

TSchecker

《 ティーエスチェッカー 》

概要解説 ver2.5.2

(2024 年 1 月)

開発元 : 株式会社 小川環境研究所

〒251-0055 神奈川県藤沢市南藤沢 17-6
フォーラムビル 101

Tel 0466-24-6382

URL <https://www.ogawa-eri.co.jp>

1. はじめに

◎活性汚泥運転に必要なこと

生産プロセスにおいては、コンピュータ技術により、制御技術・管理技術が著しく向上している。生産プロセスのなかで、最も遅れをとっているのが廃水処理プロセスといつてよい。なかでも微生物による廃水処理、その代表プロセスである活性汚泥処理においては、いまだに運転管理を経験と勘に頼っている現状がある。

例えば、廃水処理の現場では、結構日常的におきる“原水の BOD 負荷が低いのに処理水が悪い”という現象さえ、キチンと説明できない状況がある。このことは、従来行われている活性汚泥の運転管理における測定データだけでは決定的に不足している項目があるということを示している。その項目は、

- ①微生物の活性
- ②原水の BOD 濃度と分解性

です。

活性汚泥は立派な微生物反応装置であり、反応速度（微生物の活性×原水の分解性）を管理するのは当然であるが、簡便な測定装置がないため、いつの間にか、測定しない状態が当たり前になっている。しかしながら、反応速度を知らなければ定量的な管理ができず、オペレータの経験と勘に頼ることにならざるを得ない。

TS シリーズ (TS analyzer、TS checker) はまさにこのニーズに応える新しい手段です。

(TS シリーズの基本となる測定・解析法は (株) 小川環境研究所の特許です)

◎TS checker は活性汚泥の運転管理用の測定・解析装置です。

TS checker は活性汚泥の運転に必要な不可欠なデータを測定・解析する分析機器です。

操作は、コンピュータによる自動制御なので、熟練や手間が不要です。

TS チェッカーには

1. 活性汚泥の状態管理を定量的に評価できる。

基準液分解速度→汚泥の活性を評価

原水の分解速度/分解量→原水の分解性や性状変化を把握

付帯する解析機能により、活性変化による具体的な影響を数値化できる

2. 試料廃液の簡易阻害性判定ができる。

活性汚泥に対する急性毒性を概略把握できる

3. 活性汚泥の処理水 BOD を測定管理できる。

活性汚泥の曝気槽出口汚泥を測定することで、活性汚泥の処理水の BOD を評価など、活性汚泥の運転管理に極めて有用な測定機能が備わっており、運転管理技術が格段に向上します。

2. 装置構成

TSchecker はパソコンと DO 計と測定装置から構成。測定装置はアクリル曝気容器（曝気槽と測定槽）、ポンプ、電磁弁等の機器類と温度コントローラを備えた制御盤から構成。曝気容器に活性汚泥混合液を 1000cc チャージし、TSchecker の曝気装置で制御された状態で曝気を行い、混合液の DO 変化および試料添加後の DO 変化から、コンピュータで試料の BOD や分解速度を計算出力する。

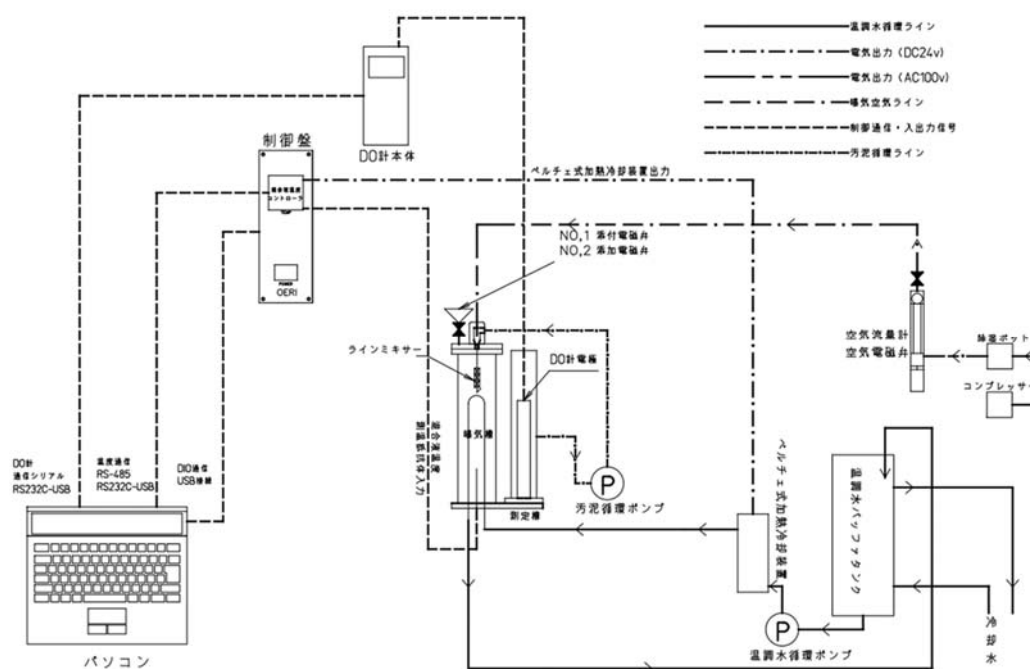
図 1 に装置の全景写真を示します。

図 1：装置全景写真



図 2 に装置のフローシートを示します。

図 2：フローシート

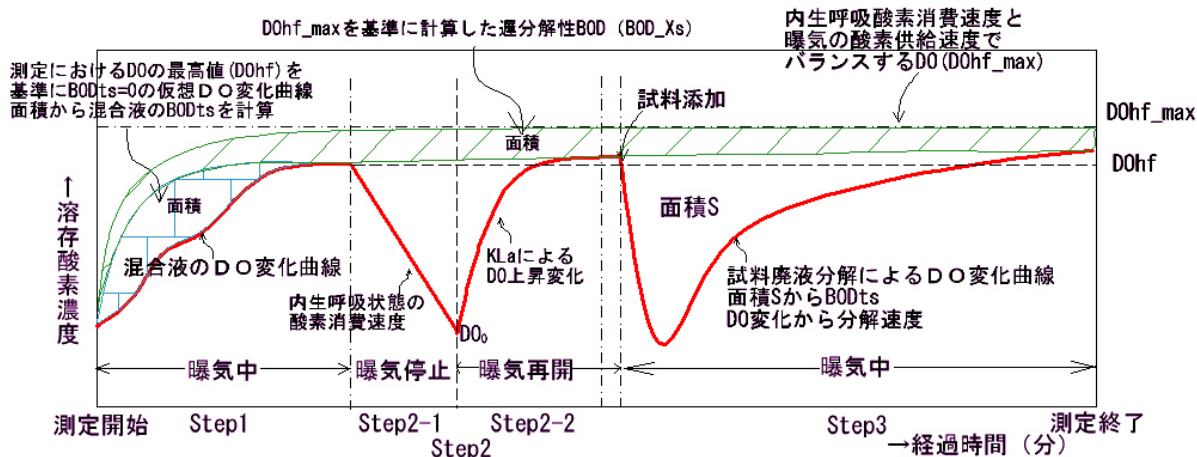


◎測定基本パターン

図3に TSchecker での測定における DO 変化の基本パターンを示します。

各 Step の切替や機器操作はコンピュータが設定値に基づき判断し、曝気装置や添加電磁弁等を自動操作し、結果を表示します。

図3：TSchecker の測定基本パターン



Step1：TSchecker に入れた活性汚泥混合液を $BOD \approx 0$ (内生呼吸状態) まで曝気して DOhf (汚泥の内生呼吸による酸素消費速度と曝気による酸素供給速度がバランスする DO 値) を取得する。

Step2-1：曝気を停止し、DO が低下する変化から、内生呼吸時の酸素消費速度 (ASact) を測定

Step2-2：DO0 から曝気を再開し、曝気の効率 (KLa・・・物質移動係数) の値を取得。

Step3：DO が DOhf まで戻ったら、試料廃液を添加し、DO 変化曲線を測定する。

DO 変化曲線と DOhf で囲まれた面積 $S \times KLa$ から試料廃液の酸素消費量 (BODts) を測定。

DOhf 値と DO 変化曲線との乖離幅から試料廃液の分解速度 (酸素消費速度) を計算する。

Step3 で添加する試料廃液を基準液→原水→硝化活性基準液、にすることで

汚泥の活性 (基準液の分解速度)、原水の分解速度と分解量、硝化活性を評価できます。

基準液：活性汚泥の微生物が容易に分解できる成分/組成一定の BOD 液

硝化活性基準液：活性汚泥の硝化菌が容易に分解できる成分/組成一定の溶液

また、曝気槽出口で採取した活性汚泥混合液で測定する場合は、Step1 の DO の上昇の変化および測定終了までの DO 変化から、処理水 BOD (= 易分解性 BOD + 遅分解性 BOD) : 易分解性 BOD : 図 3 の空色の格子模様部分の面積 $\times KLa$ 、遅分解性 BOD : 図 3 の緑色の斜線部分の面積 $\times KLa$ が推定できます。

3. 測定原理

(3-1) 曝気槽内で消費される酸素量と BOD 除去のメカニズム

活性汚泥の教科書（「公害防止の技術と法規」水質編…監修 通産省環境立地局）には、活性汚泥に必要な空気量（酸素量）の計算式は以下のように記述されています。

$$X = a \cdot L_r + b \cdot S_a \quad \dots (3) \text{ 式}$$

X : 必要酸素量[kg/d]、L_r : 除去 BOD 量[kg/d]、S_a : エアレーションタンク内汚泥量[kg]

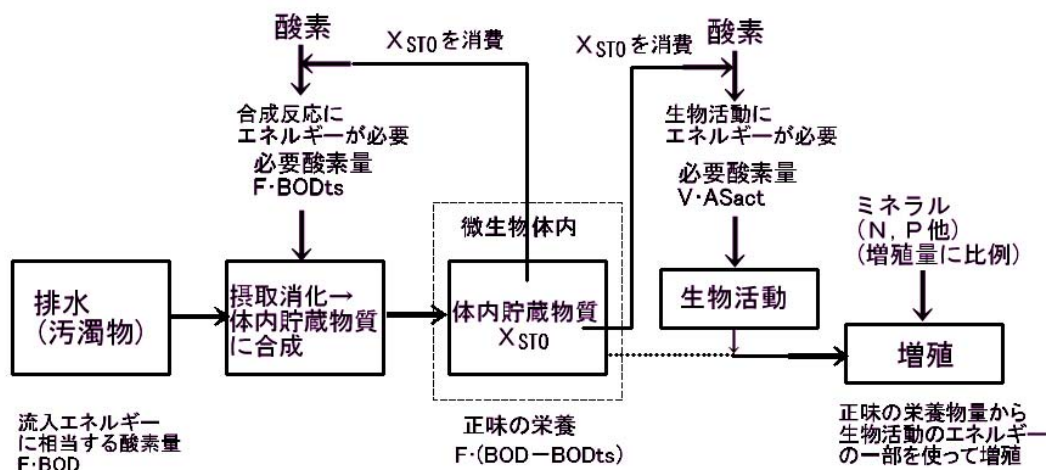
a : 除去 BOD のうちエネルギー獲得のため利用される割合 0.35~0.55

b : 汚泥の内生呼吸に利用される割合[1/d] 0.05~0.24

a・L_r は曝気槽内で汚泥が汚濁物（BOD 成分）を摂取して、微生物体内に蓄積可能物質（高等生物でいえば、グリコーゲンや脂質、たんぱく質など）に変換するためのエネルギーを得るために消費する酸素量に対し、b・S_a は曝気槽内で汚泥が体内に蓄積した物質を、生体の維持（代謝）や増殖に使用するエネルギーを得るために消費する酸素量を表すものです。

図 3-3 は、IWA（国際水協会）の活性汚泥モデル（ASM3）の考え方に、弊社の解釈を加えて、曝気槽内の微生物と BOD（汚濁物：栄養源）の関係を模式的に示したものです。

図 3-3 : 微生物からみた酸素消費（流入水 BOD の処理）



活性汚泥における微生物の作用は、曝気槽に流入する汚濁物量（微生物にとっては栄養物）は BOD として表します。BOD は汚濁物をエネルギーに変換するために必要な酸素量です。

微生物は、汚濁物を摂取し、易分解性成分は、速やかに細胞膜から体内に取り込みます。分子量の大きい遅分解性成分は、加水分解を経て易分解性成分に変えてから体内に取

り込みます。体内に取り込んだ易分解性成分はそのままの形ではいくらかも取り込めない
ので、酵素反応を繰り返して細胞内貯蔵有機物 X_{Sto} （人間でいえばグリコーゲンや
タンパク質や脂質やその前段物質など）に合成して栄養物として体内にため込みます。
易分解性成分を細胞内貯蔵有機物に合成するためには反応エネルギーが必要になり、
そのエネルギーは微生物体内に蓄積してある細胞内貯蔵有機物 X_{Sto} と酸素から作り出
します。Step1 での BOD_t や、TSchecker、TSanalyzer で原水添加を測定計測される
酸素消費量 (BOD_t) は、この時に必要な酸素量に相当します。

また微生物は体内に貯めこんだ細胞内貯蔵有機物 X_{Sto} を使って生物活動を行い増殖し
ていきます。その際のエネルギーは、 X_{Sto} と酸素から作りだし、その時の酸素消費速
度が内生呼吸による酸素消費量 ((1)式の AS_{act} ・・・図 3 の Step2-1 で測定する AS_{act})
に相当します。

註：遅分解性成分→ X_{Sto} への合成は、加水分解が必要なため時間遅れが生じ、酸素
消費速度の変化だけでは、内生呼吸による酸素消費量と区別が難しいため、便宜
的に内生呼吸による酸素消費量に含めるとして取り扱います。

実際の活性汚泥が安定状態にある場合、酸素の物質収支から、

$$F \cdot BOD = F \cdot BOD_t + V \cdot AS_{act}$$

(F：原水処理量、V：曝気槽容量)

の関係となり、(3) 式との対応は概ね

$$X = F \cdot BOD、a \cdot L_r = F \cdot BOD_t、b \cdot S_a = V \cdot AS_{act}$$

になり、TSchecker での原水 BOD_t の測定は、(3) 式を具体的に計測していることにな
ります。

また、活性汚泥が良好に原水の BOD を継続処理するためには、曝気槽の滞留時間 t で
排水の BOD を細胞内貯蔵有機物 X_{Sto} に変換しなければならない。つまり、

$$BOD_t = \int BOD_{act} \cdot dt$$

の関係が成立することが必要になります。

BOD_{act} （排水中の易分解性 BOD を細胞内貯蔵有機物 X_{Sto} に変換するために必要な
酸素消費速度）は、BOD の基質や汚泥の活性によるので、活性汚泥ごとに異なる性質
となります。一方、細胞内貯蔵有機物 X_{Sto} を使って生物活動を行う反応は、好気性微
生物に概ね共通の反応なので、微生物量に相当する MLSS に代表される指標で、共通
的に扱うことができます。

また、微生物が排水の BOD から獲得する真の栄養物量は、排水の BOD から、栄養物
に変換するために消費する BOD_t を控除した量 ($BOD - BOD_t$) となり、 BOD_t/BOD
は、余剰汚泥の発生 (→栄養塩 N、P の必要量) など重要な運転管理指標になります。

(3-2) TSchecker、TSanalyzer、TSbod での DO 変化の計算根拠

TS 装置の曝気操作での DO 変化は、以下の計算式を根拠としています。

基本となる計算式は (1) 式です。

$$\frac{dDO}{dt} = K_{La}(DO_{sat} - DO) - (ASact + BODact) \quad (1) \text{式}$$

DO : 溶存酸素濃度 [mg/l]、DO_{sat} : 飽和溶存酸素濃度 [mg/l]、

K_{La} : 物質移動係数 [1/min] (酸素供給速度係数)

ASact : 呼吸による酸素消費速度 [mg/l/min]、

BODact : BOD 物質を分解する酸素消費速度 [mg/l/min]

(1) 式から BODact ≒ 0 (BOD が無いとき) のとき DO 値の変化は (2) 式で表せます。

$$DO = DO_{hf} - (DO_{hf} - DO_0) \exp(-K_{La} \cdot t) \quad (2) \text{式}$$

DO_{hf} : 混合液の BOD が ≒ 0mg/l のとき、汚泥の酸素消費速度と曝気による酸素供給速度が
バランスする DO 値 [mg/l]

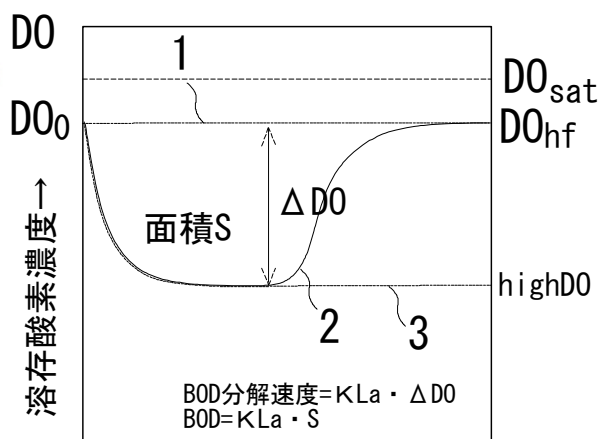
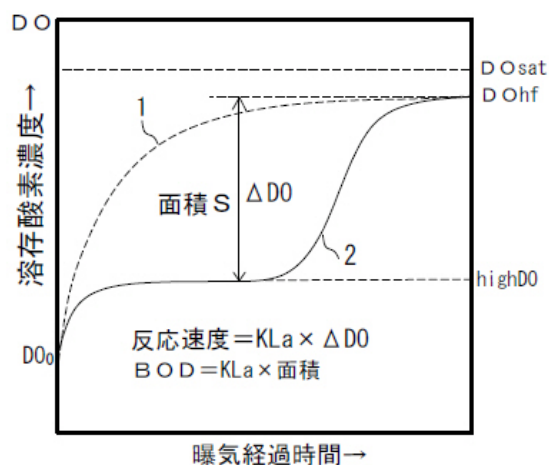
DO₀ : 曝気開始の初期値 [mg/l] t : 経過時間 [min]

混合液中に BOD が残留している場合は BOD の分解にしたがって BODact が大→小へと変化するため(1)式は積分できないが、その DO 値の変化は図 3-1、3-2 の実線 2 のような変化になります。一方 BOD の残留がないときは汚泥の呼吸による酸素消費速度 ASact のみになるので(2)式で計算される図 3-1、3-2 の点線 1 の変化になります。両曲線の DO 値の乖離幅 ΔDO × K_{La} は BOD 物質の汚泥による分解速度 (酸素消費速度 × BODact) の大きさに相当し、両曲線で囲まれた面積 S × K_{La} は BOD 物質を分解し終わるまでの酸素消費量 (BOD_{ts}) に相当します。

したがって(2)式の DO_{hf} と K_{La} を測定しておけば、試料添加時の DO 変化から、BODact や BOD_{ts} が計算できます。

図 3-1 : 初期値 DO₀ が低い場合

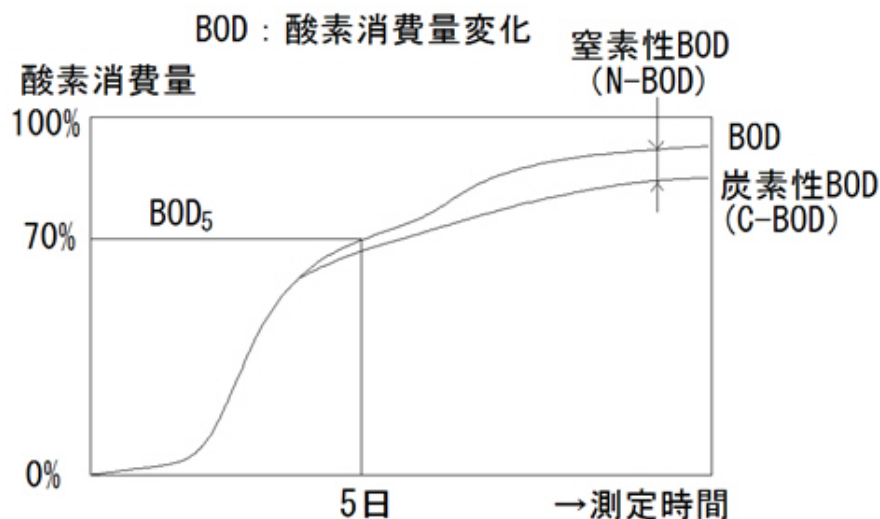
図 3-2 : 初期値 DO₀ が DO_{hf} の場合



(3-3) 公定法の BOD 測定値

活性汚泥の運転管理で重要な指標は、いうまでもなく BOD です。通常 BOD と表記される指標は、日本工業規格 (JIS) の K0102 の測定法に定める、微生物が 5 日間で消費する酸素消費量 (BOD₅と表記) です。

下図は BOD₅測定における、フラン瓶中の測定経時間と酸素消費量の変化例です。



酸素消費量は、被測定試料中の有機物の分解による BOD (C-BOD) と、被測定試料中の有機物に窒素分 (N) が含まれると、硝化菌の作用による $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_x\text{-N}$ の酸素消費量 (N-BOD) の合計になります。

注意すべきは、5 日間では微生物による酸素消費量が必ずしも完結していない途中 (図では 70%) の値であることです。馴養された植種汚泥を使って測定すれば、易分解性 BOD はほぼ 100% の酸素消費量になりますが、遅分解性 BOD は反応途中で、植種微生物の馴養状態や、遅分解性成分により異なる反応率になり、さらに硝化による N-BOD は、一般にその一部分しか測定されない、というかなりアバウトな測定値です。

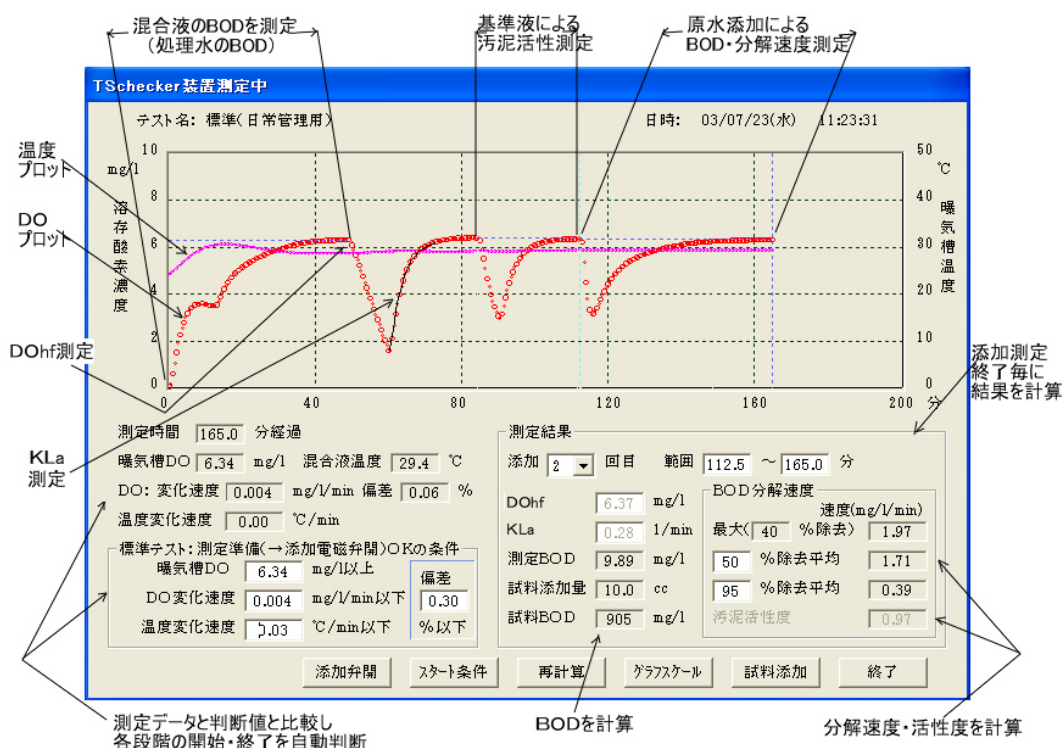
したがって TS 装置での測定値と公定法の BOD を計算式で 1 対 1 に結びつけるのは困難で、TS 装置での処理水 BOD 測定値が実測の公定法の BOD になるように計算のパラメーターを設定します。

4. 典型的な使用例

図 4-1 は日常運転管理に必要なデータを取得する使用例です。

(測定モード(標準)・・・添加順：活性基準液 TypeF→原水 (→硝化活性基準液 TypeG))
曝気槽の出口の混合液をサンプリングし、装置にチャージすると同時に基準液と原水を添加装置にセットしておけば、あとはコンピュータが自動的に操作をおこない、処理水の BOD、汚泥の活性、原水の BOD を測定し結果を表示します。

図 4-1：日常運転管理に必要なデータを取得する使用例のコンピュータ画面



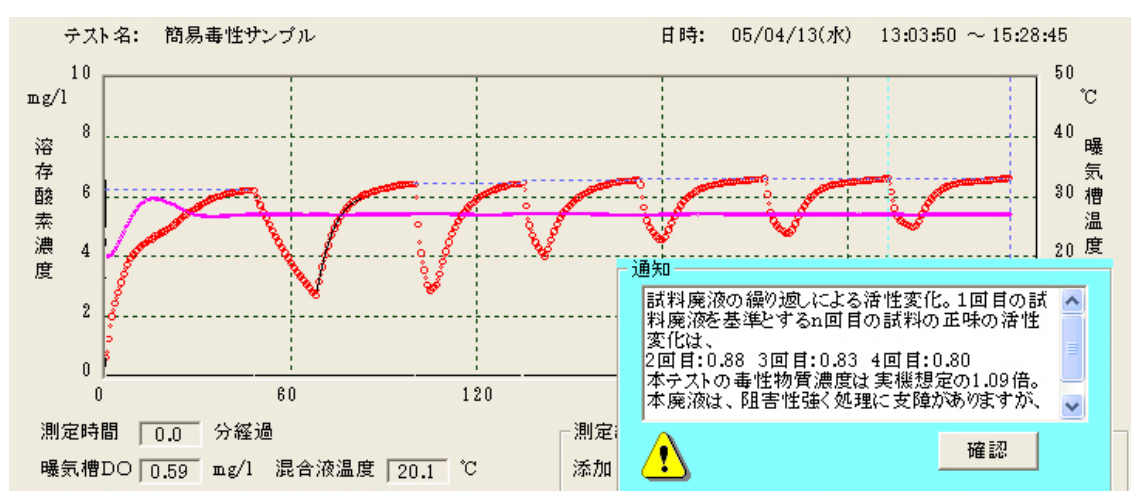
注：スタートから測定終了までの所要時間は、混合液の状態、原水の成分等で異なります。特に曝気槽出口における混合液（処理終了汚泥）に未処理の BOD が多く残る場合は混合液の BOD を測定終了するまでに時間を要します。

図 4-2 は試料廃液の活性汚泥に対する毒性を簡易評価する使用例です。

(測定モード：②簡易毒性)

毒性評価したい試料廃液の添加の前後に基準液を添加することで、もし毒性があれば、試料廃液添加前に添加した基準液の分解速度に比べ、試料廃液添加後に添加した基準液の分解速度は試料廃液の毒性の大きさに比例して低下すること (DO の凹み形状は深さが浅く幅が広がる) で簡単に毒性が評価でき、コンピュータ画面に各添加廃液の具体的な分解速度と、総合判定結果が判りやすく表示されます。

図 4-2：試料廃液の活性汚泥に対する毒性を簡易評価する使用例のコンピュータ画面



注：

- ① 図 4-2 の添加順序は、基準液 (試料廃液) → 試料廃液 → 試料廃液 → 試料廃液 → 試料廃液
- ② 試料廃液が活性汚泥に対し毒性があれば、あとに添加した試料廃液の分解速度は必ず低下する。
- ③ 試料廃液の分解速度の正味の低下 (自然低下分を補正) から毒性判定。
- ④ 1 回のスポット添加でなく、最大 5 回繰り返し添加することで、変化の傾向から、急性毒性をかなりの精度で簡易判定可能となる。
また、長期に流入する場合の影響についても、ある程度判断可能となる。
- ⑤ 測定結果から、コンピュータが判定結果を自動表示。

注意：上記の毒性判定結果は、あくまで概略の傾向を示すものです。活性汚泥に対する毒性は、急性毒のように添加直後に作用する場合や、蓄積毒のように徐々に毒性が作用する場合などいろいろなケースがあり、また活性汚泥自体には馴養作用があるなど、さまざまです。本判定法は、急性毒に対する簡易的な判定であり、馴養試験の粗ぶるいの機能で、あることを認識してご利用ください。

5. TSchecker の解析機能

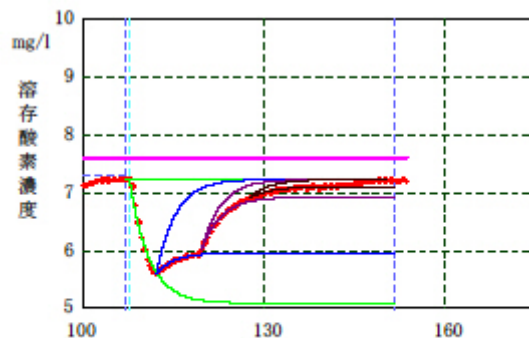
(1) BOD 分解速度解析

(1) 式は BODact が変化するため、単純には積分できませんが、TSchecker で廃液を添加し、曝気を行なうと多くの場合、DO の変化曲線は図 5-1 のように階段状に変化し、それぞれの易分解性成分の分解に対応した DO 変化になります。このことは、広い範囲では BODact は変化しますが、狭い濃度範囲では BODact は一定であることを示唆しています。つまりこの狭い範囲では廃水中の特定の成分を特定の微生物が分解している反応は微生物の活性 (= 微生物濃度 × 単位あたりの微生物活性) のみによる定速度反応 (成分濃度に対し 0 次反応) となっていることを示しています。

もちろん微生物反応は酵素反応で一般的には酵素反応式で表されるので、上記は厳密には正確ではないですが、活性汚泥の処理能力検討上の濃度範囲においては、実用上ほとんど支障ないレベルになります。

図 5-2 は、成分濃度に対し 0 次反応を前提に、DO 変化を分解速度解析したものです。

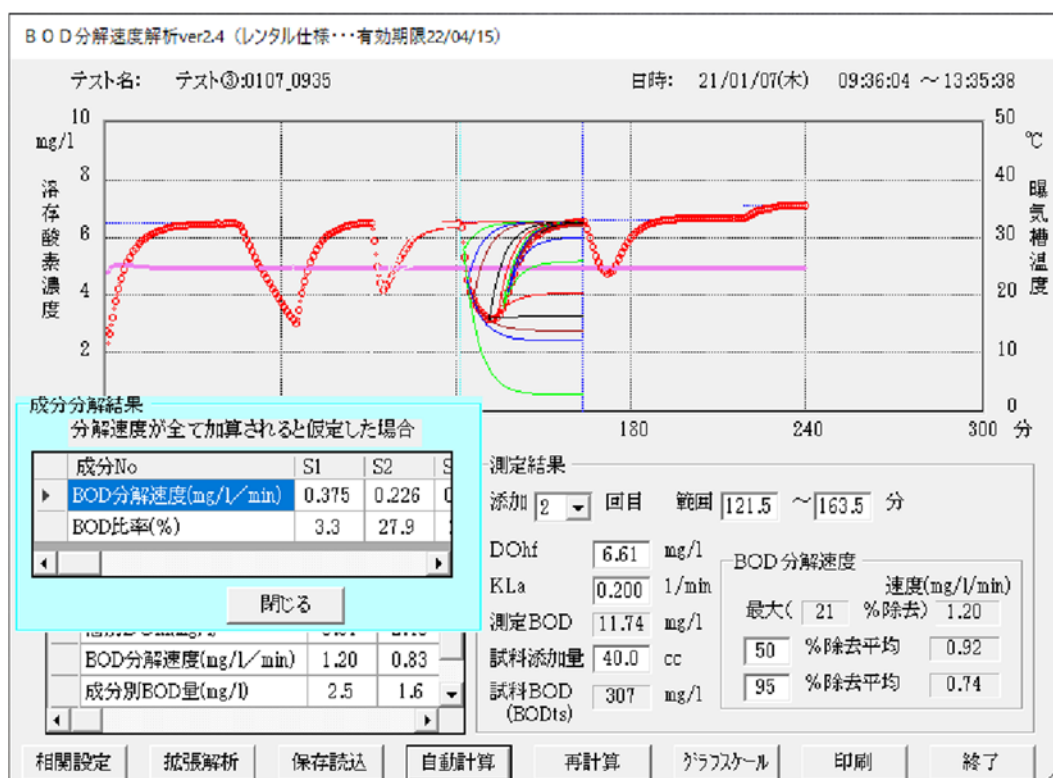
図 5-1 : 易分解性の 4 成分廃液の DO 変化



分解速度が微生物の活性のみで決まる場合の成分展開

| 成分No | 成分1 | 成分2 | 成分3 | 成分4 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| BOD分解速度(mg/l/min) | 0.299 | 0.276 | 0.055 | 0.041 |
| BOD比率(%) | 48.2 | 17.1 | 14.4 | 20.3 |

図 5-2 : 分解速度解析ソフトでの解析例



(2) 原水 BOD₅ の計算

TSchecker による原水の BOD_{ts} と汚泥の呼吸による酸素消費速度 (Step2-1 工程の DO 減少速度(ASact)) から、曝気槽内で消費する酸素量から計算した原水の BOD (BOD_{AS}) を計算ができます。原水の BOD_{AS} と公定法の BOD₅ の関係は、原水 BOD の基質と HRT (曝気槽容量/原水処理量) で異なりますが、HRT=12hr 程度の活性汚泥では、概ね BOD_{AS} ≒ BOD₅ になります。

(HRT が短い場合、BOD_{AS} < BOD₅、長い場合 BOD_{AS} > BOD₅)

$$F \times BOD_{AS} \doteq F \times BOD_{ts} + ASact \times V$$

(F : 原水処理量、V : 曝気槽容量)

(HRT が 12hr 程度の活性汚泥の場合) BOD₅ ≒ BOD_{AS}

図 5-3 は、分解速度解析ソフトの[拡張解析]メニューの出力画面例です。

図 5-3 : 原水 BOD の計算

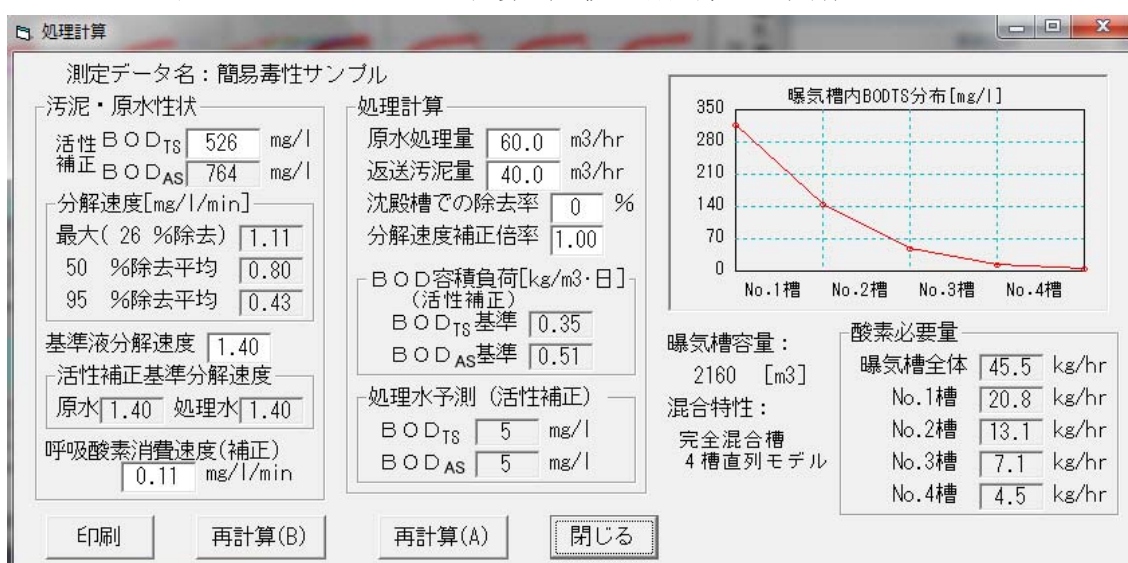
(3) 処理水 BOD の予測計算

原水添加で得られた DO 変化データを分解速度解析した BOD 成分別分解速度データと活性汚泥の運転条件データから、その原水を継続処理した場合の処理水 BOD を予測計算できます。

(精度よく推定するためには、活性による補正や分解速度補正倍率や処理水 BOD_{ts} → BOD 変換、などの設定が必要です。これらは個々の活性汚泥で状況が異なるため、実測の BOD との対比で設定します。)

図 5-4 は分解速度解析ソフトの[拡張解析]メニューの出力画面例です。

図 5-4：処理水 BOD の計算（連続式活性汚泥の場合）



6. 処理水 BOD の測定機能

処理水 BOD は、易分解性 BOD : 図 3 の空色の格子模様部分の面積×KLa から易分解性 BOD、緑色の斜線部分の面積×KLa から遅分解性 BOD が計算できますが、計算の基準となる DOhf_max (曝気による酸素供給速度と、内生呼吸時の汚泥の酸素消費速度でバランスする DO 値) は、測定毎に変化する値です。この値を、同じ活性汚泥の汚泥であれば、活性汚泥混合液や測定運転条件に合わせて適正に補正することで、一つの基準となる DOhf_max で、公定法の BOD に近い処理水 BOD が測定できます。TS チェッカーには、公定法の BOD から DOhf_max を適正值に設定する簡便な機能を備えています。

図 6-1 : TSchecker の測定基本パターン (図 3 の再掲載)

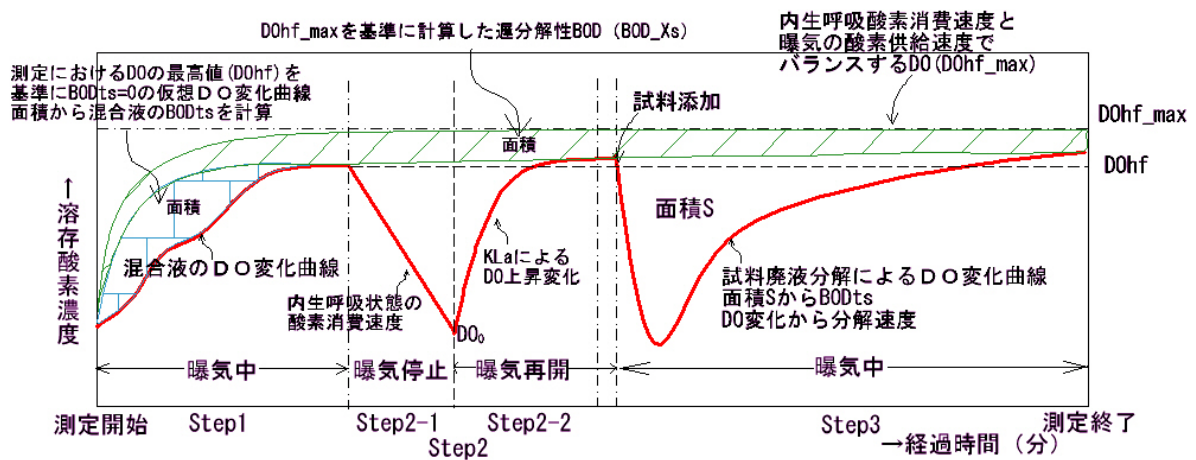


図 6-2 : DOhf_std を適正值に設定する簡便な機能

図の●は TSchecker 測定値、■は公定法の BOD 値、BOD 用試行値欄の設定値を変えて繰り返し計算することで、適正な DOhf_std を設定できます。

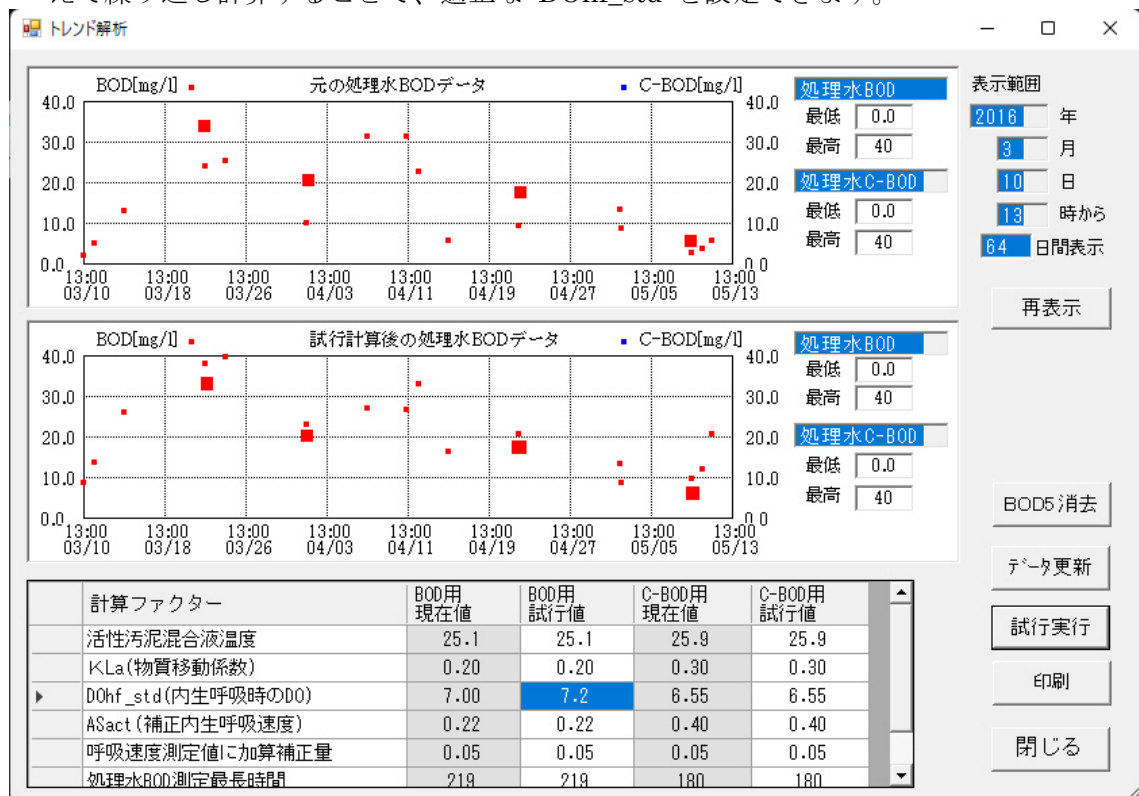
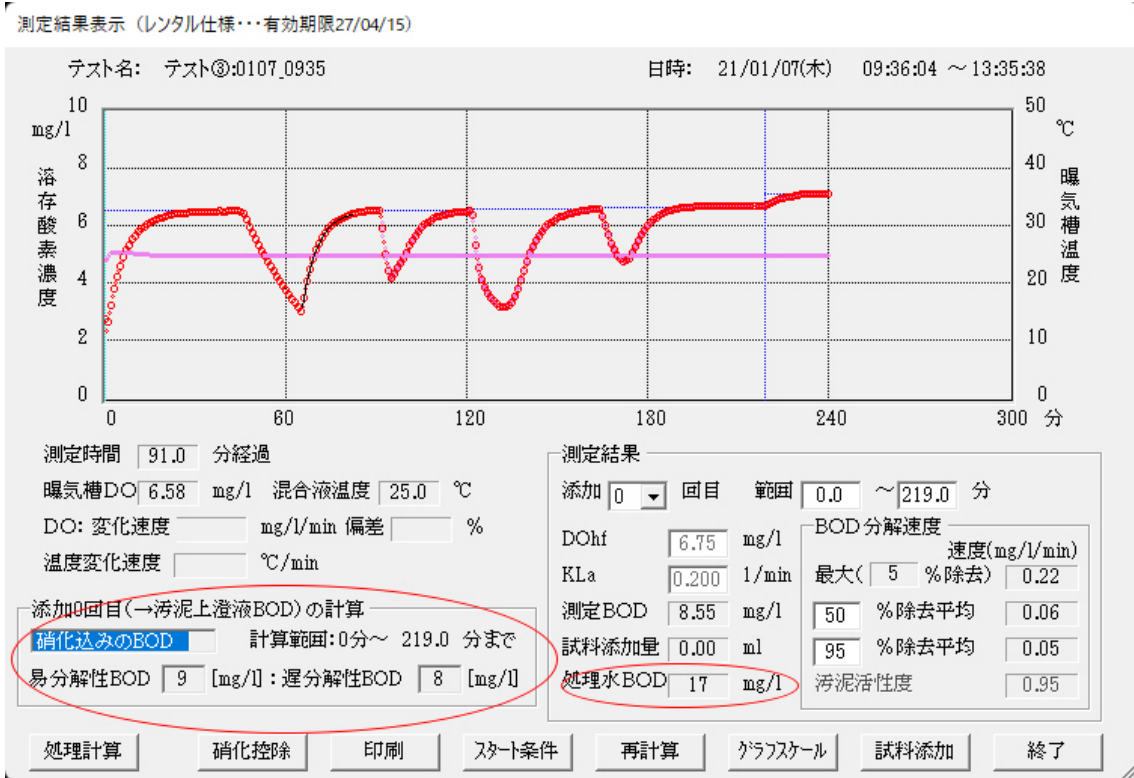


図 6-3 : 処理水 BOD の計算例

適正な DOhf_std を設定すると、任意の測定において、測定結果を表示させると、処理水 BOD (添加 0 回目) の計算結果が図 6-3 のように計算表示されます



7. 処理水 COD の測定機能（試用版）

このメニューは ver2.5.2 から追加されました。現在は試用版です。

一般に、原水ベースでは、原水の基質の変化が小さければ、COD の値と BOD の値は、一定の相関があります。しかしながら、処理水ベースになると、原水中の BOD は殆ど除去され、処理水の BOD に対応する COD は、ほぼ比例して小さくなりますが、その上に、原水中の難分解性成分が処理水 COD に上乗せされます。

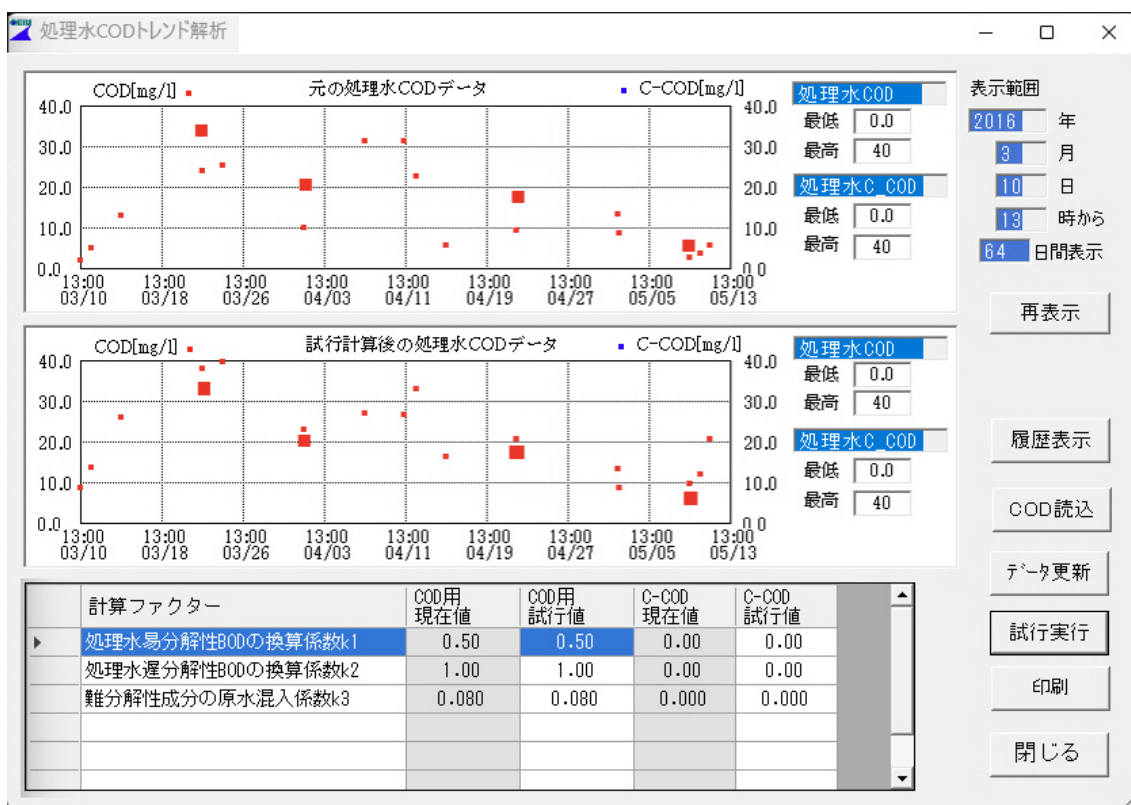
このため、処理水 BOD に対応する COD 値に比べ、上乗せ量の COD 値が大きくなると、処理水 COD と処理水 BOD の間の比例関係は著しく低下します。

TS チェッカー/TS アナライザーでは、以下のように処理水 COD を計算します。

$$\text{処理水 COD} = k_1 \times \text{処理水易分解性 BOD} + k_2 \times \text{処理水遅分解性 BOD} + k_3 \times \text{原水濃度}$$

（原水中の難分解性成分 COD 成分濃度は、処理中の原水濃度に比例すると想定し、
原水濃度は原水添加測定での分解量（BODts）で評価）

注意：原水の基質の変化が大きい原水の場合は、実測の処理水 COD との差異が大きい場合があります。



操作法は処理水 BOD の場合と同じで、試行値を変えて計算した結果が実測の処理水 COD 値とほぼ一致するように、試行計算して、[データ更新]をクリックします。

係数決定の参考（個々の活性汚泥で異なります）

- ①変化係数 k_3 : 処理水 BOD が殆ど 0mg/l の時、実測の処理水 COD を測定します。その時の TSchecker での原水添加時の試料 BOD(BOD_{ts}) とすると、 $k_3 = \text{処理水 COD/BOD}_{ts}$ で k_3 の概算値が求められます。
- ②変換係数 k_1 : 原水の COD と原水の BOD が解っている場合、 k_1 は原水 COD/原水 BOD に近い値になることが多いです。
- ③変化係数 k_2 : 一般的に、 k_2 は k_1 より大きな値になります。 k_2 は k_1 の 1.5~2.0 倍程度になることが多いです。