

レーザー光式汚泥濃度計の開発

杉山佳孝¹、原田敏郎¹、中村俊男²、林知幸³、
○佐藤茂雄⁴、三木敏和⁵、酒井隆弘⁶、今津恒夫⁷

1. 東京都下水道局
2. 東京都下水道サービス(株)
3. オルガノ(株)
4. (株)明電舎
5. 巴工業(株)
6. 芝浦システム(株)
7. (株)オートマチックシステムリサーチ

概要：汚泥濃度計は、水処理から汚泥処理までの各プロセス管理に必要な不可欠な計測器として利用されている。現在、測定原理等の異なる汚泥濃度計が各種あるが各々一長一短あり、測定精度、安定性、保守性、価格面を全て満足するものはない。汚泥の性状に影響を受けず、維持管理が容易で、測定精度が高く、かつ廉価な汚泥濃度計の開発が望まれている。このような要求の基に、著者らは、東京都の共同研究制度による実用化研究として、レーザー光を利用した汚泥濃度計の開発を行った。

光学系の構成、光信号から汚泥濃度へ換算するための演算方法等を検討、開発し、試作器を製作した。さらに、試作器を実際の汚泥処理施設の送泥ラインに設置して性能評価試験を行った結果、良好な性能を有することが確認できた。

キーワード：汚泥濃度、レーザー、計測器

1. はじめに

下水道施設では、各種の水質計器を利用して下水処理の効率的かつ経済的な運転を目標に日々の施設管理が行われている。この中で汚泥濃度計は、水処理から汚泥処理までの各プロセス管理に必要な不可欠な機器として利用されている。

現在使用されている汚泥濃度計の測定原理には数種類あり、精度は高いが高価であったり、保守頻度の高い機種や、保守頻度は低い精度や再現性に乏しい機種、測定対象となる汚泥の種類や性状により制約を受ける機種などそれぞれ一長一短あり、下水道の各処理プロセスに設置されているにもかかわらず汚泥処理等に十分に活用されていないのが実情といえる。

下水道施設は、汚泥処理施設の集約化が進められている中で、汚泥の長距離輸送による汚泥の腐敗という新たな課題も生まれ、時間の経過と共に性状変化する汚泥を処理するためには、各処理の段階における汚泥の性状を知るために、汚泥濃度測定を必要としている。

著者らは、平成12年度、13年度において、東京都の共同研究制度による実用化研究として、レーザー光を用いた新しい測定方式による廉価で信頼性の高い汚泥濃度計の開発を行った。ここでは、2年間の開発の経過と評価試験結果について報告する。

2. 光学系の設計と性能評価

2.1 目標仕様の設定

本研究では開発する汚泥濃度計の目標仕様を以下の通りとした。

性状が異なる各種の汚泥に対して、

測定濃度範囲：0～5%、 測定精度：±3～5% (FS)、 再現性：±2% (SF)

2.2 基本構造・構成の設計

レーザ光は、位相及び周波数が同一の光で、指向性が強くスペクトルは極めて狭い単色光である。また、半導体レーザは小型でエネルギー変換効率が高く長寿命な光源である特長を持っている。汚泥濃度計の開発にはこのような特長を生かすことができると考え、光源にはレーザダイオードを使用することとした。

光学原理を用いた汚泥濃度計の構造は透過光式と散乱光式に大別できるが、下水汚泥の配管に挿入して測定するためには、夾雑物が混入していることを考慮して、シンプルな構造で設計できる散乱光、特に後方散乱光（反射光）を検出するタイプのものとした。

汚泥粒子による散乱光の実験式は、式-1で示されることが分かっている。式-1において、光路長(L)を変えて比較すると図-1の様になる。高い濃度まで測定するためには光路長をできるだけ小さくすると良いことが推測できる。このことから、図-2に示す光学系の配置をもつ複数のセンサを設計し、一次試作器として製作した。光学系を小さくまとめるために光ファイバを使用した。

$$I = \alpha \cdot I_0 \cdot S \cdot \exp(-\beta \cdot L \cdot S) \tag{式-1}$$

ここで、 α ：光学系定数、 I ：散乱光量、 I_0 ：照射光量、 S ：汚泥濃度、
 β ：汚泥色などの性状で異なる定数、 L ：光照射部から受光部までの光路長

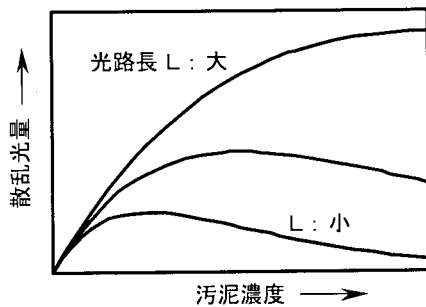


図-1 光路長による散乱光量特性の相違

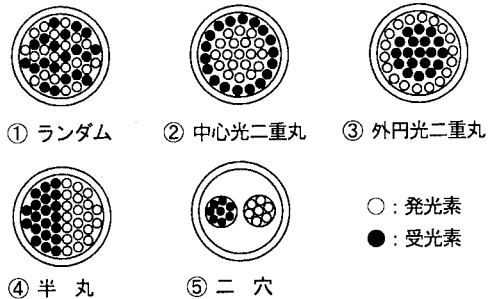


図-2 一次試作器の光学系配置 (概念図)

2.3 一次試作器の比較評価

図-2で示した①～⑤のセンサの性能を比較評価するために、疑似汚泥としてイースト菌を試料として比較試験を行った。試験結果を図-3に示した。①のランダムタイプが出力ゲインも大きく高濃度まで測定できる特性を示した。⑤の二穴タイプはゲインは大きいですが、特性が飽和している。この結果は上記の理論ともほぼ一致していることから、基本構造として光路長を最も小さくできるランダムタイプを採用することとした。

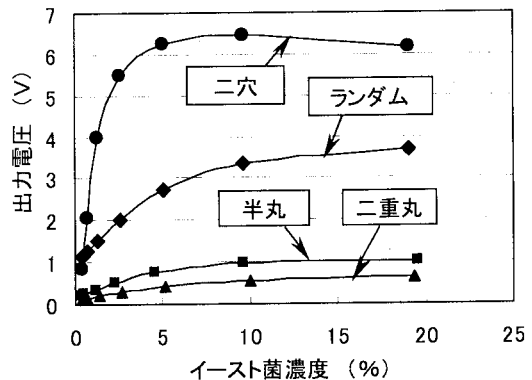


図-3 一次試作器の出力特性

2.4 実汚泥での性能評価

ランダムタイプのセンサについて、実汚泥を試料とした出力特性試験を行った。実汚泥試料は性状の異なる数種類を用意し、図-4に示す循環試験装置で試料汚泥の濃度を調製して測定性能試験を行った。各汚泥濃度は下水試験方法に準拠してTS分析した。試験結果の一例として余剰機械濃縮汚泥を試料とした例を図-5に示す。汚泥濃度 0.5~1.5%の範囲では直線近似できるが、0.5~3.0%では折れ線近似が必要であり、3.0%以上では特性が飽和してしまう結果となった。高濃度まで広範囲の測定を精度良く行うためには更なる工夫が必要であることが示された。

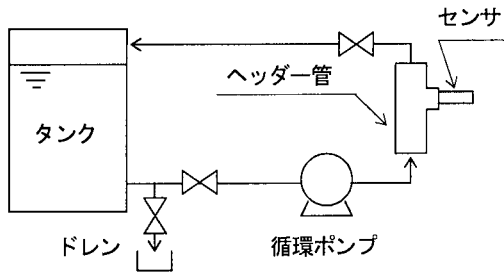


図-4 循環試験装置

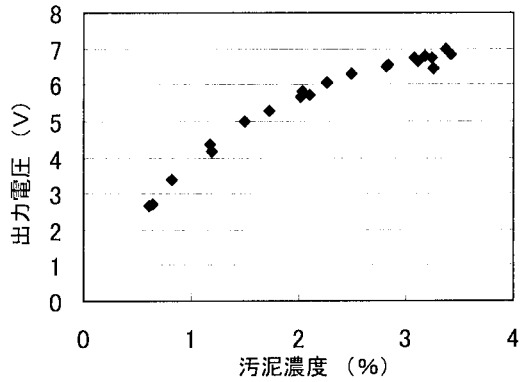


図-5 実汚泥による特性例 (ランダムタイプ)

2.5 光学系の改良と演算方法の検討

高濃度域までの直線性確保を目的に、図6に示したようなランダム構造の外周に補正用の受光ファイバを巻いた検出器を試作し、性状の異なる実汚泥を試料として特性データを取った。また、ランダム受光量 (R) と補正受光量 (C) の演算方法を検討し、汚泥濃度との直線性を評価した。

図-7にRおよびCの特性とR²/Cの演算値の特性例を示した。Rの特性に比較してR²/Cの演算値の特性は高濃度域まで直線性を示しており、かつ、性状の異なる汚泥に対して特性直線の傾きの差も小さい。従って、汚泥性状の変化に対して、影響を受けにくいと言える。

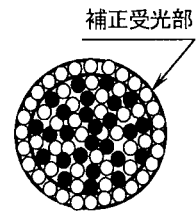
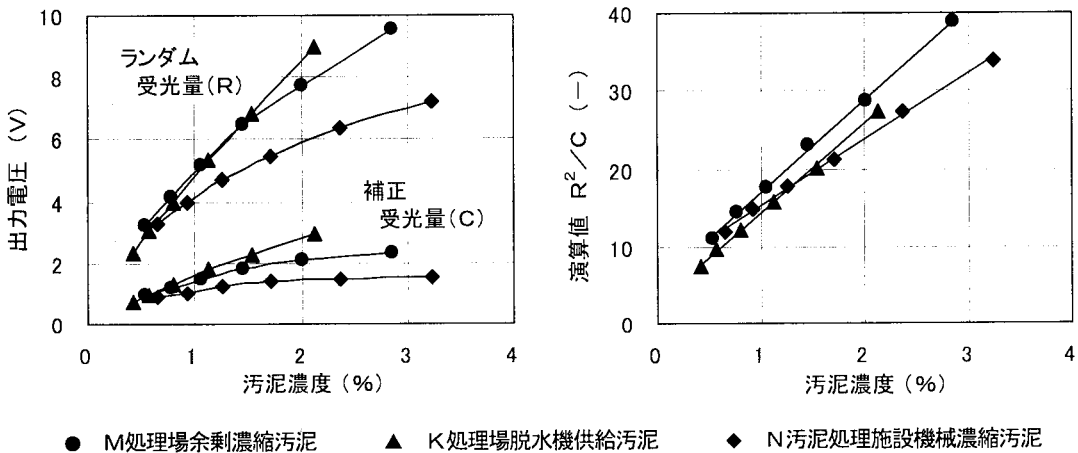


図-6 改良型センサ構造



● M処理場余剰濃縮汚泥 ▲ K処理場脱水機供給汚泥 ◆ N汚泥処理施設機械濃縮汚泥

図-7 改良型センサの受光量特性と演算値特性

R^2/C の演算式に式-1の実験式を当てはめると式-2のように表すことができる。

$$\frac{R^2}{C} = \frac{\alpha_R^2 \cdot I_0^2 \cdot S^2 \cdot \exp(-\beta \cdot 2L_R \cdot S)}{\alpha_C \cdot I_0 \cdot S \cdot \exp(-\beta \cdot L_C \cdot S)} \quad (\text{式-2})$$

ここで、ランダム受光部までの光路長 (L_R) と補正受光器までの光路長 (L_C) に $2L_R=L_C$ の関係が成り立っていれば、式-2は、式-3の様に変形でき汚泥濃度 (S) と直線関係を示すことが分かる。また、汚泥色などの性状で異なる定数 (β) が消去できるので、性状変化の影響を受けにくい。

$$\frac{R^2}{C} = \frac{\alpha_R^2 \cdot I_0^2 \cdot S^2}{\alpha_C \cdot I_0 \cdot S} = \frac{\alpha_R^2}{\alpha_C} \cdot I_0 \cdot S = a \cdot I_0 \cdot S \quad (\text{式-3})$$

3. フィールド評価試験

改良型センサを用いた試験器を東京都下水道局森ヶ崎水処理センターの余剰汚泥供給ラインおよび南部スラッジプラントの重力濃縮汚泥引抜ラインに設置してフィールド評価試験を行った。写真-1に試験器の設置の様子を示した。また、図-8に両試験器の出力トレンドと手分析値の比較データの例を示した。両者とも手分析値と良く一致した結果が得られた。

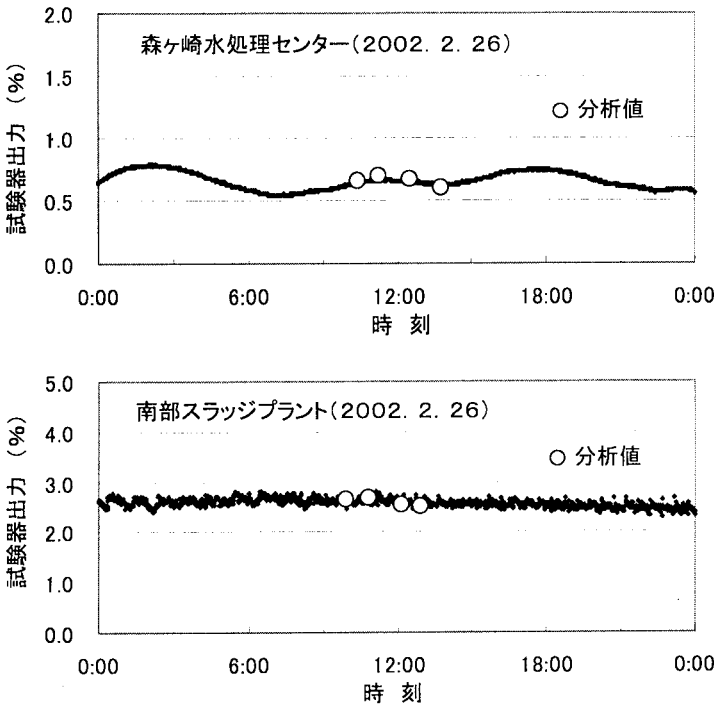
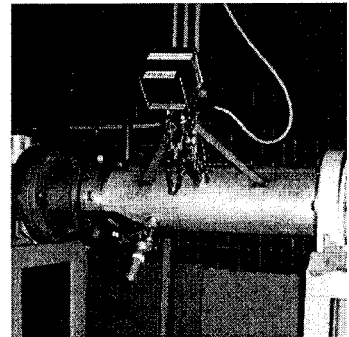
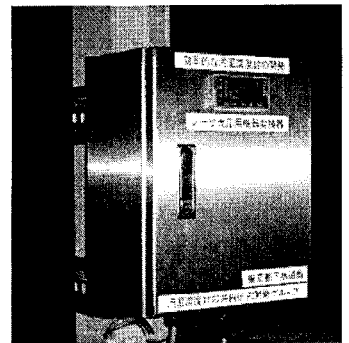


図-8 試験器の出力トレンドと手分析値の比較



センサ部



変換器

写真-1 試験器設置の様子

4. おわりに

本研究は、効率的な汚泥処理管理における設備費用及び管理費用の低減のため、①従来の汚泥濃度計より廉価な汚泥濃度計を開発する、②再現性を確保するという目標をほぼ実現できたと言える。今後の課題として、①測定精度および安定性の向上、②価格の徹底的見直し、③監視用から制御系への適用に向けて更なる追求をしていきたい。