

活性汚泥微生物の画像認識による下水処理の制御

Sewage Treatment Process Control based on Image Recognition of Microorganisms

鈴木一如

(株) 荏原製作所 情報・通信・制御事業本部 制御システム事業部/東京都港区港南 1-6-27

KAZUYUKI SUZUKI

Electric & Control Systems Engineering Division, Strategic Information,
Communication & Control Systems Group /1-6-27, Kohnan, Minato-ku,
Tokyo 108-8480 Japan

ABSTRACT

As one of the indices for good operation of activated sludge sewage treatment processes, observations of microorganisms by a microscope are widely applied. Recently, lack of professional operators with sufficient knowledge on microorganisms has become a serious problem as treatment processes have widely been spreaded in this country. This paper presents a supporting method for evaluation of good or bad phase of the activated sludge microorganisms utilizing an image recognition technique. This method includes two algorithms. One is the separation and quantitative algorithm of each of the floc-forming microorganisms and the filamentous microorganisms from the mixed liquor suspended sludge. The other is the evaluation algorithm of compactness of the floc that influences the settlability of it. As a result of investigating many actual sludge, the effectiveness of the method was proved for evaluating the settlability of the activated sludge together with the usual index SVI. This method can be applied to the diagnosis of the state of the process or the automatic control.

Key Words : sewage treatment process , activated sludge microorganisms , image recognition , compactness of floc , filamentous bacteria

1 はじめに

都市下水処理プロセスは、活性汚泥法と呼ばれる好気性微生物による処理が主流である。この活性汚泥下水処理プロセスは、

- (1) 開放系、混合微生物系であり、生物反応や酸素吸収など操作変数・状態変数間の因果関係が複雑でプロセスの理論的解析が遅れている。
- (2) 系の状態を統一的に表現する指標が無い上、基本的な状態変数を直接検出できるセンサが少く、また検出可能であっても信頼性に乏しいものが多い。
- (3) 原水の水質、水量等の変動(外乱)が大きい。また通常、供用開始時から計画水量が流入する

ことは少く、供用開始時から計画水量流入時まで長期間変則運転を強いられる事が多い。

- (4) 装置規模が大きい上、耐久構造物のため容量等を容易に変更できず、制御動作に設備的制約を受ける。
- (5) 処理設備ごとに特性がある上、運転経験に関する情報の整理、交流が遅れている。

など、自動制御システムを計画する上で困難となる特徴を持つため、現在でもなおほとんど人手に頼った運転がなされているプロセスである。

この下水処理プロセスの心臓部が微生物処理工程であることから、運転管理のポイントはこの工程の制御にあり、

- (ア) 微生物に対する負荷条件の制御

(イ) 微生物の働く環境条件の制御

に注意が払われているが、(ア)に関しては、流入下水の量、質を調整するのが事実上不可能なため、ほとんど実用化されておらず、わずかに(イ)について、センサの発達により可能となったMLDO(ばっ気槽内混合液溶存酸素濃度)の定値制御などが一部実用化されているに過ぎないのが現状である。

活性汚泥プロセスの動力学モデル¹⁾や統計モデル(重回帰モデル²⁾、ARモデル³⁾、GMDHモデル⁴⁾、ファジィモデル⁵⁾を同定し、自動制御系を設計しようとする研究もなされているが、モデルの精度や汎用性、モデルの再構築性など実用化にはまだ多くの課題がある。

今後、下水道の普及が地方へと進んでいくにつれて、優秀な運転技術者を持っていないことが問題化しつつあり、この意味からも下水処理の自動制御化、運転管理の高度化に寄せる期待は非常に大きいものがある。このため、自動制御研究⁶⁾とともに運転管理の支援を旨とするエキスパートシステムの研究⁷⁾も盛んになりつつある。

2 微生物相によるプロセス制御

活性汚泥下水処理プロセスの運転管理指標の一つとして、従来ばっ気槽内活性汚泥微生物群の顕微鏡観察結果が用いられてきた⁸⁾。活性汚泥処理の要件が、

(ア) 汚濁物の安定した除去

(イ) 活性汚泥の完全な沈殿分離

にあることから、(ア)に関してはその指標としての原生動物、(イ)に関しては沈殿分離を妨害する糸状菌に焦点を当て、ばっ気槽内活性汚泥微生物群中へのこれらの出現状況から、プロセスの運転条件の適否を判断しようとするものである。各処理設備では、微生物に関する専門的知識を有する技術者を養成し、対処してきたが、処理設備の普及につれて専門技術者の不足が問題になってきている。そこで、近年のコンピュータ技術、画像処理技術を援用してこれを代行させることで、省力化を図るとともに、運転管理の高度化へと進めていこうという、研究開発が進められるようになってきた。

津村らは、糸状菌がフロックと背景の中間輝度を示すとして、上下しきい値処理により、この部分を抽出し、糸状菌の長さを計測している^{9, 10)}。さらにこれに、原生動物を分離抽出するアルゴリズムを加えて3者を分離抽出する画像処理アルゴリズムを開発している^{11, 12)}。また、全国51処理場の糸状菌の長さを計測し、SVIとの関係を議論している¹³⁾。この研究は、エキスパートシステムを用いた糸状性微生物同定支援システムの開発へと発展している¹⁴⁾。

一方、古沢らは、活性汚泥に出現する原生動物のうち、処理状態が良好な時に出現することから処理状態判定の指標と目されているボルティセラに注目し、これを抽出し識別する画像処理アルゴリズムについて検討している^{15, 16)}。

伊藤らは、微生物のオンライン観察のための水中浸漬型顕微鏡を開発して実験を行っている。得られた画像から活性汚泥フロックを消去した残りの部分の透明度を表わす汚濁指標を定義して処理の評価を行うとともに、糸状菌を分離抽出し、手計測値と比較して抽出率を検討している¹⁷⁾。また、市川らは、あらかじめ指標生物について作成しておいた形状モデルパターンとのマッチングによる同定を検討し、輪虫類、珪藻についての当てはめを行っている¹⁸⁾。

このように微生物相の判定に画像処理技術を援用する研究は少なからず進められてきているが尚、

- (1) 突発するバルキング(活性汚泥の異常膨化現象)の予兆の察知に関しては、糸状菌によるバルキングは、その存在量の観測により可能となろうが、その他の原因によるバルキングについては、現在まだ未検討の課題である点。
- (2) 処理の良否判定の十分条件である原生動物の出現に関しては、定量性に関する検討が不十分で、かつ必要条件であるか否かに関しても検討不十分である点。

などの課題を抱えており、新規な発想と知見に基づいた解決策が求められる分野となっている。

本研究は、画像処理により活性汚泥を構成するフロック形成菌と糸状菌を分離抽出し、それぞれ面積もしくは体積あるいは総延長を計測して定量化することを基本としつつ、活性汚泥の沈降分離が活性汚泥中の糸状菌量だけでなく、形成したフロックの稠密性(集合分散の程度)によっても支配されると考

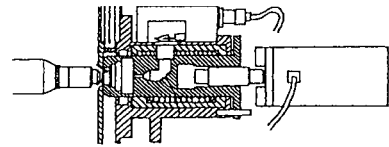
え、これを画像処理により認識、計測する手法を提案するものである^{19, 20)}。

3 活性汚泥微生物の画像認識

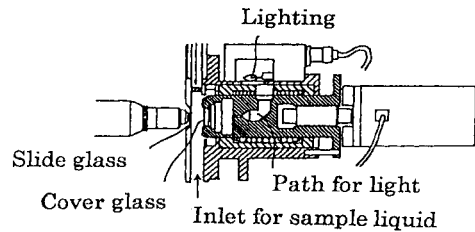
3.1 水中浸漬型微生物モニタ

ばつ気槽内活性汚泥微生物群の状態を、ありのままにかつ画像処理に適した高精度高解像度の映像として撮影するためのモニタを開発した²¹⁾。内部構造をFig.1に示すように、ユニット駆動モータによって駆動されるユニット (Fig.1の密なハッチング部分) とサンプル室で構成される自動プレパラータ機構、ピストン駆動モータによって駆動されるピストン (Fig.1の中空軸およびワイパで構成) を主構造とする自動サンプリング機構、ワイパと必要に応じて供給される洗浄剤から成る洗浄機構を組み込んでおり、それぞれの駆動機構はパーソナルコンピュータによって制御されている。動作の概要は以下の通りである。

- (1) ピストン駆動モータにより洗浄ピストンが降下し、サンプル室内の旧サンプルを排出する。この時ピストン先端部のワイパによりサンプル室内が洗浄される。同時に洗浄剤をモニタ外部から中空軸経由で噴射しつつ行っても良い。
- (2) 続いてピストンが上昇し、新しいサンプルがストレーナを経由して“水鉄砲”式にサンプル室内に導入される。
- (3) ピストンの停止に続いてユニット駆動モータが集光装置、光案内通路を含むユニットをサンプル室内に押し出し、集光装置先端部に配備したカバーガラス (Fig.2参照) と、対向する位置に配備されている観察窓 (Fig.1参照、Fig.2ではスライドグラスと表示) との微小間隙に微生物を含むサンプルを固定する。この移動距離は光源からの光が集光装置の光路軸に導入されるよう設定されている (Fig.2 (A))。また、顕微鏡 (Fig.1の光学的映像拡大装置) の焦点は、Fig.2 (A) で固定されたサンプルに結ばれるよう、あらかじめ Fig.1の光学的映像拡大装置および工業用テレビカメラを搭載する台車を移動して調節されている。



(A) Under observation state



(B) Under non-observation state

Fig.2 Monitor under observation and non-observation state

- (4) 固定された微生物像を光学的映像拡大装置および工業用テレビカメラを通して撮影し、画像処理装置に伝送する。
- (5) 撮像後、駆動モータによりユニットは元の位置まで後退し (Fig.2 (B))、(1) ~ (5) の工程を繰り返す。

Fig.3にモニタの運用形態の一例を示す。モニタは、ばつ気槽中に浸漬されており、モニタ制御装置、情報処理装置、画像処理装置などと接続している。このシステムを設備することにより、活性汚泥微生物の相状態の収集・判定をリアルタイムに行い、下水処理プロセスの運転条件の変更、管理情報の保存あるいは上位計算機またはプロセス制御装置を介して自動制御に利用するなど、微生物情報の効果的利用を図ることができる。

3.2 画像認識の手順

下水処理微生物の状態評価のため開発したブロック面積、糸状菌長およびブロック稠密性の計測・判定手順を Fig.4 に示す²²⁾。

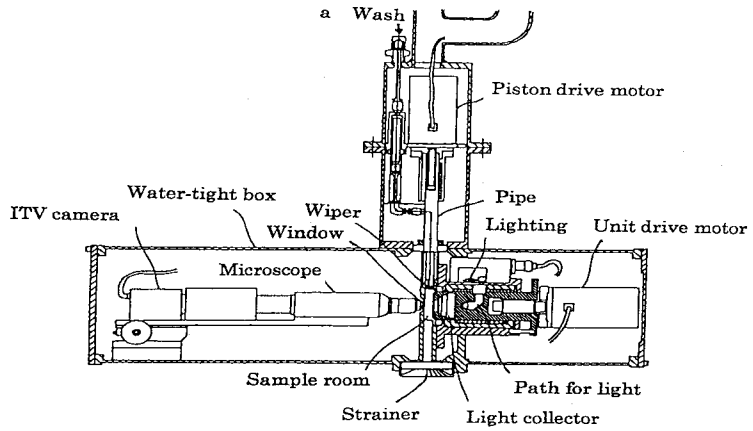


Fig.1 Structure of the submerged monitor for microorganisms

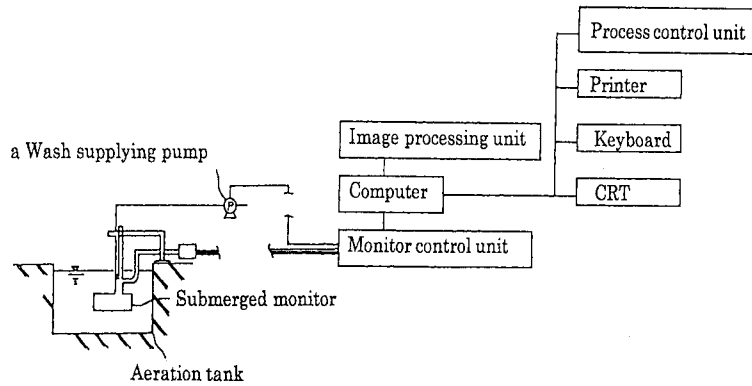


Fig.3 Installation example of the monitor

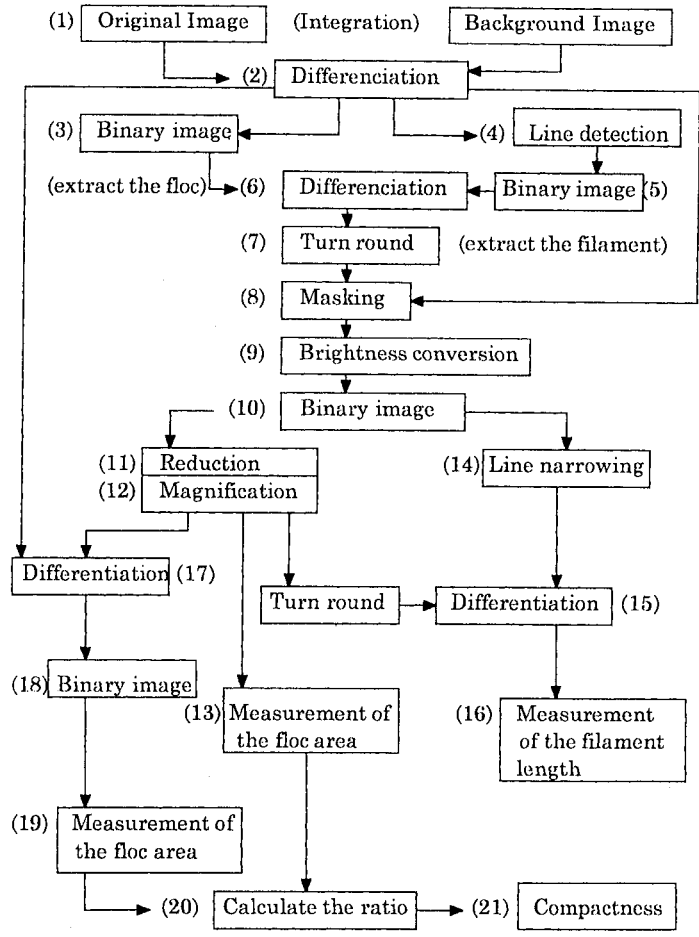


Fig.4 Image recognition procedure of microorganisms

3.2.1 フロック面積、糸状菌長の計測手順

(1) 入力画像の前処理

モニタで撮影された映像はノッチフィルタでカラー信号成分を除去した後、A/D変換してデジタル画像データとして画像処理装置に取り込む。Fig.5に原画像および輝度プロファイルの例を示す。このような撮像過程で混入する電気的ノイズを除去するため積分入力を行っている。また、照明ムラ、プレパラート、カバーガラスおよび撮像経路の物理的ノイズは、蒸留水画像を背景画像とし、試料画像から差し引くことで除去している。さらに、得られた画像に対し平滑処理を行って、画像の一層の良質化を図っている (Fig.4の工程(1)(2))。

(2) フロック部の抽出

前記で得られた画像を2値化処理し、フロック部分を抽出する (工程(3))。

(3) 糸状部の抽出 (線検出処理)

この段階で得られる画像の輝度値ヒストグラムは大別して、背景を構成するピークと活性汚泥微生物相に相当するなだらかな部分とから構成されたものとなる。この段階での2値化は、背景のノイズに相当する中間輝度の画素が背景部分と微生物部分との中間を埋めてしまうことになり、対象の抽出は困難である。このように中間輝度を持つ背景のノイズが、背景の一部として点在している場合には、背景のノイズに関係なく対象を抽出する方法としてマスク処理が有効である。ここでは、ぼんやりと写っている線分を強調して抽出するのに効果の高いラプリアンオペレータ²³⁾を用いてフィルタを作成している。線特長を抽出するため、糸状菌の伸びている方向について東西南北とそれらの中間方向など12方向の線特長を強調するフィルタリング演算を行い、それぞれの画像を足し合わせて線特長を抽出した画像を得る。これを2値化し、糸状菌部分を抽出する (工程(4)~(8))。

(4) フロック、糸状菌の分離

2値化処理を行いフロック部分と糸状菌部分を分離抽出する (工程(10))。

(5) フロック部の抽出

画素の縮小拡大処理により糸状菌を消去し、フロック部分を抽出する (工程(11)(12))。

(6) フロック面積の算出

フロック面積はフロック部の占有する総画素数×画素間単位面積とし、視野全面積に対する割合として求める (工程(19))。

(7) 糸状部の抽出

細線化処理を施した画像からフロック画像を差し引き、糸状菌部分を抽出する (工程(14)(15))。

(8) 糸状菌長の計測糸状菌長の計測 (工程(16))は、全体の1/2量を水平または垂直方向とみなし、1/2量を45度傾斜方向とみなしての画素数×画素間距離(2.59 μm)の演算によって行っている。

3.2.2 フロック稠密性の評価手法

活性汚泥フロックの集合・分散の度合い (稠密性) は、Fig.6に示すように、フロック内部へ向かう輝度プロファイルとして現われることに着目し、原画像を所定の複数の2値化レベルで2値化して求めたフロック面積を、工程(19)で求めたフロック面積と比較することにより判定した (工程(20)(21))。即ち稠

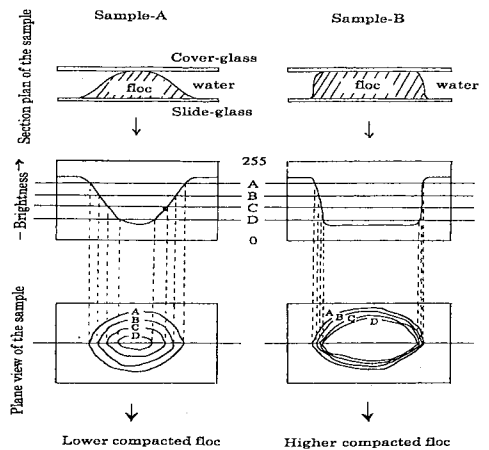


Fig.6 Evaluation method of floc compactness

密性の低いフロックを含むサンプル A は 2 値化レベ

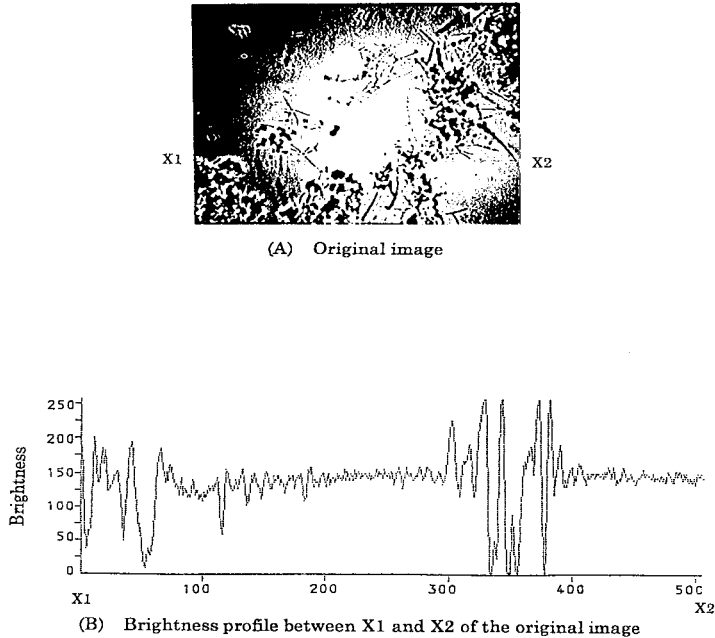


Fig.5 Original image and its brightness profile

ルを変化させた時のブロック面積の変化率が大きい
のに対して、稠密性の高いブロックを含むサンプル
B では変化率が小さい現象を利用したものである。

4 供試試料および試験装置・試験方法

4.1 供試試料

画像処理の対象とした試料は、下記3種の下水処理プラントの、いずれもばっ気槽から採集した混合液である。

- ア. 社宅下水を処理する標準活性汚泥法実験プラント (以下、実験装置と表記)
- イ. 社宅下水を処理する長時間ばっ気活性汚泥法処理プラント (以下、実装置 A と表記)
- ウ. 都市下水を処理する全国 32 カ所の下水処理プラント (内の 1 カ所を以下、実装置 B と表記)

4.2 試験装置と試験方法

試料は、無希釈で 0.025ml をプレパラート上に取り、透過光型顕微鏡 (オリンパス光学製 Model BH-2 型) で観察した。対物レンズ、中間レンズの拡大倍率はそれぞれ 4 倍、1.24 倍とし、拡大された影像を CCD カラーテレビカメラ (島津理化学器械製 CTV-270 型) により撮像したものを、ノッチフィルターでカラー信号成分を除去した後、A/D 変換してデジタル画像データとして画像処理装置 (ピアス製 PIAS-2 またはネクサス製 NEXUS) に取り込み処理した。また、プレパラート、カバーガラスおよび撮像系のノイズは、蒸留水画像と試料画像との差分を取ることで除去した。

計測結果の評価は、活性汚泥微生物の観察に経験の深い専門家複数人の手計測との比較により行なった。手計測は、ブロック、糸状菌の分離処理、計測前の最終 2 値化画像について、原画像の写真と見比べながら、糸状菌についてはキルピメータによるトレースにより、ブロック面積については、デジタイザによる輪郭部のトレース結果より算出した。認識計測の対象とする活性汚泥微生物の顕微鏡像は、背

景との境界が不鮮明な上、焦点ボケや照明ムラ、2重写りなどがあり、通常は、熟練した専門家の技術に頼ってこれらの条件が設定されている。本研究では、観察者の違いによる画像処理結果への影響を排除し、汎用性を高めるため、3人の専門家を選び、像の認識過程の共通化を図った上で試験を行っている。

5 試験結果と考察

(1) 入力画像の前処理

撮像過程で混入する電氣的ノイズを除去するための積分処理を背景画像について検討した。積分処理の回数を増すにつれて画素間の輝度値のバラ付きは小さくなっていく。これは、時間的に変動する成分が画像を積分する処理により除去されてゆくことを示している。背景画像なので、積分回数を増やせば、それぞれの画素の輝度値は、ある値に収束してゆくと考えられるが、10回以上では40回に至っても大幅な改善は見られなかった。このため、積分処理は10回に留め、なお残留するノイズの除去は、後述するマスク処理に委ねることとした。原画像および背景画像について同様の処理を行ない、原画像から背景画像を差し引くことで照明ムラおよび撮像経路の物理的ノイズを除去した（但し、演算は背景画像の輝度値から原画像の輝度値を差し引いて反転画像を得る演算とした）。さらに、得られた画像に対し、加重係数 $1/9$ の 3×3 フィルタを用いた平滑処理を行って、画像の一層の良質化を図った。

(2) 糸状部の検出（線検出処理）

3.2.1 (3) で述べたラプラスアンオペレータの基本形は、 3×3 としたが、加重係数を $1/9$ として工程(2)の差画像に作用させると、糸状部の画素値は大きくなるものの、値はバラつき糸状部の特徴がそのまま強調された形にはならないため、このままでフィルタとして使用すると原画像を崩すことになり好ましくない。そこで、糸状菌の幅の画素数が3ないし4画素であること、さらに局所的な画素の変化を避けることを考慮して、Fig.7の 9×9 フィルタを作成した。フィルタは糸状菌の延びている方向を考慮して12枚を用意し（Fig.7のフィルタの例では左下から右上に伸びる方向にある糸状菌が強調されて抽出される）、これらを重ね合わせた。重ね合わせは、各

-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	2/9	2/9	2/9
-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	2/9	2/9	2/9
-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	2/9	2/9	2/9
-1/9	-1/9	-1/9	2/9	2/9	2/9	-1/9	-1/9	-1/9
-1/9	-1/9	-1/9	2/9	2/9	2/9	-1/9	-1/9	-1/9
-1/9	-1/9	-1/9	2/9	2/9	2/9	-1/9	-1/9	-1/9
2/9	2/9	2/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9
2/9	2/9	2/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9
2/9	2/9	2/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9	-1/9

Fig.7 A laplacian operator

方向ごとに強調・抽出されたそれぞれの画素値を2進数でOR論理演算することにより全体画像に合成した。重ね合わせ後の画像を2値化してFig.4の工程(8)のマスク画像とした。

(3) フロック部の抽出

縮小拡大処理は4近傍につき3回が適当であった。

(4) 手計測値との比較

Fig.8,9は異なった処理プラントについての画像処理の事例を2例ずつ示したもので、Fig.8は稠密度の低い活性汚泥の例、Fig.9は、稠密度の高い活性汚泥の例である。上から順に活性汚泥の写真（原画像）、原画像の2値化処理画像、フロック部分の抽出画像、糸状菌の抽出画像を示している。いずれの例も原画像を損なわずにフロック、糸状菌の分離・抽出が行われていることが分かる。

Fig.10,11はフロック面積、糸状菌長について、画像計測処理結果を手計測値と比較したものである。3種類のプラントの複数のいずれのサンプルについても、高い精度で画像計測処理が行われていることが分かる。実装置(A)、(B)を比較すると、(A)はフロック面積、糸状菌長とも(B)に比べて小さく、疎な汚泥性状を示している。出現している糸状菌は、活性汚泥法下水処理のバルキング原因微生物として多く観察されているType1701であるが、この画像認識アルゴリズムにより効果的に計測されており、糸状性バルキング現象の認識・回避に役立て得る可能性を示している。

(5) フロック稠密性の認識結果

Fig.12は3.2.2項で述べた複数の2値化処理レベルに対するフロック面積の占有率（全視野面積に対

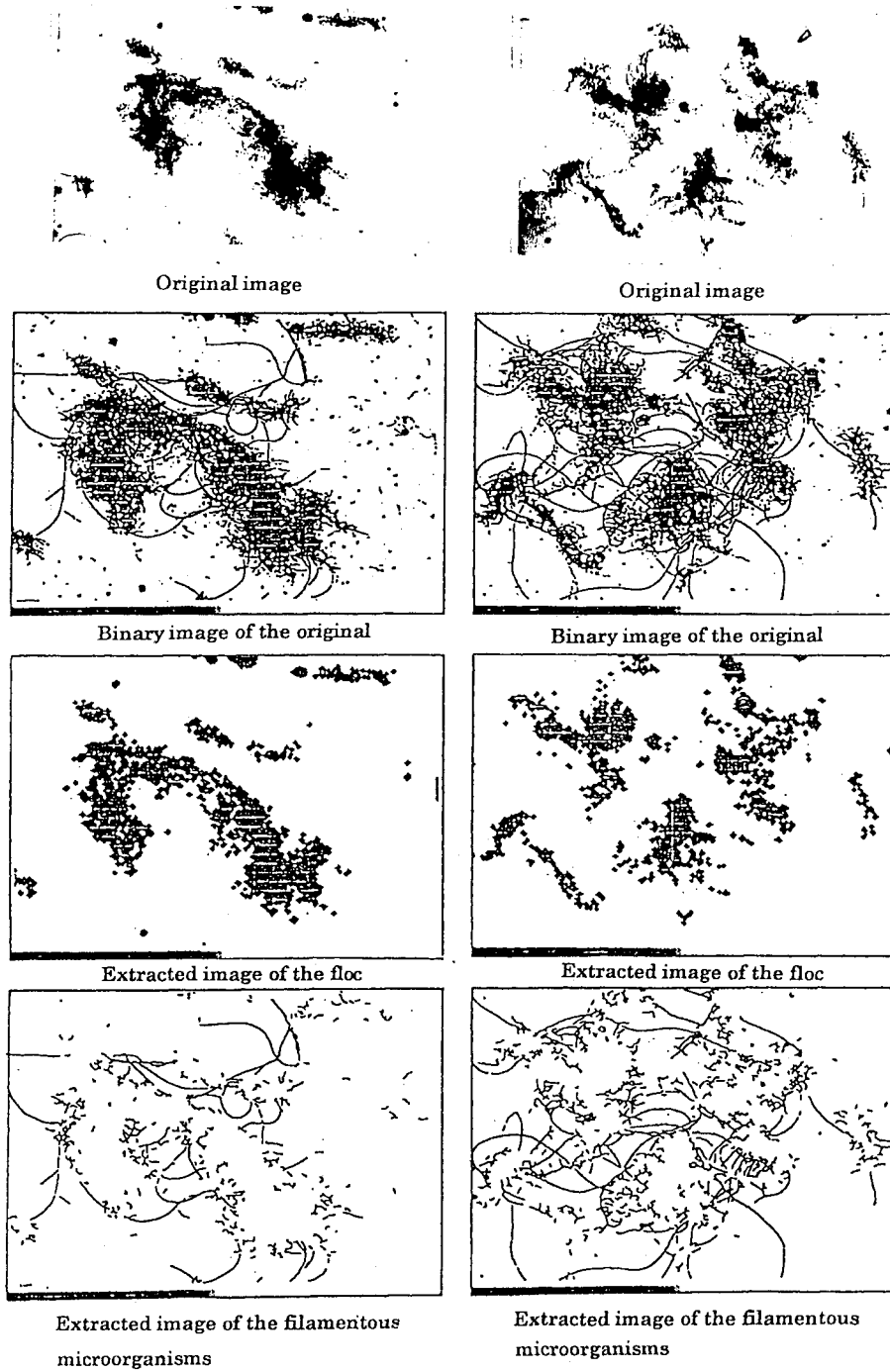


Fig.8 Example (1) of image recognition of microorganisms

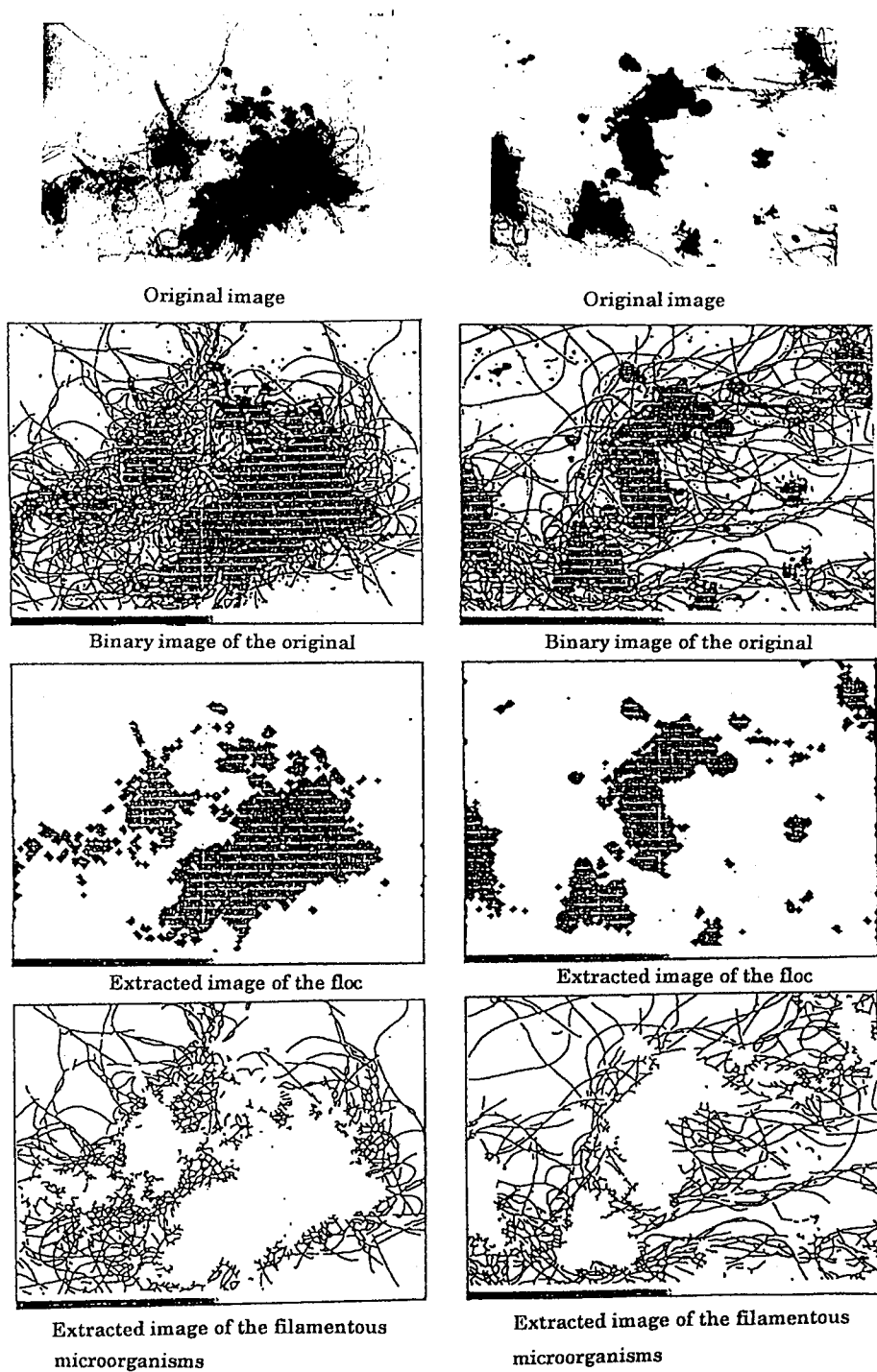


Fig.9 Example (2) of image recognition of microorganisms

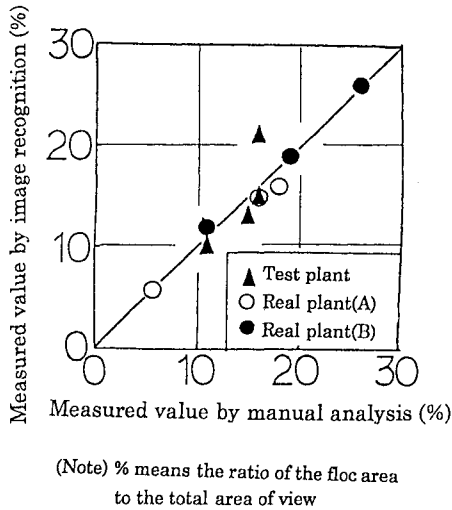


Fig. 10 Comparison of floc-covered area by image recognition with manual analysis

するフロック部面積の占める割合)を異なる3サンプルについて求め平均値を示した例である。2値化

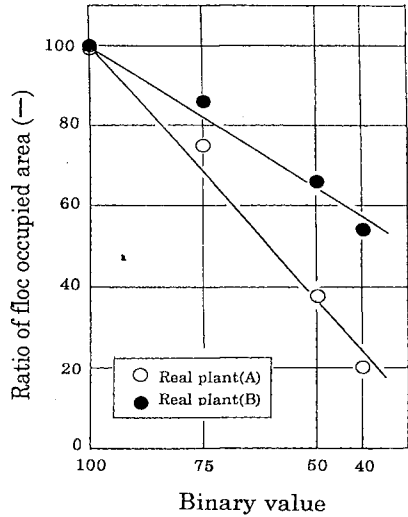


Fig. 12 Example of floc compactness analysis

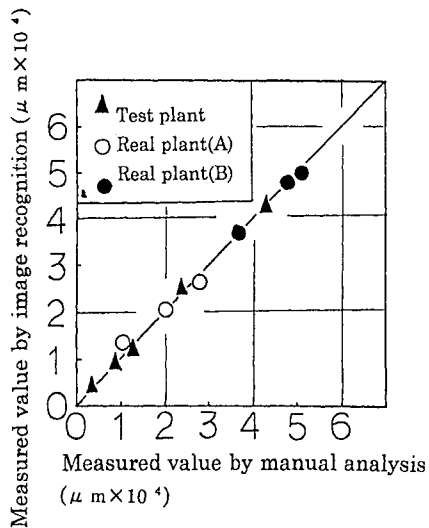


Fig. 11 Comparison of length of filamentous microorganisms by image recognition with manual analysis

レベルを100とした時(輝度が0から100までを0とし、101から255までを255とする)のフロック占有率を100とし、2値化レベルを変えた時の占有率の2値化レベル100の場合の占有率100に対する比率として表示したものである。2値化レベルを小さくしてゆくと、前記の如く疎な汚泥性状を持つ実装置(A)の比率は、密な汚泥性状を持つ実装置(B)の比率に比べて大きく低下してゆく。これを直線の傾きとして表現すると、それぞれ(A) 1.38, (B) 0.77(単位:フロック面積の占有率比の変化量/2値化レベル変化量)となって明らかな違いが得られた。本研究では、この直線の傾きをフロック稠密性と定義する。この結果は、フロック内部に至るまでの微生物の集合の程度(稠密性)を占有率直線の傾きとして定量表現できることを示唆している。

Fig. 13は、10カ所の下水処理場の活性汚泥について、Fig. 12と同様に2値化レベルに対するフロック面積の占有率比直線として示したものである。直線の傾き(稠密性)は様々で、活性汚泥の沈降特性が様々に異なっていることが分かる。Fig. 14は、この直線の傾きとSVIとの関係を示したものである。傾きの

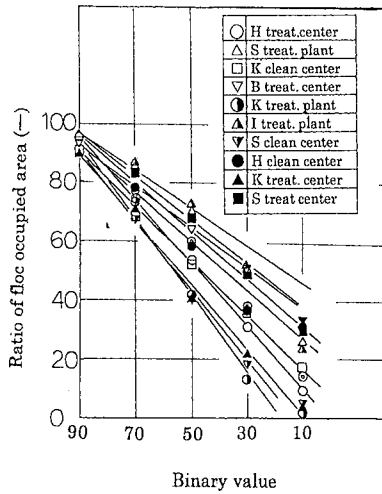


Fig.13 Floc compactness of various activated sludge

大きさと SVI が一定の相関を持つことが示されており、この傾きを計測することで沈降特性を推定することができることが示されている。Fig.13 で傾きの比較的大きな K 水処理センター (K treat.center)、H 浄化センター (H treat.center) の SVI は Fig.14 のように大きく、逆に Fig.13 で傾きの比較的小さな S 終末処理場 (S treat.plant)、B 浄化センター (B treat.center)、I 市終末処理場 (I treat.plant) の SVI は Fig.14 のように小さく検出されており、この方法でフロックの稠密性を評価できることが分かる。

(6) 糸状菌長と SVI

Fig.12 で、両サンプルの沈降分離特性を表す汚泥容量指標 (SVI) は実装置 (A) が 701, (B) が 190 (ml/g) であった。Fig.11 に示す如く糸状菌量が多い実装置 (B) の方がはるかに低い SVI 値が得られているいて、必ずしも糸状菌量の多少が SVI を支配しているものではないことが判明した。

Fig.15 は、糸状細菌長と SVI の関係を示したものである。従来報告されている結果と同様の相関があることが示されており²⁴⁾、糸状菌量が活性汚泥の沈降特性に深く関与していること、糸状菌の増加によ

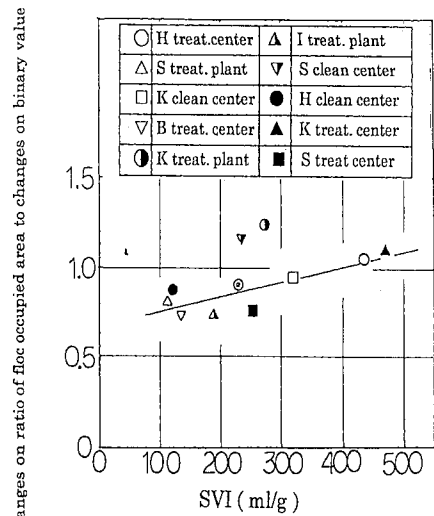


Fig.14 Floc compactness vs SVI

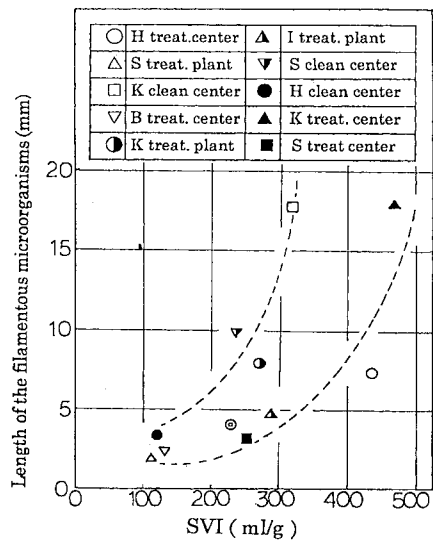


Fig.15 Length of filamentous microorganisms vs SVI

り沈降性が悪化することが示されている。しかし、その影響の発現度合いは様々である。

Fig.13で傾きの比較的小さいH市H浄水苑(H clean center)、B浄化センター(B treat.center)はFig.14でSVIも小さく、かつFig.15で糸状菌長も小さくて稠密性の良好なフロックから成る活性汚泥であることが分かる。Fig.13で傾きが中程度のS流域下水処理場(S treat.center)、K市K浄化センター(K clean center)は、Fig.14でSVIは中程度であるが、Fig.15の糸状菌長はS流域下水処理場(S treat.center)は小さく、K浄化センター(K clean center)は極めて大きくて、必ずしも糸状菌量に依存しない沈降特性を有している。また、Fig.13で傾きの大きいSクリーンセンター(S clean center)は、Fig.14のSVIは中程度で、かつFig.15の糸状菌長も中程度であるが、Fig.13で傾きの大きいH浄化センター(H treat.center)は、Fig.15の糸状菌長が中程度であるにも係らず、Fig.14のSVIは極めて大きな値を示している。

これらの結果は、活性汚泥の沈降特性が必ずしも糸状菌の存在量のみによって左右されるのではなく、糸状菌をも包含して構成されるフロックそのものの稠密性が大きく関与していることを示していると言える。従来、活性汚泥の沈降特性はSVIというマクロな指標で表現されてきているが、そのSVIの構造(フロック量に対する糸状菌量の存在量比やフロックの稠密性)が画像処理技術を援用した本研究の手法により明らかになったものと考えられる。

画像処理により沈降特性の構造を解明する手法は、手間のかかる分析作業によらず、オンライン・リアルタイムに、かつ視覚的にも微生物の性状把握が可能な点で利点をもつ。実証データをさらに積み重ねることが今後の課題である。

6 おわりに

活性汚泥の画像認識処理により、糸状菌およびフロック形成菌の量とともに、フロックの稠密性を把握することで、活性汚泥の沈降特性を推定することができるため、下水処理プロセスの運転条件の改善や、2項の課題(1)で述べた現在でも難問題であるバルキングの回避に資することができる可能性を示した。

我が国の下水道普及率は平成9年度末で対人口比58%に達し、今後は本格的な維持管理時代に入るものと予想されている。まえがきにも述べたが下水処理プロセスは自動制御化が遅れているプロセスであり、新しいセンサーの開発の他にも、運転に関する経験と知識を活用した制御システムの開発が待望されている。ここで提案した活性汚泥微生物の画像認識手法は、この経験と知識を活用する一方法として役立つものと期待されるが、そのためには、さらにデータを蓄積するとともに、診断システムや運転支援システムなどへと発展させていく必要がある。この方向に添った技術開発を推進する予定としている。

[参考文献]

- 1) 内藤正明：活性汚泥プロセスの定式化と最適化に関する研究，京都大学学位論文(1969)
- 2) 奥野長晴：線形モデルによるエアレーションタンクの機能分析，下水道協会誌，7,(73),pp.15-21(1970)
- 3) 平岡正勝ほか：自己回帰モデルによる活性汚泥プロセスのシステム同定，第3回水システム自動計測制御国内ワークショップ論文集，pp.291-294(1989)
- 4) 山村優ほか：GMDHによる下水処理場の放流水質の推定モデル(第1報)，水質汚濁研究，2,(4),pp.11-21(1979)など
- 5) 鈴木一如，遠矢泰典，角本正明：ファジィモデリングによる活性汚泥プロセスの統計解析，化学工学論文集，18,(4)，pp.478-486(1992)
- 6) 増田正宏：下水道の自動制御について，下水道協会誌，26,(303)，pp.2-7(1989)
- 7) 市川雅英，井手慎司，清水公一：生物相診断エキスパートシステム，第23回水質汚濁学会講演集，pp.415-416(1989)
- 8) 下水道維持管理指針，日本下水道協会編(1979)
- 9) 津村和志，平岡正勝，中野 淳：活性汚泥法制御のための画像処理システム開発に関する研究(I)，第38回土木学会年次学術講演会，pp.813-814(1983)
- 10) Tsumura, K. and Hiraoka, M.: Proc. of 4th IAW-PRC Workshop, pp.741-744(1985)
- 11) 馬場研二，平岡正勝，津村和志：微生物計測のための高速画像処理技術，第20回水質汚濁学会講演集，pp.261-262,(1986)
- 12) 平岡正勝，津村和志，馬場研二：活性汚泥微生物の画像認識技術，第23回下水道研究発表会，pp. 557-559(1986)
- 13) 津村和志，平岡正勝，塚好雄：高度画像処理装置を用いた糸状微生物長の計測，第20回水質汚濁学会講演集，pp.263-264(1986)

- 14) 平岡正勝, 津村和志, 圓仏伊智郎:糸状性微生物同定支援システムの開発に関する研究, 水質汚濁研究, 11, (1), pp.29-37 (1988)
- 15) 古沢春樹, 田中久雄:活性汚泥微生物の認識アルゴリズム, 第20回水質汚濁学会講演集, pp.265-266 (1986)
- 16) 古沢春樹, 池端重樹, 村上弘明:画像認識による活性汚泥微生物の自動計測, 第25回下水道研究発表会講演集, pp.611-613 (1988)
- 17) 伊藤和幸, 三浦良輔, 田口清:活性汚フロックの画像処理, 第5回環境システム自動計測制御国内ワークショップ論文集, pp.162-165 (1994)
- 18) 市川雅英, 恩田寿和:画像認識による微生物の同定, 用水と廃水, 38,(11), pp.47-52 (1996)
- 19) 鈴木一如, 宇佐見雄一, 吉水決:活性汚泥微生物の画像認識, 化学工学会第54年会研究発表講演要旨集, p.115 (1989)
- 20) 宇佐見雄一, 鈴木一如, 吉水決:活性汚泥微生物の画像計測, 第26回下水道研究発表会講演集, pp.742-744 (1989)
- 21) 荏原製作所 特許第1938372号, 第2132299号
- 22) 荏原製作所 特許第1734151号, 第1941845号, 第1941846号,
- 23) 田村秀行監修, 日本工業技術センター編:コンピュータ画像処理入門, 総研出版, p.123 (1985)
- 24) 山本良子, 小森友明, 松井三郎:活性汚泥の濃縮性, フロック形状及び沈降性に及ぼす糸状性細菌の増殖の影響, 下水道協会誌,25,(292), pp.22-28 (1988)

(受付 1999. 4. 25)

(受理 1999. 7. 26)