

「活性汚泥運転管理支援システム」概要解説 ver1.1

2025年2月12日

株式会社 小川環境研究所

代表取締役 小川尊夫

1. はじめに

活性汚泥は有機性汚濁物を処理する最も汎用的な処理方法で、処理の主体は好気性微生物です。

好気性微生物は多様な微生物から構成され、流入原水の基質・負荷や運転条件により、自ら多様に変化して処理を行う。活性汚泥の運転は、好気性微生物がどのような状態にあるのかを把握し、いかに微生物が活動しやすい状態にしていくか、いわば微生物をサポートする操作ということができます。

活性汚泥の運転管理で最も重要な指標は、汚泥の活性（有機汚濁物を除去する能力）です。そして好気性微生物の集合体である活性汚泥は、汚泥の酸素消費速度が、汚泥の活性の大きさを適格に反映します。

汚泥の活性は、**BOD 負荷**の大きさで変化します。つまり **BOD 負荷**が大きくなれば、汚泥の活性は増大することで大きくなった **BOD 負荷**を処理することができ、**BOD 負荷**が小さくなれば、汚泥の活性は低下する。この**自己調整的な動きが活性汚泥の基本的な変化**です。

BOD 負荷に汚泥の活性が追従しない場合、何らかの通常でない状態があります。例えば、**DO**、**MLSS**、**pH**等の運転条件の変化、阻害性廃水の流入、流入する廃水の基質の変化、などがあり、それが処理悪化につながるようであれば迅速な対応処置が必要であり、改善方向にあれば処置が適切であった、ということになります。

しかしながら、処置→結果は、微生物が自己調整的な変化をすることなどで、よほどの熟練の技術がないと適格な判断ができないのが現状であり、かねてよりいつでもだれでも適格な判断と処置が可能な運転管理ができるツールが求められてきました。

このニーズにこたえるのが、活性汚泥の運転管理技術とAIによるデータ解析で、現場の運転管理をサポートする「運転管理支援システム」（以下、**AIsupport**と称す）です。

AIsupportが解析する元となる測定データは、活性汚泥の運転管理として通常測定する項目のほか、特に汚泥の状態を解析するうえで重要な汚泥の呼吸速度が必要であり、さらに測定データは変化としてとらえることが必要である。これらのデータを測定出力できる装置として弊社開発の商品名「**TS アナライザー**」がある。**AIsupport**は**TS アナライザー**上で機能するシステムである。

2. AIsupport の概要

AIsupport を搭載する TS アナライザーは、図 1 に示すように、活性汚泥の曝気槽出口付近に本体測定機を設置し、処理済みの活性汚泥混合液や流入する原水をサンプリングして、活性汚泥の運線操作に必要なさまざまな指標を測定出力する。出力データはネットを介してどこでも監視が可能です。

TS アナライザーの測定は 1 サイクル 3~4hr で、サンプリング→測定→洗浄を行い、その間に、図 2 に示すように曝気操作と 5 回の試料添加を行って、その DO 変化から汚泥の活性や原水の分解性等の測定を行い、同時並行で MLSS や汚泥の沈降性など、合計 20 項目の測定・演算結果を、図 3 のように PC 画面上にトレンドグラフとして出力する。

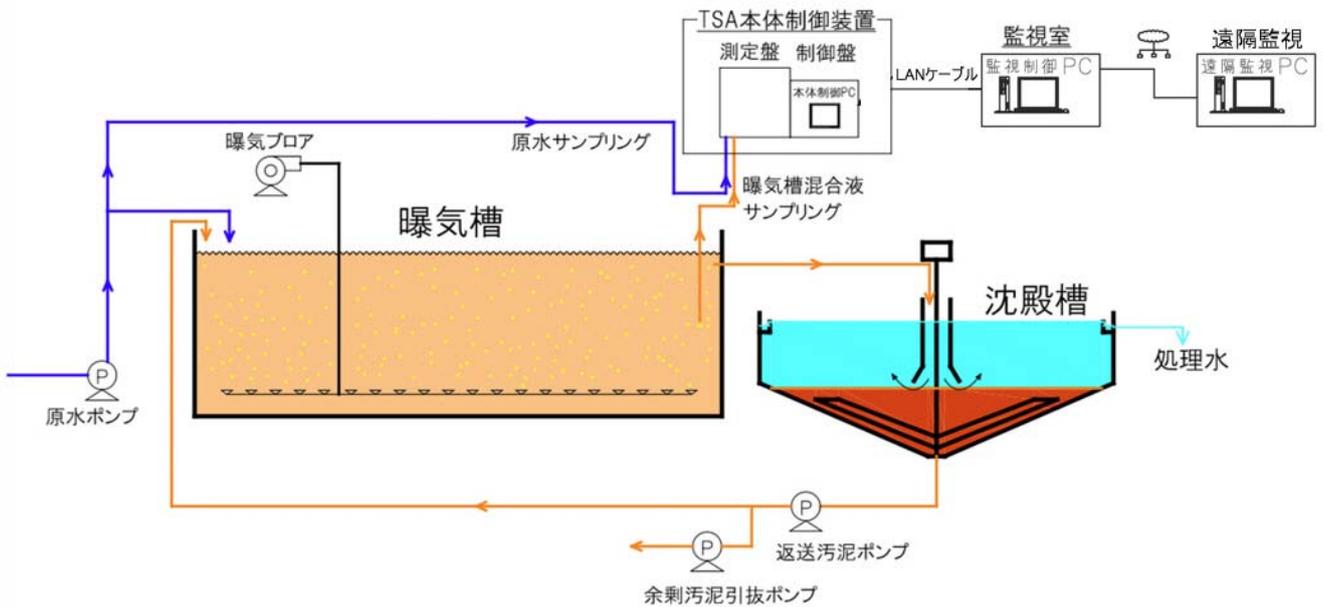


図 1：TS アナライザーの全体構成図

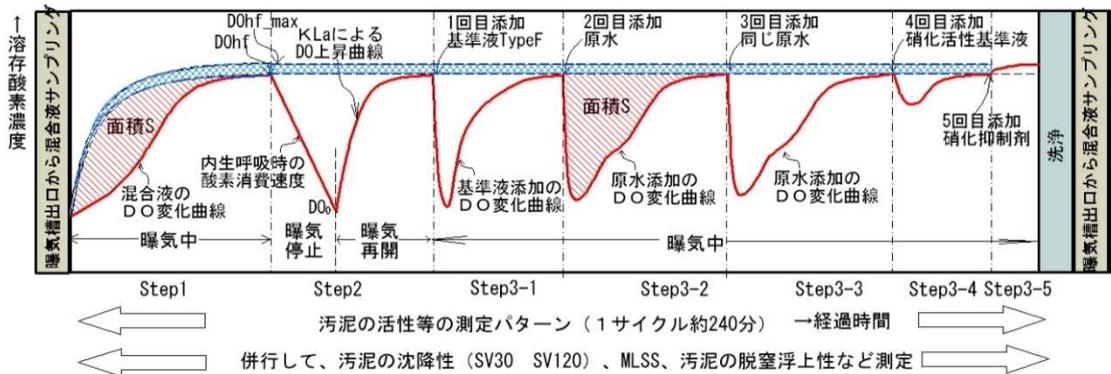


図 2：TS アナライザーの測定操作

TS アナライザーの測定・演算項目は、以下である。

- ①曝気槽温度と DO (サンプリング時から)
- ②汚泥の活性 (1 回目添加から)
- ③原水の BOD、分解速度、阻害性強度 (2,3 回目添加から)
- ④硝化活性 (4,5 回目添加から)
- ⑤処理水 BOD・COD・C-BOD の現状の計算値
- ⑥MLSS、SV30、SV120、上澄液濁度、沈殿槽での脱窒危険性
- ⑦処理水 BOD・COD の数時間後の予測値
- ⑧曝気槽での原水/処理水 BOD 負荷量、全酸素消費量の計算値

TS アナライザーの測定・解析データ自体、運転管理に非常に有用であるが、各種データから正確に状態を判断するには、相当な運転管理技術が必要であり、判断にバラつき生じ、機能を生かし切れていない、という課題がありました。

AIsupport は、TS アナライザーの測定データを使って、活性汚泥の運転管理技術と AI による機械学習を活用して、現状解析および将来予測を行って、TS アナライザーの PC 画面に付加する形で、言葉で表示するものです (図 3)。

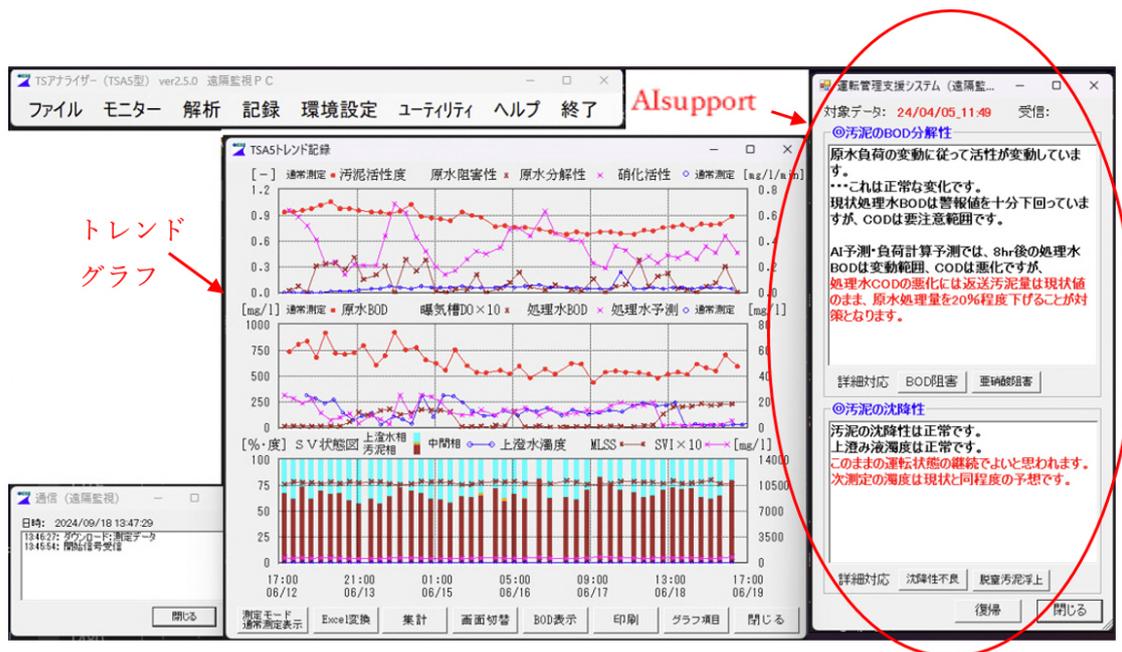


図 3：活性汚泥運転管理支援システムの PC 画面

AIsupport が PC 画面に出力する言葉の基本構成は、原則として以下のようになる。

- ①現状の汚泥の活性、汚泥の沈降性
- ②汚泥の活性変化の理由
- ③現在の処理水の状況
- ④今後の処理状況、沈降性の予測
- ⑤今後の運転の留意事項

3. 「汚泥の BOD 分解性」出力例

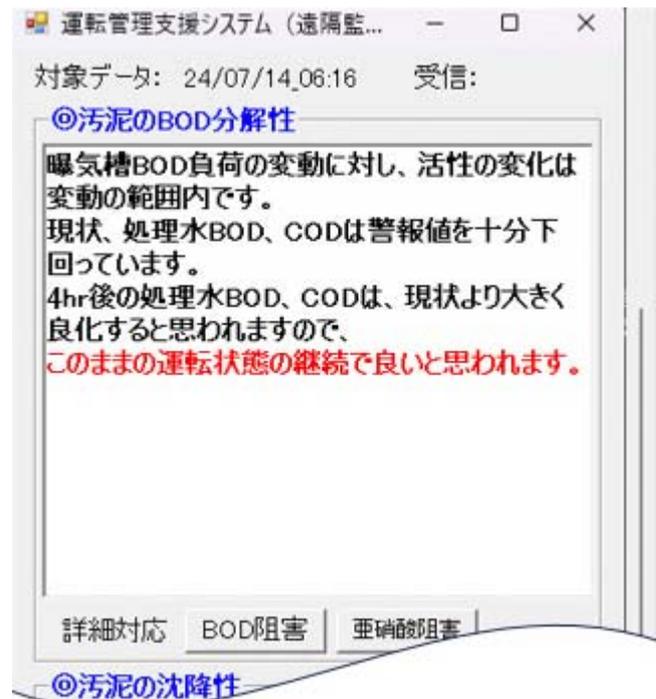
AIsupport は、曝気槽で汚泥がどのような状態で有機汚濁物を処理しているか、を判断する。AI による機械学習で通常の状態とそうでない状態を区別し、処理水の将来予測を行います。以下に代表的な例を示します。

3.1 安定して正常な処理状態のケース

原水の基質変動がなければ、汚泥の活性の変化は曝気槽内の原水負荷の変化と連動して変化する。これが活性汚泥の正常な動きです。

汚泥の活性と曝気槽内の原水負荷が、連動して安定した状態にあり、他の指標に異常な値が認められない状態は、安定した運転状態と判断でき、AIsupport のコメントは、図 4 のようになる。

図 4：安定して正常な状態



3.2 活性が増大するケース

(1) 正常な活性増大

曝気槽内の原水負荷が増加すれば、微生物にとっての餌が増加するので、微生物が増殖し、汚泥の活性は増大するのが正常な動きで、活性が増大することで、負荷増に対して正常な処理が行われます。負荷増大の変化に汚泥の活性が追いつかない場合は処理水 BOD が悪化していきます。

TS アナライザーは、これから曝気槽に流入する原水を測定しているので、数時間後の負荷予測が可能になります。曝気槽の BOD 負荷の変化と活性の動きから処理水 BOD の動きを予測して表示します。

曝気槽 BOD 負荷がさらに増大していくと、やがて汚泥の活性の増大が頭打ちになり、処理水 BOD は急激に悪化していきます。その状態がオーバーロードという状態です。

図 5-1 は負荷に対して正常に活性が増大している場合のコメントであるが、負荷増大に汚泥の活性が追いついていない場合は図 5-2 のコメントになるなど、AIsupport は、段階に応じて警報および処置のコメントを表示します。

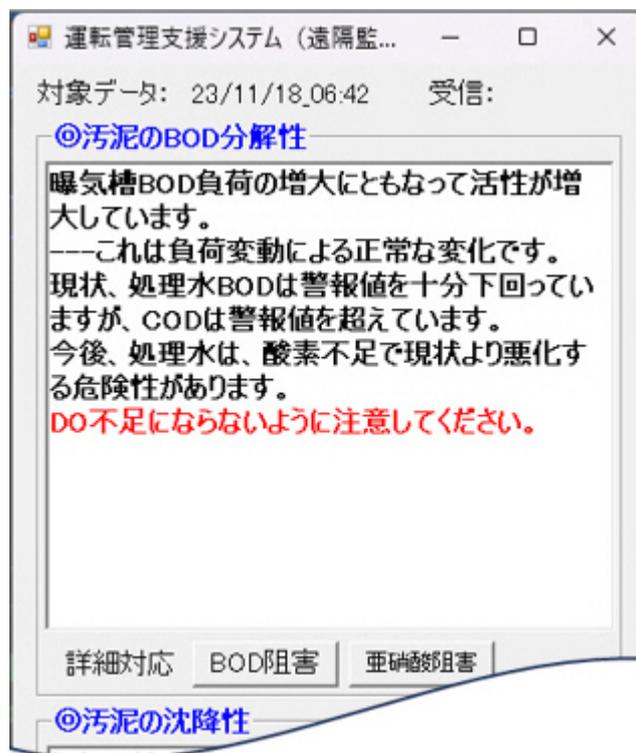


図 5-1: 原水負荷増による活性増大

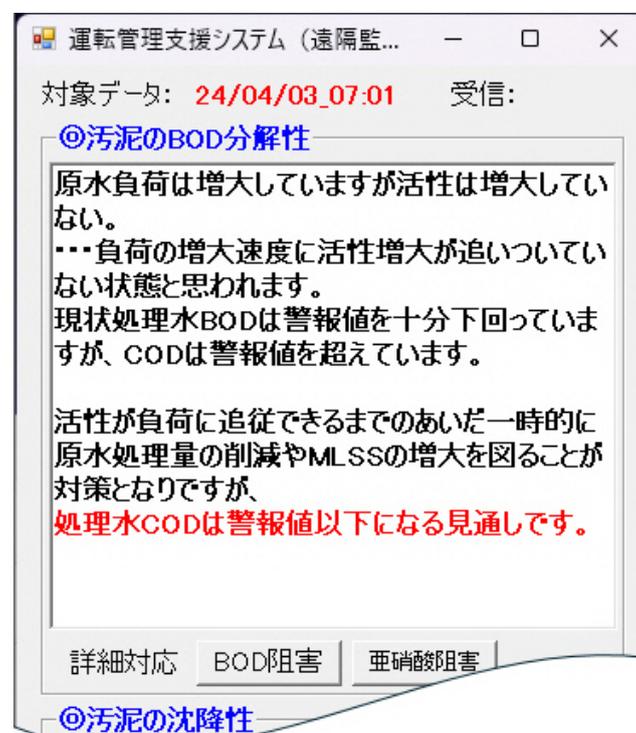


図 5-2: 負荷増に活性が追いつかない

(2) 活性のオーバーシュート

原水負荷が増大しなくても汚泥の活性が増大する場合があります。例えば、原水の基質が分解性のよい基質に変化した場合や阻害を受けていた汚泥が阻害の悪影響がなくなった場合などがあります。また以下の場合もその例です。

直近で汚泥の活性が原水負荷の増大変化に追いつかず、未処理の状態が続いて曝気槽内が汚れている状態のとき、微生物の馴養が進んで微生物が増加しだすと、曝気槽内に餌となる汚濁物が豊富にあるので、一気に微生物が増殖して、流入する原水負荷以上に汚泥の活性が増大する。これが活性のオーバーシュートという現象で、オーバーシュートが発生すると、BOD 処理能力が増大して活発に槽内 BOD を処理するので、処理水 BOD は良化に向かう。同時に酸素を大量に消費するので曝気槽 DO は低下し、酸素不足に陥りやすくなります。

原水負荷、汚泥の活性、処理水 BOD、曝気槽 DO などの変化から判断して、AIsupport のコメントは、図 6 のようになります。

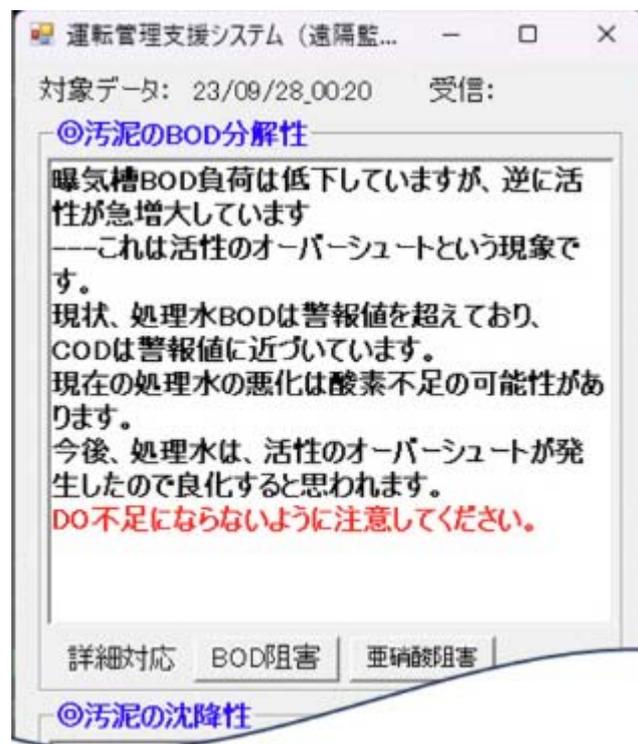


図 6：活性のオーバーシュート

3.3 活性が低下するケース

(1) 阻害性による活性低下

原水負荷の変動の割に、活性が低下するのは、何らかの異常があります。

図7のケースでは、原水負荷の低下以上に汚泥の活性が低下している。原水阻害性が検出されているので、阻害の影響により活性が通常より低下したと推定されます。

処理水 BOD や COD は活性不足で悪化傾向になります。

AIsupport は、原因となる阻害性について注意を喚起するコメントを表示します。

阻害の原因は、毒性がある原水が流入する場合や、汚泥が馴養すれば処理できるが、測定時点では馴養していない場合や、負荷増に対して活性が追い付かず処理不十分となって阻害になる場合などがある。

他の測定値から阻害の原因が特定される場合には、原因も表示されます。

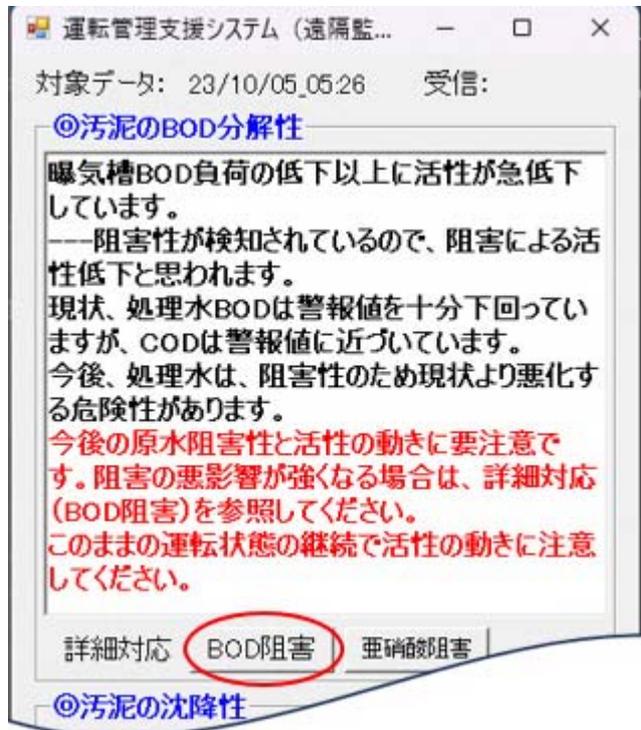


図7：阻害性廃水流入

3.4 その他の現象の例

(1)低負荷過曝気の例

原水負荷の低下が続くと、汚泥の活性やMLSSが低下し、低負荷過曝気状態になる。低負荷の状態では処理水BODは低い値で支障ないが、活性が極度に低下することで、通常の前水負荷が流入すると汚泥の活性の回復が追い付かず、処理不良となって処理水が悪化する。そのような状況にならないように事前に注意喚起や対処が必要です。原水負荷、汚泥の活性、処理水BOD、曝気槽DO、MLSSなどの変化から判断して、AIsupportのコメントは、図8のようになります。

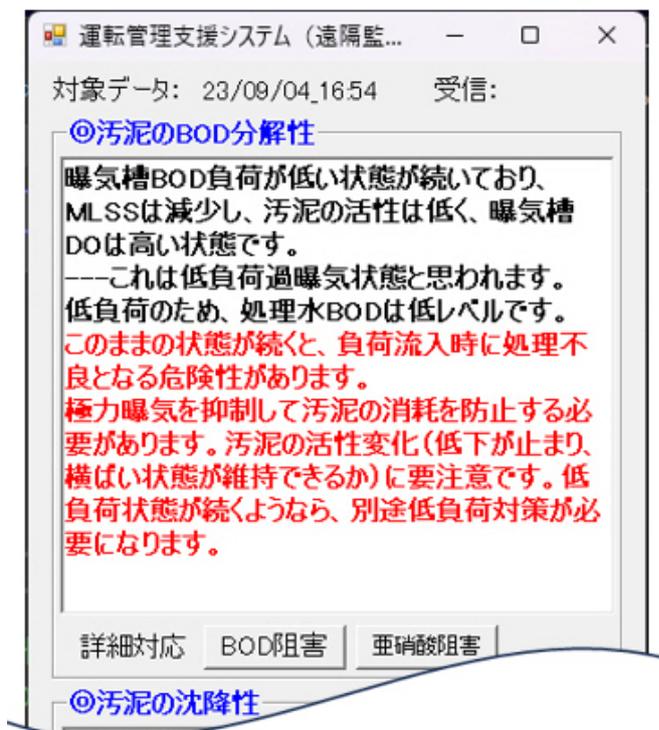


図8：低負荷過曝気

(2)処理水BOD・COD異常の例

汚泥の活性と原水負荷の連動が正常でも原水の基質や成分構成などで、処理水BOD・CODやC-BODは変動し、注意喚起が必要になる場合があります。

AIsupportのコメントは予測計算により、警報理以下になる原水処理量を図9のように表示する。

但し、ここでの処理水BODなどの計算値は、実測値との相関に基づき計算されたものであり、また計算値はあくまで活性汚泥の運転管理のための数値である。

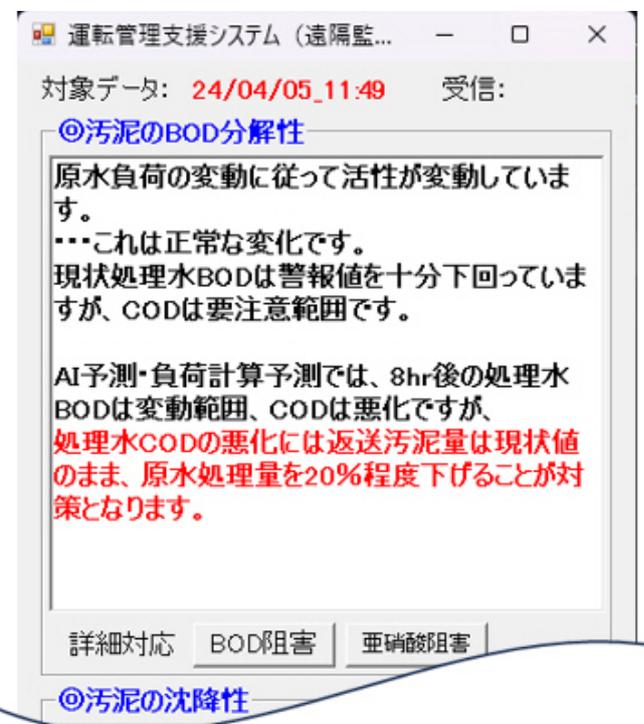


図9：処理水BOD・COD異常

4. 「汚泥の沈降性」出力例

沈殿槽で、適切な活性汚泥混合液が適切に沈降分離できているか、を判断する。

TS アナライザーで測定する直接的な指標は MLSS、SV30、SV120（脱窒 SV）や汚泥の浮上性、上澄み液の濁度になり、また異常な場合には、処理水 BOD や硝化活性など、他の測定指標を考慮して、異常の原因や対処法を推定します。

4.1 沈降不良トラブル

活性汚泥は沈殿槽での汚泥の沈降不良が発生する可能性が常にある。沈降不良の原因は、MLSS が高すぎる、糸状菌によるバルキング、粘性バルキング、沈殿槽での脱窒、その他の沈降不良、等々がある。AIsupport は、SV30 と SV120 の変化、上澄み液濁度、MLSS などから沈降不良の危険性があると判断された場合、AIsupport は図 10 のようなメッセージを表示する。

詳細対応の「沈降性不良」をクリックすると、さらに現象の説明や対応方法などを表示する。

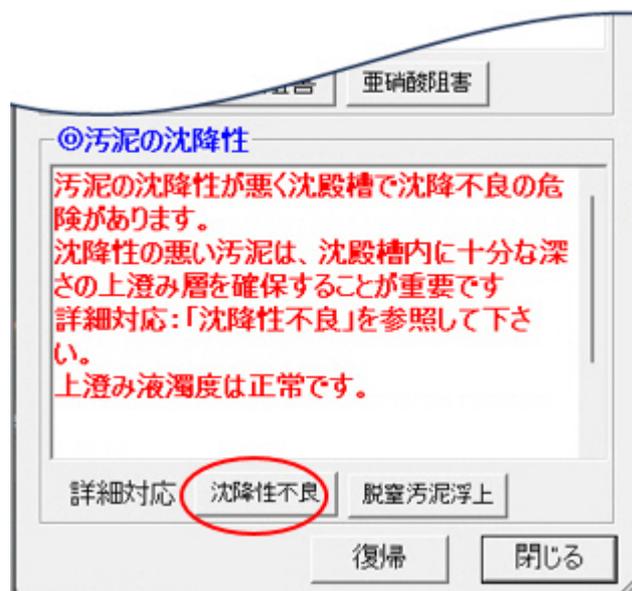


図 10：沈降不良トラブル

4.2 脱窒による沈降性トラブル

沈殿槽での重大トラブルの一つに、沈殿槽での脱窒反応による汚泥の浮上トラブルがある。このトラブルは操業不可にもつながる非常に重大な事象なので、脱窒 SV (SV120) の沈降状態図で汚泥相の浮上分離が発生し、処理水 BOD や硝化活性などから、実機沈殿槽で汚泥浮上の危険性があると判断した場合、AIsupport は図 11 のようなメッセージを表示する。詳細対応の「脱窒汚泥浮上」をクリックすると、さらに現象の説明や対応方法などを表示します。

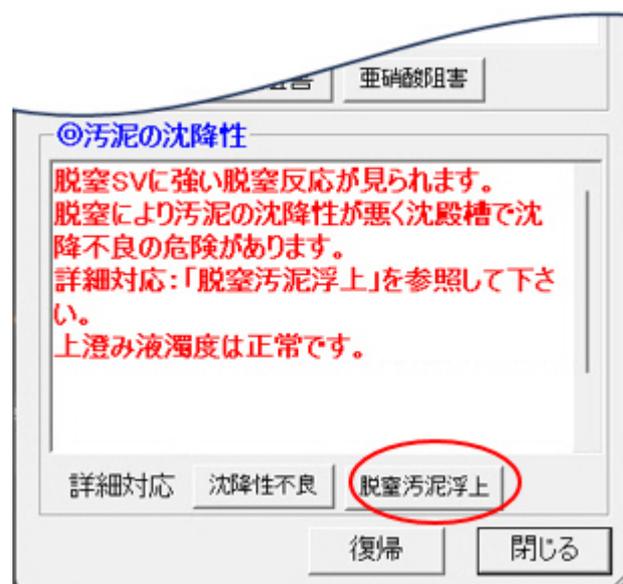


図 11：脱窒による沈降性トラブル

5. 最後に

活性汚泥の運転管理に AI を活用する試みは各所で行われている。例えば NH₄ イオンを指標に曝気量を最適制御して省エネを図る例や活性汚泥の微生物の顕微鏡写真から微生物の種類を特定して活性汚泥の状態を判断する例などがあり、これらは特定の事象に絞った活用で、いずれ実用化されると思われる。一方で、活性汚泥の運転管理全般に AI を活用することは、変化が多様なうえに各測定データは複数の要因が関係しており、その割には有効な学習データが少なく、できあいの AI ツールで測定データを解析しても、有用な出力はなかなか得られない。しかしながら予め適切な分類を施すことによりデータ間の関係が見えてくる。

活性汚泥の運転管理は、経験と勘がものをいう分野であったが、**AIsupport** はその概念を変えるものと考えています。もちろん出力結果には個々の活性汚泥で多様なニーズがあり、**AIsupport** の解析機能の一層の向上が必要であることはいうまでもないが、汎用性を保ちつつも、個別のニーズに、より精度高く適格な判断ができるように、開発側と使用者側が常にデータを共有して、ブラッシュアップしていく必要があります。