

短 報

畜舎污水浄化用膜分離活性汚泥法施設の維持管理目標

—ランゲリア指数を参考にした目標設定—

田中康男

(一財) 畜産環境整備機構畜産環境技術研究所, 福島県西白河郡, 961-8061

要 約 畜舎污水处理用の膜分離活性汚泥法施設では、有機物によるファウリングに加えて、無機成分のスケール層形成によるファウリングでろ過性能が低下する場合がある。スケール層形成の原因物質の一つである炭酸カルシウムはランゲリア指数がマイナスであれば析出せず、プラスで析出する。ランゲリア指数をマイナスに維持する管理の目安を得ることを目的とし、7 農場において浄化処理水の水質項目とランゲリア指数との関係を把握した。その結果、pH が 7.4 未満であればランゲリア指数がマイナスになる傾向が確認された。ただし、pH が 7 より低下すると、硝酸化合物濃度が高まってしまふ。よって、pH 7.0～7.4 が膜分離活性汚泥法処理施設の管理の目安と推定された。

キーワード：畜舎污水、膜分離活性汚泥法、膜ファウリング、スケール、ランゲリア指数

受領日: 04.16.2025. 受理日: 23.06.2025.

日本畜産環境学会会誌

緒 言

畜舎污水浄化施設では膜分離活性汚泥法が採用されている事例も多い。一般に、分離膜は有機物および無機物に起因するファウリングによりろ過性能が経時的に低下するため、原因物質に応じた薬品洗浄が不可欠である。畜舎污水の浄化処理水（以下排水と略す）には、カルシウムイオン、アンモニウムイオン、リン酸イオン、マグネシウムイオンが存在するため、これらに起因する結晶成分である HAP（ヒドロキシアパタイト $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$ ）、MAP（リン酸マグネシウムアンモニウム MgNH_4PO_4 ）および炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）のいずれかが膜面にスケール層を形成しファウリングを引き起こす可能性がある。

HAP および MAP の析出は pH 8.3～8.5 以上で顕著になることが知られている [3、6]。

一方、炭酸カルシウムについては、ランゲリア指数がプラスになると膜面にスケール層を形成しろ過能力を低下させることが指摘されている [1、2]。この指数は水道分野で利用されている指標であり、指数が正の値で絶対値が大きいほど炭酸カルシウムの析出が起りやすく、負の値では炭酸カルシウム被膜は形成されないとされている [4]。厚生労働省によると、指数は式 1 で算出される [5]。

ランゲリア指数 = pH 値 - pH_s + [(T-25) × 1.5 × 10⁻²] …… 式 1

pH_s = 8.313 - log[Ca²⁺] - log[A] + S

ここで、

T : 試料採取時の水温 (°C)

1.5 × 10⁻² : 温度における補正係数

8.313 : 定数

[Ca²⁺] : meq/L で示されたカルシウムイオン量

畜舎排水のランゲリア指数

表1 調査農場の飼養畜種と採水日

農場所在地	飼養畜種	採水日（2024年）
宮 崎	豚、肉用牛	8月16・18・20・21・24・26日
茨 城	豚	9月 6・10・13・17・20・24日
岩 手	豚、鶏	6月25・28日 7月 1・2・5・8日
岐 阜	豚、鶏	10月13・15・17・18・21・23日
和歌山	豚、肉用牛、山羊、猪	9月 7・9・11・12・15・17日
和歌山	鶏	9月 5・9・11・14・17・19日 11月19・22・25・28日 12月 4・6・10・13・16・19日
新 潟	豚、乳用牛、肉用牛、鶏	10月21・23・24・28・31日

材料および方法

地方競馬全国協会の補助のもと公益社団法人畜産技術協会が実施した令和6年度農場消毒強化技術実用化推進事業において、全国7農場で、逆性石鹼に消石灰を添加した新規消毒剤の効果試験が実施された。この試験において、消毒剤が排水水質に及

ぼす影響の把握を目的とし、散布日の前後に排水の採水と水質分析を複数回行なった。なお、7農場の浄化施設は膜分離施設を有さない活性汚泥法であった。

水質分析は、工場排水試験方法（JIS-K-0102）に基づいて環境計量証明事業所により実施された。分析項目は、水温、pH、溶解性蒸発残留物（溶解性物質とも呼ばれる、TDS）、酸消費量 [pH4.8]（総アルカリ度とも呼ばれる）、溶解性カルシウム（カルシウムイオン、Ca）、アンモニア性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、亜硝酸性窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、硝酸性窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）である。水質汚濁防止法の有害物質の規制項目である「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」（略称：硝酸性窒素等）は法令に則り「 $\text{NH}_4\text{-N} \times 0.4 + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 」の式で算出した。ランゲリア指数は式1によって算出した。

結果および考察

各調査対象農場の飼養畜種および採水日を表1に示した。散布された消毒剤は直ちに汚水に流入するわけではなく、また汚水処理の所要滞留時間は数10日にも及ぶことから、排水水質に対する散布の影響を明確に把握するのは困難であった。一方、排水におけるCa濃度とpHとの関係を見ると両者には正の相関関係があった（図1）。ただし、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が高濃度に残留する場合はpHに強い影響を与えるため、図1

$$[\text{Ca}^{2+}] = [\text{Ca}^{2+}] (\text{mg/L}) \div (40.1 \div 2)$$

$$[\text{A}] : \text{meq/L} \text{ で示された総アルカリ度}$$

$$[\text{A}] = [\text{A}] (\text{mg/L}) \div (100 \div 2)$$

$$\text{S} : \text{補正值で、次式により求める。}$$

$$\text{S} = 2\sqrt{\mu} / (1 + \sqrt{\mu})$$

$$\mu = 2.5 \times 10^{-5} \times \text{Sd}$$

$$\text{Sd} : \text{溶解性物質} (\text{mg/L})$$

上記算出式は複雑であり、どのような水質条件でマイナスにできるかは容易には判断ができない。本研究では畜舎排水を対象として、水質とランゲリア指数の関係を把握し、この指数をマイナスに維持するための目安を検討した。

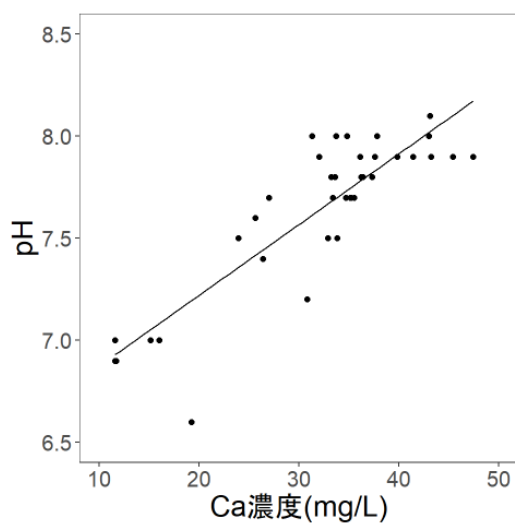


図1. 排水中のCaイオン濃度とpHの関係（ $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が25 mg/L以下の場合）

畜舎排水のランゲリア指数

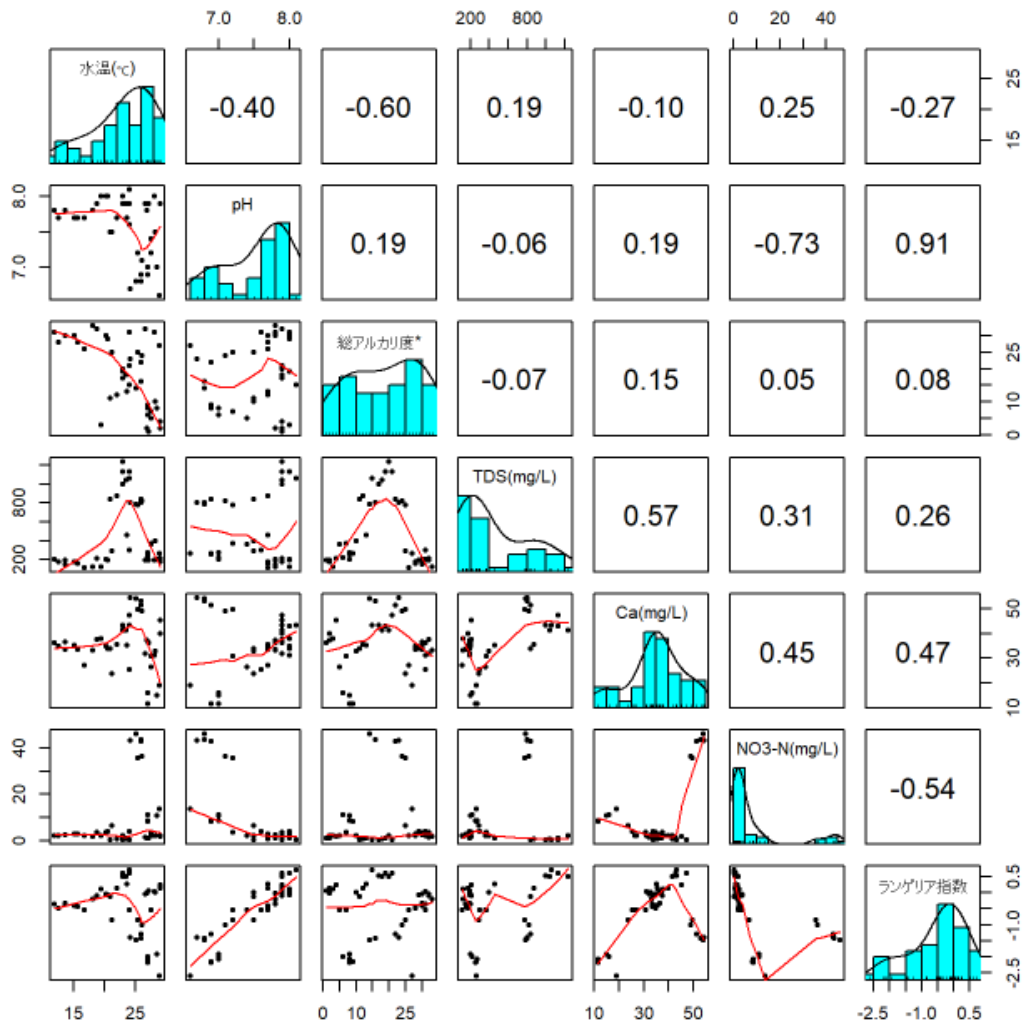


図2. 水質項目間の関係 (ボックス内の数字は相関係数を示す)

は $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 25mgN/L 以下のデータのみで作成した。この相関関係から、Caを含んだ消毒剤が污水处理施設に流入した場合、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度レベルによってはpHが上昇する可能性があると考えられた。pHがおよそ8.3を上回ると、前述のようにHAPまたはMAPが析出する可能性がある。

次に、炭酸カルシウム析出防止のための管理について検討するため、排水のランゲリア指数とその他水質項目との相関関係を解析した(図2)。ただし、宮崎および岩手の計12試料はpHが4.8以下でアルカリ度が測定できず、そのた

め指数の算出はできなかった。図を見ると、水温、酸消費量、TDS、Ca、 $\text{NO}_3\text{-N}$ との関係は不明確であった。これらに対してpHは指数と直線関係を示しており、pHを指標として利用できると予測された。

pHと指数の詳細な関係を図3に示した。回帰の決定係数は0.81961、p値は $2.2\text{e-}16$ 未満で有意であった。回帰式は以下のとおりである。

ランゲリア指数 $= -13.9662 + 1.7846 \times \text{pH}$

また、ランゲリア指数がゼロのラインと予測区間上限ラインとが交わるpHは7.4となった。

畜舎排水のランゲリア指数

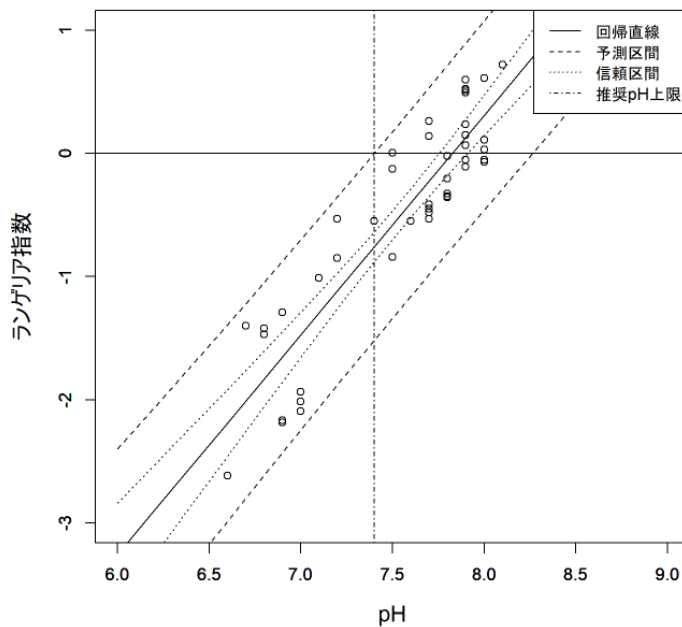


図3. pH とランゲリア指数の関係

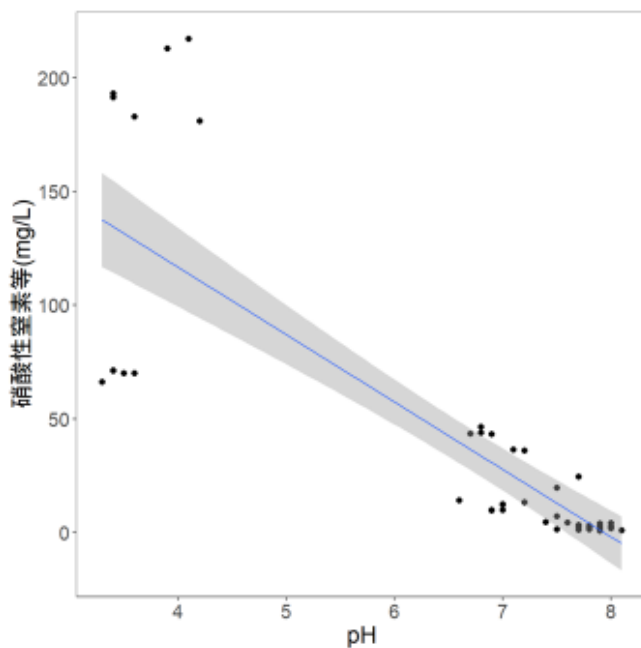


図4. pH と硝酸性窒素等濃度の関係
(グレーエリアは95%信頼区間を示す)

よって、炭酸カルシウムスケール発生予防の観点からはpH7.4以下が望ましいと推測された。

一方、硝酸性窒素等とpHの関係を見ると(図4)、pHが低下するほど硝酸性窒素等濃度が上

昇する傾向が見られた。2025年時点での硝酸性窒素等の暫定基準値は400 mg/Lであり、現状では問題の無い濃度域ではあるが、今後目標とすべきは一般基準値の100 mg/Lであることから、pHは7以上に維持することが望ましい。全国調査の報告[7]でも、pHが7以下になると硝酸性窒素等が顕著に上昇し400 mg/Lを超える事例も増えることが示されている。

以上の知見を総合すると、膜分離活性汚泥法処理施設ではスケール層形成によるろ過膜ファウリングの予防と硝酸性窒素等濃度の抑制の両方の観点から、排水pHは7.0～7.4の範囲内に維持することが適正と結論された。なお、一般に活性汚泥法の污水处理施設において処理水pHをコントロールするには、曝気強度または曝気時間の調整が有効である。

謝 辞

調査データの利用を許諾いただいた地方競馬全国協会および公益社団法人畜産技術協会に謝意を表します。

文 献

- [1] 和泉清司 (2008) 平膜型 MBR における膜の劣化・ファウリングと洗浄技術：膜の劣化とファウリング対策、膜汚損防止・洗浄法からトラブルシューティングまで：244-262 頁、株式会社エヌ・ティー・エス、東京。
- [2] 川崎睦男(2008)NF膜・RO膜における劣化・

畜舎排水のランゲリア指数

- ファウリングと洗浄技術：膜の劣化とファウリング対策、膜汚損防止・洗浄法からトラブルシューティングまで：296-343頁、株式会社エヌ・ティー・エス、東京。
- [3] 川村英輔、田邊眞、竹本稔、上山紀代美、鈴木一好 (2011) 簡易型リン回収装置の回分式活性汚泥浄化槽への適用. 日豚会誌：48(2)：58-67.
- [4] 厚生省(1977)水道施設設計指針・解説. 日本水道協会.
- [5] 厚生労働省 (2003) 水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について (平成 15 年 10 月 10 日付け健水発第 1010001 号)
- [6] 永禮英明、津野洋、Wilasinee Saktaywin、早山恒成 (2009) オゾンによる汚泥減容化とリン回収を導入した高度下水処理プロセスでのリン回収方法の検討. 環境工学研究論文集：46:2009、469-475.
- [7] 田中康男 (2024) 養豚汚水浄化施設の管理指標としての処理水 pH 値. 日豚会誌：61(3)：101-104.