

近赤外線式含水率計の機能向上について

田辺 直* 林 知幸**

* 東京都下水道サービス(株)
東京都千代田区大手町2-6-2

** オルガノ(株)
東京都文京区本郷5-5-16

概 要

下水処理施設において、汚泥処理を効率的に行うために脱水汚泥や乾燥汚泥の含水率を常時把握できるセンサーが求められていた。

そこで、平成6年に従来の近赤外線式含水率計を改良し、高水分域、且つ成分の補正などを行い連続的に測定できる近赤外線式含水率計を開発し実用化した。

そして、その実用機による試験測定を長期間行った結果、汚泥の表面状態の変化が赤外線の反射率に寄与していることが判明し、これを演算式に付加することで、性状変化の激しい下水汚泥に対しても測定できる機能向上が図れた。

キーワード

近赤外線、脱水汚泥、乾燥汚泥、性状変化、含水率

1. はじめに

下水処理施設をはじめ産業排水処理施設から発生する汚泥は、脱水ケーキの形態で処分する方式から乾燥・焼却あるいは溶融などの設備を経て、減容さらには有効利用に処分方法が変化している。

下水処理施設を例にすると、汚泥の効率的処理・処分を目的として、汚泥の集中処理を採用する傾向にある。この場合、複数の処理場からの汚泥を、長距離管路輸送されたものを脱水処理するため、その製品である脱水ケーキの含水率が不安定に排出されるため、後段の乾燥・焼却・溶融の各設備に対して悪影響を及ぼしている。

そのため、脱水設備から一定の含水率範囲でケーキが排出できる運転管理が求められていた。従来、食品業界で用いられていた近赤外線式含水率計を汚泥測定用に改良するとともに、測定制度の向上が図れたのでここに報告する。

2. 水分測定

物質に含まれる水分量を測定する方法は、直接測定法と間接測定法に分類され、それぞれいくつかの分析方法がある。表-1にそれぞれの長所、短所を示す。ここで述べる機器は、近赤外線を用いた非接触、非破壊、リアルタイム測定法に該当する。

表-1 水分測定方法比較

方 式		測定方法	測定時間	測定範囲	長所・短所
直 接 法	乾 燥 式	・バッチ ・破壊	30～120 分	低～高	・マニュアル操作が基本 ・自動化は高価
	化 学 式	・バッチ ・破壊	15分程度	低～高	・高精度測定 ・操作が複雑、要熟練
間 接 法	直流抵抗式	・バッチ ・接触	1分以下	中	・安価で操作は容易 ・成分、温度、密度、厚み、 形状などの影響あり ・測定精度低い
	赤外線吸収式	・連続 ・非接触	瞬時	低～高	・検量線が必要 ・表層測定
	誘電率式	・連続 ・接触	瞬時	中～高	・検量線が必要 ・温度、密度、形状の影響
	マイクロ波式	・連続 ・非接触	瞬時	中～高	・検量線が必要 ・温度、密度、厚みの影響

3. 近赤外線による汚泥の含水率測定

3-1 測定原理

近赤外線（波長0.9～2.2 μm）を水分を含む試料に照射すると、その特定の波長は水分の量に比例して吸収されるという特性を応用したものである。

図-1に近赤外線の水による反射スペクトルを示す。図に示したように、近赤外線の範囲では3つの波長帯に吸収特性があり、それらの波長を選択照射するフィルターを搭載した機器を試作し脱水ケーキに対する測定の可能性を調査した。

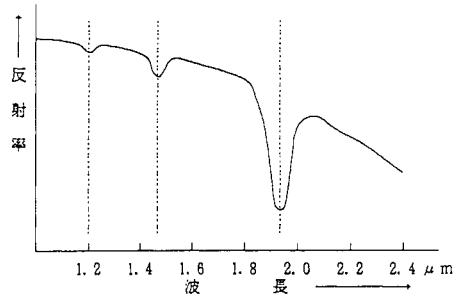


図-1 水の反射スペクトル

3-2 開発ステップその1

近赤外線含水率計の基本構造図を図-2に示す。近赤外線バンドの中で高水分に吸収特性を示す波長を搭載した機器を用いて、性状と含水率が異なる汚泥に対して、吸光度と含水率の関係を調査した結果を図-3に示す。図より、吸光度と実際の含水率の関係（光の吸光度と実際の水分との関係式を「検量線」という）が汚泥の種類別に存在することがわかる。すなわち、測定対象の汚泥の性状を把握

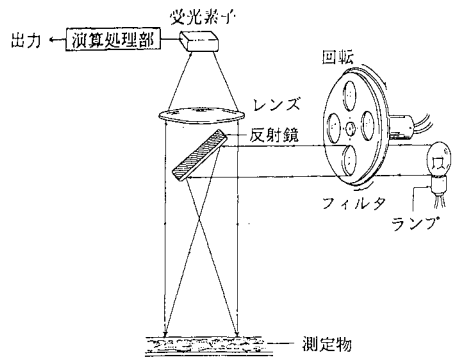


図-2 含水率計基本構造図

できれば、検量線を切り替えて含水率を測定できることを表している。しかし、汚泥の性状は時々刻々変化しているため、それを随時掌握することは困難であった。

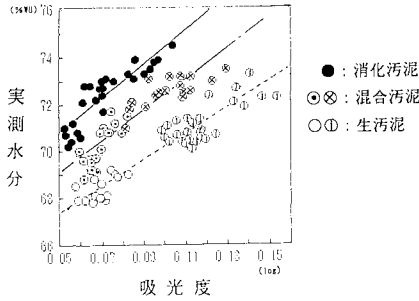


図-3 汚泥性状変化と検量線

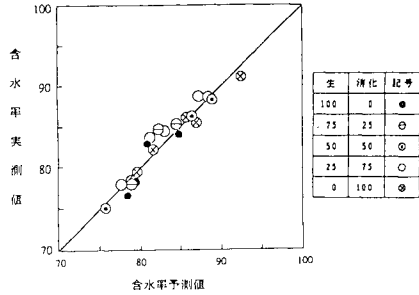


図-4 成分補正機能付測定結果

3-3 開発ステップその2

下水汚泥の組成は、有機物と無機物に分かれるが、有機物の主要成分はタンパク質、脂質、繊維質であり、これらの量的変化を把握できれば汚泥全体の質的变化を捕らえることができる。性状の異なる汚泥を10種類ほど選択し、近赤外線によるスペクトル解析を行った結果、汚泥を代表する成分を把握できる波長の存在が確認できた。そこでこれら成分を読み取る波長と、従来の水分量を測定する波長を組み合わせたフィルター群を組み込んだ測定機を製作しその検証を行った。

その結果を図-4に示す。図-3と比較すると汚泥の性状変化に関わりなく含水率予測値（検量線演算式による演算結果）と実際の含水率に高い相関が認められた。

その演算式を次に示す。

$$Y = a_0 + \underbrace{a_1 X_1}_{\text{①}} + \underbrace{a_2 X_2 + \dots + a_n X_n}_{\text{②}} \quad \text{--- (式-1)}$$

- ① : 水分演算に関する項 X1 : 水分に関わる吸光度
- ② : 成分による補正項 X2 ~ Xn : 各成分に関わる吸光度
- Y : 含水率 a0 ~ an : 実測により求められる定数と係数

3-4 開発ステップその3

近赤外線のバンドの中で汚泥の性状変化を読み取る波長を組み込んだ機器によって検量線の選択はなくなったものの、その値を用いて各設備へフィードバックまたはフィードフォワード制御に組み込むために、さらなる測定精度を求められていた。この要求に対して詳細な検討を行った結果、『近赤外線のバンドに表面状態を検出する波長が存在する』ことが判明し、本波長による吸光度を重回帰演算式に追加することとした。

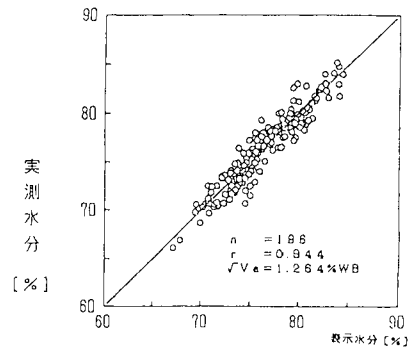


図-5 表面状態補正後の検量線

すなわち式-1に表面状態に関する補正項を追加した式-2を演算式として設けた。

$$Y = a_0 + \underbrace{a_1 \times X_1}_{\text{①}} + \underbrace{a_2 \times X_2 + \dots + a_n \times X_n}_{\text{②}} + \underbrace{a_m \times X_m}_{\text{③}} \quad \text{--- (式-2)}$$

① : 水分演算に関する項 ② : 成分による補正項 ③ : 表面状態を把握する項

その結果、演算式の相関が飛躍的に向上できることが確認された。図-5、に表面状態把握のフィルター組み込み後の検量線の比較を示す。また、表-2にその前後の検量線の数値比較を示す。

表-2 検量線の比較

条 件	検 量 線	相関係数	バラツキ
表面状態把握	$Y=61.3+117.2X_1-29.7X_2+109.5X_4+0.67X_5$	0.94	1.26
汚泥性状のみ	$Y=67.9X_1+79.1X_2-3.66X_3+301.4X_3-201.6X_4$	0.52	3.27

4. 実施例

本開発の近赤外線式含水率計を用いて、脱水ケーキおよび乾燥汚泥の含水率を測定した結果を図-6 (a, b) に示す。

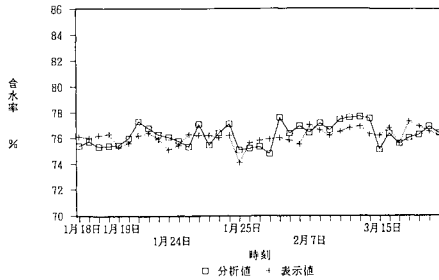


図-6 (a) ヘルツプレス脱水ケーキ

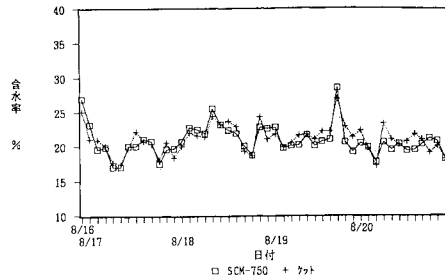


図-6 (b) 乾燥汚泥

5. まとめ

- (1) 下水汚泥の性状は水処理方式や季節などによって変化するが、性状の変化を把握するフィルターを組み込み、成分の変動に対する補正機能を付加することによって、検量線を一本化することができた。
- (2) 汚泥の脱水方式によって測定面の状態が変化するが、表面状態を把握する波長を追加し、重回帰式に組み込むことで応用範囲が拡大することができた。
- (3) 近赤外線式含水率計は、予め準備した検量線の精度がそのまま計器の精度になって現れるが、前述の機能を付加したことによって性状や表面状態が常時変化する下水汚泥の分野であっても高い精度で計測ができることが確認できた。
- (4) 従って本計器を用いることによって、①汚泥脱水機の一定含水率制御、②汚泥乾燥機の水蒸気圧力調節などによる乾燥制御、③焼却炉の炉内温度制御など、汚泥処理設備全体の経済的運転方法の構築が可能になった。