

集落排水

農業集落排水処理施設の維持管理基礎講座 (第13回 連続流入間欠ばっ気方式の維持管理)

(一社) 地域環境資源センター 集落排水部 上席研究員 Shibata Hirohiko 柴田 浩彦

I はじめに

JARUS型の浮遊生物法で、最も処理施設数が多い処理方式が連続流入間欠ばっ気方式 (JARUS-XIV型シリーズ) である。JARUS-XIV型シリーズは、ばっ気槽と沈殿槽を有した標準活性汚泥方式の変法になる長時間ばっ気方式であり、タイプ (JARUS-XIV_O型の○部分の違い、以後「○型」と記述する) によってばっ気槽の滞留時間や処理性能が異なっている。

今回は、JARUS-XIV型シリーズに共通する特徴や維持管理の留意点等についてお話しする。

2 JARUS-XIV型シリーズ

(1) 滞留時間と処理性能

ばっ気槽のばっ気方式は間欠ばっ気であり、JARUS-XIV型シリーズは、すべてのタイプで窒素除去性能を有している。

7タイプのJARUS-XIV型シリーズについて、滞留時間や処理性能等、主な特徴の比較を表1に示す。

基本タイプである96型とP型、P1型、H型の滞留時間は27時間であるが、最新型であるR型の滞留時間は16時間とコンパクト化が図られて

いる。処理性能が最も優れているのはG型(リンを除く)で、栄養塩類(窒素、リン)除去に優れているのはH型である。また、R型はばっ気槽の前段に最初沈殿槽があり沈殿槽の滞留時間は生物膜法と同じ3時間なので、JARUS-III型を浮遊生物法に改築するときに最も適した処理方式となっている。

なお、P1型とH型は、リン除去用の鉄溶液を注入する後ばっ気槽(滞留時間1時間)が、ばっ気槽と沈殿槽の間にある。

(2) 連続流入間欠ばっ気方式の特徴

連続流入間欠ばっ気方式は、固液分離を担当する沈殿槽を有し、回分方式と比較しより平均的な水質を維持できる処理方式である。

運転手法も応用性が有り、柔軟な運転条件の設定が可能であることも大きな特徴といえる。

一定以上の微生物量(MLSS 1,000mg/L程度以上)を確保し、適切な槽内攪拌と間欠ばっ気にによる好気状態と嫌気状態の繰り返しを維持できれば計画水質を満足し、回分方式より安定した処理性能を維持できる。

JARUS-XIV型シリーズ(連間方式)とJARUS-XII型(回分方式)の比較を、表2に示す。

表1 JARUS-XIV型シリーズの滞留時間と処理性能

JARUS-XIV型 シリーズ	滞留時間(時間)			処理性能(mg/L)				処理対象人口 (人)
	ばっ気槽	沈殿槽	BOD	SS	COD	T-N	T-P	
JARUS-XIV ₉₆ 型	27	4	20	50	—	15	—	101~6,000
JARUS-XIV _P 型	27	4	20	50	—	15	3	101~6,000
JARUS-XIV _{P1} 型	27	4	20	50	—	15	1	101~6,000
JARUS-XIV _G 型	18	4	10	10	15	10	—	201~10,000
JARUS-XIV _{GP} 型	18	4	10	10	15	15	1	201~10,000
JARUS-XIV _R 型	16	3	10	15	15	30	—	101~10,000
JARUS-XIV _H 型	27	4	10	15	15	10	1	101~6,000

表2 XIV型シリーズとXII型の比較

JARUS型	XIV型シリーズ (連間方式)	XII型 (回分方式)
処理タイプ	窒素除去型	窒素除去型
流入方法	連続流入	間欠流入 (流入工程)
ばっ気方法	間欠ばっ気	間欠ばっ気
処理水槽	ばっ気槽	回分槽
固液分離	沈殿槽	回分槽
水理学的滞留時間 (HRT) (時間)	16～27 (ばっ気槽)	27 (回分槽)
主な大型機器	ばっ気攪拌装置 汚泥搔き機 返送汚泥ポンプ	ばっ気攪拌装置 上澄水排出装置
MLSSの調整	返送汚泥量 余剰汚泥引抜量	余剰汚泥引抜量

(3) 運転工程

JARUS-XIV型シリーズは、汚水の流入と生物処理はばっ気槽で、固液分離（沈殿）と処理水の排出は沈殿槽で行う。汚水の投入と処理は連続的に行い、処理水は流入汚水に連動し排出される。

ばっ気槽の運転は、間欠ばっ気（ばっ気・攪拌）工程と非ばっ気（攪拌）工程を繰り返すことで、有機物の酸化処理及び窒素除去を行う。JARUS-XIV型シリーズの運転工程例を、図1に示す。

図1は流入負荷が設計負荷の60～70%程度（例えば、流入BOD160mg/L、流入汚水量が計画汚水量の80%程度）の運転工程例である。なお、余剰汚泥の引抜きは、すべて8回/日（3時間毎、3分/回）としている。

1) 流入汚水

流入汚水量が計画汚水量のとき、ばっ気槽への汚水投入は連続的になるが、計画汚水量より少ないときに汚水計量槽の三角堰の高さを調整（実際は四角堰を低くする）し、ばっ気槽に投入される汚水を連続的にする必要はない。汚水を連続的に投入できるよう三角堰を調整し、平均的な負荷で処理する方法は生物膜法の考え方であり、JARUS型の浮遊生物法はBOD-SS負荷が高くなるように汚水を投入する方が、固液分離性能等の活性汚泥の性状を良好に保つには効果的な運転方

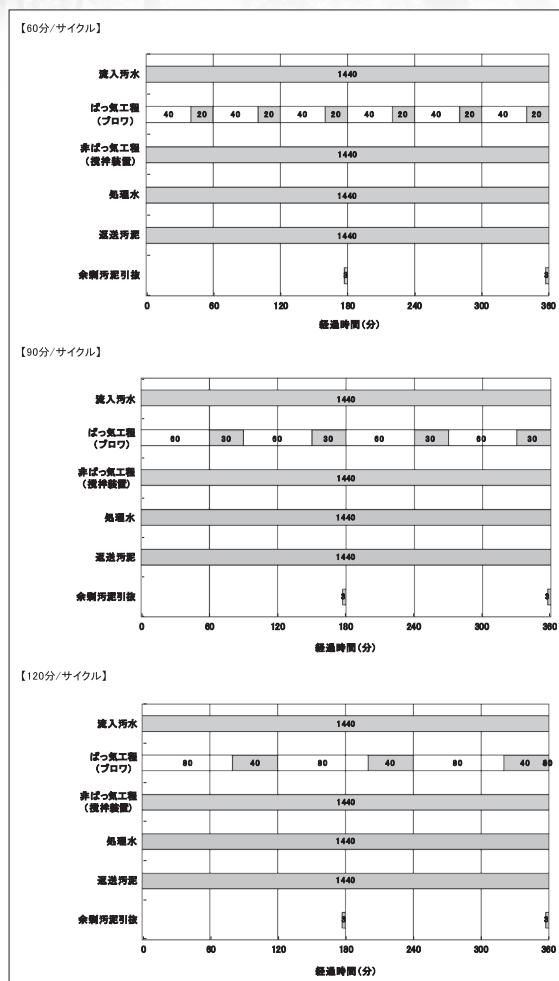


図1 JARUS-XIV型シリーズの運転工程例
(設計負荷の60～70%程度)

法である。

処理時のBOD-SS負荷が高くなる汚水の間欠投入は、結果的に流量調整ポンプの稼働時間が短くなり、省エネ対策にもなる。長時間流入汚水の投入が停止する時間帯は、ばっ気槽の運転を停止しても処理への影響はほとんどない。ブロワや攪拌装置を停止すると省エネ効果は更に向上する。

2) 処理工程（ばっ気工程、非ばっ気工程）

XIV型シリーズの処理工程は、ブロワをON/OFFする間欠ばっ気である。間欠ばっ気のサイクル時間（ばっ気工程+非ばっ気工程）は設計負荷（計画汚水量×流入汚水の計画BOD（200mg/L））で60分（24サイクル/日）、ばっ気工程は25～30分（非ばっ気工程は30～35分）である。

サイクル時間は60～120分が一般的で、実際の流入負荷（流入汚水量×流入汚水のBOD）が

設計負荷より低く脱窒反応の進行が不十分なときは、サイクル時間を 60 分 → 90 分 → 120 分と長くする対応を行う。

なお、脱窒反応は無酸素状態の BOD 除去反応なので、非ばっ気工程でも DO が残存している時間帯は脱窒反応は進行しない。つまり、DO が無くなつてからの非ばっ気工程が脱窒工程となる。

特別な理由がない限り、プロワは設計時の 100% 風量で運転する。酸化処理（有機物の分解とアンモニア性窒素の硝化反応）に必要な酸素の供給は、原則インバータは使用せず（もしくは最大周波数で運転）、プロワの稼働時間（ばっ気工程時間）で調整する。窒素除去は硝化反応と脱窒反応のバランスが大事であるが、硝化反応（ばっ気・搅拌工程時間）を優先し残りの時間で脱窒反応（搅拌工程）を行うと、安定した処理性能が得られる。

3) 処理水（沈殿槽）

沈殿槽の水理学的滞留時間（HRT）は 4 時間あり、活性汚泥の固液分離性能が極端に悪化している等の問題がない限り、沈殿槽から活性汚泥がキャリーオーバーすることは通常ない。

水面と汚泥界面との間隔（以後、「クリアランス」と呼ぶ）は、50cm 以上に保つと処理水に活性汚泥が混入するリスクは小さくなる。クリアランスは一定でなく 1 日の中で常に変動するので、測定時に十分なクリアランスがあっても一時的に 50cm 以下になることもあるので注意が必要である。

活性汚泥の沈降性は濃度が大きく影響するので、クリアランスを大きくするには MLSS を低くすることが効果的である。

4) 返送汚泥、余剰汚泥

汚泥界面は活性汚泥の沈降性の問題であり、維持管理では必要以上にばっ気時間を長くしないと同様、MLSS 濃度管理はとても重要になる。

沈殿槽を有する活性汚泥法で MLSS を適切に管理し、安定した処理能力を保つために重要な管理指標は、汚泥返送比である。

ここで、

Q : 流入汚水量 ($m^3/\text{日}$)

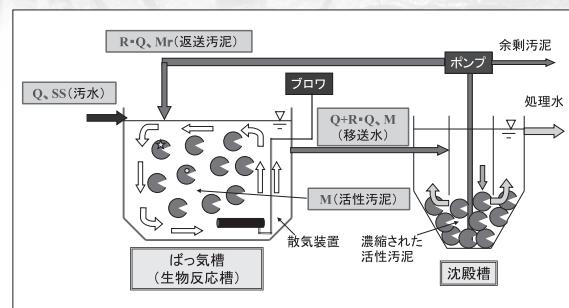


図2 汚泥返送比に関する要因

SS : 流入 SS (mg/L)

R : 汚泥返送比 (-)

M : MLSS (mg/L)

Mr : 返送汚泥の汚泥濃度 (mg/L)

すると、図2の活性汚泥の動きから、以下の関係式が導かれる。

$$(Q \times SS) + (R \cdot Q \times Mr) = (Q+R \cdot Q) \times M$$

$$SS + (R \times Mr) = (1+R) \times M$$

SS は M や Mr と比較し小さいので、

$$SS \approx 0$$

とすると

$$(R \cdot Mr) = (1+R) M$$

$$R \cdot Mr = M + M \cdot R$$

したがって、汚泥返送比は、

$$R = M / (Mr - M)$$

となる。また、MLSS と返送汚泥の汚泥濃度は以下のとおりとなる。

$$M = Mr \cdot R / (1 + R)$$

$$Mr = M (1 + R) / R$$

上記の関係式は、返送汚泥が連続的で有り、沈殿槽へ移流する活性汚泥の MLSS が安定的に流入することを前提としている。返送汚泥が間欠運転であったり、ばっ気搅拌装置や微細気泡散気装置でプロワ停止時に搅拌装置が停止しているときは、R は返送汚泥の稼働時間、M と Mr は日平均値で調整する必要があるので注意が必要である。

3 維持管理上の留意点

(1) ばっ気槽内の搅拌状態

ばっ気槽は、汚水中の汚濁物質（微生物の栄養）と微生物、酸素を接触させ、有機物や栄養塩類（窒素、リン）を処理し除去する反応槽である。汚濁

物質を効率的に処理するには、ばっ気槽内の搅拌状態が適切な状態であることが必要であり、インバータでプロワやばっ気搅拌装置の回転数を低くすることには注意が必要である。また、ばっ気搅拌装置を長時間停止するときは、1時間程度毎に短時間ばっ気搅拌装置を稼働させ槽内を搅拌する方法が考えられる。

(2) 水質測定

保守点検時にはばっ気槽の処理状況を確認するために行う維持管理項目は、回分槽と同様にポータブルセンサーを用いたDOとpHそしてORPの測定とSVシリンダーを用いた活性汚泥の沈降性を確認するSV₃₀が一般的である。

ポータブルセンサーによる測定のタイミングは、ばっ気工程（ばっ気・搅拌工程）と非ばっ気工程（搅拌工程）の終了時である。また、SV₃₀用の活性汚泥やMLSS分析用試料はばっ気工程（ばっ気・搅拌工程）終了時に採取した活性汚泥で行う。上記のタイミング以外に測定あるいは採取した試料の分析結果は処理状況を把握するという意味では活用できないデータになるので、注意が必要である。

4 間欠ばっ気の考え方

JARUS型処理方式は窒素除去の手法として間欠ばっ気を行っているが、処理施設に流入する污水（実流入污水）が計画汚水量や計画流入水質濃度より低く結果的にBOD-SS負荷が低いときの運転手法としても応用されている。間欠ばっ気を行うことで、本来の窒素除去に加えて、①活性汚泥の性状維持（固液分離性）、②水質の安定（pH、SS等）を期待している。更に、プロワの運転時間が短くなる省エネ手法として積極的に用いられている。

ばっ気時間は、ばっ気工程（ばっ気・搅拌工程）においてDOが0.5mg/L（処理状況によって、0.5～2.0mg/L）以上になった時間を参考に決めることができる。この時点で酸素を消費する反応（有機物の酸化反応、アンモニア性窒素の硝化反応）が終了した可能が高いので、これ以上プロワを稼

働する必要はないと判断し、残りのはっ気工程（ばっ気・搅拌工程）を非ばっ気工程（搅拌工程）にすることを検討する。

一方、ばっ気工程（ばっ気・搅拌工程）終了時のDOが0.5mg/L以下の場合は、逆にはっ気工程（ばっ気・搅拌工程）を長くする必要があると判断する。

5 微細気泡散気装置

微細気泡散気装置は、プロワの動力だけで酸素の供給とばっ気槽の搅拌を行う方式であり、近年、ばっ気搅拌装置に変わって設置されることや更新時にはばっ気搅拌装置を微細気泡酸化装置に変更することも増えている。

微細な気泡は表面積が多く酸化処理に必要な酸素を効率的に供給（液相に移動）することができるだけでなく、微細気泡が上昇することで形成される旋回流でばっ気槽内を搅拌し、溶解した酸素と汚濁物質（栄養）や微生物を接触させている。

接触ばっ気槽と同様に槽内の搅拌を旋回流で行っているため、インバータで周波数を小さくしたりプロワの稼働台数を少なくしづらき風量を少なくすると旋回流が弱くなり槽内の搅拌が不十分になる。搅拌が不十分になると、活性汚泥の場合、槽底部に活性汚泥が堆積し処理性能に大きな影響を与える可能性があるので注意が必要である。

微細気泡散気装置はばっ気搅拌装置以上に、必要なばっ気風量（設計時の風量）を維持しづらき時間の調整で必要な酸素量を供給することが重要である。

6 プロワの運転台数

JARUS型におけるばっ気槽プロワの台数は、3台構成あるいは4台構成が一般的である。

3台構成の場合、同じ能力（設計空気量の50%能力）のプロワ3台で「常用プロワ2台（NO.1、NO.2）と予備プロワ1台（NO.3）」の構成になる。ばっ気工程では、NO.1～NO.3のプロワのうち2台を運転し、通常（NO.1+NO.2）→（NO.1+NO.3）→（NO.2+NO.3）のようなローテーション

ンを行う。

4台構成の場合は、「常用プロワ2台（NO.1、NO.2）と予備プロワ2台（NO.3、NO.4）」の構成になる。予備プロワ（設計空気量の25%能力）は2台で常用プロワ（設計空気量の50%能力）1台相当の能力で、通常は常用プロワ2台（NO.1+NO.2）で運転し、オーバホール等で常用プロワ（例えば、NO.1）を停止する場合は、常用プロワ1台（例えば、NO.2）と予備プロワ2台（NO.3+NO.4）の運転になる。

また、2台構成の場合は、設計空気量の100%能力のプロワ2台で「常用プロワ1台（NO.1）と予備プロワ1台（NO.2）」の構成になり、通常交互運転を行う。なお、プロワの構成と運転台数の関係は、浮遊生物法も生物膜法も基本的に同じである。

7 活性汚泥に関わる異常症状の原因・対応（例）

JARUS-XIVシリーズ等の浮遊生物法で発生する活性汚泥に関わる異常症状の原因と対応（例）を表3～5に示す。

（1）発泡現象

発泡現象は、ばっ氣や攪拌を行う水槽（ばっ氣

槽、回分槽、OD槽等）で発生する症状である。季節によって発泡量が変化することもあり、褐色の発泡はMLSS濃度が高いとき、白色の発泡はMLSSが低いときに発症しやすい。

（2）スカムの発生

スカムの発生は、静置状態になる沈殿槽や回分槽等で発生する症状である。原因によって対応策が全く異なるので、原因の特定が重要である。原因が放線菌で症状が重いときは、迷わず専門家（JARUS等）に相談する（（1）発泡現象も同様）ことを推奨する。

（3）汚泥界面の上昇

沈殿槽や回分槽で汚泥界面が上昇し、水面とのクリアランスが50cmを下回ると、処理水や上澄水に活性汚泥が混入し水質を悪化させる危険が高くなるので、早急な対応が必要である。

8 おわりに

今回は、JARUS-XIV型シリーズに共通する維持管理についてお話しました。

次回は、活性汚泥併用法やJARUS-XV型等の維持管理について、お話をします。

表3 活性汚泥に関わる異常時の症状と原因、対応例（ばっ氣槽の発泡）

症状	原因	対応（例）
石鹼状の白色発泡 (水で叩くと消える。 注) 接触ばっ氣槽の主な 発泡原因	負荷が高い等の理由で、 有機物分解過程の中間生成物である有機酸が多量に残留している。	1 ばっ氣工程（攪拌（非ばっ氣）工程を短く）を長くする。 2 余剰汚泥の引抜量を少なくする、もしくは一時停止する。 3 汚泥返送率を上げたり（回分槽は除く）、場合によっては種汚泥を添加して、ばっ氣槽、回分槽、OD槽（以下、「処理水槽」という。）の汚泥量を多くする。 4 可能なら単位時間当たり投入汚水量を少なくする、もしくは一時的に投入を止める等で、処理水槽の負荷を下げる。 5 ばっ氣風量を上げる。（一時的に発泡量が増えるので注意が必要）
スカム状の灰褐色発泡 (ビーカー等に泡を取り、 水を加えて希釀し、強く 攪拌すると消える。)	負荷が低いため、活性汚泥の細菌類が自己酸化し、細胞質の組成であるタンパク質が溶出し発泡する。	1 攪拌（非ばっ氣）工程を長く（ばっ氣工程を短く）する。 2 余剰汚泥の引抜量を増やし、処理水槽の汚泥量を減らす。 3 ばっ氣風量を減らす。
粘性のある褐色発泡 (ビーカー等に泡を取り、 水を加えて希釀し、強く 攪拌しても消えない安定 した泡)	放線菌が大量発生し、放線菌に付着した気泡が原因で発泡する。	1 処理水槽の泡及び沈殿槽のスカムを系外に取り除く。 2 余剰汚泥の引抜量を増やし、処理水槽の汚泥量を減らす。 3 処理水槽のばっ氣風量を減らし、溶存酸素濃度（3mg/L以下）を低くする。 4 処理水槽の攪拌（非ばっ氣）工程を長くする。 5 症状が改善しない、あるいは悪化する場合は、専門家に相談する。

表4 活性汚泥に関する異常時の症状と原因、対応例（沈殿槽のスカム）

症状	原因	対応（例）
5～20cm程度の褐色汚泥塊（スカム）が沈殿槽の底から湧き出るように浮上（スカムの裏側も褐色） (スカムのpHが活性汚泥や処理水より高い。)	残存した硝酸が沈殿槽底部で脱窒され、生成した窒素ガス(N_2)とともに堆積汚泥が浮上する。	1 処理水槽の攪拌（非ばっ気）工程を長くする。 2 汚泥返送率を高くし、沈殿槽に汚泥が滞留する時間を短くする。回分槽の場合、余剰汚泥の引抜き量を減らし回分槽の汚泥量を増やす。
30～50cm程度の灰黒色汚泥塊（スカム）が浮上（スカムの裏側は灰黒色で腐敗臭がする。） (スカムのpHが活性汚泥や処理水と同じかやや低い。)	沈殿槽や回分槽に死領域があり、汚泥が長時間滞留することで、腐敗ガス（炭酸ガス、硫化水素等）が生成され、周辺の堆積汚泥とともに浮上する。	1 汚泥返送率を高くし、汚泥引抜量を増やす。 2 汚泥返送ポンプを一度停止し、30～60分後に始動させ、ポンプの起動力で死領域を崩す。 3 死領域を特定できる場合は、その場所にパイプ等で水や空気を送り死領域を破壊する。 4 ばっ気工程及び攪拌（非ばっ気）工程時に、目視で処理水槽の攪拌に異常がないか確認する。また、処理水槽内の底部、中心、表面各層9点程度をMLSS計等測定し、攪拌が十分な状態（濃度差が小さい）であるか確認する。異常がある場合は、ばっ気攪拌装置やプロワ、空気配管等の点検を行う。
薄く切れ目のないスカムが沈殿槽流入部から続き、皮膜のように沈殿槽一面に広がる。 (ビーカー等にスカムを取り観察すると、細かい気泡が肉眼で確認でき、強く攪拌すると気泡がなくなり沈降する。) (スカムのpHが活性汚泥や処理水と同じ。)	ばっ気攪拌装置等の攪拌せん断力、あるいは過ばっ気で多くの細菌類が分散状になり、バラバラになったフロックが気泡に付着した状態で沈殿槽に移送され浮上する。	1 ばっ気攪拌装置の攪拌回転数を落とし緩速攪拌にしたり、ばっ気風量を下げる。 2 攪拌（非ばっ気）工程を長くする。
粘性の高い褐色のスカムが厚く沈殿槽一面に広がる。 (ビーカー等にスカムを取り、水を加えて希釀し、強く攪拌しても消えない安定した)泡	処理水槽で放線菌が大量発生し、放線菌に付着した気泡が原因で発生した泡やスカムが、沈殿槽に移送され浮上する。	1 処理水槽の泡及び沈殿槽のスカムを系外に取り除く。 2 余剰汚泥の引抜量を増やし、処理水槽の汚泥量を減らす。 3 処理水槽のばっ気風量を減らし、溶存酸素濃度（3mg/L以下）を低くする。 4 処理水槽の攪拌（非ばっ気）工程を長くする。 5 症状が改善しない、あるいは悪化する場合は、専門家に相談する。

表5 活性汚泥に関する異常時の症状と原因、対応例（汚泥界面の上昇）

症状	原因	対応（例）
沈殿槽、回分槽の汚泥界面上昇	沈殿槽、回分槽に汚泥が堆積しすぎて汚泥界面が高くなる。	1 汚泥返送率を高くし、沈殿槽に堆積した汚泥をばっ気槽に移送する。 2 処理水槽のMLSSが十分確保されている状態で、余剰汚泥引抜量を増やし、沈殿槽、回分槽の堆積汚泥を系外に搬出する。
BOD-SS負荷が高いと細菌類の増殖が著しくなり、増殖した若い細菌類は凝集能力がなく分散状態で浮遊するため、汚泥の沈降性が悪くなり汚泥界面が上昇する。 BOD-SS負荷の目安 0.1kg-BOD/(kg-SS・日)		1 ばっ気工程を長くする。 2 余剰汚泥の引抜量を少なくする、もしくは一時停止する。 3 汚泥返送率を上げたり（回分槽は除く）、場合によっては種汚泥を添加して、ばっ気槽、処理水槽の汚泥量を多くする。 4 可能なら単位時間当たり投入汚水量を少なくする、もしくは一時的に投入を止める等で、処理水槽の負荷を下げる。 5 ばっ気風量を上げる。（一時的に発泡量が増えるので注意が必要）
フロック形成細菌類に代わって糸状性細菌が異常に繁殖したため、汚泥が軽くなり固液分離障害が起こり、汚泥界面が上昇する。		1 糸状性細菌の種類によって、対策が異なるため、糸状性細菌を同定する。