

# 脱水および乾燥ケーキ用自動水分測定装置

米川 均、 落合 政美

日本ガイシ(株) 環境装置事業部 開発部 水処理開発課  
愛知県半田市前潟町1番地

## 概要

下水の汚泥処理プロセスにおいてケーキ水分は重要な運転管理指標のひとつであり、このプロセスの自動化をはかるには、脱水及び乾燥ケーキ水分を短時間かつ正確に測定する計測技術が必要となる。

筆者らは、これらの水分を正確に測定できる赤外線加熱による乾燥減量法に着目し、測定時間の短縮と高精度測定を両立すべくケーキ試料の乾燥特性を検討した。その結果、試料側条件では試料粒度、試料(固形物)重量、乾燥皿上の試料堆積状態等の影響を受け、加熱条件では加熱雰囲気温度とケーキ水分(蒸発速度)に応じた加熱量決定が支配因子となっていることを把握した。

この乾燥特性から最適化した乾燥測定部に、試料採取部、試料粉碎部を加えた全自動水分測定装置を設計し、オンサイト実験等で評価した結果、測定所要時間は、水分55~85%のケーキでは15分程度、5~25%の乾燥ケーキで3~7分、測定精度はいずれのケーキも±1%以内の測定性能が得られた。

## キーワード

ケーキ水分 赤外線制御加熱 測定精度 測定時間 脱水ケーキ 乾燥ケーキ 全自動

## 1. 緒言

下水汚泥は、下水処理に伴って大量に発生し、その処理処分は重要な課題である。濃縮・脱水・焼却等で構成されるシステムの効率化・省エネルギー化をはかるため、各ケーキ水分を正確なオンライン情報として提供できる水分センサーが必要と考える。従来、各産業プロセスに使用されているオンライン測定方式には赤外線・マイクロ波・誘電率等を利用した間接測定法が広く用いられているが、下水汚泥のケーキは、短時間に性状等が変動しケーキ内外で水分差を有するなど、間接法で正確な水分値を得るには難しい点が含まれている。

筆者らは、脱水ケーキの水分測定として高い測定精度が期待できる直接乾燥減量法に注目し、ケーキ乾燥操作の最適化により乾燥時間短縮の目処を得た。この方式に対象ケーキの自動採取機構を加えた自動水分測定装置を測定精度±1%、測定時間15分の目標のもとに開発し、オンサイト試験で良好な結果を得た。ここにケーキの乾燥特性を踏まえた測定方式、装置概要について報告する。

## 2. ケーキ乾燥特性について

図1に脱水ケーキの乾燥特性を検討した実験装置を示す。CPUは、乾燥過程の試料重量・温度情報に基づいて最適加熱量・乾燥終点、水分値を演算する。

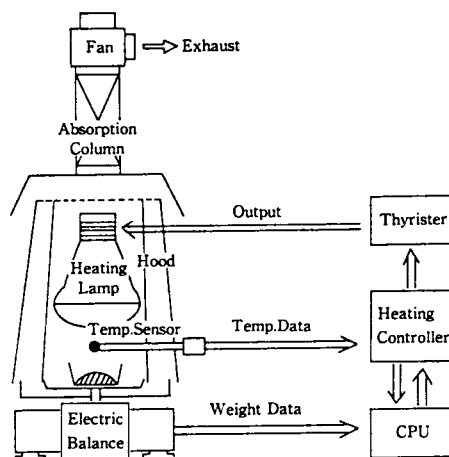


図1. 乾燥特性の実験装置

## 2-1. 初期加熱～恒率乾燥期間の特性

図1に示した温度センサー値が一定となるよう加熱量を制御し、針状温度センサーを挿入して得た脱水ケーキ試料の温度推移を図2に示す。一般に初期予熱期間を経て乾燥速度が一定となる恒率乾燥期間が知られ、図2でもこれに相当する期間を見いだした。この場合の試料温度は、加熱温度・ケーキ量・ケーキ種類に応じて異なるものの、別途の結果より、84℃から98℃の範囲にあることがわかった。下水試験方法による乾燥終点はケーキ内の水分移動が無く乾燥雰囲気温度の105～11℃程度に到達していると考えられるため、ケーキ温度がこの温度域より低い予熱～恒率乾燥期間では、ケーキの変質は無いと考えられる。

実際の乾燥制御では、恒率乾燥期間の終了を認識する必要があり、乾燥理論からは乾燥速度、限界水分（恒率乾燥期間の終了点における水分値）のいずれかで把握できると予想される。しかし、乾燥対象物毎に特定の値をとる限界水分は汚泥性状変化で大きく変動するため、今回の制御には利用できない。一方、恒率乾燥期間の乾燥速度は、加熱量の増大に応じて図3のように変化し、ピークを過ぎた後の乾燥速度あるいはその変化率をもとに恒率乾燥期間から減率乾燥期間への移行時期を決定しても支障ないことを経験的に確認し、制御パラメーターを決定した。

## 2-2. 減率乾燥期間の乾燥特性

図2に示すように、恒率乾燥期間を経て減率乾燥期間に移行すると試料温度が上昇し、焦げが発生する。図4に加圧脱水ケーキを一定温度加熱して乾燥し、焦げの発生が始まる試料水分を示す。減率乾燥期間では、乾燥の進行につれて焦げ発生の限界温度が低下し、エリア(1)～(2)では焦げが発生せず、迅速な乾燥にはエリア(2)となるよう加熱制御することが必要となる。

図4に示した各乾燥時点におけるケーキ水分を基に加熱制御するには、未知であるケーキ水分が必要となり、前回測定値から乾燥過程の水分値をある程度予測できるような水分変動が少ない場合には有効となる。

エリア(2)の制御因子として、1)蒸発水分の積分量、2)乾燥速度、3)乾燥速度の一次微分値を検討した結果、試料の重量・粒度を一定範囲に管理し、乾燥速度の減少に応じて加熱量を制御すれば短時間乾燥が可能となることがわかった。以上の結果を踏まえ、予熱～恒率乾燥期間で最大加熱を行い、所定の乾燥速度に減少した後は、その減少値に応じて加熱制御し、疑似的な乾燥終了点を認識して水分値を算出する乾燥制御プログラムを決定した。

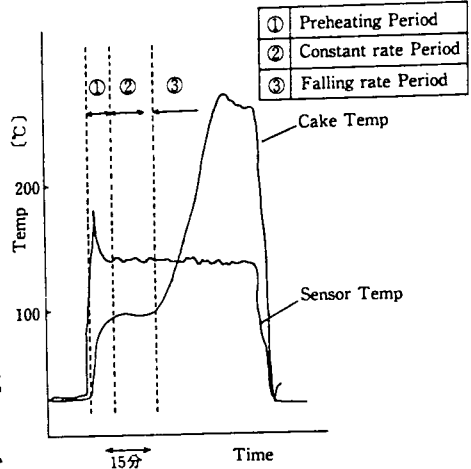


図2. 脱水ケーキの乾燥特性

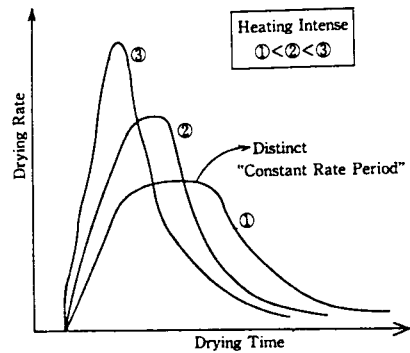


図3. 加熱強度と乾燥速度の関係

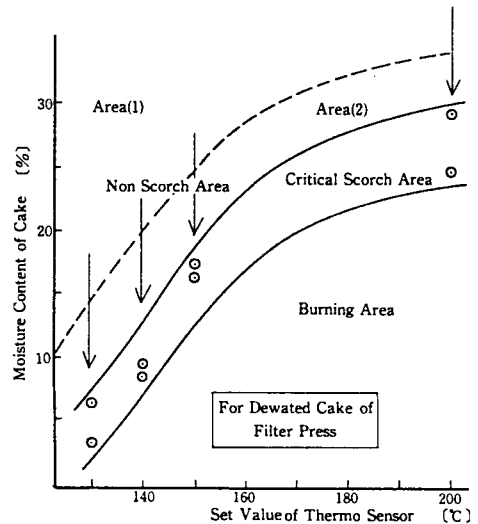


図4. 定温度加熱時の焦げ発生水分値

## 2-3. 測定試料の粒度、重量について

### 1) 試料粒度

決定された加熱プログラムを用い、試料の粒径を変えて測定した結果を図5に示す。粒径を変えた両データを比較すると、試料粒度の小さい1~2mmの方が乾燥速度が高く、乾燥時間も短くなっている。また、乾燥終了決定の下限乾燥速度も粒度の影響を受け、水分測定精度を高めるためにも粒度コントロールが必要となる。別途に実施した検討より粒度がさらに小さくなると焦げの発生を招くため、試料粒度を1~2mm程度に粉碎管理することが重要と判断される。

### 2) 試料重量

2種の脱水ケーキの試料重量を2水準とり、良く混合したケーキを公定法により水分測定した平均値とその標準偏差を表1に示す。この結果からわかるように、試料重量は、測定値のばらつきに影響を与えるものの、5~20gの範囲でのバラツキは±1%よりは小さな値となっている。試料重量毎に乾燥測定における得失は、以下のように整理できた。

- イ) 試料3g以下の場合：試料量が少ないため乾燥時間を短くすることができるが、試料の定量性と乾燥終点決定の安定性が悪くなり、測定誤差が数%に及ぶ場合が生じる。
- ロ) 試料5g~7gの場合：良好な測定精度と比較的短時間の測定が可能である。
- ハ) 試料10g~20gの場合：乾燥測定時間が急に増加し、測定精度を確保するため、粉碎試料が過剰に堆積しないよう広い試料皿に均一に分散させることが必要となる。

以上より、測定の安定性、測定時間の短縮の点で有利となる5~7gの試料重量で設計することとした。

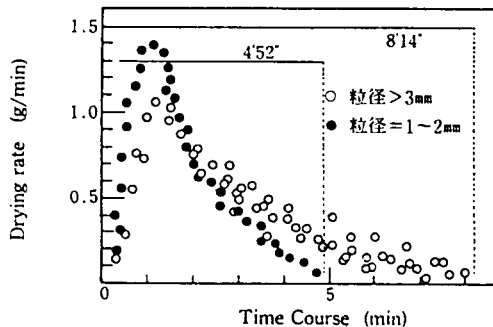


図5. 試料粒径と乾燥速度

表1. 試料重量と測定値への影響

汚泥種別	ベルトプレス汚泥		加圧脱水汚泥	
試料重量	5 g	20 g	5 g	20 g
平均値	74.8%	74.9%	62.3%	62.4%
$\sigma_{n-1}$	0.21%	0.11%	0.32%	0.23%

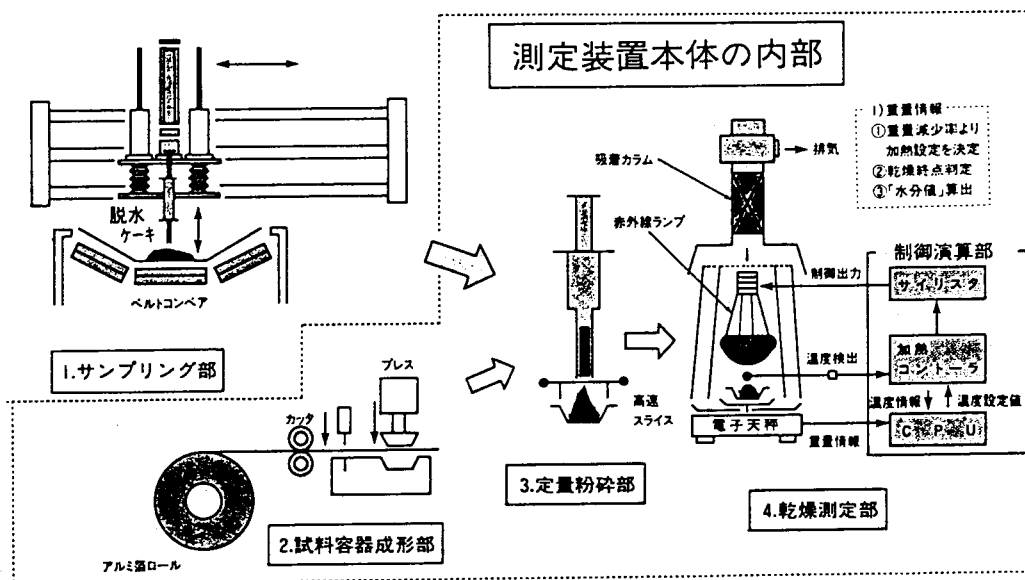


図6. 自動水分測定装置の概要フロー

### 3. 自動水分測定装置の概要

自動水分測定装置のフロー概要を図6に示す。

- 4) サンプリング部：搬送コンベア上のケーキを検出し、中空シリンダーで複数回、突き固めてシリンダー内にケーキ試料を圧密化して保持させる。
- 5) 試料容器成形部：サンプリング作業と並行してアルミ箔ロールより試料容器を自動成形する。
- 6) 定量粉砕部：圧密された試料をピストンで押し出し同時に特殊ワイヤーを高速度で往復させケーキを剪断破碎する。
- 7) 乾燥測定部：「赤外線ランプを加熱源とする制御加熱」により乾燥測定を行う。

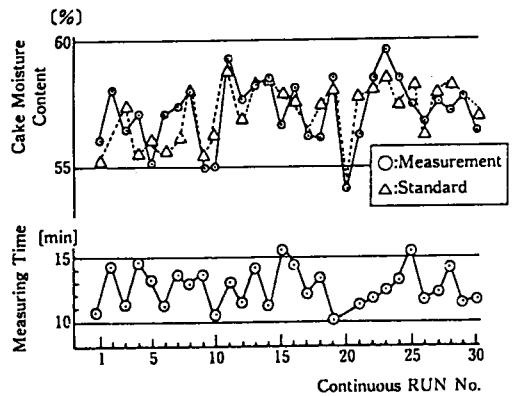


図7. 加圧脱水污泥の経時測定例

### 4. 自動水分測定装置による測定例

加圧脱水污泥に対するオンサイト測定の際時的測定例を図7に、測定精度との相関図を図8に示す。また、ベルトプレス污泥の測定例を図9に示す。いずれも公定法による対照水分値：Standardと対比させて示した。

各対照水分値とも、自動水分計の採取した試料水分と必ずしも同一値でないため、厳密な評価を下すことができないものの、経時的な水分変動の傾向を良好にとらえており、概ね1%程度の範囲で代表水分を表示しているものと理解できる。

一方、公定法による測定平均値7%及び24%程度の乾燥污泥に本測定装置を適用した結果を表2に示す。いずれの水分とも乾燥の限界水分を下回っているため、脱水ケーキの乾燥プログラムの前段（予熱～恒率乾燥期間）を省略する措置を除けば、同一の制御内容で適用した結果であり、良好な測定精度と極めて短時間の測定が確認できた。

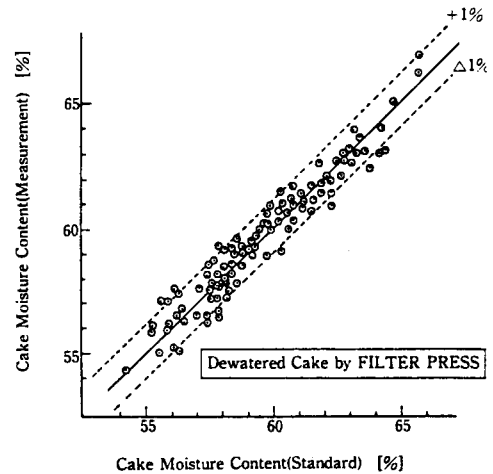


図8. 加圧脱水污泥の測定精度相関図

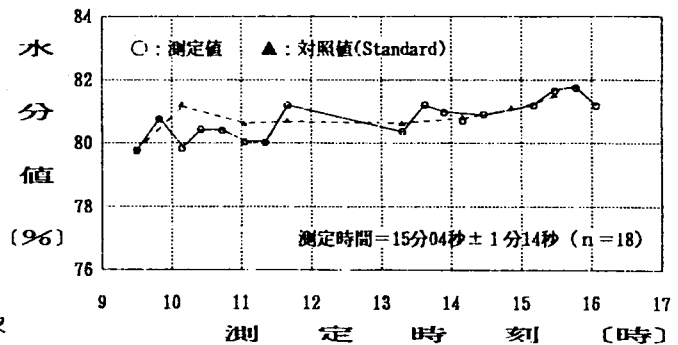


図9. ベルトプレス污泥の経時測定例

### 5. まとめ

直接法による污泥水分測定では、対象自身に水分ムラがあるにもかかわらず、サンプリング方法とより最適化された制御加熱方法により、水分55～85%のケーキでは15程度、5～25%の乾燥ケーキでは3～7分程度で測定でき、いずれのケーキとも1%以内の測定精度が得られた。

表2. 乾燥污泥の水分測定結果 (各n=10)

公定法平均値	試料水分 7.4%	試料水分 24.0%
測定値±σ <sub>n-1</sub>	7.52 ± 0.28 %	24.67 ± 0.35 %
平均測定時間	3分17秒	6分38秒