

## 好気性処理プラントの効率最大化における呼吸計測の役割

Dr P. Spencer Davies ([psd@strathkelvin.com](mailto:psd@strathkelvin.com)) and Dr Fiona Murdoch ([fm@atrathkelvin.com](mailto:fm@atrathkelvin.com))  
Strathkelvin Instruments Ltd, 1.05 Kelvin Campus, W of Scotland Science Park, Glasgow G20 osp

排水処理プラントは運転効率を高める必要性を迫られつつある。これには二つの目的がある。第一の目的は運転コストの低減である。二つめは放流域への毒性物質の流出を少なくするための新たな法案に対することである。このことを達成するためには、好気性処理プロセスにおける微生物呼吸の極めて重要な役割に焦点を当てる必要がある。それは、呼吸の重要性は、素早く、簡単に計ることができるということである。新しい最新技術の呼吸度計を用いれば、呼吸測定データを処理プロセスのモデリングに、毒性管理に、また短時間 BOD (Short Time BOD) や硝化能力、易分解性 BOD の処理能力、およびエアレーションの必要度を測定するために応用することが可能である。運転効率を高めることはほとんどが、プロセスコントロールをもっと効率的に行うことや、工業排水を扱うプラントにおいて毒性管理計画を導入することから来ているようである。

### はじめに

生物処理排水プラントの運転効率を高めることへの圧力は、二つの理由から来ている。第一には、プラントが最大効率で運転されれば処理コストを減じることができるという認識が高まっていることである。処理プロセスのコンピュータによるモデリングが進歩してきており、これにより基礎的なコストへの理解が深まっている。二つには、放流水の水質を改善すること、とりわけ処理プロセスで除去されなかった毒性物質の持ち越しを最小にする規制圧力が高まっていることである。呼吸計測は効率的なプロセスコントロールと、毒性工業排水処理プラントにおける毒性管理の両方にとって不可欠なツールである。

高度に規制された排水処理産業の環境下においては、運転方法の変化は往々にして法令の変化によるものである。水包括規制(Water Framework Directive 2000)は放流域の水質改善を求めている。富栄養化に直接影響を与える BOD、COD、アンモニア等の放出規制に加えて、放流水中の毒性物質はさらに厳しく規制される。特に、統合的汚染防止管理(訳者注:IPPC = Integrated Pollution Prevention and Control)の認可証には、将来は、放流域の実際の生物に対して放流水の毒性を測定することも含まれるであろう。これは、最近環境当局と SEPA (Scottish Environment Protection Agency: スコットランド環境保護庁) が承認した新たな直接毒性評価試験(DTA: Direct Toxicity Assessment tests)の使用も含むことになる。処理設備に流入した毒物が活性汚泥により除去されなければ、放流許可は得られないであろう。毒物を除去できない主たる理由はバクテリア自身が毒物に冒され、効果的に働くことができないからである。生物処理設備の機能を害する物質を公共下水に放流することを規制する法令は、都市排水処理(イングランド、及びウェールズ)規制 1998 の schedule 4 に示されている。しかしながら、流入水の毒性とその微生物への影響を測定する効果的な手法は現在利用できるが、規制はまだ効果的には適用されていない。

例外的に、大手製造企業が運転する処理設備はプロセスコントロールを最大化し処理コストを最小にするために流入水の毒性を制限している。そうすることで、自分たちが排出した放流水が質の高いものであることを保証することもでき、またそれ故に、放流不許可に関わってありがたくない評判を回避することもできるのである。

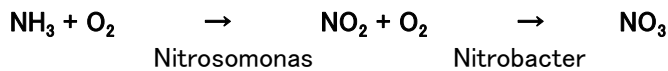
おそらく、毒性に対して最も感度の高い指標は、活性汚泥の呼吸阻害である。以下に示すように、呼吸が阻害されると、下水の生物分解速度が低下する。従って、呼吸計測は毒性検知とプロセスコントロールにおいて果

たすべき重要な役割を有している。

## 活性汚泥の生物学的プロセス

活性汚泥は、微生物、主にはバクテリアの柔毛に覆われた混合体であり、これが成長のために種々の基質物質を分解する。活性汚泥は酸素を消費し、これが従来から呼吸 (respiration) と称されている。呼吸は活性汚泥の成長と生物分解の両方に深く関わっている。

**呼吸:** 活性汚泥のバクテリアには二つのタイプがある。すなわち、独立栄養細菌(主にアンモニアを取り入れる硝化菌)と従属栄養細菌(BOD 中の有機炭素を消費する)である。これらの細菌が酸素を使う方法は全く異なっている。主としてニトロソモナス属(Nitrosomonas)とニトロバクター属(Nitrobacter)に代表される硝化菌はアンモニアを酸化して硝酸(nitrate)と亜硝酸(nitrite)にする。その段階は:



このプロセスは厳密には呼吸とは言わない。本当の呼吸は従属栄養細菌によってのみ表されるものである。呼吸は簡単な有機炭素分子の分解であり、最終生成物は二酸化炭素と水である。(しかしながら、両タイプのバクテリアによる酸素摂取速度の合算を、通常、活性汚泥の呼吸速度と称している。) 両方のプロセスに共通していることは、エネルギーを放出するという点である。このエネルギーのあるものは、バクテリアの生命を維持するために使われる。

**成長:** 呼吸によって利用できるようになったエネルギーは大部分が成長のための生物合成化学反応のために使われる。この反応には有機炭素分子(および窒素やリンを含む他の分子も)の供給をさらに必要とする。炭素とエネルギーには比例的な関係があり、どちらかが制限されると、成長もまた制限されてしまう。

**生物分解:** 呼吸と成長の両方に対して、バクテリアは炭素及び他の栄養素を取り込むことが必要である。硝化菌においては、炭素は無機の二酸化炭素として取り込まれ、有機炭素物質がバクテリアの内部で合成される。従属栄養細菌は有機炭素物質を取り入れることが必要である。分子量の小さい物質は速やかに取り入れられる。これらは下水中の易生物分解性物質と称される。他の分子量の大きい成分は、バクテリアが取り込むためには、バクテリアの外部で分子量の小さい成分に分解することが必要である。この反応はスピードが遅く、終了するまでに何日もかかることがある。この様な分子量が大きく、大抵構造が複雑な分子は難生物分解性物質と呼ばれている。この分解とこれらの炭素成分(と硝化菌によるアンモニア)を取り入れるプロセスが、生物分解である。

**生物分解速度の予測値としての呼吸速度:** 従属栄養細菌においては、摂取される炭素は、呼吸によって分解される炭素と、成長のために高分子へと合成されていく炭素に分かれる。呼吸、成長、及び炭素の全摂取(これが生物分解と等価である)の関係を以下の図1に示した。

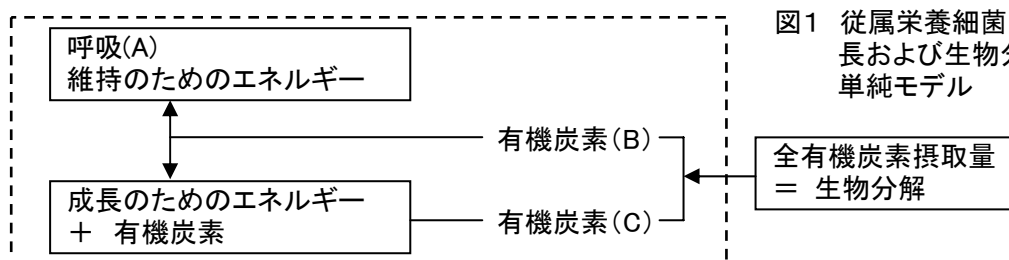


図1 従属栄養細菌の中での呼吸、成長および生物分解の関係を示す単純モデル

呼吸速度(A)を測定することによって、エネルギーを与えるために使われる有機炭素の量(B)を計算することができる。従って、(A)は(B)を予測するために使うことができる。呼吸速度(A)は成長のために使われるエネルギーを予測するためにも使うことができる。このエネルギーと成長のために使われる炭素量(C)の間には比例的な関係があると考えられる。そこで(A)は、(C)を予測するために使うことができる。(B) + (C)は全炭素の摂取量に等しく、これは生物分解速度に匹敵する。呼吸速度(A)は(B)および(C)を予測するので、生物分解速度を予測するために使うことができるのである。

硝化菌の場合(図2)は、酸素の摂取速度がアンモニアの生物分解を直接表すので、より簡単である。



これらの二つのモデルは好気性分解プロセスにおける呼吸速度(もっと正確には酸素摂取速度)の中心的な役割を示すものである。

**毒性の影響:** 従属栄養細菌においては、排水中の毒性物質が成長または呼吸のいずれかを阻害することがある。図1のモデルに示された呼吸と成長、生物分解の間には密接な関係があるので、成長が阻害されると、エネルギーの必要量が減少し、呼吸速度が減少することが見られる。呼吸のための炭素必要量が減少するので炭素摂取速度または生物分解速度が減少する。同時に、成長に関わる炭素量も減少する。このことがまた生物分解速度を減少させる。逆に言えば、毒物が呼吸を阻害すれば、呼吸のための炭素量が減少し、その結果、生物分解速度が減少するということである。呼吸によるエネルギーの供給が減少する結果、成長速度が低下し、そこで炭素摂取速度または生物分解速度が減少する。このことから、毒性物質が作用すれば、呼吸速度と生物分解速度の両方が阻害されることが見られるのである。

硝化菌は特に毒性物質によって阻害されやすい。再び、図2のモデルから、成長またはエネルギーを放出する酸化反応のいずれかが阻害されれば、酸素摂取量およびアンモニアの生物分解速度の両方とも低下することが見られる。

**基質の有効性と呼吸速度:** 図1から、従属栄養細菌においては、排水中の有機炭素の利用性が呼吸速度と成長速度の両方を制限することがわかる。好気性処理においては、ときどき、従属栄養細菌は生物分解性有機炭素またはBODを完全に除去することもある。その様な状況においては、バクテリアは成長しておらず、従って成長のためのエネルギーも使用していない。意外なことではないが、その場合もバクテリアは低い呼吸速度を有している。これを内生呼吸速度と呼び、バクテリアの生命を維持するために必要なエネルギーを表している。このエネルギーを提供する炭素は、はじめのうちは内部に貯蔵された物質から提供される。これらの物質が消費されてしまうと、内部の細胞成分を自家消費するようになる。

内生呼吸状態にある活性汚泥が排水に触れるようになると、呼吸速度はものの数分のうちに、より高いレベルに急激に上昇する(図3)。バクテリアは易生物分解性分子を摂取し、最大速度で成長するようになる。呼吸速度は、成長のためのエネルギーを使用している速度の測定値である。この呼吸速度が**最大呼吸速度**であり、二つの基礎をなす要素で成り立っている。すなわち、内生呼吸速度と成長活性化呼吸速度である。内生呼吸

速度に対する炭素は有機炭素の全摂取量の一部ということである。正確に言えば、アンモニアが存在し、また汚泥中に硝化菌が存在すれば、増加した酸素摂取量の一部は硝化の酸化プロセスによるものであると言わなければならない。

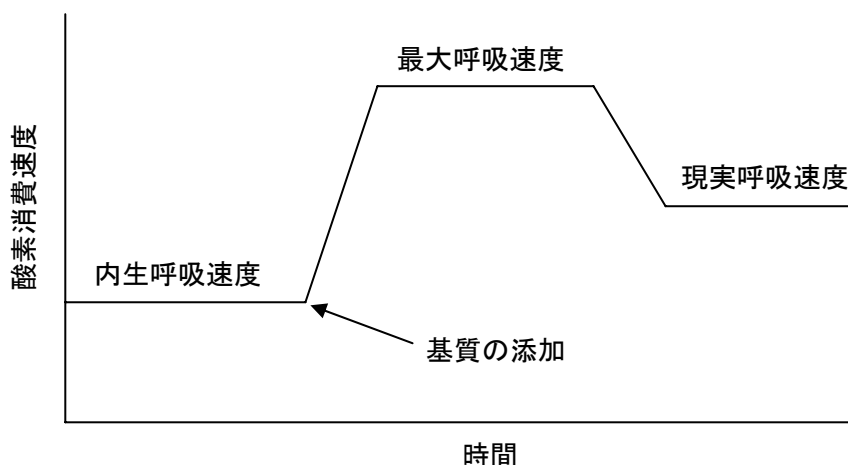


図3 活性汚泥が基質(下水)にさらされたときの、内生呼吸速度から最大呼吸速度への呼吸速度の急激な上昇を示すグラフ

易生物分解性有機炭素物質が消費されてしまうと、呼吸速度は減少するが、内生呼吸速度よりは高いレベルとなる。この呼吸速度の階段の高さは、バクテリアが排水中の生物分解性のより低い物質を、バクテリアが摂取することができる様に、分子量がより小さい物質に分解するときの呼吸速度である。曝気槽の中ではいつでも、汚泥の呼吸速度は内生呼吸と最大呼吸の間のどこかの状態にあり、それは利用できる生物分解性基質濃度に依存して変わる。この呼吸速度のことを**現実呼吸速度**(Actual Respiration Rate)と称する。

## 下水処理プラントにおける呼吸計測の応用

有機炭素とアンモニアの分解と除去の基礎となる呼吸および硝化という酸化プロセスは、呼吸度計測によって測定することができる。プロセスコントロールにおいて、酸素の摂取速度は曝気処理プロセスのモデル化と毒性管理のために使うことができる。さらに、呼吸度計測は短時間 BOD を計算し、BOD 処理能力や曝気の必要性、硝化能力を予測するために使われる。

**モデル化:** 呼吸速度は活性汚泥プロセス理論の詳細モデリングにおいて最も感度の高い変量として使われる<sup>(1,2,3)</sup>。このことの一例として、排水処理プラントの放流水水質への毒物の影響をモデル化することが提案されている。このモデルでは活性汚泥モデルNo.1<sup>(4)</sup>と、COST624 シミュレーション規準<sup>(5,6,7)</sup>のプロセスレイアウトおよび流入水パターンが使われている。この処理プラントは完全混合曝気槽と二次沈降槽で校正されている。毒性物質として二つの濃度が検討されたが、これは非生物分解性であり、呼吸速度を阻害するものである。

このモデルでは、毒性濃度が低いところでは呼吸速度は 50%減少し、その結果放流水の COD が 34 倍に上昇することが予測されている(図4、5)。毒物濃度が 3 倍になれば、呼吸速度は 80%阻害され、その結果、放流水 COD は 150%に上昇する。このコンピュータモデルは、活性汚泥の呼吸速度に対する他の変化要因をシミュレートするためにも使うことができ、プロセス管理を改善するために多くの可能性を提供する。

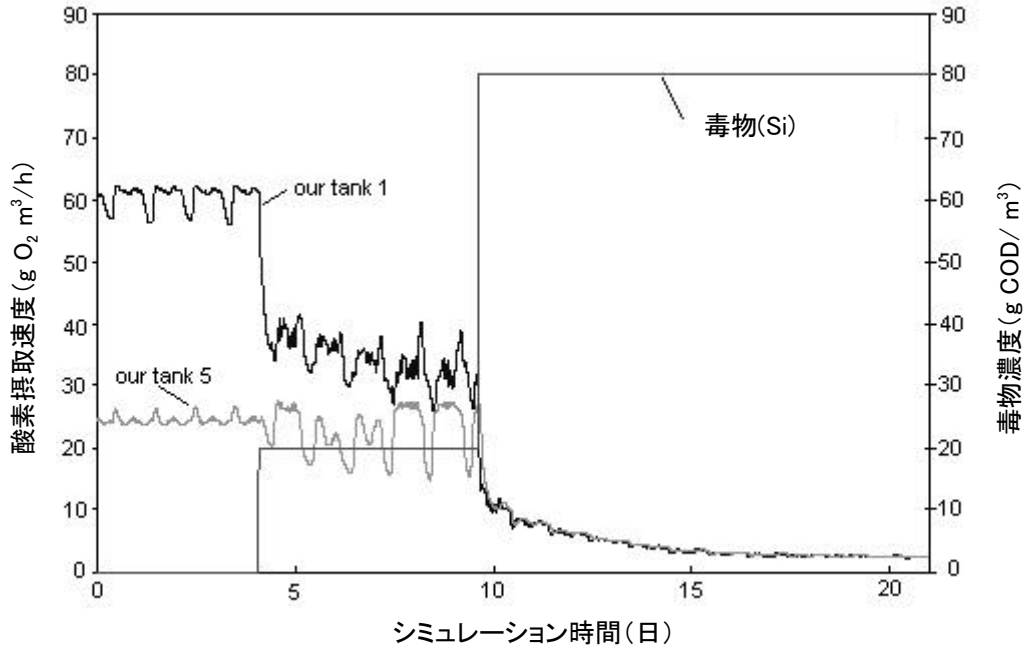


図4 #1及び#5曝気槽での呼吸速度に対する流入毒物の影響のコンピュータモデルシミュレーション

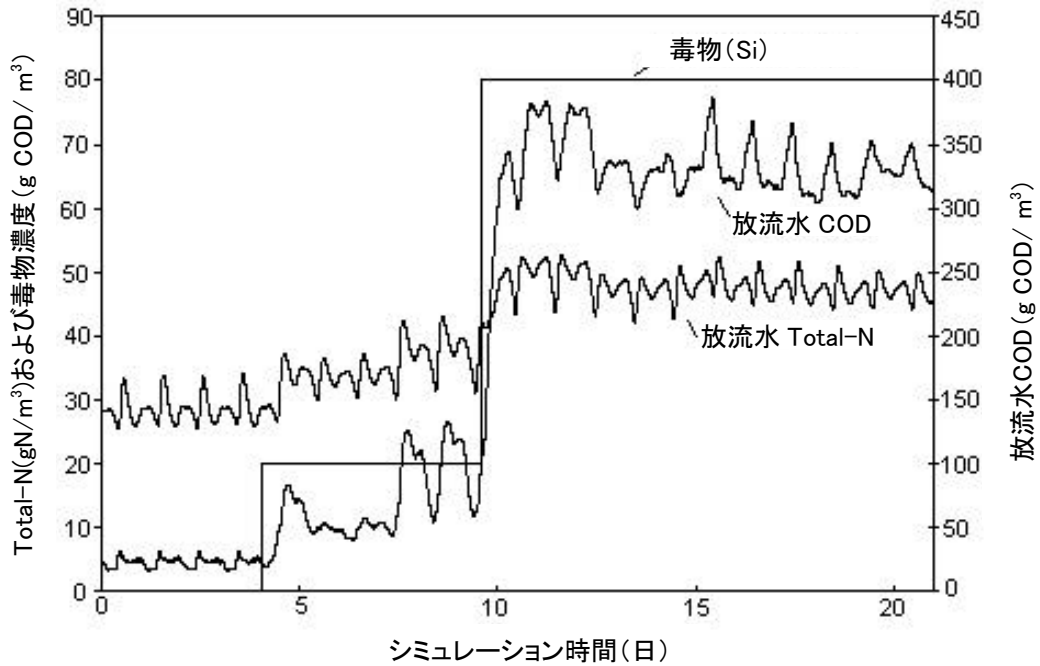


図5 放流水T-N濃度及びCOD濃度に対する流入毒物の影響のコンピュータモデルシミュレーション<sup>(7)</sup>

**短時間BOD:** 呼吸速度の測定は短時間BOD ( $BOD_{st}$ ) の指標としても使うことができる<sup>(7)</sup>。バクテリアの存在下で排水を5日間培養する従来のBOD測定 ( $BOD_5$ ) は元々、放流域の富栄養化を最小にするために導入されたものである<sup>(8)</sup>。しかしながら、BOD測定にこのような長い期間かかることは、排水処理設備を流れていく有機物の生物分解性を評価するには有効ではない。 $BOD_{st}$ は処理プラントの活性汚泥バイオマスを使用し、生物

分解性BODの測定を目的とするものである。この $BOD_{st}$ の測定は、少量の流入排水を密閉容器の中で内生呼吸状態にある活性汚泥に加えた時の、酸素消費量の増加を測定することによって行われる<sup>(7)</sup>。 $BOD_{st}$ は、 $BOD_5$ 試験と同じく、硝化菌と従属栄養菌の両者による酸素摂取量を測定している。 $BOD_{st}$ と $BOD_5$ を関連づけようとするのは意味がない。なぜなら、その違いは、排水中の非易分解性物質の相対量指標にすぎないからである<sup>(7)</sup>。従って、 $BOD_{st}$ は $BOD_5$ のコスト節減指標としてよりは、プロセスコントロールで使うツールとして考えるべきものである。

**負荷量予測:** ラボ分析で最大呼吸速度を測れば、活性汚泥槽中のバイオマスで達成できる易分解性 BOD の最大分解速度をいつでも迅速に知ることができる。BOD 負荷が過大になると、バイオマスが実行可能な滞留時間内にこの負荷を処理する能力を損なわせてしまう。従って、バイオマスによる BOD の分解速度を予め知っていればプロセスコントロールの最適化を図ることができるわけである。

**他の用途:** 活性汚泥の最大呼吸速度の測定は、モニタリングとプロセスコントロールのために<sup>(9)</sup>、また最大曝気容量の決定のために<sup>(10)</sup>、そしてバイオマスの生存可能性や濃度の推定のために<sup>(9, 10, 11)</sup>使われて来ている。しかしながら、最大呼吸速度よりも内生呼吸速度を使えばバイオマス濃度はもっとよく推定することができるということが議論されている<sup>(12)</sup>。新たな測定器の開発により、活性汚泥の硝化能力を迅速に測定することができるようになるであろう。

最後に、工業排水を受け入れている処理プラントにとって、呼吸速度の測定は毒物管理計画の基本として使用することができる。これを行えば、好気性処理プラントの効率最大化において直ちに利益を得ることができる。このことについては以下に詳述する。

## 毒物管理における呼吸度計測

最近まで、プロセスコントロールにおける毒性の影響は大きくは注目されて来いながった。これは恐らく、毒性を測定するための適当な計器がなかったためである。しかしながら、アントワープの下水処理場におけるプラント性能に及ぼす毒性工業排水の影響に関する広範なスタディ結果が最近発行された<sup>(13)</sup>。10 日間のモニタリング期間にわたってほとんど連続的に呼吸阻害があったことが分かった。平均阻害率はおよそ 10%であり、ピーク時は 30%に達した。このプラントでの 2 回目のスタディにおいて、ピーク阻害率 43%が観察され、このときは多量の固形物の洗い流しがなされた。他のプラントにおいても毒性の影響についての研究が発表されている<sup>(14, 15, 16)</sup>。

処理プラントの放流水に毒性物質を放出させないことを確実にするために規制当局からの圧力が高まる中で、管理責任者が下水処理の運転方法の中に、正式な毒物管理計画を導入することは適切なことである。こうした毒物管理計画には4つの段階がある。

**予防:** 複数の工業排水源からの排水を受け入れているプラントにとってはこのことは特に重要である。厳しく規制したとしても、高濃度の塊が活性汚泥槽に流入する可能性はある。このことに対処する唯一の方法は、オンライン呼吸度計の様な早期警報装置を設置することである。理想的には、装置は警報音を出して、毒性物質が流れている間、貯蔵タンクに流れを分岐させる様にするべきである。現状の技術開発段階では、この種の早期警報装置は比較的高価であり、疑似警報を出してしまいがちである<sup>(17)</sup>。

タンクローリー排水を受け入れる処理プラントにとっても予防は重要である。ここでの問題は、排水サンプルを排出点で取って、その毒性をラボの呼吸度計で測定することができるので、より簡単である。理想的には、タンクローリーが濃度の高い毒物排水を持ち込んで来た場合、はじめに貯蔵タンクに排出するべきである。そこか

ら、排水は毒性レベルに応じて決められた供給速度でプラントに供給しなければならない。こうすることによってプラント管理責任者は排水の実際の毒性や処理のための追加コストを考慮に入れた排水処理計画を工夫することができるようになる。

**毒性モニタリング:** 早期警報装置を運転したとしても、毒性物質が活性汚泥槽の中に進入していく途はあるかも知れない。慢性毒性は呼吸速度と生物分解速度を低下せしめる。処理プラントの試験室において日常的に汚泥サンプルの呼吸速度をモニタリングすることにより、プラントの処理能力に問題があることの警報がプラント管理責任者に発せられ、必要な対抗策をとることができるようになる。

**毒性物質の流れの同定:** 毒物モニタリングの結果として、毒性排水が処理プロセスに影響を与えていることが分かったら、それがどこから来ているかを見つけ出すことが必要である。このためには排水ラインの種々の場所でサンプリングを行って毒物を追跡し、毒性物質の流れの元を突き止める。これらのサンプルは処理場の活性汚泥を使ってラボの呼吸度計により分析される。毒物の追跡は、毒物を含むプロセスの流れを突き止めるために、害を与えている製造プラントにまで遡るかも知れない。この種のデータにより裏付けられて、処理プラントの管理責任者は毒物排出先に対策を指示し、または処理のための課金額を変更できるようになるのである。Mogden 方式は、毒性排水を処理するための追加的なコストに対して割当額を生まないということにおいて不完全である。

**毒性の低減:** 製造プラントにおいて毒物源が同定されたら、毒性低減の対策を発生源において執ることができるようになる。このような対策は、はじめはパイロットプラントスケールで行われるであろう。その方法の有効性は、ラボ型の呼吸度計を使ってパイロットプラントの運転により迅速に試験することができる。

## 呼吸度計: オンライン計とラボ型器

オンライン型およびラボ型の呼吸度計は毒物管理において補完的な役割を有している。ラボ型の呼吸度計はプロセス制御や管理において果たすべき別の役割も有している。

**オンライン型呼吸度計とその他の早期警報装置:** 米国のWERF調査委員会は、利用可能な早期警報装置とその効率について、今後の開発推奨事項と共に、最近発表を行った<sup>(17)</sup>。理想的には、オンライン型呼吸度計は連続してリアルタイムで測定を行うべきである。しかしながら、多くのシステムはその測定原理の性格上、不連続のサンプリングシステムになっている。オンラインモニターの設置時に、分流した毒性排水を蓄えるための貯蔵設備を建設することが必要である。この様な排水は通常、処理することができる。しかしながら、毒性の度合いをラボ型の呼吸度計を使って求めることが必要である。それによって、排水を処理設備に供給する速度を計算し、あるいは毒物の影響を引き起こさないレベルまで希釈することができる。現在、オンラインシステムは疑似警報を出してしまいがちであり、その運転には注意が必要である。ヨーロッパ各国で使われているオンラインモニターの例として、Rodtox、Stiptox、Minworth、Manothermがある。Amtoxは硝化阻害を測定するだけである。

**ラボ型呼吸度計:** 最も早期のラボ型呼吸度計<sup>(18)</sup>はパイロットスケールで好気性処理槽の状態を再現することを試み、活性汚泥の蓋なし容器を有していた。気液界面を通して酸素が拡散してくるに関わる問題は、その後、汚泥用に蓋つき容器を使うことによって改善された。バクテリアが呼吸するにつれて、減少する酸素を液面上部の空気相における圧力測定か、または水中に酸素電極を差し込むことによって測った。酸素電極は空気相を必要としないので有利である。その結果、呼吸度計のサンプルチャンバーを汚泥で完全にいっぱいにすることができ、それによってスタート時に存在する酸素量を少なくし(水中に比べれば同容積の気相にはおよそ 30 倍の酸素がある)、測定感度を上げることができる。生物処理能力について長期の研究に使われる

呼吸度計は、呼吸で消費した酸素を補給することが必要である。これは酸素を電気分解で発生させるか、少量の圧縮空気を送ることによってなされる。

最も早期の酸素電極方式呼吸度計は単一電極を用いていた。呼吸速度の再現値を得るために、あるいは異なる処理条件での呼吸速度を測るためには、単一電極方式の呼吸度計は、呼吸度測定を終わったら、もう一度曝気を行って、汚泥の状態をスタート時の酸素濃度条件に戻すことが必要である。連続的に酸素の消費と再曝気を繰り返すサイクルは通常「呼吸曲線 respirogram」と呼ばれている。

データを取る時間を短縮するために、Strathkelvin Instruments(ストラスケルビン)社は、6 電極方式の活性汚泥呼吸度計を開発した(図6)。付属のソフトウェアとプロトコルにより、迅速で簡単また精度が良い操作が提供される。この6本の酸素電極は高精度マイクロ陰極クラーク式電極である。それらは特別の電極ホルダーの中に収納されており、それぞれ 20mL の汚泥サンプル水を周りの空気から遮断している。活性汚泥の従属栄養細菌フロックの性質にもかかわらず、同一バッチの6本のサンプル間で、呼吸速度の違いは小さい。さらに、これらの少量のサンプルで測定した呼吸速度は1リットルの汚泥サンプルで測定した結果とほとんど同じである。



図6 Strathkelvin 社の活性汚泥呼吸度計。6本の酸素電極を用い、専用の呼吸度計測ソフトウェアをインストールしたPCに接続される。

汚泥が呼吸を行うにつれて減少していく呼吸度計のセル内の酸素がPCの画面上に表示される。呼吸速度測定は 5-10 分で完了し、その後、ソフトウェアがデータを解析し、スプレッドシート形式で詳細レポートが出力される。専用ソフトウェアのサポートによって、一連のプロトコルを作成すれば、排水処理設備におけるプロセスおよび毒性管理に呼吸度計測の多才さをフルに活用することが可能である。例えば、呼吸度計測プログラムは汚泥の健康度をモニタリングすることやBODの最大処理能力を計算するために使うことができる。また毒性試験プログラムは全体的または部分的な呼吸阻害を測定するために使うことができる。最近、工業排水によって引き起こされる硝化阻害やBOD分解性従属栄養細菌に対する阻害を迅速に測定するための方法とソフトウェアが新たに追加されている。

硝化阻害試験および呼吸阻害試験においては、出力されるレポートは監査済みロックのかかったスプレッドシートであり、 $EC_{50}$ 、 $EC_{20}$ 、及び $EC_{10}$ の値、すなわち、酸素摂取速度が 50%、20%および 10%阻害されときの排水濃度が示される。これらの値を、プラントの管理責任者はその排水をどれくらいの流量でプラントに供給して良いかを決定するために用いることができる。



### ケーススタディ： 呼吸阻害毒性試験

呼吸阻害試験は、タンクローリーの排水受け入れを請け負っている排水処理設備の管理責任者にとって殊に重要である。これは、処理場の活性汚泥を用いての試験を、タンクローリーが到着したら素早く実施できるからである。

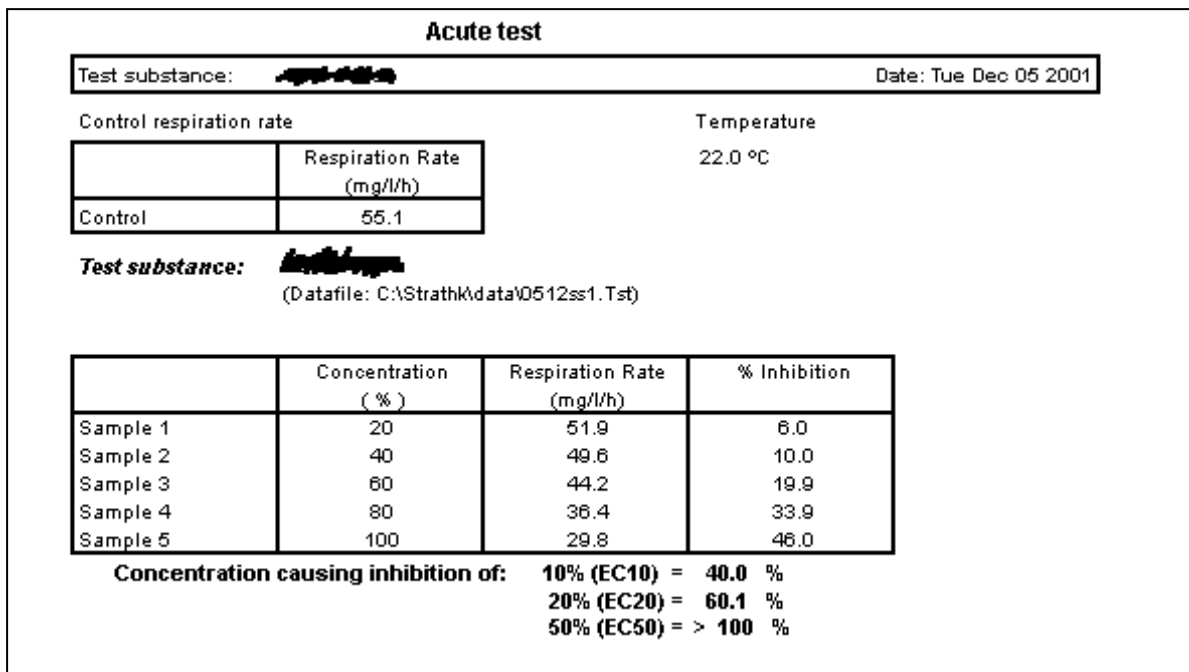


図7 テストレポートの出力例。EC<sub>50</sub>、EC<sub>20</sub>及びEC<sub>10</sub>が示されており、流入水がプラント性能に与える影響を予測するために使われる。

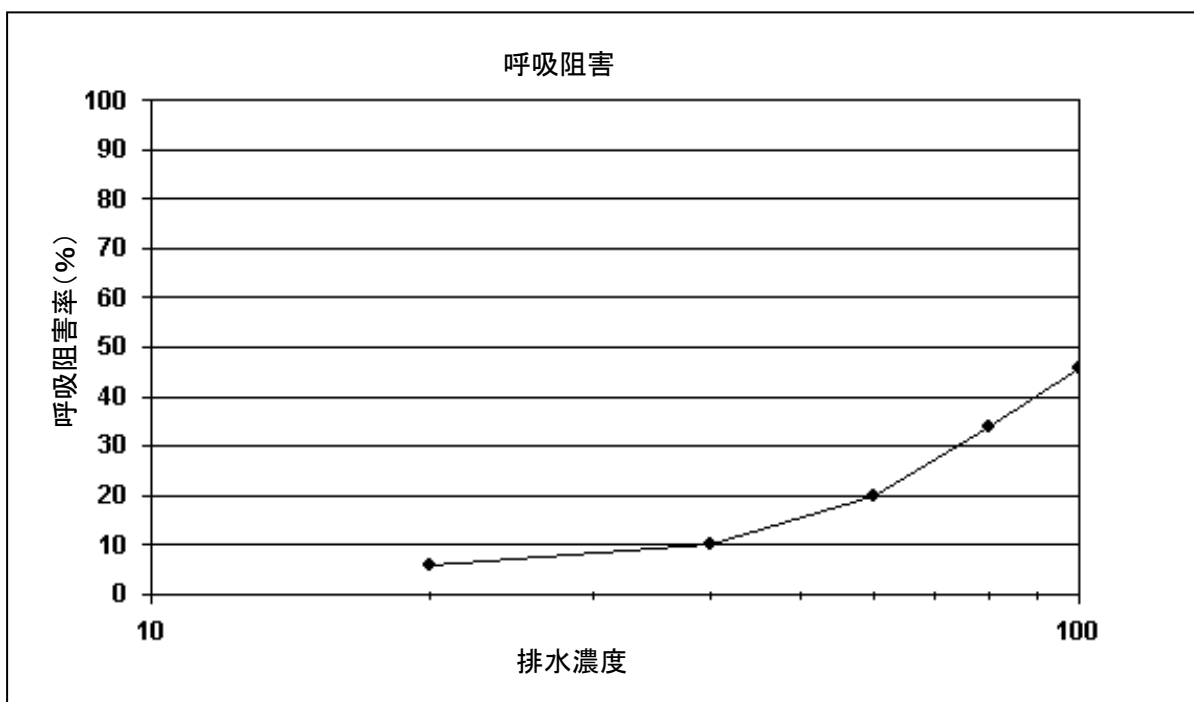


図8 排水濃度と呼吸阻害の関係。レポートから。

図7と図8は出力レポートからのコピーである。排水濃度 100%の場合、コントロール水(試験対照水)に比べると、呼吸速度が46%まで阻害されることが示されている。EC<sub>50</sub>は>100%であり、CE<sub>20</sub>は60%、EC<sub>10</sub>は40%である。これらの値は、排水が毒性を有することを表している。プラント管理責任者はこれらの測定データを使用して、この排水が曝気槽に導入されるときに呼吸阻害が最小で許容できるレベルになるように希釈率を決めることができるのである。アントワープの下水処理場で行われた研究では、阻害率 10%では放流水の水質への影響は現れなかった。現在の知識レベルでは、どれくらいの阻害率なら許容できるかを言うことはできない。今後は、上述したようなプロセスコントロールモデルに関して呼吸度計測を応用し、もっと情報に基づく決定を行うことが可能である。

生物分解とバイオマスの成長には密接な関係があるために、呼吸速度は排水処理設備のプロセスコントロールにおけるキーパラメータである。皮肉なことに、それはまだ広く用いられていない。これは呼吸度計測が、時間がかかり、取り扱いが難しい技術であったことも一因である。しかしながら、コンピュータ化し、技術の進歩した呼吸度計の出現により、その方法はいま、迅速、正確であり、幅広いアプリケーションがある。呼吸度計測は現在、短時間 BOD 測定と毒性管理から、硝化能力チェックまで種々の方法で使用されている。今後、下水処理プラント運転の効率改善のために、プロセスコントロールの最適化において重要な役割を果たすようになることは明らかである。

## 参考文献

1. DOLD, P.L., EKAMA, G.A., AND MARAIS, G.V.R. A general model for the activated sludge model process. *Prog. Wat. Tech.* 1980, **12**, 47.
2. SPANJERS, H., OLSSON, G., VANROLLEGHEM, P.A., AND DOLD, P.L. *Respirometry in Control of the Activated Sludge Process: Principles*. Scientific and Technical Report No 7. IAWQ London 1998.
3. HENZE, M., GRADY, C.P.L., GUJER, W., MARAIS, G.V.R. AND MATSUO, T. *Activated sludge model No 1*. IAWQ Scientific and Technical Report No 1, IAWQ London. 1986.
4. COST 624. European Concerted Action 624 *Optimal management of wastewater systems*.
5. COPP, J.B. Defining a simulation benchmark for control strategies. *Water*, 2000, **21**, 44.
6. PONS, M.N., SPANJERS, H., AND JEPPSSON, U. Towards a benchmark for evaluating control strategies in wastewater treatment plants by simulations. In: *Escape 9, European symposium on computer aided process engineering*. Budapest 1999.
7. BENEDICTO, J. AND SPANJERS, H. *Personal communication*. 2000.
8. VERNIMMEN, A.P., HENKEN, E.R. AND LAMB, J.C. A short-term biochemical oxygen demand test. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, 1967, **39**, 1006.
9. LEBLANC, P.J. Review of rapid BOD test methods. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, 1974, **46**, 2202.
10. TAKAMATSU, T., SHIOYA, S., YOKOYAMA, K., KURUME, T., AND MORISAKI, K. On-line monitoring and control of biochemical reaction processes. *Proc 8th IFAC World Congress, Kyoto. XXII*, 1981, 146.
11. HUANG, J.Y.C. AND CHENG, M.D. Measurement and new applications of oxygen uptake rates in activated sludge processes. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, **56**, 259.
12. JORGENSEN, P.E., ERIKSEN, T. AND JENSEN, B.K. Estimation of viable biomass in wastewater and activated sludge by determination of ATP, oxygen utilization rate and FDA hydrolysis.

- Wat. Res.*, 1992, **26**, 1495.
13. GEENENS, D. AND THOEYE, C. The use of an on-line respirometer for the screening of toxicity in the Antwerp wwtp catchment area. *Wat. Sci. Tech.* 1998, **37**,213.
14. JÖNSSON, K., C GRUNDITZ, C., DALHAMMAR, G. AND, JANSEN, J.L.C.  
Occurrence of nitrification inhibition in Swedish municipal wastewaters. *Wat. Res.*, 2000, **34**, 2455.
15. ANDREAKIS, A.D., KALERGIS, C.M., KARTSONAS, N AND ANAGNOSTOPOULOS, D.  
Determination of the impact of toxic inflows on the performance of activated sludge by wastewater characterization. *Wat. Sci. Tech.*, 1997, **36**, 45.
16. HAYES, E., UPTON, J., BATTIS, R, AND PICKEN. On-line nitrification inhibition monitoring using immobilised bacteria. *Wat. Sci. Tech.*, 1998, **37**, 193.
17. LOVE N.G. AND BOTT, C.B. *A review and needs survey of upset early warning devices.*  
Final Report Project 99-WWF-2, Water Environment Research Foundation.2000.
18. ROS, M. *Respirometry of Activated Sludge* Technomic, Lancaster. 1993.

原文: “The role of respirometry in maximizing aerobic treatment plant efficiency”  
Dr P. Spencer Davies ([psd@strathkelvin.com](mailto:psd@strathkelvin.com)) and Dr Fiona Murdoch ([fm@atrathkelvin.com](mailto:fm@atrathkelvin.com))  
Strathkelvin Instruments Ltd, 1.05 Kelvin Campus, W of Scotland Science Park, Glasgow G20 osp  
2002 年発行

日本語翻訳: セントラル科学株式会社 2010.10.20 ( <http://www.aqua-ckc.jp> )



セントラル科学株式会社