

微生物画像計測情報による プロセス操作条件の適否診断システム

渡辺昭二*、馬場研二*、圓佛伊智朗*、松崎晴美*
平岡正勝**、津村和志**

* (株)日立製作所日立研究所
茨城県日立市久慈町4026

** 京都大学工学部衛生工学教室
京都市左京区吉田本町

概要

活性汚泥法による下水処理プロセスの運転管理にはオペレータの長年の経験的知識とノウハウが不可欠である。さらに、その処理性能は微生物群に依存しており、出現微生物相を考慮した管理が要求され、そのための運転支援システムが要望されている。筆者らは、まず、測定には多大な時間を要し、定性的な判断に頼っていた出現微生物相の定量化が不可欠と考え、画像処理を利用した計測技術を検討し、これまでに糸状性微生物及びフロック形成菌の両者を同時に計測する技術を確立している¹⁾。

一方、活性汚泥の出現微生物相は流入及び運転条件など様々な要因により変化する。換言すれば、微生物相の出現状態を把握することによりプロセス状態を評価できる期待がある。そこで、本論文では、汚泥性状の影響要因の1つである有機物負荷の変化に伴う微生物相の出現状態を画像計測した。その結果、糸状性微生物とフロック形成菌の画像計測情報で表現した指標で汚泥沈降性を評価でき、バルキングの予知が可能である。また、フロック個数とその粒径は有機物負荷あるいは空気量の適否判定に利用でき、フロック体積量でMLSSを予測できるなど、微生物画像計測情報によりプロセス操作条件の適否を診断できることを示した。

キーワード

下水処理プロセス 活性汚泥 糸状性微生物 フロック形成菌 画像処理 有機物負荷
汚泥沈降性 バルキング

1. 緒言

近年、食生活の変化や雨水、下水の分流化等が原因と目されるバルキングが各地で発生し、従来の水質情報による活性汚泥の活動環境を整備する方式に加えて、汚泥中に出現する微生物相を考慮した管理が重要視されている。これに伴い活性汚泥に棲息する糸状性微生物や原生動物の出現特性も徐々に解明されてきている²⁾。一方、活性汚泥の大部分をしめるフロック形成菌の形状も汚泥沈降性等に重要な役割を果たすとされ³⁾、これら出現微生物相はその環境条件の予測や選択すべき運転方式に対する有用な情報を持っている。

しかし、微生物相の出現量を迅速に定量化する手段がなく、微生物情報は十分に利用されていないのが実情である。活性汚泥の性状を正確に把握するには全体像を捉えて評価することが重要であり、本報では、小型連続実験装置を用いて有機物負荷を種々変化させてフロック形成菌と糸状性微生物を対象に画像計測し、汚泥の性状変化を評価した。

2. 実験装置及びその条件

図1に実験装置のフローを示す。実験装置は3系統からなり、各々の系統は10ℓの曝気槽と5ℓの沈澱池で構成されている。終末処理場の返送汚泥をグルコース、ペプトン、リン酸1カリウム等を主成分とする人工下水で馴致した後、表1に示す有機物負荷条件で実験した。実験は3期間から成り、各期間及び各系統の有機物負荷は流入基質濃度により変化させ、曝気空気量は常時一定とした。

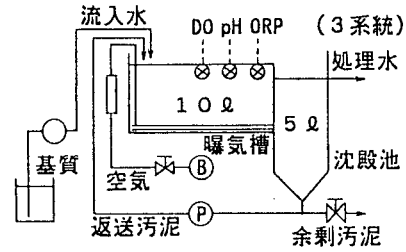


Fig. 1 実験装置のフロー

3. 計測方法

図2に示す画像処理システムを用いて活性汚泥のフロック形成菌及び糸状性微生物の特徴量を計測した。システムは汎用画像認識解析装置(HIDIC/IP)、画像装置の指令により自動的に操作されるXYステージ付光学顕微鏡、ITVカメラ、及びモニターTVから構成されている。

画像処理は曝気槽からマイクロピペットで直接採取した混合液25μℓを供試して作成したプレパラートを対物レンズ4倍の顕微鏡にセットし、図3に示す認識手順にしたがって実施した。2種類の微生物相はそれぞれの形状特徴を利用して認識している。

出力する画像計測情報は、糸状性微生物の長さと同様にフロック形成菌の形成フロック個数、粒径、及び体積等を対象とした。まず、糸状性微生物長F(m/mgSS)は次式で求めた。ここで、f;処理画面糸状部総画素数、A;試料全面積(mm²)、a;1画面の処理範囲(mm²/画面)、v;試料供試量、p;処理画面数、Sm;MLSS、ℓ;1画面の実長さ(μm/画素)。

$$F = \sum f \cdot A \cdot \ell \cdot 10^{-3} / a \cdot p \cdot v \cdot S_m \quad (1)$$

フロック数N(個/mgSS)は次式で求めた。ここで、n;処理画面のフロック総数である。

$$N = \sum n \cdot A \cdot 10^{-3} / a \cdot p \cdot v \cdot S_m \quad (2)$$

フロック粒径R(μm)は、まず、個々のフロック毎の画素数gを求め、その画素数と等価の円を仮定して算出したrとプレパラートの液厚t(μm)を考慮した(3)式で演算した。なお、液厚tより小さい径のフロックはrとした。

$$R = \{t(r-t)^2 + \pi \cdot t^2(r-t)\}^{1/3} \quad (3)$$

$$\text{ここで、 } r = (4 \cdot g \cdot a' / \pi)^{1/4}$$

さらに、フロック体積V(mℓ)は次式により1ℓに存在するフロック量で表わした。

$$V = \sum R^3 \cdot \pi \cdot A / 6a \cdot p \cdot v \quad (4)$$

また、MLSSとSVIは下水道試験法により、DO、pH及びORPは状態監視のために連続監視した。

Table1 実験条件

項目	名称 単位	A系統			B系統			C系統		
		期間I	期間II	期間III	期間I	期間II	期間III	期間I	期間II	期間III
流入水量	ℓ/h	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
流入基質濃度	mgCOD/ℓ	170	50	200	85	170	335	42	250	125
有機物負荷	gCOD/gSS/d	0.180	0.065	0.260	0.115	0.150	0.360	0.075	0.300	0.150
曝気空気量	ℓ/h	75	75	75	75	75	75	75	75	75
MLDO	mg/ℓ	6.4	8.2	5.4	7.1	6.8	4.3	8.2	5.1	-

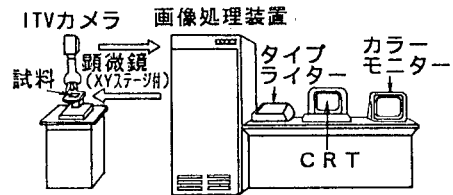


Fig. 2 画像処理システムの構成

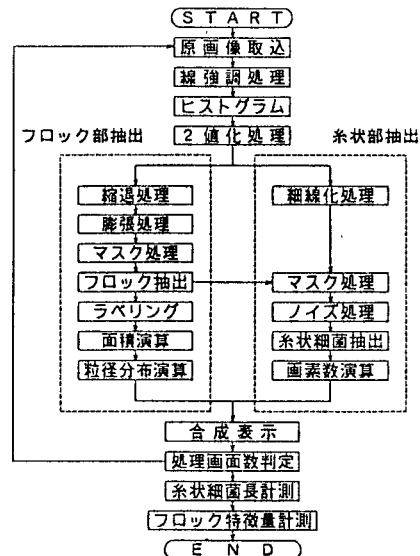


Fig. 3 活性汚泥微生物の画像計測手順

4. 実験結果及び考察

4.1 汚泥性状に対する有機物負荷の影響

汚泥性状の経日変化

図4に有機物負荷の変動に伴う汚泥性状の経日変化を、SVI、糸状性微生物長、及びフロック数を対象に示す。図中の矢印は負荷変更した日を意味し、各期間において表1の設定値を維持させた。この図から、汚泥性状は各期間毎に変化傾向が異なっており、また、各系統でも大きく変化している。

このことは有機物負荷が活性汚泥の性状を変化させる要因になっていることを示唆している。

汚泥沈降性への影響 図5に各運転期間最終日における有機物負荷とSVI及び糸状性微生物長

を示す。この図から、SVIと糸状性微生物長は相関傾向にあり、その関係は有機物負荷が低くても高くても増加し、両者が低値となる沈降性の良好な汚泥を形成する有機物負荷の適正範囲が存在している。なお、沈降性が悪くなる低有機物負荷時と高負荷時とはタイプの異なる糸状性微生物の増殖が認められた。

フロックへの影響 図6に有機物負荷時とフロック数の関係を示す。フロック数は低負荷時に多く、負荷が高くなるに連れて減少する傾向にある。このフロック数は単位汚泥量当りの個数であることから、有機物負荷の増加に伴いフロックが大きくなることを意味する。また、本実験において空気量は常時一定であるため、低負荷時にフロック数が増加するのはDOが高く、過剰曝気の影響もあるものと考えられる。このことから、フロック数あるいはその粒径は有機物負荷及び空気量の運転条件を反映しており、運転条件の診断に利用できることを示している。

4.2 汚泥沈降性の評価

Sezginは、出現微生物相のうち糸状性微生物とフロック形成菌は汚泥沈降性の管理指標としても有用としている³⁾。また、Robinsonは、懸濁物質の界面沈降速度 u はその粒径 d 、密度差 $\Delta\rho$ 及び粘度 μ で表わす次式を提案している⁴⁾。

$$u = k \cdot d^2 \cdot \Delta\rho / \mu \quad (5)$$

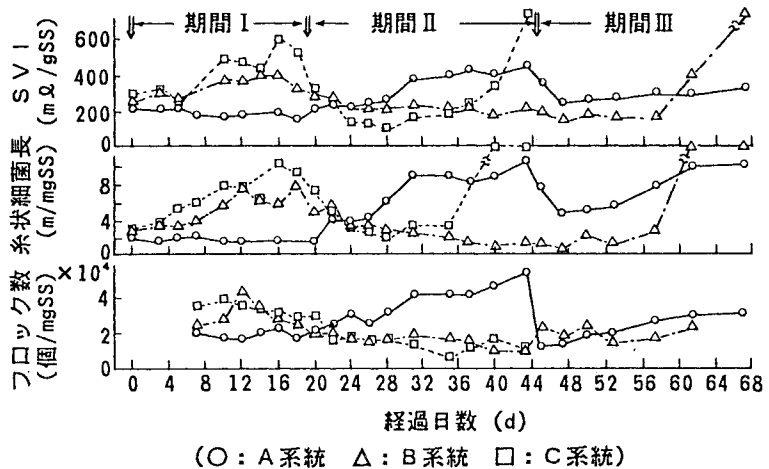


Fig. 4 有機物変化に伴う活性汚泥性状の経日変化

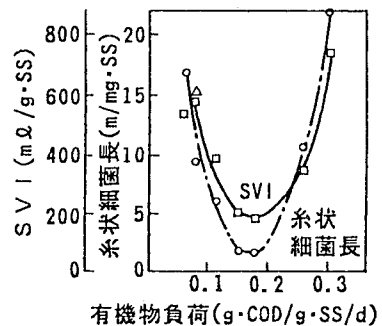


Fig. 5 汚泥沈降性と有機物負荷の関係

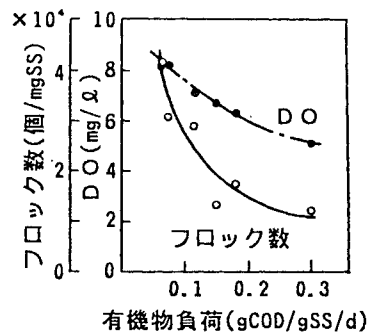


Fig. 6 フロック個数と有機物負荷の関係

一方、活性汚泥の沈降速度は SV_{30} を用いて1時間単位とする次式で表わすことができる。ここで、 A' は測定容器の断面積である。(6)式を SVI で表示すると(7)が得られる。

$$u = 20(100 - SV_{30})/A' \quad (6)$$

$$SVI = -k_1 \cdot u + b \quad (7)$$

$$(k_1 = 500A'/S_m, b = 10^4/S_m)$$

ところで、糸状性微生物はフロックの相互凝集を妨害し、摩擦抵抗を増加させる役割、すなわち粘性を高める効果と、フロック形成菌外への突出量に対応して見かけ密度を低下させる役割を持ち、その割合はフロック量に対する糸状性微生物長で表わせるものと考えられる。従って(5)式は右辺因子を微生物画像計測情報で置換した(8)式で表わすことができ、(7)式の関係から SVI を評価できる期待がある。

$$u = k_2 \cdot R^2/(F/V) \quad (8)$$

図7に糸状性微生物とフロック形成菌の画像情報のみで構成した指標($R^2/(F/V)$)と SVI の関係を整理した。この図から、両者は強い相関があり、(7)式と同形式で表現できることが示された。また、指標の変化に対して SVI の変化が非常に小さい一定域が存在し、この SVI 一定域はバルキングとならない沈降性の良好な範囲で形成されている。この結果は画像情報で表現した指標により汚泥沈降性を評価でき、かつ、その増減傾向を監視すればバルキングを早期に予知できることを示す。

4.3 MLSSの評価

MLSSは懸濁物質質量であり、画像計測はこの懸濁物質を対象としていることから、MLSSと画像計測値の間には相関々係があるものと予想された。図8は、画像計測情報である1 μ l中に存在するフロック体積量 V を指標としてMLSSの関係を整理した結果で、若干のバラツキはあるが両者は1次相関することがわかる。この関係は、フロック体積を画像計測で求めることによりMLSSの予測が可能で、MLSS計の故障診断情報として利用できることを示唆している。なお、両者のバラツキはフロックの凝集状態を反映する輝度情報を考慮することにより改善可能である。

5. 結 言

活性汚泥の観察情報を運転管理に反映させる目的で、有機物負荷変化に伴う微生物の出現量を画像計測した結果、1)糸状性微生物とフロック形成菌の画像計測情報で表現した指標で汚泥沈降性を評価でき、バルキングの予知が可能である。2)フロック個数は有機物負荷あるいは空気量の影響を受け、操作量の判定に利用できる。3)フロック体積量でMLSSを予測できる。など、微生物画像計測情報がプロセス状態及び操作条件の適否診断に応用できることが示された。

<参考文献> 1)k.Tsumura, et al.(1985); Digital image processing for measuring the length of filamentous microorganisms in activated sludge, IAWPRC, 741-744 2)P.F.Strom, et al.(1984); Identification and significance of filamentous microorganisms in activated sludge, Jour.WPCF, 56, 5, 449-459 3)M.Sezgin, et al.(1978); A unified theory of filamentous activated sludge, Jour.WPCF, 50, 2, 362-381 4)Robinson, C.S.(1926); Ind. Eng. Chem., 18, 869

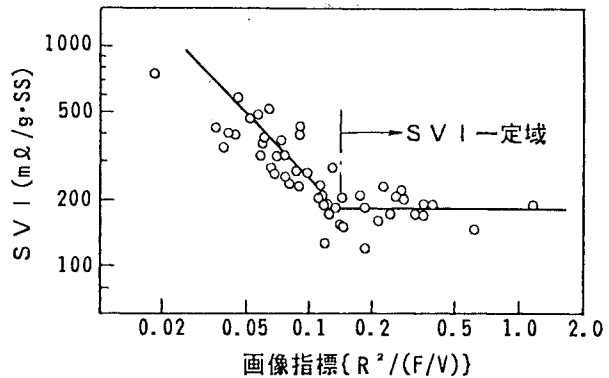


Fig. 7 画像指標($R^2/(F/V)$)と SVI の関係

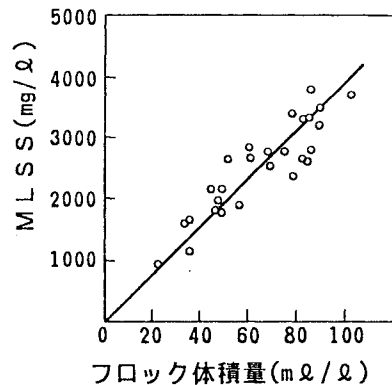


Fig. 8 フロック体積量とMLSSの関係