

活性汚泥プロセスにおける 生物相診断支援システムの適用事例

市川雅英^{*}、清水公一^{*}、岩堀恵祐^{**}

- * 株式会社 明電舎 総合研究所
東京都品川区大崎2-1-17
** 大阪大学 工学部環境工学科
大阪府吹田市山田丘2-1

概 要

生物相診断支援システムは、活性汚泥プロセスで出現する生物相とpHやDOなどの容易に計測できるデータを入力することにより、処理状態の診断を支援するシステムである。診断される処理状態は硝化反応や汚泥解体などの代表的な6種類を選抜し、その確からしさは-1.0から+1.0の範囲をもつ確信度で評価される。本研究では、硝化反応の進行し易い実規模下水処理施設と曝気槽DO設定値を種々変えて運転した実験室規模の処理装置における検鏡データをシステムに入力し、診断結果と各種測定データからみたシステムの妥当性を検討した。その結果、実規模下水処理施設では硝化反応の定量的な評価は行えなかったが、定性的な診断が可能であり、また実験室規模の処理装置ではDO設定値による処理状態の変化を良好に診断できることが明らかとなった。

キ ー ワ ー ド

活性汚泥プロセス 生物相 原生動物 後生動物 診断支援システム 知識ベース 確信度 処理状態

1. はじめに

活性汚泥プロセスの処理効率は出現する微生物群の種類とその生物活性の程度に大きく依存し、その処理状態は一般の光学顕微鏡で容易に観察できる原生動物や微小後生動物から判定できることが知られており、これら微生物の出現情報を活性汚泥プロセスの運転管理に役立てようとする提案も行われている¹⁾。この提案を鑑み、筆者ら²⁾は、これまで集積されてきた原生動物や微小後生動物に関する知識ベースをコンピュータに移植し、その検鏡データから処理状態を診断して、操作員の運転・維持管理に役立つ生物相診断支援システムを開発してきた。ここでは、実規模の下水処理施設や実験室規模の処理装置における検鏡データをもとに、活性汚泥プロセスの処理状態を診断し、実際の水質データと比較検討することにより、構築したシステムの有用性を検証したので、その概要を報告する。

2. 生物相診断支援システムの概要²⁾

2.1 システム構成

筆者らが開発した生物相診断支援システムのシステム構成図を図1に示した。知識ベースは、光学顕微鏡で観察された微生物の情報から処理状態を診断する処理診断知識と処理水質を推定する水質予測知識、さらにこれらの知識から推論される対処方法を必要に応じてガイダンスする対処方法

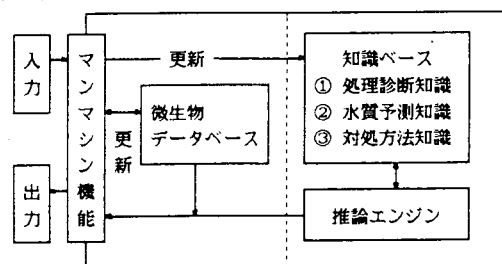


図1. システム構成図

知識から構成されている。また、微生物データベースには、評価指標として有効な微生物の特徴や形状、出現環境などのデータが蓄えられており、CRT画面上に表示しながら同定支援が行える。また、推論エンジンでは、指標微生物の出現情報等の入力データに対して知識ベースを参照しながら、処理状態の診断と対処方法の探索を行う。

2.2 入力データの分類と項目

入力データは、概観データと微生物データに大別した。概観データは曝気槽でのpH、DO等の計測値、活性汚泥の色相の変化や臭気、さらに最終沈殿池でのスカムの有無、透視度などである。微生物データは、頻繁に出現する原生動物と後生動物(48種類)を28に分類し、その出現個数は、1~99 N/mlで「1」、100~399 N/mlで「2」、400~999 N/mlで「3」、1000~1999 N/mlで「4」、2000 N/ml以上で「5」という5段階で入力する。また、糸状性微生物は検鏡して直感的に判断できる「多い」、「少ない」の2段階で評価した。

2.3 処理状態の推論方法

推論される処理状態は、①高負荷及び処理水の白濁、②曝気槽での低DO・嫌気部位の存在、③低負荷及び硝化反応の進行、④汚泥の解体、⑤毒性物質の流入、⑥糸状性バルキングの6種類に分類した。

いま、微生物 n がランク W_n で出現した場合に処理状態が m である確信度を CF_{nm} とすると、次のようなルールが成立する。

$$IF n \text{ is } W_n \text{ then } m, CF_{nm} = W_n \times \alpha_{nm} \quad (1)$$

ここで、 α_{nm} は-0.2から+0.2の範囲にある重み係数で、処理状態の評価指標となる微生物ごとに予め設定された値である。出現個数が5段階に分けられているので、確信度 CF_{nm} は-1.0から+1.0までの値となり、また負数はその状態が起こり得ない可能性を表している。また、同一レベルに分類された2種類の指標微生物 n と k が出現している場合には、その確信度 CF_{nkm} は次のように計算される。

$$CF_{nkm} = CF_{nm} + CF_{km} - CF_{nm} \times CF_{km} \quad (2)$$

同様に、3種類以上の指標微生物が出現する場合には、式(2)を用いて2種類の微生物に関する確信度を出し、その値を使って同様の計算を繰り返すことにより求めることができる。但し、 CF が負数の場合には次式が適用される。

$$CF_{nkm} = CF_{nm} + CF_{km} + CF_{nm} \times CF_{km} \quad (3)$$

一方、概観データは項目ごとに処理状態の確信度が定められており、式(2)と式(3)を用いて、同様に計算される。確信度が正数の場合を肯定診断確信度、負数の場合を否定診断確信度として表示し、両者を加えた値が最終診断結果となる。

3. 生物相診断支援システムの適用事例

3.1 入力データと診断結果

実規模下水処理施設(流入下水量:約30000 m³)における曝気槽出口の混合液を1年間にわたり顕微鏡観察し、比較的特徴のある計数結果13事例を抽出して、本システムに適用した。また、半田ら³⁾が報告した実験室規模での活性汚泥処理装置(曝気槽DO濃度:0.2~5.0 mg/l)における計数結果5事例を同様に用いた。これらの計数結果とDO、MLSS、pHの概観データをもとに診断した結果を表1に一括表示した。サンプル番号のNo.1からNo.13が実規模下水処理施設、No.14からNo.18が実験室規模である。なお、本表の微生物データで空欄は、その微生物が出現しなかったことを意味している。また、実験室規模のNo.13からNo.18のpH値は文献に記述されていなかったため、7.0として入力した。その他の概観データについては、No.14とNo.18の透視度を「悪い」と評価した以外はすべて「異常なし」と入力した。

適用した微生物データには、毒性物質の流入と糸状性バルキングに該当する微生物が出現しなかったので省略し、他の4種類の処理状態について肯定診断確信度と否定診断確信度を求め、最終診断結果は0.1以上の値が得られたものを表示した。

3.2 診断結果と各種測定データからみたシステムの妥当性

(1) 実規模下水処理施設における妥当性

本処理施設は硝化反応が進行しやすく、冬期でも硝化率が高いことが特徴的である。最終診断結果も確

表 1. 入力データと診断結果

活性	生物名	番 号																	
		NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	NO.11	NO.12	NO.13	NO.14	NO.15	NO.16	NO.17	NO.18
輪虫類	○ ヒロコ	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	○ コルナ	2	3	2	2	3	2	3	3	3	2	4	4						
	○ ヲホキ	1	1	2	1		1				2								
	○ トト	2								1	1								
線虫類	○ フロウ	1	1	2															
	○ カサ	4	4	4	4	5	5	3	4	4	4	5	4	1	3	3	3	3	3
	○ コ	2	2	2	5	5	4	5	5	5	5	4	5	2	2	2	3	2	2
	○ ト	2	2	2	4	4	3	4	4	4	4	4	2	2	3	5	4	4	3
吸管虫	○ 7	1	5	2	1	2	2	4	4		3	5	2	3	5	4	4	5	5
	○ 2	3	3	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1
	○ 3	2	2	2	3	3	2	1	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2
	○ 4																		
裸口目	△ ト	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	△ ト	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	△ ト	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	△ ト	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
毛口目	× ト	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	× ト	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	× ト	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	× ト	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
肉質虫類	○ ト	1	3	5	2	2	2	3	2	1	4	2							
	○ ト	3	5	3	5	5	3	5	4	4	5	5	5	2	4	4	4	4	3
	○ ト	4	3	3	2	4	4	4	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	○ ト	3	2	2	1	3	1	2	2	1	2	2	2	5	4	3	3	4	4
鞭毛虫類	× ト	2	3	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
	○ ト																		
	○ ト																		
	○ ト																		
糸状微生物	○ ト																		
	○ ト																		
	○ ト																		
	○ ト																		
概観子ータ	PH	6.2	6.2	5.7	6.3	6.8	6.1	7.0	6.5	6.4	6.2	6.5	6.6	6.6	6.8	7.0	7.0	7.0	7.0
	DO	6.6	3.0	3.2	3.1	3.7	5.7	5.9	3.5	3.1	3.0	2.8	2.6	3.5	0.2	1.0	2.0	3.0	5.0
	MLSS	2210	2420	2600	1710	1340	1920	1840	1890	1720	2080	2020	1830	1790	2870	2420	2376	2250	2515
	高負荷、白濁	0.47	0.41	0.60	0.46	0.34	0.54	0.41	0.44	0.44	0.65	0.54	0.34	0.43	0.72	0.53			0.29
最終診断結果	低DO、曝気																		
	低負荷、硝化																		
	汚泥解体																		
	高負荷、白濁																		
肯定診断確信度	高DO、曝気	0.37	0.44	0.20	0.28	0.61	0.28	0.44	0.36	0.10	0.28	0.52	0.36	0.00	0.93	0.79	0.69	0.51	0.82
	低DO、曝気	0.15	0.10	0.28	0.05	0.15	0.05	0.10	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.97	0.78	0.46	0.77
	低負荷、硝化	0.96	0.96	0.96	0.89	0.89	0.96	0.96	0.93	0.93	0.96	0.95	0.92	0.92	0.47	0.81	0.81	0.81	0.87
	汚泥解体	0.72	0.45	0.45	0.30	0.60	0.72	0.72	0.45	0.75	0.60	0.75	0.75	0.75	0.75	0.80	0.75	0.75	0.75
否定診断確信度	高負荷、白濁	0.73	0.80	0.80	0.68	0.80	0.73	0.81	0.75	0.77	0.82	0.80	0.83	0.83	0.40	0.76	0.76	0.76	0.86
	低DO、曝気	0.80	0.81	0.80	0.64	0.78	0.80	0.86	0.74	0.75	0.82	0.76	0.84	0.84	0.40	0.71	0.71	0.71	0.70
	低負荷、硝化	0.50	0.55	0.36	0.42	0.55	0.42	0.55	0.49	0.28	0.42	0.62	0.49	0.20	0.93	0.76	0.65	0.61	0.82
	汚泥解体	0.68	0.78	0.73	0.66	0.73	0.69	0.76	0.74	0.68	0.75	0.78	0.73	0.70	0.62	0.76	0.74	0.74	0.68
実子ータ	SS負荷* (1/日)	0.16	0.21	0.10	0.17	0.34	0.20	0.13	0.23	0.25	0.18	0.20	0.21	0.27	0.11	0.09	0.09	0.12	0.10
	処理水COD _{Mn} (mg/l)	7.2	11.0	12.0	19.0	6.4	6.2	6.8	11.0	9.2	6.8	10.0	12.0	15.0	33.0	10.9	10.4	10.1	13.1
	処理水SS (mg/l)	7.8	3.9	11.4	14.4	3.6	3.6	3.9	17.4	7.6	7.4	6.9	8.1	16.4	-	-	-	-	-
	硝化率 (mg/l)	-	100	100	91.8	90.8	96.6	-	100	87.5	-	-	-	0	8.3	15	41.2	71.3	-

* NO1.からNO.13まで BOD-SS負荷、他はCOD_{Mn}-SS負荷

信度0.34~0.72で「低負荷及び硝化反応の進行」と診断している。硝化率は7サンプルのデータで87.5%以上と非常に高く、硝化反応の進行という傾向を良好に診断している。しかし、最終診断結果と硝化率には相関関係が認められないことから、定量的な評価を行うまで至っていない。活性汚泥プロセスでは浄化に直接関与する微生物は細菌群であり、その働きにより創出された環境条件に適合した原生動物や微小後生動物が出現するので、実際の浄化機能と指標微生物の出現頻度にはTime Lagがある。したがって、本システムによる定量的な評価は、重み係数などの推論方法以外にも考慮すべき点があり、今後の課題である。

次に肯定と否定の確信度の傾向について考える。「低負荷及び硝化反応の進行」の肯定診断確信度は0.89~0.95、否定診断確信度は0.20~0.62の範囲である。No.11ではグラウコマの出現ランクが高いため否定の確信度が0.62となり最終診断結果が低くなった。グラウコマは高負荷時によく出現するといわれているため、「低負荷及び硝化反応の進行」では否定の重み係数を与えている。

一方、「高負荷及び処理水の白濁」では肯定診断確信度は0.2~0.61、否定診断確信度が0.68~0.83の範囲となったが最終診断結果では全サンプルで負の値となった。また、「曝気槽での低DO・嫌気部位の存在」の診断でも同様の傾向となった。さらに、「汚泥の解体」ではアメーバやバルカンフィアが多く出現した場合に肯定診断確信度が0.75まで上がるが、否定のそれも同程度の数値で、最終診断結果は-0.36~0.13となりその可能性が低いと判断された。

(2) 実験室規模の処理装置における妥当性

出現微生物の種類が多いため、肯定と否定の両確信度が高いことは注目される。また、DO設定値が高くなるにつれて硝化率も高くなり、実規模処理施設ほどではないが最終診断結果の「低負荷及び硝化反応の進行」の確信度も向上している。さらに、DO濃度を0.2 mg/lに設定して運転したNo.14では、「曝気槽での低DO・嫌気部位の存在」と「高負荷及び処理水の白濁」の最終診断確信度が高い値を示し、硝化反応が認められないと診断され、システムの妥当性を示唆している。一方、DO濃度を5.0 mg/lに設定して運転したNo.18では「汚泥の解体」と「高負荷及び処理水の白濁」が認められ、「低負荷及び硝化反応の進行」とは診断されなかった。実際には硝化反応は進行していたが、これは、先のグラウコマの場合と同様に、コルピジウムがランク「5」の高い頻度で出現したことにより、前者の肯定診断確信度と後者の否定診断確信度が高くなったためである。

4. まとめ

実規模の下水処理施設や実験室規模の処理装置における検鏡データと外観データの両者を入力することにより、生物相診断支援システムで活性汚泥プロセスの処理状態を診断できる否かを検討した。その結果、本システムにより、活性汚泥プロセスの処理状態を定量的に評価でき得ることが明らかとなった。特に、通常の運転条件とは異なる特殊な環境条件では、高い確信度で処理状態を診断することができ、活性汚泥プロセスの異常診断への応用も可能であると考えられる。しかし、活性汚泥混合液には大きな緩衝作用があるため、生物相が大きく変動しても、その変動が迅速かつ直接的に処理状態に反映され難く、定量的な評価を行うには至らなかった。このような課題を解決するため、重み係数の調整や指標微生物の追加、処理状態の細分化などによる推論方法の充実やマンマシンの整備、さらに新たな判断基準の導入により、精度を向上させていきたい。

最後に、本システムの構築に多大のご指導を賜った東北大学工学部教授 須藤隆一先生、環境庁国立環境研究所総合研究官 稲森悠平先生に謝意を表します。

引用文献

- 1) 須藤、稲森(1983). 図説 生物相からみた処理機能の診断, 産業用水調査会
- 2) 市川、井手、清水、須藤、稲森(1989). 活性汚泥法における生物相診断支援システム. 第26回下水道研究発表会講演集, pp.693-695
- 3) 半田、古屋、富士元、稲森(1980). 活性汚泥生物に及ぼすDOの影響. 日本水処理生物学会誌, 16, (1-2), 1-10