



确实な養豚汚水 処理を目指して

硝酸性窒素等の低減に向けた 簡易水質推定法と浄化性能向上技術

令和3年3月
第1版



一般財団法人畜産環境整備機構

はじめに

養豚では、多くの場合、汚水処理が不可欠です。近隣の水環境や水源保全の観点から、確実な処理が求められます。

さらに、近年の規制強化に対応するため、新たな観点からの取り組みも必要になっています。

当機構では、この取り組みに役立つ情報を提供すべく、日本中央競馬会の特別振興資金助成事業の支援を受け、活動を続けております。

このたび、成果の一部を取りまとめましたので、ご活用いただければ幸いです。

令和3年3月

一般財団法人畜産環境整備機構

本冊子の利用にあたってのご注意

1. 本冊子は実施設の調査データに基づいて作成しております。水質簡易推定法の利用可能範囲は「市販配合飼料を利用する一貫経営で、ふん尿分離豚舎」の農場に限ります。
2. 水質簡易推定法で得られる値は実際と相違する場合もあります。正確な水質は分析専門機関による公定法での測定が必要です。
3. 水質汚濁防止法では、「最低年一回」、「汚染状態が最も悪いと推定される時期及び時刻」に、「公定法」により水質を測定し、その結果を「保管」することが義務とされています。
4. 汚水処理施設に問題がある場合は専門家のアドバイスを受けることが不可欠です。
5. 本冊子は、今後、調査の進展に応じて改訂を行う可能性があります。改訂版は当機構ホームページ内に掲載いたします。

本冊子の目的

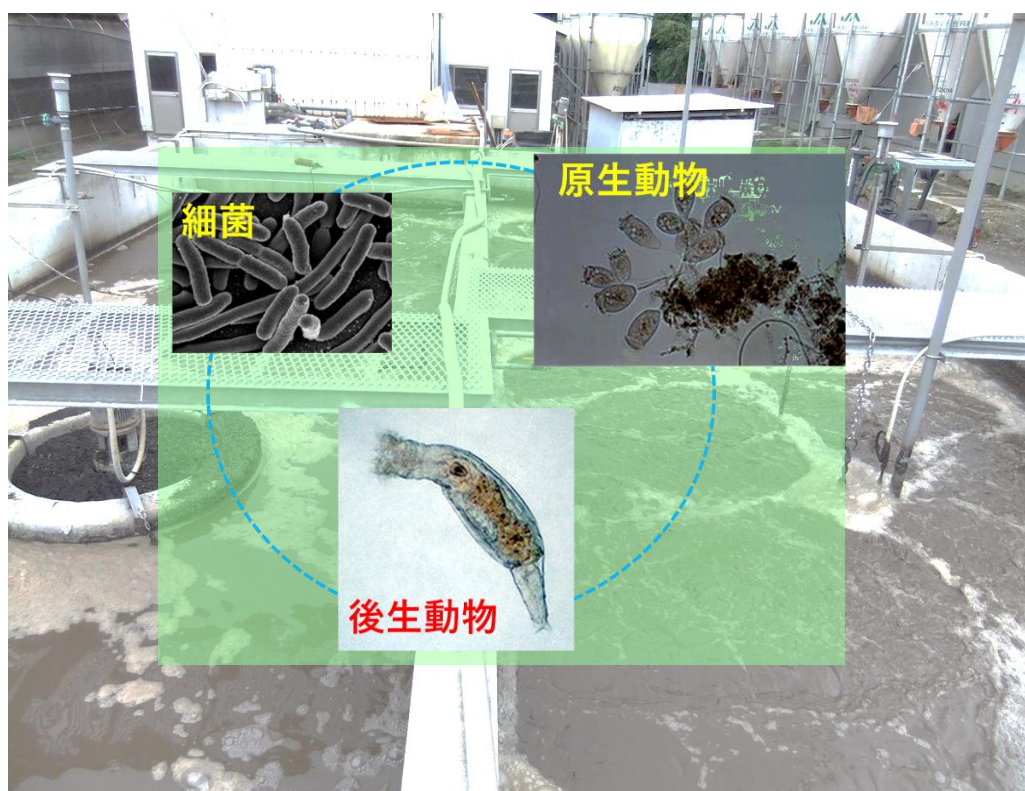
汚水処理の主役は微生物です。汚水は、各種微生物が活躍することで浄化されます。

近年重要性が増してきている窒素除去は、性質が正反対の微生物を使いこなさねばならないという難しさがあります。

窒素除去をスムーズに進めるためには、除去の原理を理解したうえで、水質状況をこまめに把握しながら、施設の調整を行う必要があります。

本冊子は、処理状況を自から把握しながら管理を行うための、必要最低限の知識と手法を取りまとめた入門用冊子です。

高度な管理対応は、各種解説書（当機構のホームページにも掲載しています）を参考にする、管理を専門会社に委託する、などをお勧めします。



目次

- I. これだけは覚えておいてください・・・ 1
- II. まず汚水の実態を知ろう・・・・・・・・・・ 5
- III. 処理水の硝酸性窒素等とアンモニア性窒素
の濃度を知ろう・・・・・・・・・・ 12
- IV. 簡易推定値を運転管理に生かすには・・・ 19
- V. 自動制御も活用しよう・・・・・・・・・・ 23
- VI. 硝酸性窒素をもう少し下げたいとき・・・ 28
- VII. 用語解説・・・・・・・・・・ 34
- VIII. おわりに・・・・・・・・・・ 35

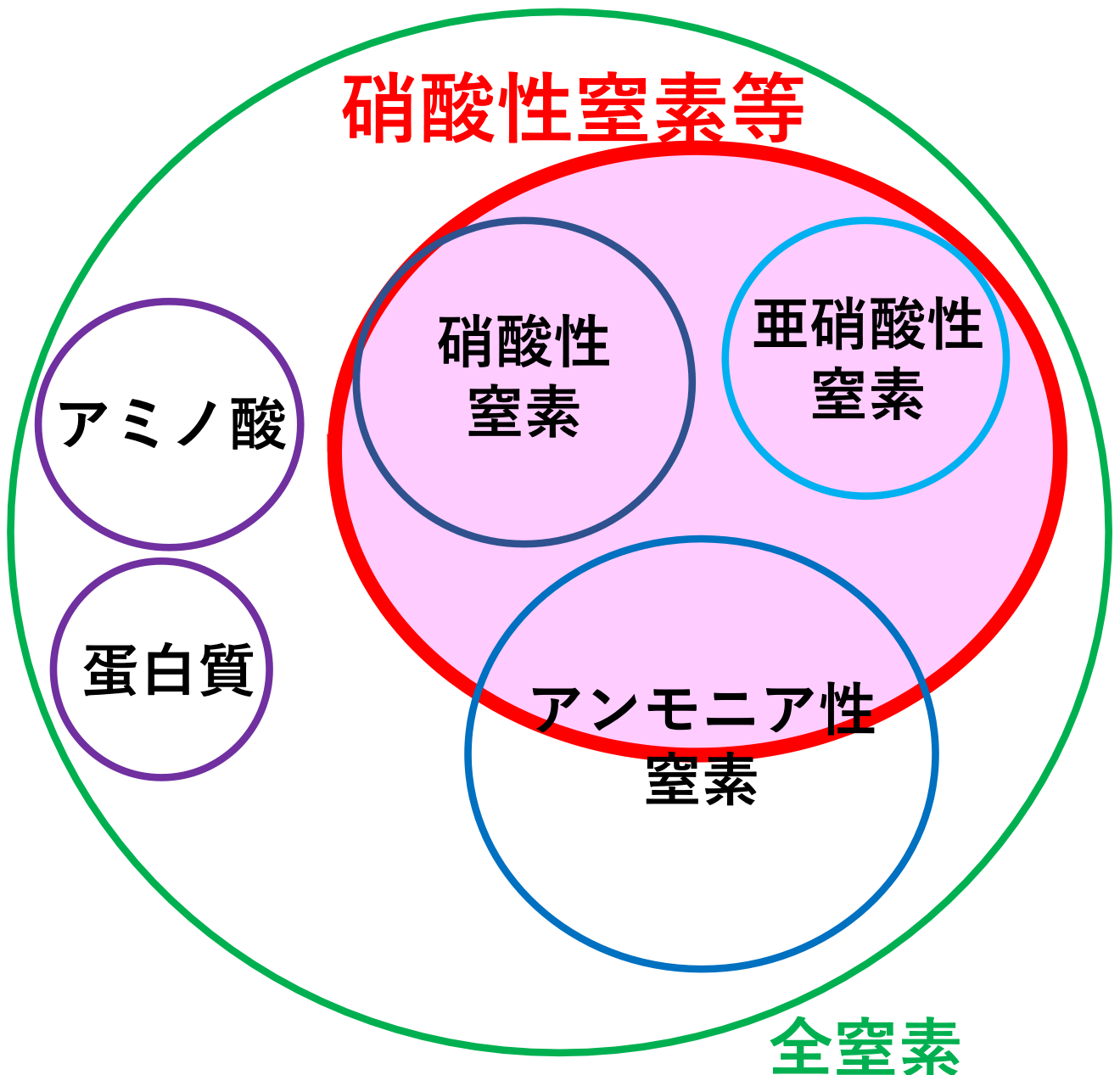
I. これだけは
覚えておいて
ください



硝酸性窒素等とは？

「硝酸性窒素等」の濃度は以下の式で算出します。単純な合計でないことにご注意ください。

$$\text{硝酸性窒素等} = (\text{アンモニア性窒素} \times 0.4) + \text{亜硝酸性窒素} + \text{硝酸性窒素}$$



硝酸性窒素等の規制

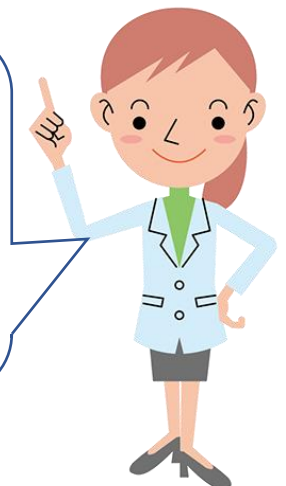
「硝酸性窒素等」は、水質汚濁防止法の規制項目である「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」の略称です。

地域や排水量にかかわらず、水質汚濁防止法の対象となるすべての畜産農家に適用されます。

畜産農業には2021年3月現在で500 mg/Lの暫定基準が適用されていますが、早期に一般基準(100mg/L)へ移行するよう求められています。



水質汚濁防止法の特定事業場では、全国どこでも、排水量に関係なく適用されます。



硝酸性窒素等の対応に大事なことは？

硝酸性窒素等の規制導入以前は、処理水の濁り具合をみれば施設の調子が判断ができました。

しかし、硝酸性窒素等の処理状況は見た目で判断できません。分析会社に分析依頼するのが現実ですが、費用がかかるので頻繁にはできませんし、結果が出るまでに日数を要するので、運転調整に生かすににくい面もあります。

そこで、本冊子では、硝酸性窒素等への対応に必要な基礎知識と、自ら日常的に水質を把握して運転管理に生かすことのできる簡易水質推定法についてご紹介します。



見た目ではわからない！硝酸性窒素等

Ⅱ.まず汚水の実態を知ろう！

硝酸性窒素の対応のためには、処理水に加えて汚水の実態を把握することも大事です。

汚水の水量を推定するには

1. デジタル式糖度計でBrix値(%)を測定します。Brixは本来は糖度の単位ですが、本冊子では便宜的に屈折率の単位とみなします。
2. 次ページのグラフで肥育豚1頭1日あたりの汚水発生量を読み取ります。

汚水をバケツなどに採水し測定に使います。



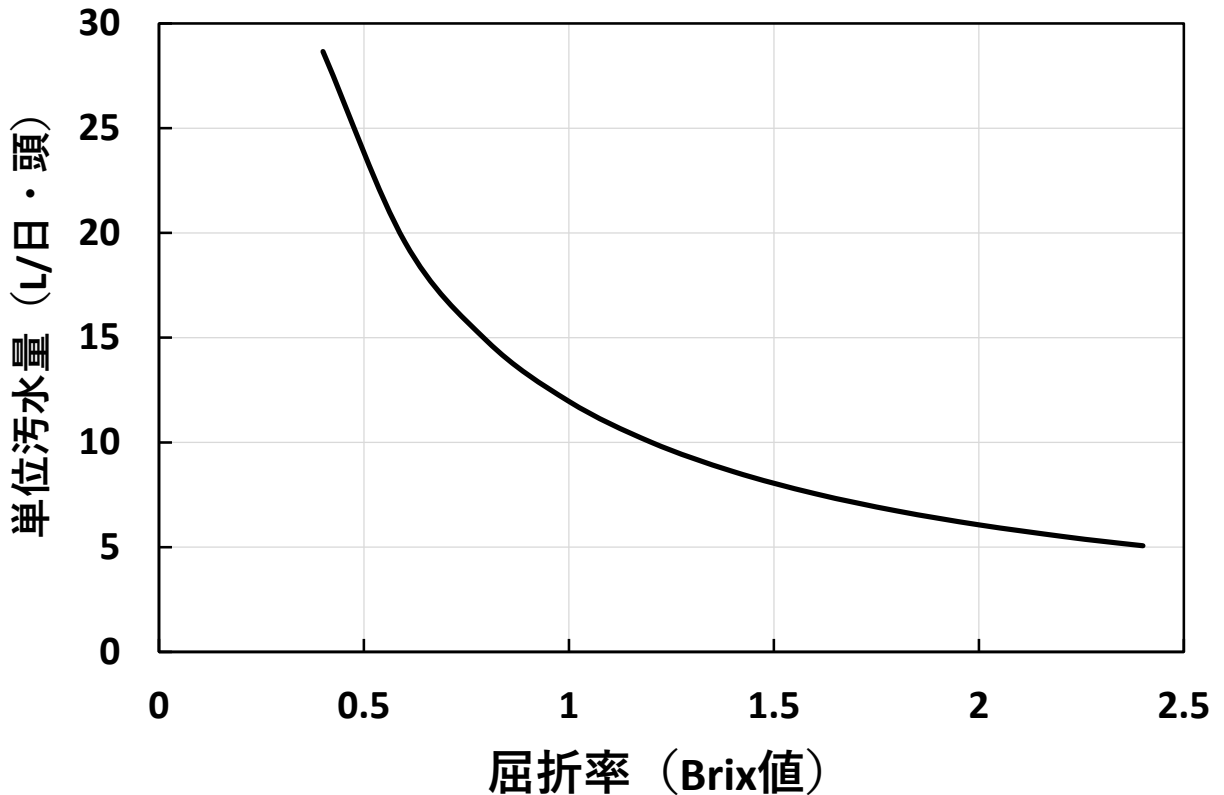
ガラス部に
汚水を滴下
する

デジタル式糖度計の事例

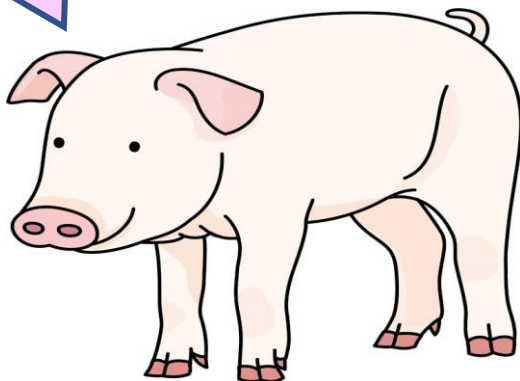
(試料を滴下するガラス部分は使用後に水で洗い流し、ティッシュペーパーで良く拭いてください。測定開始時には、水道水でゼロ調整を行います。標準液での校正は不要です。)

Brix値と単位汚水量の関係

糖度計で測定したBrix値(%)から下図で肥育豚1頭から1日に排出される汚水量（単位汚水量：L/日・頭）を推定します。



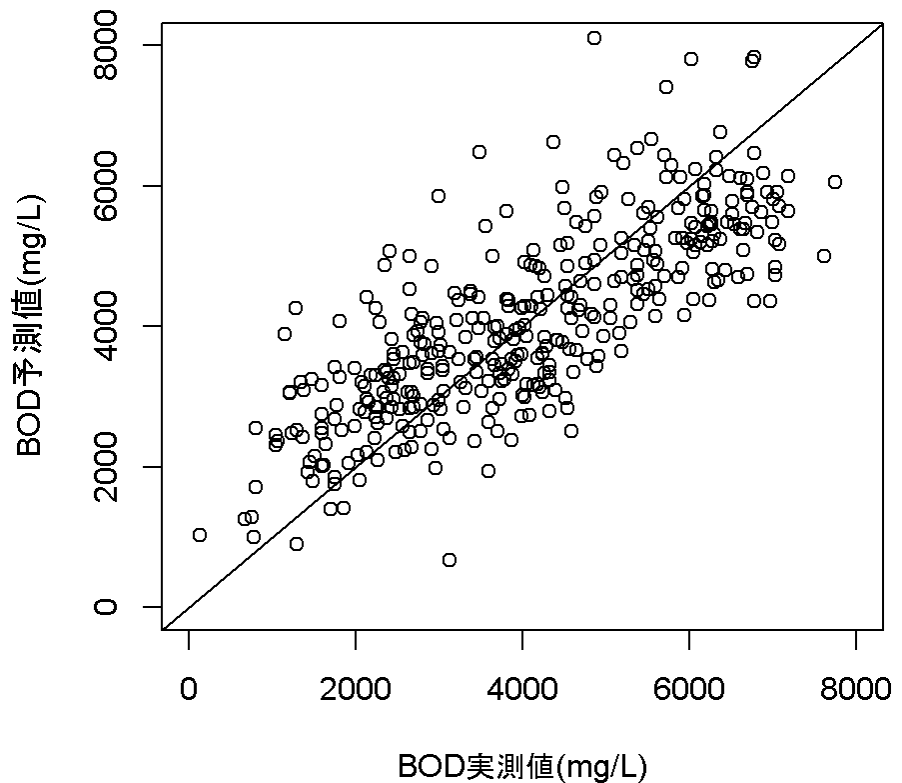
屈折率を測れば
僕の出している
汚水量が推定で
きるよ！



汚水のBODを推定するには

1. デジタル式糖度計で屈折率(Brix値)を測定します。
2. pH計でpH値を測定します。
3. 下式でBOD推定値(mg/L)を算出します。

$$\text{BOD} = 16400 - (1893 \times \text{pH}) + (2554 \times \text{屈折率})$$



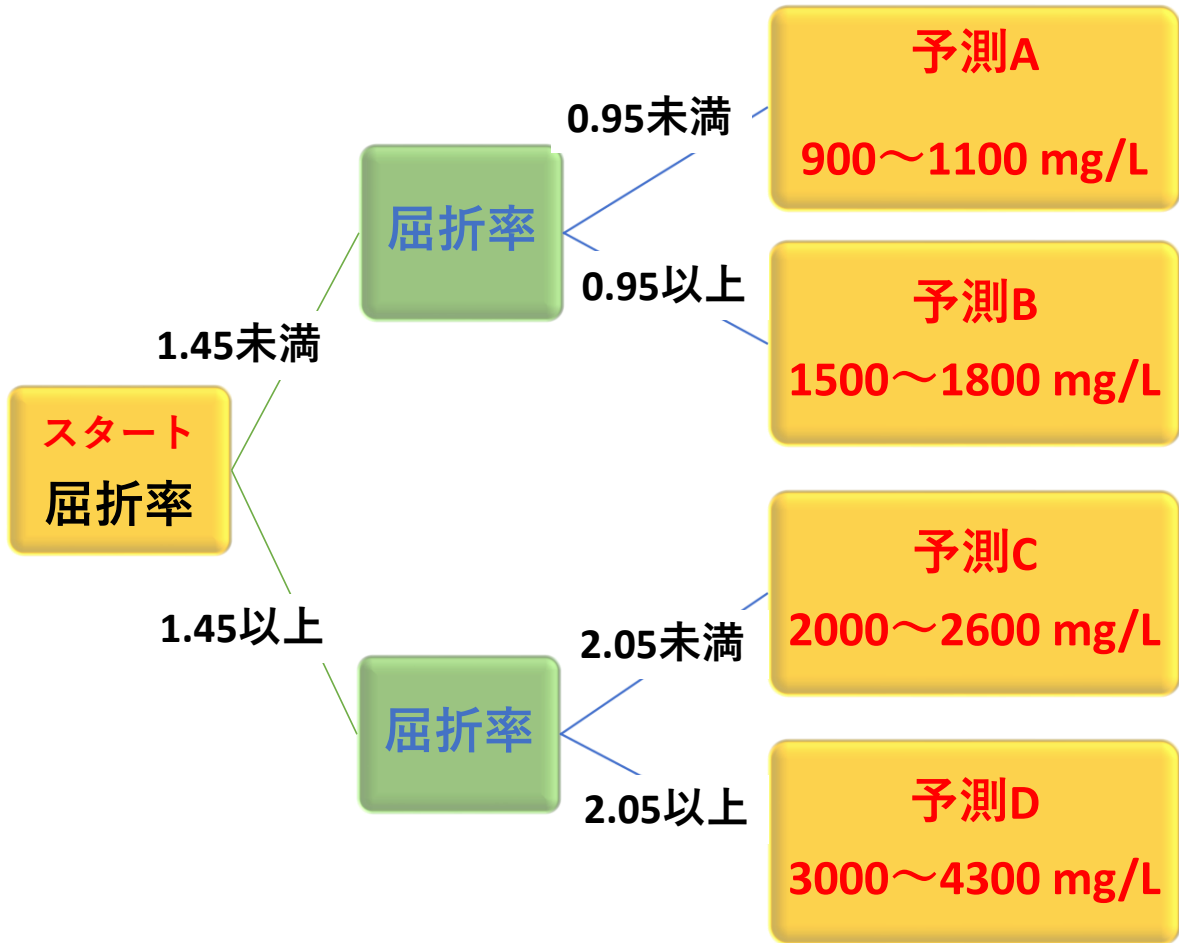
ポケット型pH計の一例
(2種類の標準液を使った校正が週に1回程度必要です。なお、汚水のpHはパック試薬法では測定できません。)

畜産環境技術研究所の
調査データによる実測
値と推定値の関係

汚水の全窒素(N)を推定するには

1. デジタル式糖度計で屈折率 (Brix値)を測定します。汚水量推定用にすでに測定した数値があればそれを利用します。
2. 下記早見図で全窒素(N)の推定値を読み取ります。

屈折率(Brix値)による汚水中全窒素濃度早見図



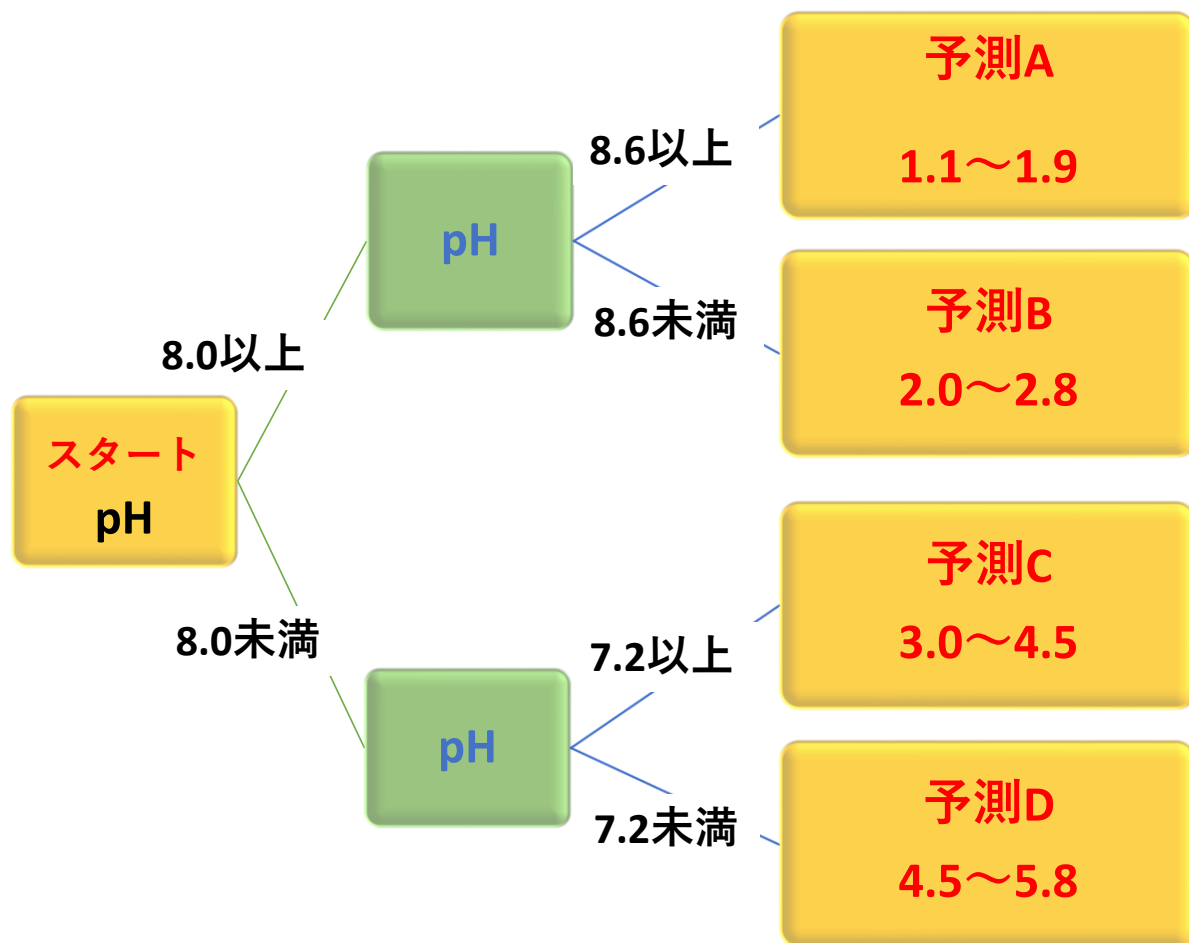
図の見方： (測定結果が屈折率1.3だった場合)

測定値は1.45未満なので、上の枝に進みます。2番目の条件は0.95以上なので、下の枝に進みます。行き着いた予測Bは全窒素1500~1800 mg/Lになります。ただし、この予測は相違する場合があります。

汚水のBOD/N比を推定するには

1. pH計でpHを測定します。すでに測定値があればそれを利用します。
2. 下記の早見図でBOD/N比の推定値を読み取ります。

pH値による汚水中BOD/N比の早見図



図の見方：（測定結果がpH8.2だった場合）

最初の条件については、測定値が8.2で8.0以上なので、上の枝に進みます。2番目の条件については8.6未満に該当するので、下の枝に進みます。行き着いた予測BはBOD/N比が2.0~2.8になります。ただし、この予測は相違する場合もあります。

汚水の水量・水質から判断できること

1. 汚水処理施設の余裕度のチェック

汚水処理施設の規模が、現状で余裕があるかどうかは、BOD容積負荷で判断できます。正確な算出は公定法での水質測定値を用いる必要がありますが、おおよその値はBOD推定値を用いて以下の式で求めることができます。

$$\text{BOD容積負荷 (kg/m}^3 \cdot \text{日)} = \\ (\text{推定汚水量} \div 1000) \times (\text{母豚数} \times 10) \\ \times (\text{BOD濃度} \div 1000) \div \text{曝気槽容積 (m}^3)$$

BOD容積負荷の計算値が、0.2程度であれば優、0.3～0.4程度ならば良、0.5程度ならば可です。0.5を上回る場合は不可です。可および不可の場合は、念のため公定法でBODを測定し、再確認してください。この結果で不可の場合は処理施設の改修等が必要になる場合もあります。

2. 窒素除去の難易度のチェック

汚水処理で窒素除去を行うには、後で説明する硝化と脱窒の2種類の反応がスムーズに進む必要があります。そのために必要な条件は色々ありますが、BODとNの比（BOD/N比）が3以上であることも重要です。BOD/N比早見図のCのカテゴリーが適正です。A、Bでは、硝化までは進んでも脱窒が進みにくく、亜硝酸性窒素または硝酸性窒素が残留する可能性があります。



Ⅲ.処理水の硝酸性窒素等とアンモニア性窒素の濃度を知ろう



処理水の硝酸性窒素等を推定するには 【その1：pHとECによる方法】

1. pH計で処理水のpHを測定します。
2. EC計でEC(電気伝導率)を測定します。測定単位はmS/cmを使用してください。
3. 次ページの早見図で硝酸性窒素等を読み取ります。



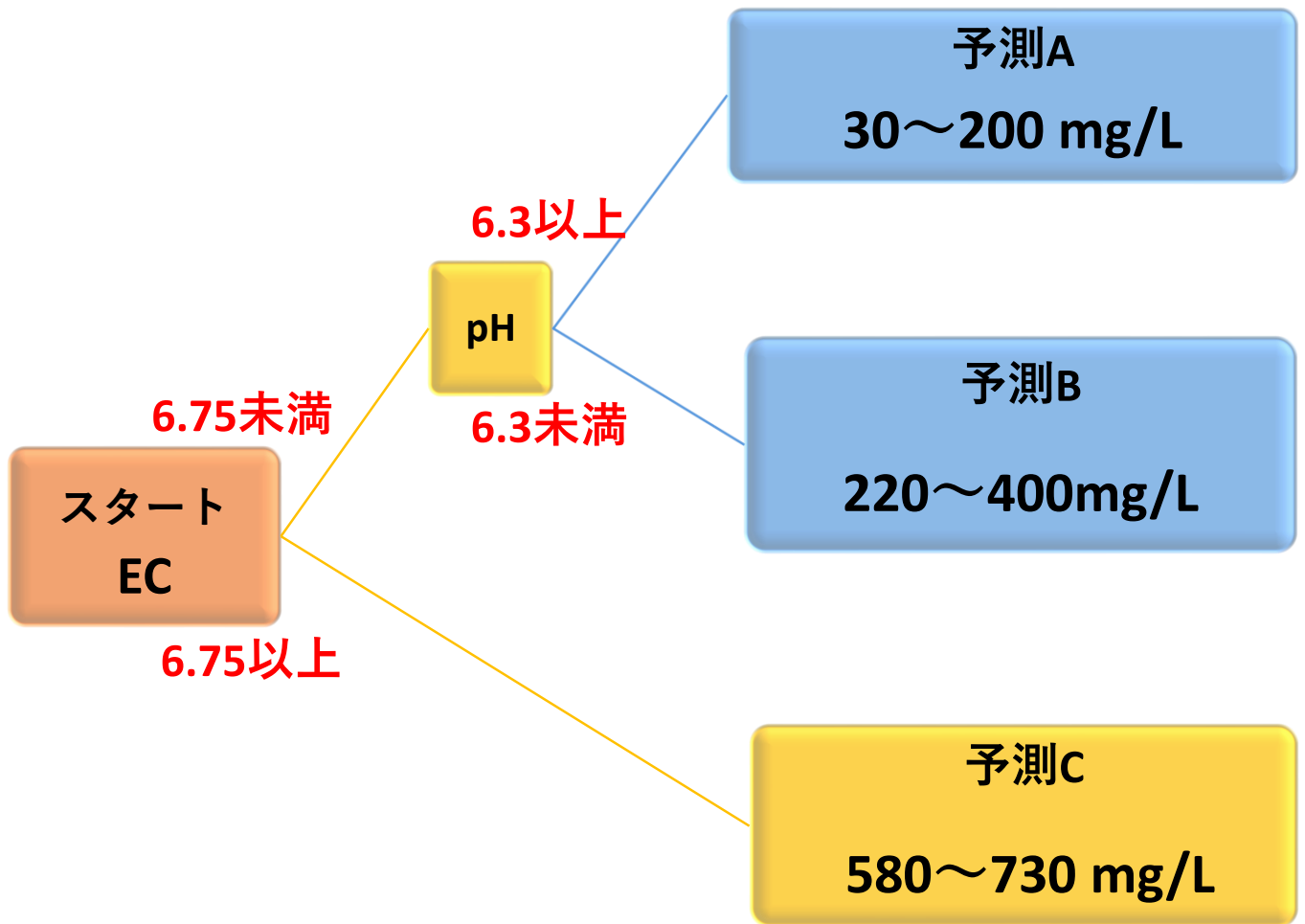
pH計とEC計が一体化されたポケット型測定器の事例

pH計、EC計の使用上の注意

pH計は最低でも週に1回、EC計は月に1回程度、標準液で校正してください。校正法は添付の取説を参考にしてください。

校正を怠ったり、校正操作を誤ると正確な測定はできませんのでご注意ください。

pHとEC (mS/cm) による処理水中の 硝酸性窒素等濃度早見図



図の見方：(測定結果がpH6.0、ECが6mS/cmだった場合)

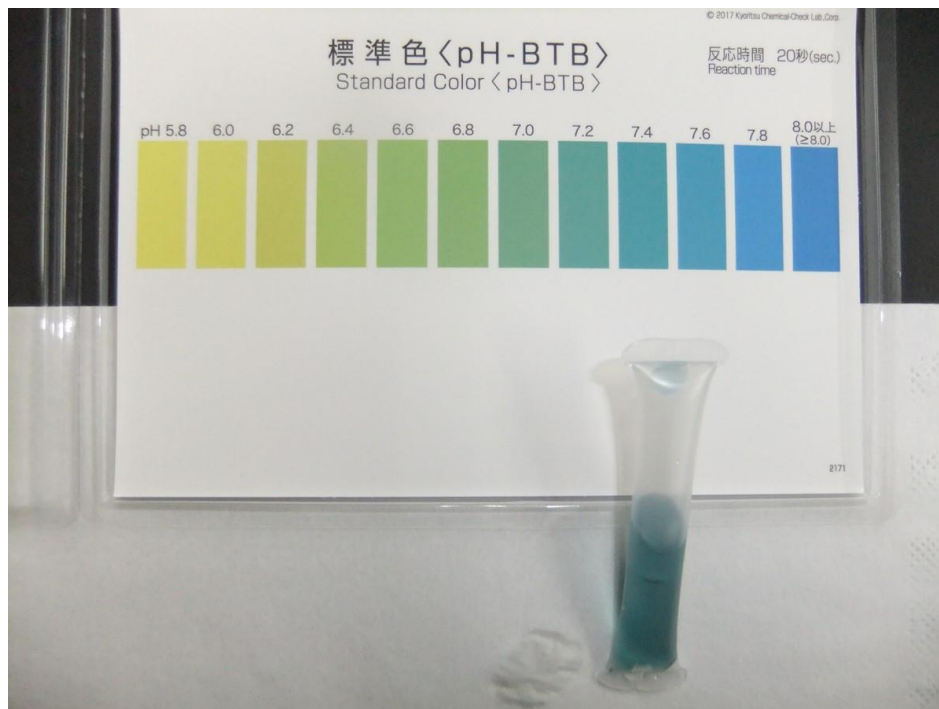
最初のECについては、6.75未満なので、上の枝に進みます。pHについては6.3未満なので、下の枝に進みます。行き着いた予測Bは硝酸性窒素等が220～400mg/Lになります。ただし、この予測は相違する場合があります。

処理水の硝酸性窒素等を推定するには

【その2：パック試薬と糖度計による方法】

1. pH測定用パック試薬（指示薬がBTB、測定範囲5.8～7.8、測定刻み0.2のもの）と、糖度計（污水測定と同じ）を準備します。
2. パック試薬先端の細孔を封じている糸を引抜き、処理水をパック内に吸引し20秒後に標準色と比較し一致した色のpH値を記録します。
3. スポイトで数滴の処理水を糖度計のガラス面に滴下し、表示されたBrix値を記録します。
4. 次ページの早見図で硝酸性窒素等濃度を読み取ります。

pHとECによる推定に比べると精度は低下しますが、機器の校正が不要なので簡便です。

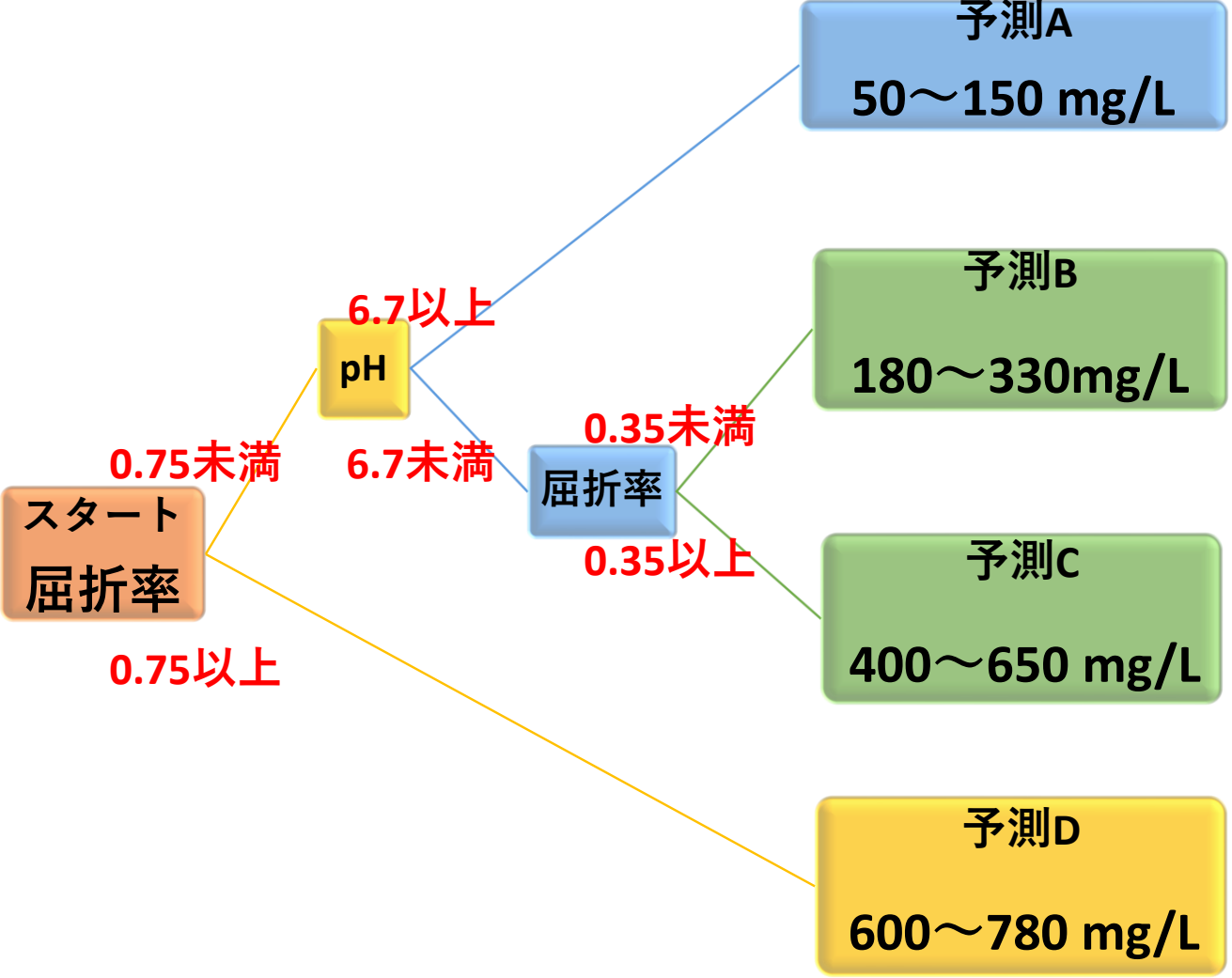


BTBを指示薬とするパック試薬の例
（pH計で測定しても良いですが、その場合機器の校正を確実に実施してください）



糖度計の例
（使い方は污水の場合と同じです）

pHと屈折率 (Brix値) による処理水中の硝酸性窒素等濃度の早見図



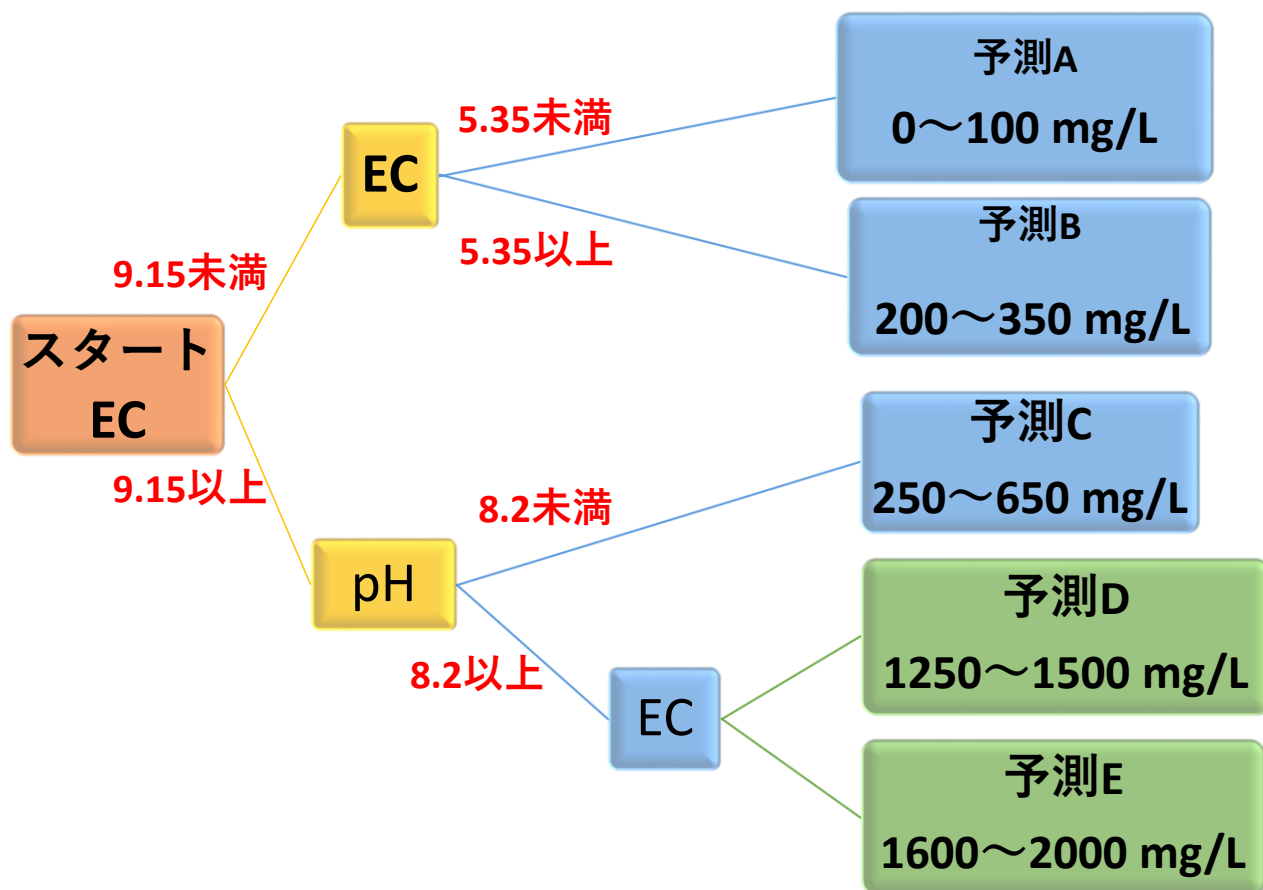
図の見方： (測定結果がpH6.0、屈折率0.3だった場合)

最初の屈折率については、0.75未満なので、上の枝に進みます。pHについては6.7未満なので、下の枝に進みます。2番目の屈折率については0.35未満なので上の枝に進みます。行き着いた予測Bは硝酸性窒素等が180～330mg/Lになります。ただし、この予測は相違する場合があります。

処理水のアンモニア性窒素濃度を推定するには

【その1:pHとECによる方法】

1. pH計でpH値を測定します。
2. EC計でEC値(mS/cm)を測定します。
3. 下記の早見図でアンモニア性窒素濃度を読み取ります。

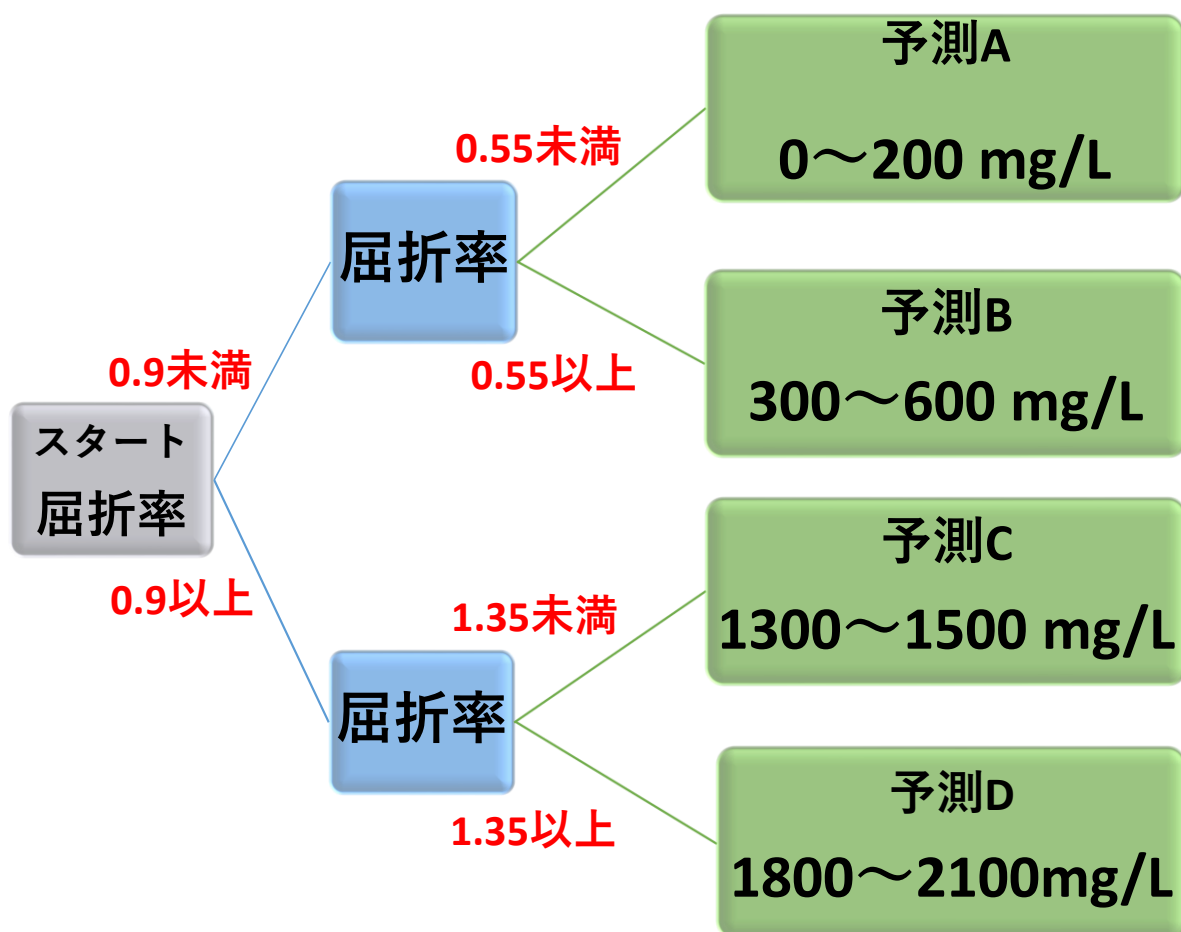


図の見方： (pH7.8、EC9.3だった場合)

最初のECについては、9.15以上なので、下の枝に進みます。2番目のpHについては8.2未満なので上の枝に進みます。行き着いた予測Cはアンモニア性窒素が250~650mg/Lになります。ただし、この予測は相違する場合があります。

処理水のアンモニア性窒素濃度を 推定するには 【その2：糖度計による方法】

1. 糖度計で屈折率(Brix値)を測定します。
2. 下記の早見図でアンモニア性窒素濃度を読み取ります。



図の見方：（屈折率0.3だった場合）

最初の屈折率については、0.9未満なので、上の枝に進みます。2番目の屈折率については0.55未満なので上の枝に進みます。行き着いた予測Aはアンモニア性窒素が0～200mg/Lになります。ただし、この予測は相違する場合もあります。

IV. 簡易推定値を運転管理 に生かすには



アンモニア比を算出して 対応方針を検討してください

$$\text{アンモニア比} = \frac{(\text{アンモニア性窒素} \times 0.4)}{(\text{硝酸性窒素等})}$$



- ・ アンモニア比が**0～0.3**程度：亜硝酸・硝酸性窒素が蓄積しています。**脱窒促進**が重要です。
- ・ アンモニア比が**0.4～0.6**程度：アンモニア性窒素と亜硝酸・硝酸性窒素が混在しています。まずは**脱窒促進**を図り、それで不十分なら硝化も促進します。
- ・ アンモニア比が**0.7～1.0**程度：アンモニア性窒素が蓄積しています。まずは**硝化促進**が必要です。

* 注意事項：硝酸性窒素等、アンモニア性窒素の推定値は幅を持っていますので、その最小最大を使ってそれぞれ比を算出してみてください。その結果算出された比の範囲が大きくなってしまう場合は、公定法での測定値で比を算出してください。

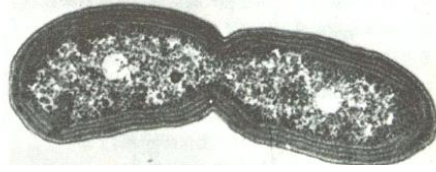
硝化促進：十分な曝気と水温維持！

①硝化：窒素除去の最初のステップ 好気条件で硝化細菌が活躍



アンモニア+酸素 → 硝酸または
亜硝酸

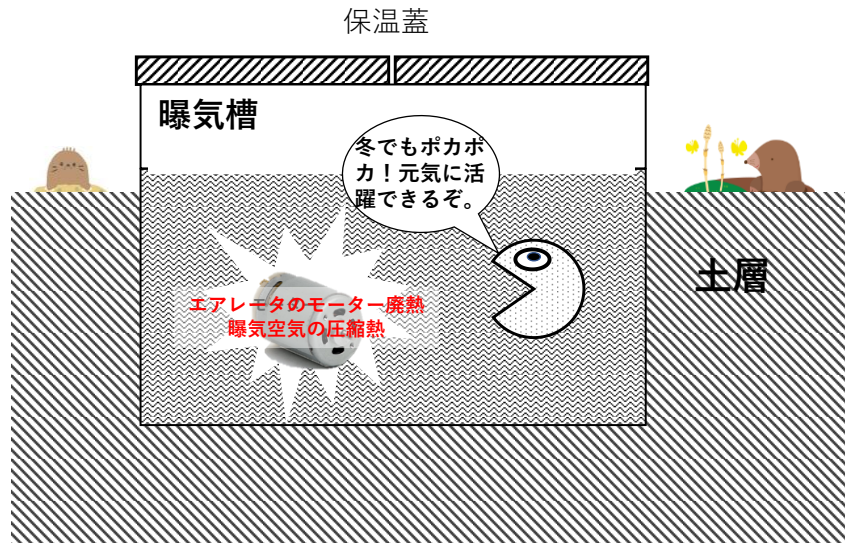
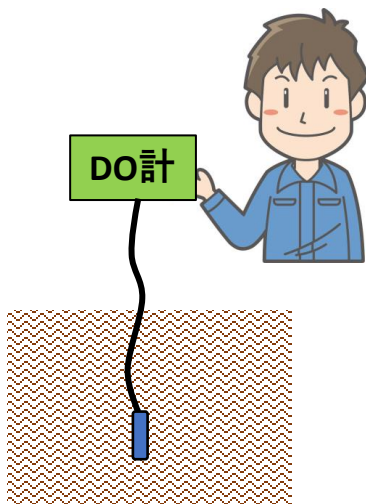
最も大事なことは十分な曝気と水温。
冬でも15℃以上を保てるようにしてください



硝化の主役：硝化細菌

ブロワ、送気管、散気筒などを点検しよう。さらにDO計で曝気槽の溶存酸素(DO)を測ると確実です。

冬は曝気槽の水温維持が大事



脱窒促進：無曝気条件と適量の有機物

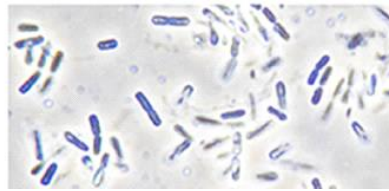
②脱窒：窒素除去の仕上げ 無酸素条件で脱窒細菌が活躍



硝酸
亜硝酸 + 有機物 → 窒素ガス

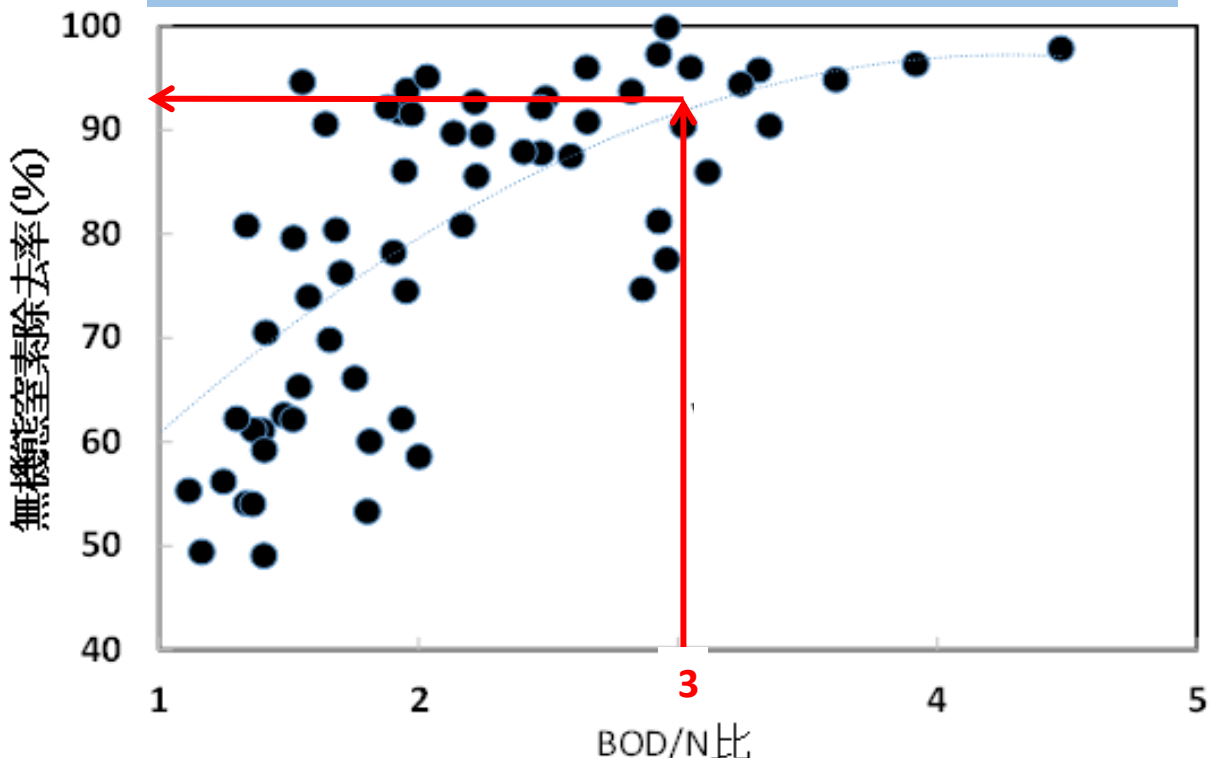
無酸素条件と有機物が
必要です。

有機物不足にならないよう
に、流入汚水には窒素の3～
5倍の有機物(BOD)が含まれ
る必要があります。

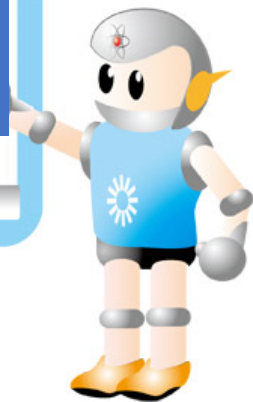


脱窒の主役：脱窒細菌

BOD/N比が3以上で窒素除去率が高まります！
(ある農家での実測データ)



V.自動制御も 活用しよう

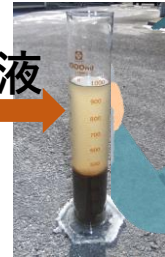


曝気槽の活性汚泥濃度の調整が 処理性能の安定化には大事です！



まずは30分沈殿
法で汚泥量(SV)
を調べるぞ

試料液



余剰汚泥



SVを参考に引抜ポン
プのタイマ調整で汚
泥量を最適にしよう



そんな時は
自動制御も
選択肢！

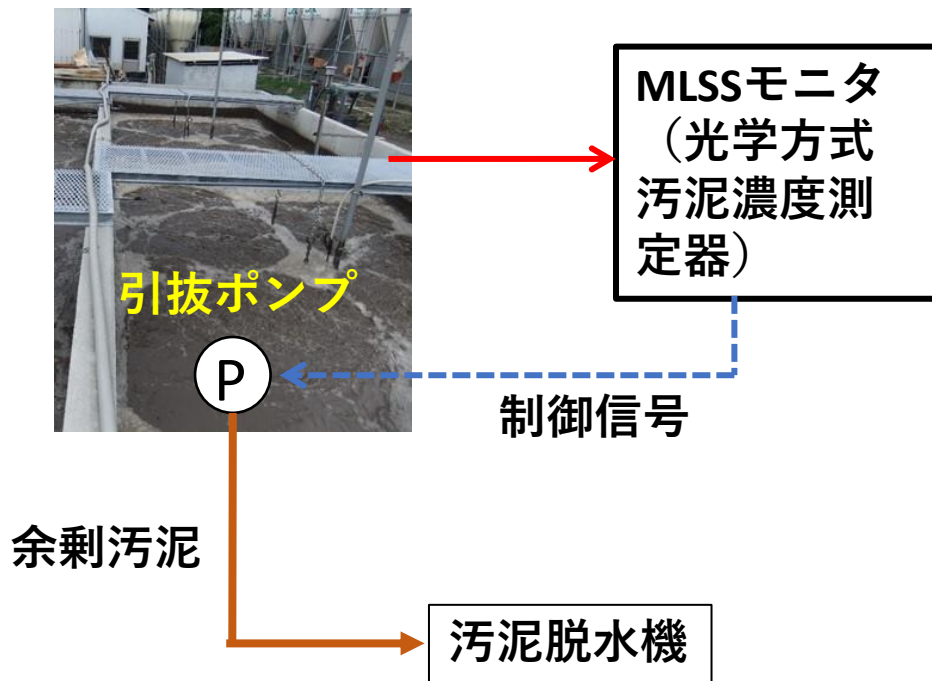
でも活性汚泥
濃度が安定し
ないな・・・？



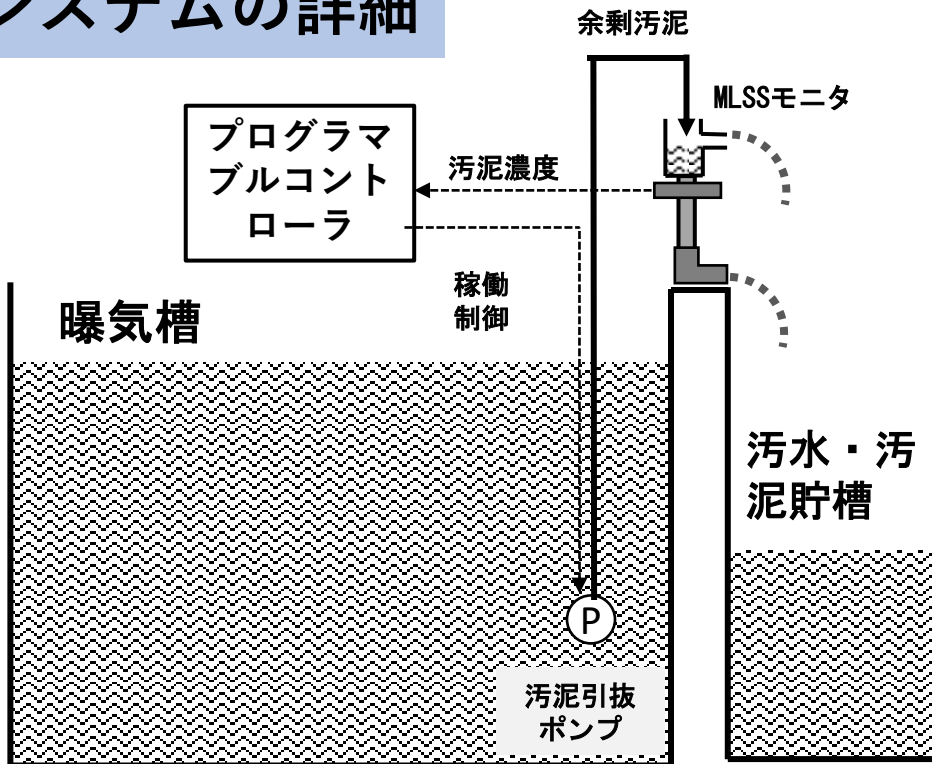
活性汚泥濃度自動制御システム

【畜産環境技術研究所で開発しました】

システムの概要

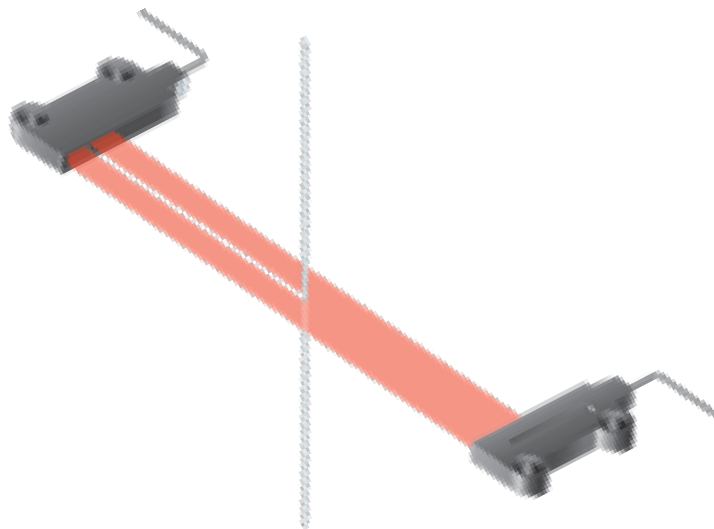


システムの詳細



MLSSモニタの測定値信号を制御器（プログラマブルコントローラ）に送り、引抜ポンプをON、OFFさせます。

自動制御システムに組込む MLSSモニタ

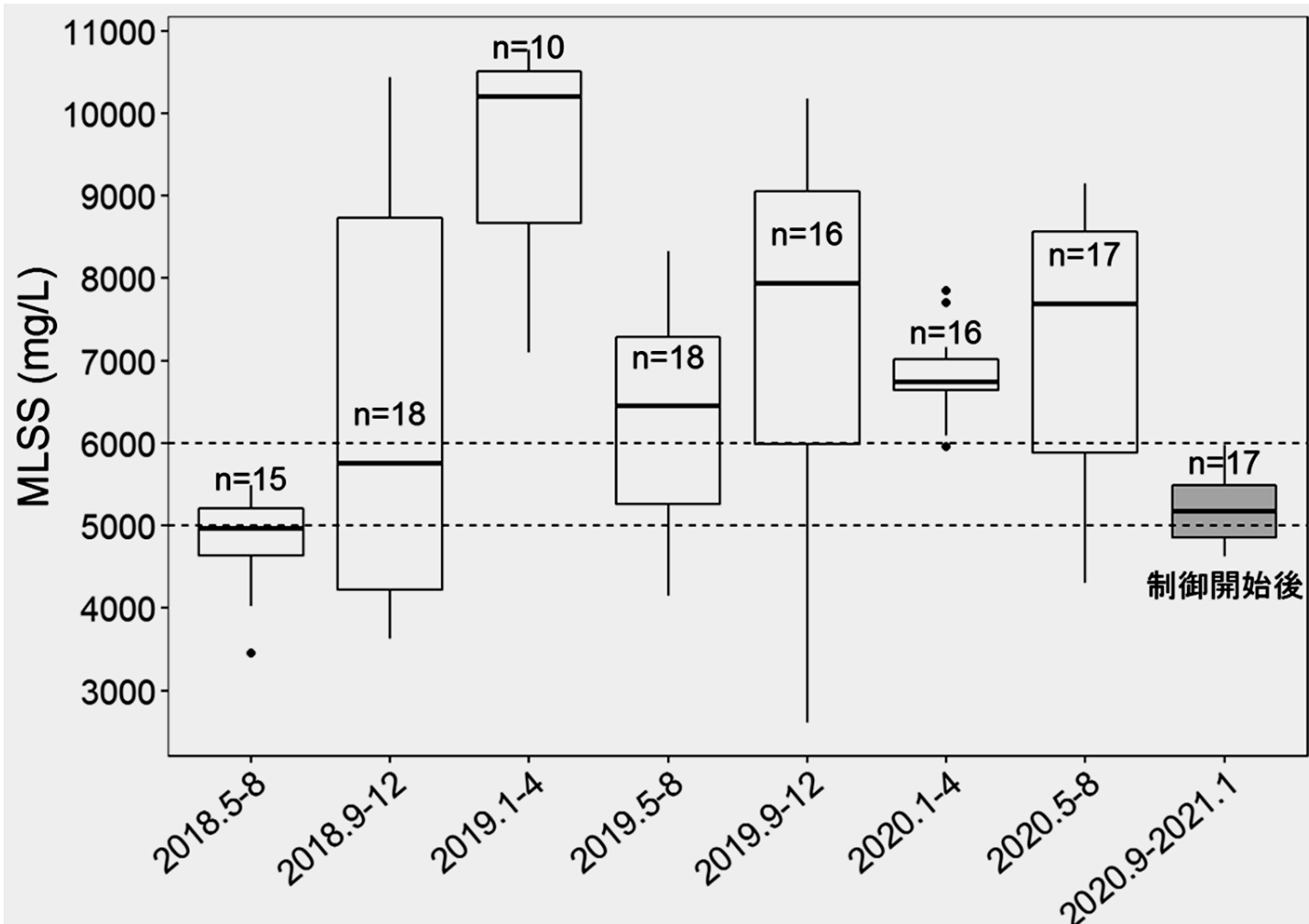


ノズルから曝気液を流下させ、その落下水流の両側面に光学センサの投光および受光ヘッドを配置し、光の減衰で汚泥濃度を把握します。



モニタ内部ノズルからの曝気液落下状況

自動制御システムの効果検証



実施設で自動制御を行う前と後での活性汚泥濃度 (MLSS)の変動範囲をボックスで示しています。

自動制御稼働前は、農家が経験に基づきタイマで調整していましたが、目標の5000 mg/Lからかなり外れていました。

右端のボックスが、自動制御した場合の活性汚泥濃度の変動範囲で、目標の5000 mg/Lにほぼ一致させることができました。

VI. 硝酸性窒素等の 濃度をもう少し 下げたいとき





色々頑張ったけど、基準値まではもう少し下げないと・・・

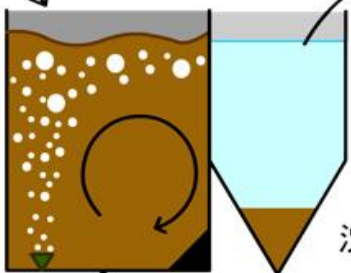


そんな時に利用できる追加技術もあります！

硝酸性窒素低減装置

汚水

活性汚泥法処理水



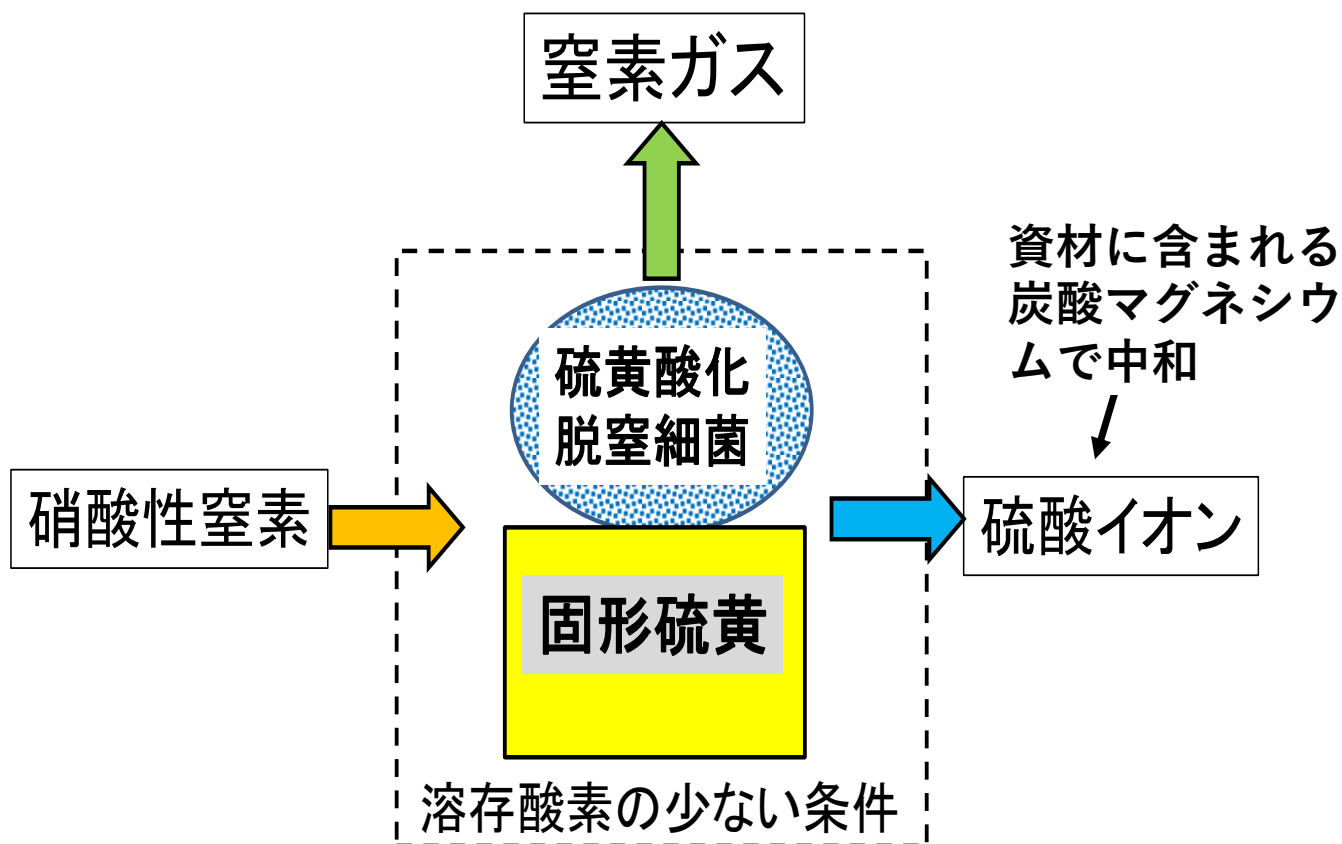
硝酸性窒素等が低下した放流水



既設浄化施設

追加技術として利用可能な 硫黄脱窒法

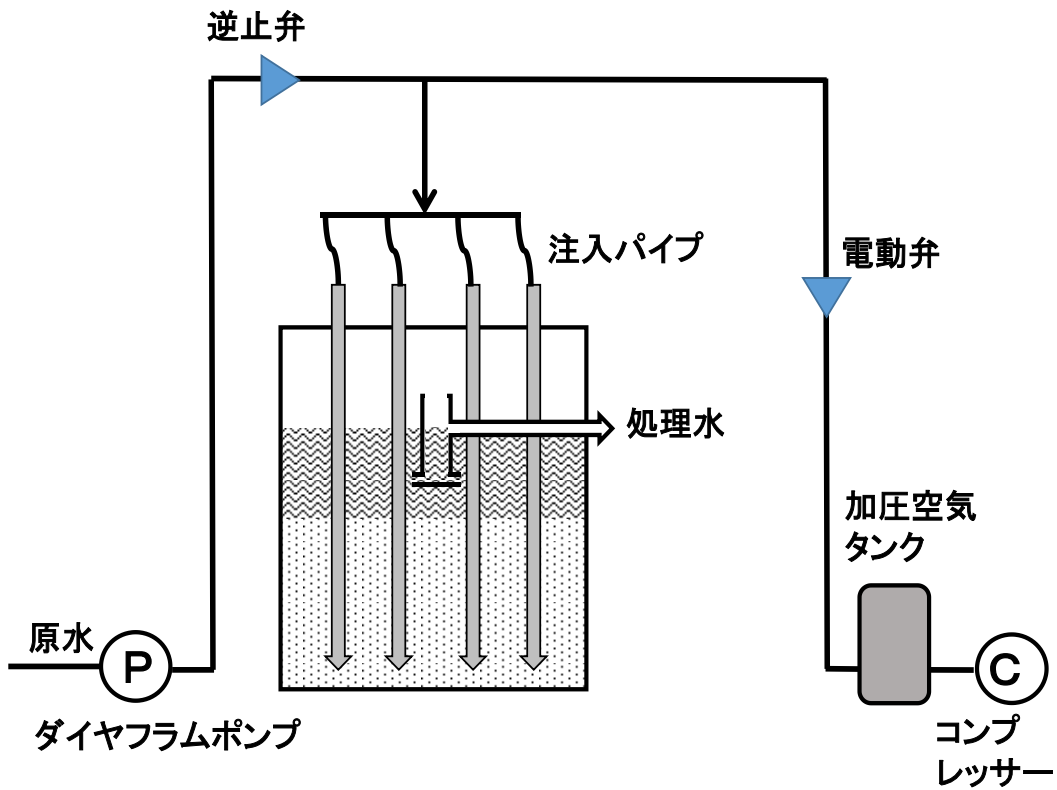
原理



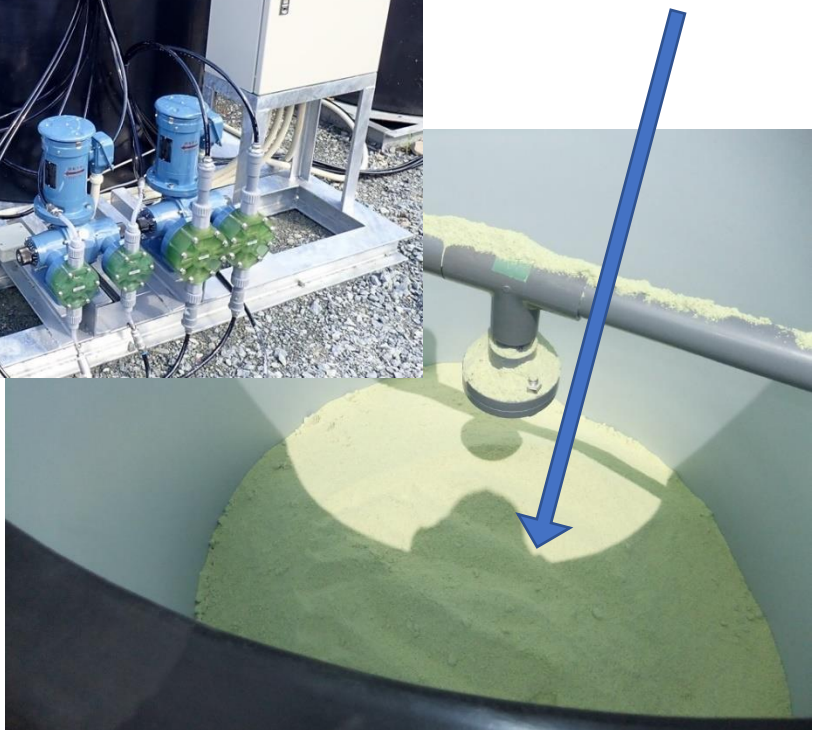
土壤や水中に広く分布している硫黄酸化脱窒細菌を利用します。

この細菌は、硫黄と亜硝酸・硝酸を反応させて、窒素分を窒素ガスにして、大気に放散させ除去する能力があります。

硫黄脱窒法処理装置の概要



硫黄・炭酸マグネシウム混合資材



硫黄脱窒装置の仕様

1. 使用資材

硫黄脱窒専用の硫黄-炭酸マグネシウム混合資材

2. 資材層厚

1 mを基本とする。

3. 槽仕様

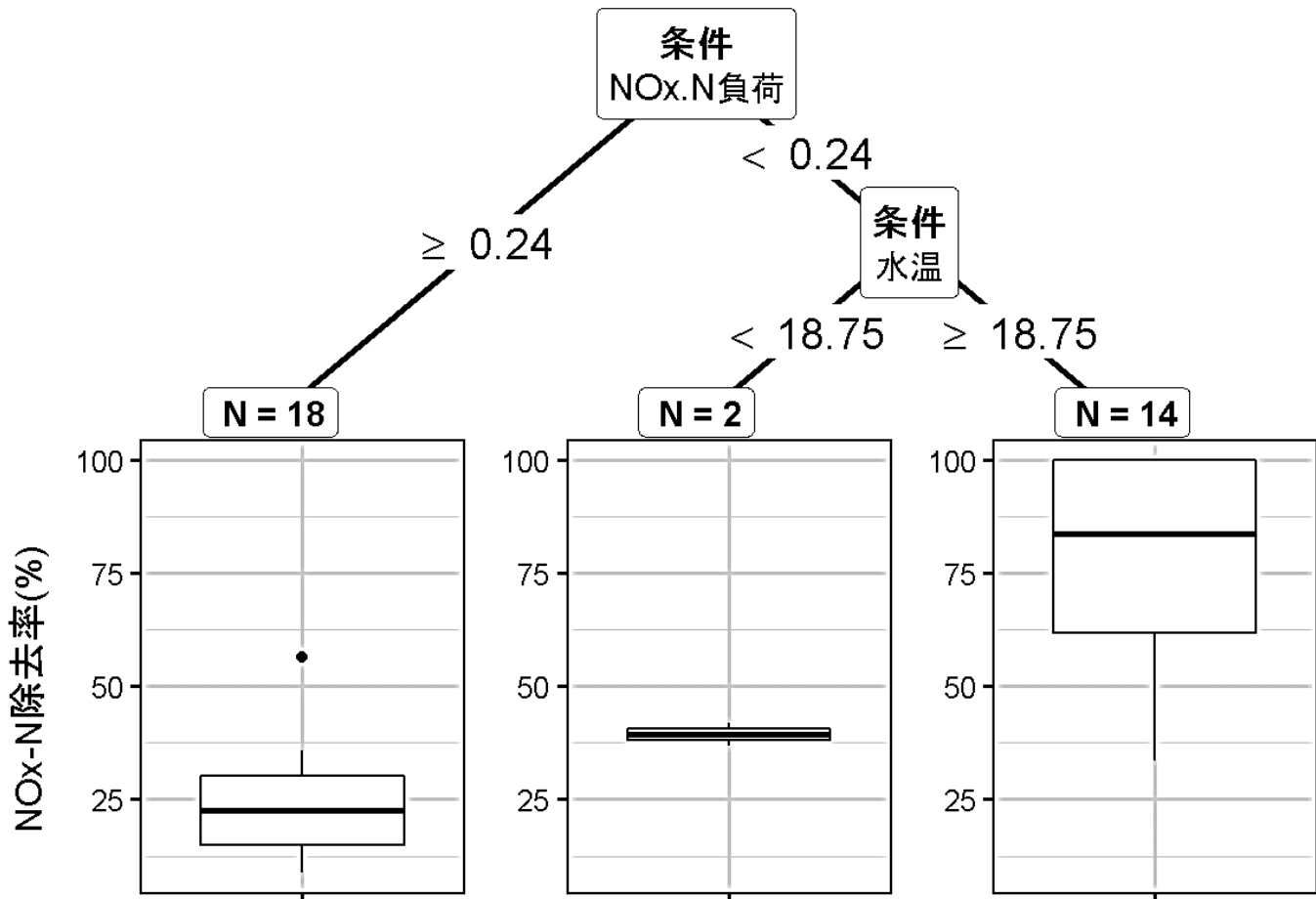
SUS製半地下タンクを新設するか、既設浄化施設の空き槽を転用する。冬期の水温低下を抑制する観点から、槽には覆蓋を設ける。

4. 原水はパイプ注人方式とする。このパイプは逆洗用空気の通気パイプも兼ねる。パイプ先端は硫黄資材が貫入して閉塞しない構造とする。

5. 想定処理性能

硝酸性窒素を 200mg/Lから100mg/Lに低減させることを目標とする。単位資材容積当たりの通水量は、硫黄資材1m³あたり1~2 m³ /日とする。

硫黄脱窒実証装置の窒素除去性能と処理条件の関係 (実証試験での実績事例)



硝酸性窒素(NOx-N)負荷を0.23 kg N/m³資材・日以下で、水温が約19°C以上であれば、60~100%の除去率が得られました。

【BOD】

正式には**生物化学的酸素要求量**と呼ばれます。水を汚す有機物のことです。

【アンモニア性窒素】

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ のことで、汚水の窒素の大部分を占めています。窒素除去には、まずこのアンモニアを亜硝酸性窒素や硝酸性窒素に変える必要があります。

【亜硝酸性窒素】

$\text{NO}_2^-\text{-N}$ のことで、アンモニア性窒素が硝酸性窒素になる途中の物質です。時々高濃度に蓄積することもあります。

【硝酸性窒素】

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ のことで、污水处理でアンモニアが空気中の酸素と反応して生成します。

【全窒素】

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の合計に、**有機性窒素**を加えたものです。有機性窒素は蛋白質・アミノ酸などに含まれます。

【硝酸性窒素等】

「硝酸性窒素」と混同しやすいですが、「等」が付いた場合は、水質汚濁防止法の規制項目である「**アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物**」の略称を意味します。単純な合計ではなく、 $(\text{NH}_4^+\text{-N} \times 0.4) + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$ の式で算出します。

【硝化】

アンモニア性窒素が酸素と反応して亜硝酸性窒素および硝酸性窒素になる反応を言います。窒素除去の第一段階です。

【脱窒】

硝化でできた亜硝酸性窒素と硝酸性窒素を、窒素ガスにして空気中に飛ばせば、窒素除去完了です。これを脱窒と言います。

VIII. おわりに

本冊子は、日本中央競馬会の特別振興資金助成事業により実施した「畜産汚水の発生・浄化における軽労型窒素低減システム開発・普及事業」の成果に基づいて作成したことを記し、日本中央競馬会に深く感謝の意を表します。

本冊子に利用したデータの採取にあたっては、多くの農家の皆様のご協力を得ました。深く感謝いたします。

本事業を実施するにあたっては下記4名の推進委員の方々のご指導・ご助言を賜りました。ここにお名前を記し感謝の意を表します。

氏名	所属	職名
長田 隆	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門 畜産環境研究領域 水環境ユニット	ユニット長
舘野 浩一	全国農業協同組合連合会（JA全農） 飼料畜産中央研究所 養豚研究室	室長
仁木 圭三	公益財団法人 日本環境整備教育センター 調査・研究グループ	グループリーダー
長谷川 輝明	千葉県農林水産部 畜産課 環境飼料班	副主査



本冊子の内容に関するお問い合わせは下記の電話またはメールでお願いいたします。

確実な養豚汚水処理を目指して

一硝酸性窒素等の低減に向けた簡易水質推定法と浄化性能向上技術一

令和3年3月30日発行

発行：一般財団法人 畜産環境整備機構

〒105-0001 東京都港区虎ノ門5-12-1（ワイコービル3階）

TEL 03-3459-6300/ FAX 03-3459-6315

編集および連絡先：畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

〒961-8061 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原 1

TEL 0248-25-7777/ FAX 0248-25-7540

メールアドレス：ilet@chikusan-kankyo.jp

ホームページ：<http://www.chikusan-kankyo.jp>