測りうる性質の水分計では一般に精度を上げうる可能性があるが、穀物の流路に検知部をおいて自動的に、連続的に測定する本試験で用いたようなものでは、このような試料の選別操作を含水率検出部自体でおこな



第IV-8図 カントリーエレベータにおける実験風景  
(この場合は3種の試作電極の比較テストを行っている)

い難い。また、一般のカントリーエレベーター等における自主検査の場合、精選機を通してからサンプリングされ、これが含水率測定の対象となるので、ある程度夾雑物の混入等の影響が少なくなると思われるが、それでも誤差の要因となる可能性がある。

この試験は都合上、精選機にはいる前の荷受時の粳について試験せざるを得なかったことと、予備試験において夾雑物の多いものでは指示値のふれが大きく、実用性が低いと判断されたので、粳の条件を改善するため、あらかじめある程度の時間、粳を攪拌することによって安定して測定しうるようにして、試験を行なった。

このような状態における指示値のバラつきを第Ⅳ-3表に示す標準偏差を指標としてみたとき、4種類の市販の水分計が標準偏差にして0.6~1.0%の範囲に対して試作器では0.7~0.9%とほぼ同じ値を示した。

しかしながら、このような施設においては選別状態、

粳の性状の広範囲にわたるものが搬入される可能性があることから考えて、いずれにしても選別状態や粳の性状をある程度の範囲におさめる操作を付加しないで、これを野ばなしにすれば誤差は大きくなる可能性がある。

どの程度まで選別程度に制限を加えればよいかに関しては、なお残された問題であるが、この種の連続含水率測定において、流下粳全量の含水率を測定するのではなく、バイパス回路を設けて、ある程度の量をこの検知部に通し、その量の粳だけでも比較的良好な選別等を行って測定する方法の検討も今後の研究方向として指向しうる。

なお、この実験のようにある程度攪拌された粳については、比較的安定した測定がしうることから考えて、穀物移動式乾燥機を通過した粳については、仮りに受入粳の性状が悪くてもある程度の精度をあげうる可能性があることをこの実験は示唆している。

# V

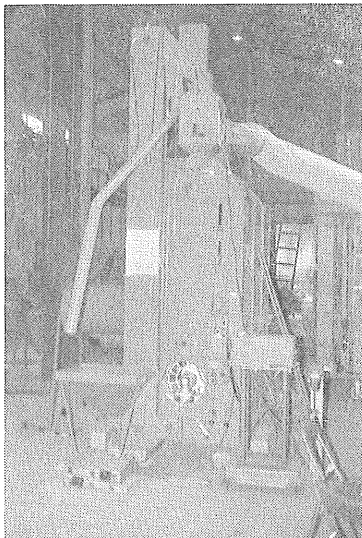
## 含水率検出器付自動乾燥機の試作研究

### 1. 概 説

現在、農家などで使用している小型の循環型乾燥機の一般的な使用法は、張込時に水分のおおよその目安をつけてタイマーをセットし、タイマが作動する少し前か作動した後に水分計で穀物の含水率を測定して再度タイマーの設定をし直しをするという方法であるが、日中に収穫が行われて、夕方乾燥機に穀物を張込んで乾燥を開始するという状況を考慮すると、かなり水分が高い場合を別として、夜中に一旦タイマが作動して乾燥機が停止し、朝再び動かすか、夜寝る前に一旦止めて、翌朝再び動かすというように、精神的負担もかなり多く、また乾燥機停止時の水分の精度もかなり悪いと思われる。そこでこれらの乾燥機運転の労力を軽減して停止時水分の精度を上げるために、これまで行って来た流動状態における水分検知装置を循環型の乾燥機に組込んで、実用化の可能性を調べた。

### 2. 乾燥状態における水分検知精度

これまでの知見より穀が移動して、穀の 100g の容積が比較的安定すると思われる循環型乾燥機においては見掛けの密度の補正は行なわないで済むと考えられるが、

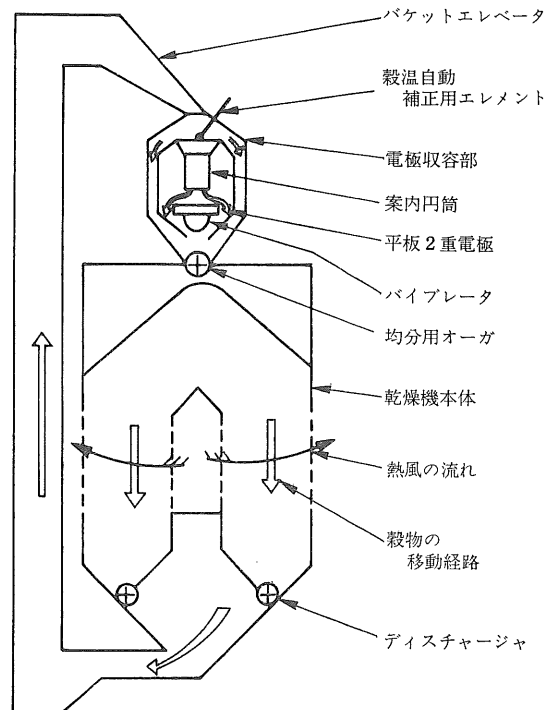


第V-1図 含水率検出器付の試作自動停止乾燥機

穀温の補正は各乾燥機によって乾燥温度がかなり異なるので必要であろう。またIでもふれたように乾燥しつつ水分を計測する場合はⅢの基礎試験の時と比べてその挙動も異なると考えられたので、始めに乾燥状態における精度を調査した。

電極はこれまで一貫して平板重円環電極 (MDP-712) を使用して来たので、この電極を乾燥直後の水分が測定できるよう。第V-1図・第V-2図に示すように収容容量最大 1.2t の乾燥機の循環用バケットエレベータの出口に取り付けた。またできるだけコンパクト化し、かつ電極上部の穀の厚さが一定になるように、オーバーフロー方式とした。

試験条件および結果を第V-1表および第V-3図に示す。第V-3図において実験番号No.1は乾燥箱に穀を約半分しか入れない状態で乾燥したものであるが、他の場



第V-2図 試作自動停止乾燥機概念図

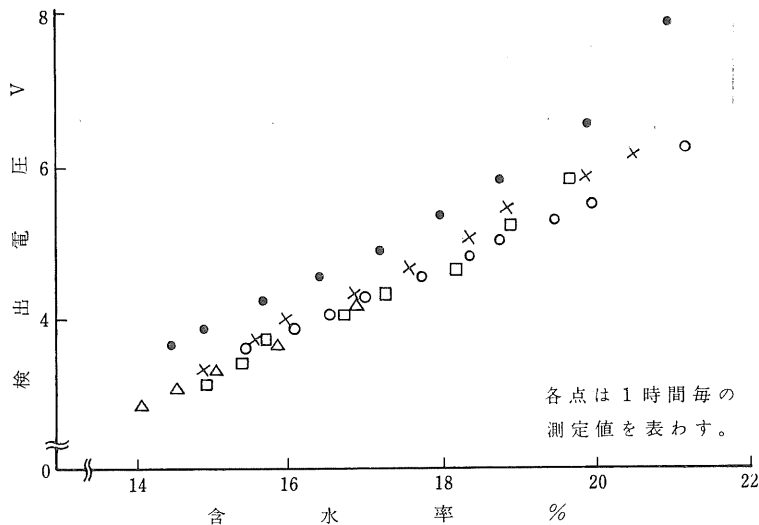
第V-1表 乾燥状態における水分検知時の状況

| 実験番号            | 1    | 2    | 3     | 4    | 5    |
|-----------------|------|------|-------|------|------|
| 図中の記号           | ●    | ×    | ○     | △    | □    |
| 穀品種             | 日本晴  | 日本晴  | セトホマレ | 日本晴  | 日本晴  |
| 送風温度 °C         | 37   | 37   | 35    | 34   | 36   |
| 絶体湿度 g/kg       | 21   | 10   | 10    | 6    | 7    |
| 乾前含水率 %         | 22.1 | 23.2 | 21.8  | 18.1 | 20.7 |
| 乾後含水率 %         | 14.2 | 14.5 | 15.5  | 14.1 | 14.9 |
| 乾燥時間 h          | 9    | 10.5 | 10    | 5    | 8    |
| 毎時乾減率 %/h       | 0.88 | 0.83 | 0.63  | 0.80 | 0.73 |
| 100g容積 { 初*     | —    | 178  | 177   | 166  | 171  |
| 終               | 165  | 167  | 161   | 170  | 170  |
| 穀温(含水率15%近辺) °C | 30.8 | 27.4 | 27.0  | 25.4 | 27.9 |
| 投入穀量 kg         | 692  | 1020 | 1112  | 1230 | 1142 |
| 推定風量比**         | 0.08 | 0.06 | 0.06  | 0.05 | 0.05 |

(注) No. 4, No. 5 普通型コンバイン収穫機, 他は自脱コンバイン収穫機。

\* 単位は cc/100 g

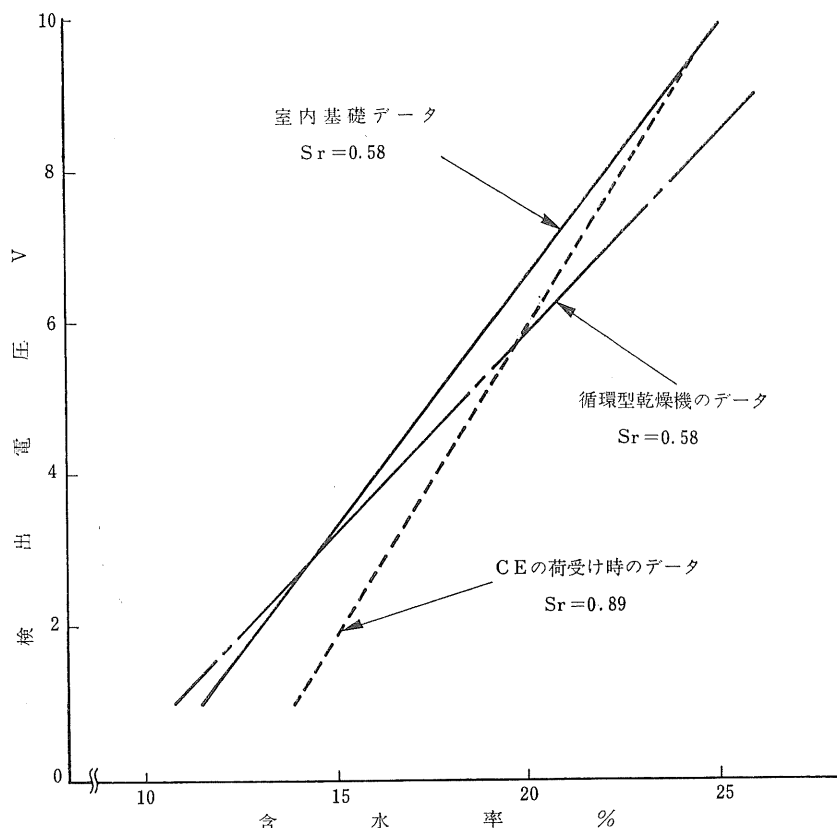
\*\* 単位は m<sup>3</sup>/sec・100kg



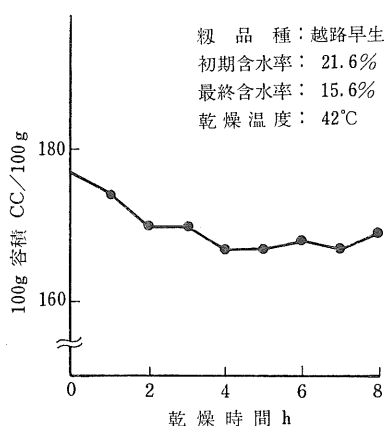
第V-3図 乾燥状態における検出電圧と含水率の関係

合より約1%程低く検出されたがその他は穀品種や収穫の相違によって差が生じていない。この試験と前記基礎試験の結果を単純化して直線回帰したものが第V-4図である。穀温はいずれも30°C, 標準水分測定法は105°C-5g 粉碎-5hr-0.008 kg/kg として補正してある。この図より乾燥状態における水分検知の場合は検出電圧の傾きが小さくなる事が解る。しかし検出精度は水分安定状態と変わらないので乾燥機の自動停止は十分可能と思われる。

第V-5図は乾燥時間と100g容積の変化の様子の1例である。第V-1表の100g容積の変化からも解るように粗水分が低くなってくるとそれほど変らなくなる傾向にあるが、いずれも100g容積の低下する様子は似ており、循環開始後約2時間程度で一定になり、この乾燥機の場合、正規に穀を張込んだとすれば1循環約1時間であるので、他の型式の乾燥機の場合も約2回循環すれば100g容積は安定すると考えられる。



第V-4図 平板2重円環電極の各種試験結果



第V-5図 循環型乾燥機における100g容積変化の1例

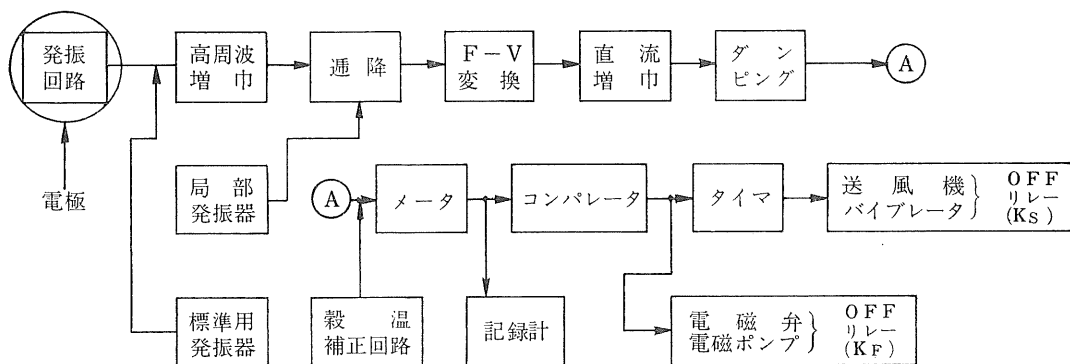
### 3. 自動停止回路の組込み

第V-6図のブロックダイアグラムに示す様に、周波数—電圧(F-V)変換器に、ふれを無くすための時定数回路と白金抵抗体による穀温自動補正回路を組込み、コン

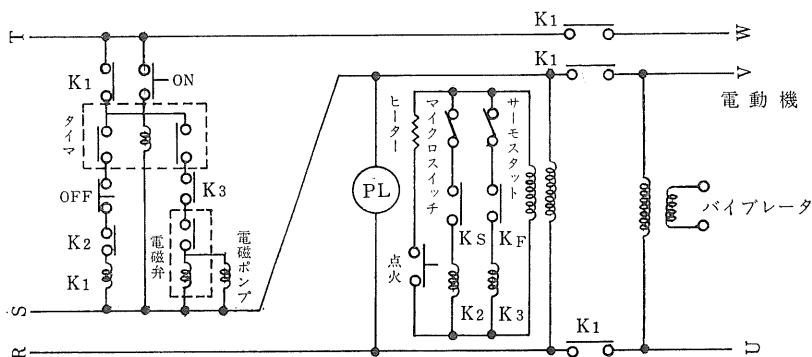
パレータによって任意の電圧に設定して電磁弁、電磁ポンプおよび送風機を停止できるようにした2組のリレーを取付け、第V-7図に示すように乾燥機の電源コントロールボックスのリレー  $K_S$  と  $K_F$  に接続した。しかしこの場合、予備試験の結果と第V-3図より、コンパレータは一応4Vに設定した。もちろんこの他に送風機が何らかの原因によって停止した場合、バーナはサーモスタットによって切れるし、循環用バケットエレベータがつまって止まった時はマイクロスイッチによって全体が止まるようにはなっている。(第V-7図)

試験結果を第V-8図に示す。

セトホマレと日本晴のグループでは停止時の含水率で約2.5%差が生じたが、第V-3図より推定すればセトホマレのグループが正常と考えられる。しかし同一グループ内でみればその差は約1%以内であった。また収穫法の違による差は第V-2図同様見られなかった。またこの場合穀温補正が適切でなかったために、線で困んだような傾きが生じたが、これは穀温補正回路の調整によ



第V-6図 含水率検出器付試作自動停止乾燥機のブロックダイヤグラム



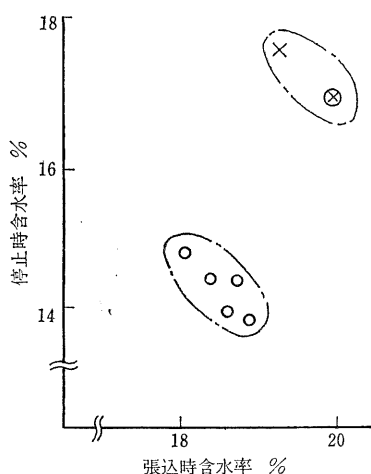
第V-7図 電源コントロール部の配線図

- 穀品種
- ⊗ セトホマレ (普コン収穫)
  - × セトホマレ (自コン収穫)
  - 日本晴

て簡単に改正が可能であると考えられる。

#### 4. 結論

水分を連続的に検出して乾燥機を自動的に停止させようという当初の目的は達成できたが、2つの品種によって大きな差が生じた。しかしこれは第V-3図と第V-8図より品種による差とは考えられなかったので、100g容積の差や青米の混入率、粒の大小、栽培条件（追肥の時期やその種類）などを考慮してみたが明確な差は見い出せなかった。今後この差が何によって生じたかを見い出す事が重要な課題となろう。



第V-8図 自動停止試験結果

# VI

## 摘 要

穀物の含水率と、電気的特性との間に相関関係のあることを利用した電氣的含水率検知装置に関するものうち、非破壊で測定しうる電気容量式のものを主としてとりあげ、穀物の高周波における電気的特性と含水率の関係をしらべる基礎実験からはじめて、流動状態における穀物の含水率を連続的に検知しうる装置の開発、さらには、この検知装置を循環式乾燥機に取り付け、乾燥仕上り時に自動停止しうるものの試作にいたる一連の研究を行なった。

その間、穀物の電気的特性について判明したこと、および新たに開発した検知装置等の概略を示すと次のとおりである。

### 1. 人工乾燥における穀物の電気的特性

穀物の含水率の変化と、電気的特性を調査するに当たって、穀粒が長く密閉放置され、内部の水分が平衡化した状態を水分安定状態とし、乾燥直後のように穀粒内水分が不平衡にあるときを水分不安定状態として、この2つの場合について、主として2重円筒型電極とQメータを組合せた装置を用いて測定を行ない、電気的特性を検討した。その結果、次のようなことが判明した。

#### 1) 水分安定状態とみられる場合について

(1) 高含水率においては $\tan \delta$ が大きくなる。 $\tan \delta$ が0.1以上になる含水率は、穀物の種類や周波数によって異なるが、8~16%程度の低いところにある。

(2) 穀物の電気容量( $4C$ )、 $\tan \delta$ および誘電率 $\epsilon'$ は含水率、温度が高くなるほど増加する。

ただし、 $\tan \delta$ が高い場合、Qメータ法による測定においては、真の $4C$ 、 $\epsilon'$ を示さないことを考慮にいれると、本報告における $\epsilon'$ 等は見掛けのものであるという問題点を含んでいる。

(3)  $4C$ は測定周波数 $f$ の影響を受け、測定時の0.1~10MHzの範囲内でも $f$ が低くなるほど、同一含水率の変化に対して、変化が大きくなる。

#### 2) 水分不安定状態とみられる場合について

(1) 乾燥直後の穀を密閉状態で、含水率の変化がないとみられる状態に保って、時間の経過に伴う $4C$ 、 $\tan \delta$ 、

$\epsilon'$ を追跡すると、時間の経過とともに、増加の傾向を示し、水分が安定したと思われる48時間程度で、ほぼ一定に達する。

(2) 水分安定状態と一定の水分不安定状態との間の $4C$ の変化に起因しておこる電気容量式の含水率測定方法の誤差、すなわち、一定の含水率に対する両者の $4C$ の変化の値は、測定周波数が高いほど小さく、実用的には1MHz以上であることが望ましい。また、参考のため測定したマイクロウェーブの吸収率との含水率と相関関係を利用することによる含水率測定方法の場合は、このような誤差を小さくしうることを認めた。

### 2. 電気容量式含水率検知における計測値に与える各種要素の解析

1で用いたと同じ装置で、穀について、種々の品種、含水率のもの $4C$ を測定し、温度、見掛け密度、選別程度等による影響を解析的にしらべた。

また、2重円筒型の電極の下部出口に、一定の間隔をおいて振動板を設け、穀物が円滑に電極内を流動し、流動状態において、 $4C$ と含水率の関係を測定し、各種要素の解析を行なった。

その結果、次のようなことが判明した。

#### 1) 静置状態における場合

含水率 $M$ を $\log 4C$ のみの各測定周波数について単回帰し、その測定点のばらつきを、標準偏差で比較すると周波数 $f$ が高くなるほど、ばらつきは小さくなる。

また、各 $f$ について $\log 4C$ と $M$ 、穀温 $t^{\circ}\text{C}$ 、見掛け密度 $d\text{ kg/m}^3$ 、選別程度に關係する単粒の $S\%$ 、(穂切粒+枝穂付着粒) $U\%$ 、(脱稈粒+碎粒+わら屑+異物) $i\%$ を変数として、重回帰式をつくり、それらの要因の有意性をみみると、0.1MHzにおいては、 $M$ と $t$ が、1MHzについては $M$ のみが、10MHzについては $M$ と $d$ が有意となり、その他の要因は有意でなかった。前述の結果にもあったように $t$ は当然有意と考えられるが、1MHzと10MHzにおいて有意でなかったのは試験温度の範囲が17.5~21.0 $^{\circ}\text{C}$ とせまいために判断される。

なお、この解析の結果から、0.1MHzの場合は有意な

因子である  $t$  と  $i$  を補正し、 $M$  と  $\log 4C$  の回帰式をつくった場合、測定点のばらつきは大きく実際の含水率の測定においては問題外であり、1MHz の場合は、いずれの変数も有意差がなく、 $M$  と  $\log 4C$  の関係における測定点のばらつきは 0.1MHz に比べてかなり小さい。10 MHz においては  $d$  の影響を大きく受けるが、これを修正すれば、他の周波数に比較して、最もばらつきの少ない測定がなされる。

なお、いずれの場合も、選別程度はこの試験の範囲内では  $4C$  に影響を与えないことがわかった。

## 2) 流動状態における場合

測定周波数は 10MHz のみとした。穀物の流量  $Q$  は 0.12~3.1t/h とかなり広い範囲にとったが、 $4C$  には影響を与えないことがわかった。また、穀粒が循環している間に枝梗がとれたり、表面が滑らかになってきて、見掛け密度がある一定の値に達するまで増加する傾向がみられた。同一の穀について流動開始から 5 分後の  $4C$  と、穀の性状が安定したと思われる時点 ( $d$  がほぼ一定に達した時点) の 2 点について、 $4C$  に関係があると思われる穀温  $t$  や  $d$  について解析した結果、もし  $t$  や  $d$  を補正するならばかなりの精度で、流動状態においても含水率の検出の可能性のあることを見出した。

## 3. 穀物の流動状態における含水率検出装置の試作研究

1, 2 の結果をもととして、流動状態で連続的に含水率を極知しうる装置を試作した。穀物の流動が円滑にいくよう振動機を電極と組合した検知部をもつもので、電極として、円筒電極、平板 1 重円環電極、平板 2 重円環電極、円筒円環電極の 4 種類のものを試作し検討した。平板電極については、単なる円筒の下端に一定の距離を設けて振動機付の円板をおき、その円板の上面、すなわち穀物がこの面に沿って流れる部分に、1 重または 2 重の円環電極をおいた。その他の二つについてはそれぞれの円筒電極の下部排出口に単なる振動機付の円板を設けた。

測定方式は穀物の流路におかれた電極間の電気容量を、測定周波数約 10MHz で測定し、あらかじめ、含水率との関係を較正しておくことによって、含水率を検知する方法である。この場合、遠隔操作、監視をしても、浮遊容量等の外乱の影響をさけるため、平板電極においてはその平板内に、また、円筒電極においてはこれに接する位置で、電気容量の変化を周波数に変化させ、これを記録または指示部まで搬送して、周波数を電圧に変換し、さらに含水率にこれを換算して、含水率を知るようにし

た。

また、試作した電極は、乾燥機の制御のみでなく実際のコントリーエレベーターの荷受部の含水率の測定に用いるさいの適用性もしらべた。

試作検知装置の試験結果の主なものは次のとおりである。

(1) 穀の品種や見掛け密度による影響は円筒型電極より平板型電極の方が小さく、検出電圧と含水率の関係の温度の相異による影響も平板型電極は穀品種に関係なく、平行的にあらわれており温度補正がしやすい。

(2) 平板型電極においては、振動板に電極および、電気容量の変化を周波数に変換する回路を組み込んだものであったが、この振動や振動機による温度の変化の影響は、含水率の検出にほとんどなかった。

(3) 円筒型電極は見掛け密度の影響を最も大きく受けるが、逆に考えると、見掛け密度の検出に利用できる可能性を含んでいると思われる。

(4) 円筒型電極において、穀を無作為に投入し、静止状態から、振動板によって排出し、流動状態になったさい、電気容量が大きく変化した。これは穀粒の並び方が流動状態となることによって、管壁にそってほぼ一定の方向に並んだためで、電気容量等が穀粒の配列によって変わるためと考えられる。

(5) コントリーエレベーターの荷受に対する適用性試験については次のようなことがいえる。

前述の平板 2 重円環電極と、円筒円環電極を改造した 2 種の検知装置と、市販の電気抵抗式含水率計 2 種類、電気容量式 2 種類と比較検討した。

供試材料は、ほとんど「コシヒカリ」であり、普通型、自脱型コンバインで収穫されたもの、バインダ収穫後架干した後脱穀したもの等、含水率、選別程度の異なる穀であった。これらの穀について、選別機を通る前のものを直接供試したが、見掛け密度の補正のない試作器では精度は著しく悪く、そのため、一定時間穀を攪拌し、見掛け密度をほぼ一定にして測定した結果は、標準測定方法と測定値との回帰直線に対する測定点の標準偏差でその精度をみると、0.7~0.9% となり、市販の含水率計では、0.6~1.0% であった。いずれにしても、このような搬入穀を直接、選別調製等の処理を行なわないで測定する場合は適用性が低いことがわかった。なお、循環式乾燥機等の乾燥仕上り時含水率検出の場合のように、ある時間穀物が攪拌等によって、性状が安定した時点での検出には適用性が高いように推察された。

#### 4. 含水率検出器付自動乾燥機の試作研究

1, 2, 3の結果をもととして、市販の循環式乾燥機に、比較的製作しやすくまた、見掛け密度の影響も小さいと考えられる振動機付の平板2重円環電極を取り付け、あらかじめ設定した仕上り含水率になった時点を検出して、自動的に運転を停止しうるような装置を取り付けた乾燥機を試作し、試験を行なった。

含水率を連続的に検知して乾燥機の運転を停止しえたが、品種によって差が生じた。この場合、差が生じた粳について、見掛け密度や青米の混入率、粒の大小、栽培条件等を考慮したが、この差の原因は明らかでなかった。この種のものの実用化にはなお多くの粳についての較正が必要となろう。

## 参 考 文 献

(Literatures)

- 1) J. Matthews : 『Automatic Moisture Content Control for Grain Driers』—J. Agric. Engng Res. 8 (3), p. 207~220 (1963)。
- 2) 森邦男 : 『乾燥制御系の穀粒含水率検出器』[1]—『農機誌』32 (4), p. 306~321 (1971)。
- 3) S. O. Nelson. L. H. Soderholm, and F. D. Yung : 『Determining the Dielectric Properties of Grain』—Agric. Engng. p. 608~610 (1953)。
- 4) 伴敏三, 諏澤健三, 鷹尾宏之進 : 『常圧定温乾燥法による穀物の含水率測定に関する研究』[1]—『農機誌』34 (4), p. 365~371 (1973)。
- 5) 星合正治監修 : 『電気式水分計』日刊工業社 (1960)。
- 6) 農林省農林水産技術会議事務局編 : 『農学, 生物学のための FORTRAN 入門』日科技連 (1969)。
- 7) 農林省農林水産技術会議事務局監修 : 『農林水産試験研究のための統計的方法』農林統計協会刊 (1965)。

## SUMMARY

In order to develop the automatic operating dryer with the grain moisture content detector based on the principle of the correlation between the electric capacitance and grain moisture content, without any destruction of grain, a series of investigation was carried out. The first step was the fundamental experiments on the electric properties of the grains, then the development of moisture detector for flowing grain and finally the automatic operating dryer with detector.

The investigations were carried out from 1967 to 1975 and the results are as follows.

### 1. Electric properties of grains in artificial drying

The experiments were carried out for both cases, the unstability state in which the distribution of moisture in grain kernels was uneven immediately after drying and the stability state in which the moisture was evenly distributed.

For the measurement of grains electric properties, the apparatus consisting of coaxial cylindrical electrode connected to Q meter was used. The grains used for the test were wheat, barley and paddy. The coaxial cylindrical electrode is shown in Fig. 1.

#### 1) Grain moisture in stability state

##### (1) The loss tangent

The larger the loss tangent the higher the moisture content, and when the loss tangent was greater than 0.1, the moisture content was 8 to 16 % (wet basis) regarding to the kind of grains and the frequency of measurement in the experiment.

(2) When moisture content or grain temperature was high, the capacitance, loss tangent and real permittivity increased. When the loss tangent was high, the problem arised that only apparent values of capacitance and real permittivity could be measured and very difficult to measure them accurately.

(3) The capacitance was effected by frequency with in the range of 0.1 to 10 MHz, the lower the frequency the larger the variation of the capaci-

tance on the same moisture variation.

#### 2) Grain moisture in unstability state

(1) In the case of unventilated grain after the heated drying and without changing of mean moisture in the grain kernel, the capacitance, loss tangent and real permittivity increased exponentially with progress of time and it was estimated that they took about 48 hours to reach the stability state.

(2) The measurement error of moisture content occurred due to the difference of capacitance between stability and unstability states of grain moisture. The difference of capacitance between the two states became less by increasing the frequency of measurement for both cases.

As a comparison detection of moisture in the grain by microwave adsorption method was carried out, and it was found that the error in this case was smaller than the capacitance method.

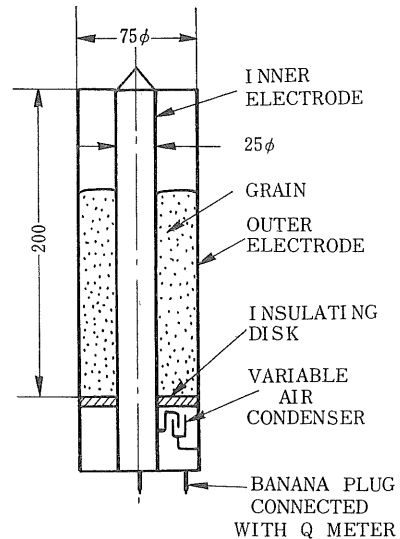


Fig. 1 Coaxial Cylindrical Electrode for the Basic Experiment

## 2. Analysis of factors influencing the measured value of moisture using electric capacitance detector

Using the same apparatus as in item 1, the measurement of capacitance for various kinds of paddy and moisture content were made in order to analyze the influencing factors, such as grain temperature, apparent density, whole grain content, tailings (ear breaking and primary branch), impurities (husked kernels, straw chips and foreign matters) and measurement frequencies with the relation between moisture content and electric capacitance.

The results are as follows.

### 1) Static condition

For analyzing of the relation between moisture content and capacitance, linear regression was made for each frequency. The scattering of measured values was compared by standard deviation of each regression line, and it was found that the higher the measurement frequency the smaller the scattering of measured values. For the relation among moisture content, capacitance and other above mentioned factors in each frequency multiple regression was made in order to investigate the influencing factors. According to the results, it was found that capacitance was influenced significantly by impurity, temperature and moisture content of grain at 0.1 MHz, only by moisture content at 1 MHz and by moisture content and apparent density at 10 MHz. The reason that the temperature had no significant influence on capacitance at 1 MHz and 10 MHz was due to the smaller range of tested grain temperature, 17.5 to 21.0°C. It was found earlier that temperature had significant influence on capacitance in the previous experiment.

Based on the above results, the regression equations were formulated correcting by the significant parameters.

According to the calculated results, the scattering at 0.1 MHz was so much that it was of no practical use, and the scattering at 1 MHz was considerably larger than the corrected significant factors at 10 MHz. It means that if the detecting value was corrected with apparent density at 10 MHz the highly precise detection was possible within the range of 0.1 to 10 MHz. If the detecting value was not corrected by above factors, the smallest scattering was also possible at 10 MHz.

### 2) Flowing condition

The apparatus with coaxial cylindrical electrode equipped with vibrator to facilitate smooth grain flow, as shown Fig. 2, was used and the measurement frequency was adopted only for 10 MHz. There was the trend that the apparent density increased due to the snapping off of grain tailing and smoothening of grain during the period of passing through the apparatus. Further the same grain was repeatedly passed through the apparatus and other flowing path.

The analysis was similarly carried out as in the above mentioned static condition with the values of two different cases. One was the case of grain condition after five minutes from beginning of grain flow and the other condition when the grain characteristic considered to be stabilized (apparent density had reached nearly constant value).

It was found that the measured value was not influenced by the grain flow rate in the range of experiment conditions of 0.12 to 3.1 t/h and if cap-

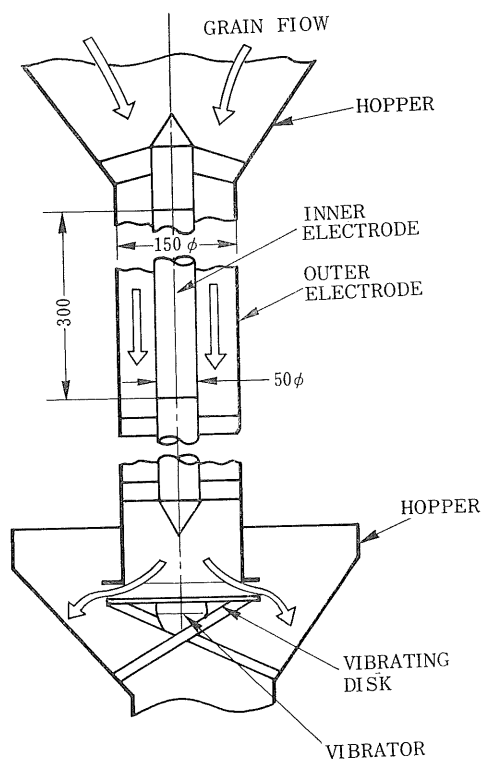


Fig. 2 Coaxial Cylindrical Electrode used on the First Stage of Experiment for the Flowing Grain Condition

acitance was corrected for temperature and apparent density, the detecting of moisture content was possible with fairly good accuracy in grain flowing condition.

### 3. Studies on practical detecting devices of moisture content in grain flowing condition

Fig. 3 shows four possible kinds of devices to detect continuously the moisture content of flowing grain, which were designed based on the results of item 1 and 2. Each device had a sensor attached to a vibrator to facilitate smooth grain flow. The electrodes were two disk types and cylindrical types.

The disk type electrode was attached to a vibrator and placed with some clearance below the end of the grain flow pipe, and single or double metal rings were arranged on the surface of the disk and grains flow along this surface. In the case of cylindrical type, the coaxial cylindrical electrode as like one mentioned in item 1 and 2 and the cylindrical grid electrode with the multiple metal rings attached along the cylinder wall.

This moisture content detecting method was the type by the change electric capacitance between the positive ring and earth ring at 10 MHz. The relation between moisture content and electric capacitance was calibrated. For all the devices, electric capacitance was converted to electrical frequency by the converter located near the cylinder wall in cylindrical types and inside of the disk in disk types. The reason was to avoid disturbance such as floating capacitance when the remote control or observation of moisture content was made away from the device such as to recorder or indicator. The electrical frequency was converted to voltage as final out-put.

The main results of studies on the trial made detector are as follows.

(1) The influence of paddy varieties and apparent density on the detective accuracy in the disk types were smaller than in the cylindrical electrodes. For the disk type electrodes, it was found that the relation between the out-put and temperature of a certain moisture content was parallel regardless of paddy varieties, and hence the correction for the grain temperature was easy.

(2) In the disk type electrodes, each electrode had a disk with vibrator and capacitance was converted

to electrical frequency at inside of the disk, but the measurement value was independent to temperature rise and vibration at the time of measurement.

(3) The cylindrical electrode method was influenced considerably by apparent density and hence it was not an appropriate method for moisture detection, but it might be considered for detecting apparent density.

(4) In the case of cylindrical electrodes, when the grain was put into the electrode and then the vibrator was operated when the grain condition was changed from static to flowing, the apparent capacitance changed considerably. In this case, it was observed that the arrangement of grain kernels in static and flowing condition was different along the wall of the cylinder and the change of capacitance seemed to be caused by the change of kernels arrangement.

### 5. Investigation on applicability of moisture detecting device for practical country elevator

The experiment on the trial detecting devices were made not only for the purpose of dryer control but also for investigation on the applicability of moisture content measurement of paddy in the operation of practical country elevator.

The double ring disk type electrode, the cylindrical grid type electrode as mentioned above, two commercial made electric capacitance type and two commercial made resistance type moisture meters were used in the experiment and they were compared on the accuracy of measurement of moisture content.

The variety of tested paddy was mostly "KOSHIHIKARI", with various moisture contents. The cleanliness of the paddy also varied depending on the harvesting practices, such as harvesting by combine harvester, binder or sickle and then directly delivered or pre-cleaned before delivering to the country elevator.

In the country elevator the paddy was tested by the trial made electrodes before passing through the separator, and since the correction with apparent density on the detecting accuracy was not made, the error occurred with the variation of apparent density was considerably large.

Then an alternative test was made by circulating and the tested paddy for a certain period in the

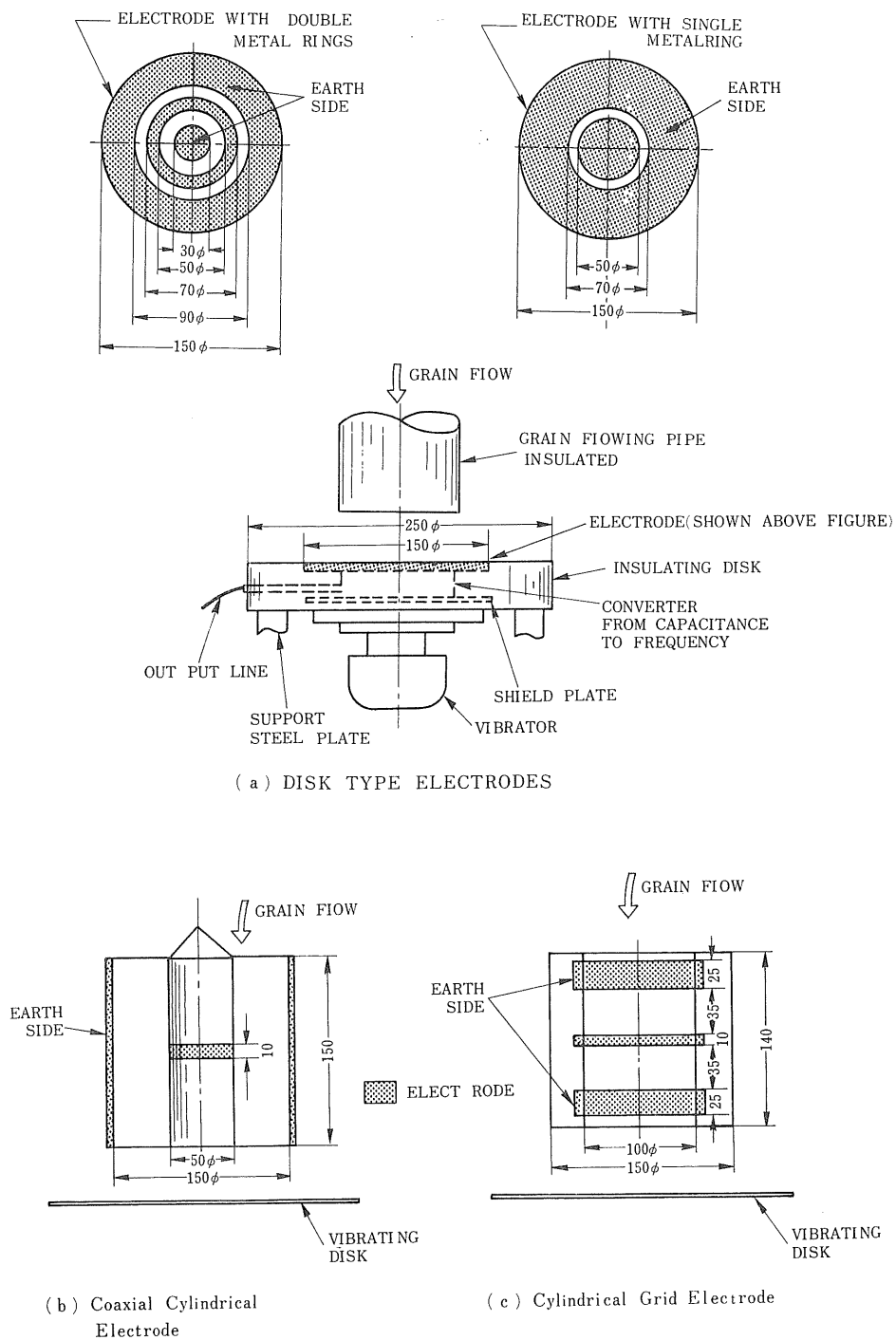


Fig. 3 Electrodes used on the Experiment of Practical Detecting Devices for the Flowing Grain Condition

device to obtain a certain apparent density. The standard deviation of measurement points against the regression line of the relation between the measured values by the testing devices and standard moisture content measurement method (standard air-oven method) were 0.7 % to 0.9 % in the trial made electrodes and 0.6 % to 1.0 % in the commercial made moisture meters.

In conclusion, the applicability of the trial made electrodes was low for paddy without pre-treatment such as circulating or agitating and so on. However, it was considered that the applicability on detecting might be possible when grain character was stabilized by mixing or agitating for a certain period as in the detection of final moisture content in the circulation heated air dryer.

#### 6. Studies of prototype automatic dryer with moisture detector

Based on the results of item 1,2 and 3, a prototype automatic moisture detecting dryer using a commercial made circulation type heated air dryer attached with the double ring disk type electrode was tested.

It was considered that influence to the measurement value of apparent density of paddy after a period of few hours from the beginning of drying was small, because the condition of paddy in the dryer stabilized as mentioned previously.

Further the moisture detector and automatic devices which were able to stop automatically when the grain moisture content reached the set value were attached to the commercial made heated air circulation dryer.

The moisture content in the dryer was detected continuously and stopped when the moisture content reached a certain value, but for a few different batches there were variation of moisture content at stopping time even in a similar set value. In this case, the factors which affect to measurement value were investigated, such as apparent density, content of immature grain and rice growing condition, but the cause of the moisture content variation was not clear.

Further experiments and calibrations will be required for various paddy varieties and properties for the practical use of automatic control dryer.

---

人工乾燥における穀物含水率の電氣的検出に関する研究

昭和52年 6 月30日発行

頒価 2,500円

——研究所報告第11号——

埼玉県大宮市日進町 1 丁目 農業機械化研究所