

B-22 排水からのリン除去・回収における 電解法の有効性

○高橋 淳¹・川畑 翔紀¹・田中 恒夫^{1*}

¹前橋工科大学工学部社会環境工学科（〒371-0816 群馬県前橋市上佐島町 460-1）

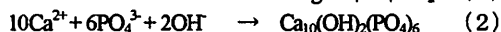
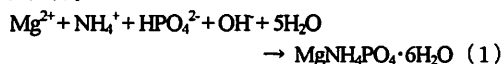
* E-mail: t-tanaka@maebashi-it.ac.jp

1. はじめに

リン資源の枯渇化が世界規模で懸念されている¹⁾。特に日本はリン資源の 100% を輸入に依存していることから、リン枯渇問題への対策は、喫緊の課題である。畜産排水等に含まれるリンなどの栄養塩類の量は輸入量の約 3 割と報告されている²⁾ ことから、畜産排水等からリンを回収することができれば、量と質ともに安定したリン資源の循環システムが構築できると考えられる。そこで、本研究では HAP 法や MAP 法の原理を応用した電解晶析法によるリン資源の回収を目的として、実験的検討を行った。

2. 電解晶析法の原理

リンを結晶性物質の形で除去・回収する方法として MAP 法、HAP 法などがある。MAP 法はリン酸を MAP として析出させ回収する方法で、反応にはマグネシウムとアンモニウムイオンが必要である（反応式（1））。HAP 法は、リン酸塩とカルシウムイオンの反応より、不溶性のヒドロキシアパタイトを生成させる方法である（反応式（2））。



電解法の原理を図-1 に示す。本プロセスでは、HAP 法や MAP 法による結晶化反応において水の電気分解による電極付近の pH 変化を利用する（陰極付近での pH を変化）。これにより、アルカリ剤を加えずに MAP や HAP 等を生成させることができる。また、結晶性物質の生成において種晶などが存在するとその効率は高まるが、電解法では電極がその役割を果たすことになり、種晶の添加も不要となる。

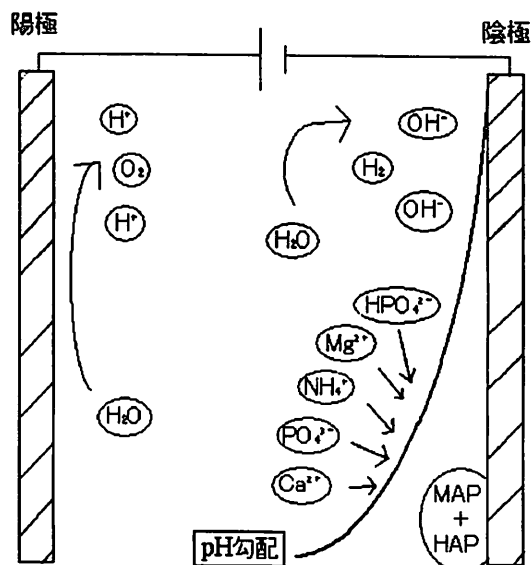


図-1 電解法の原理

3. 実験装置

本研究で用いた電解システムを図-2 に示す。電解システムは大きく分けて電解槽反応槽と制御装置から構成される。反応槽は縦：60cm、横 80cm、高さ：170cm であり、内部は 2 槽に分けられている。右側が電解槽となり有効容積は約 350L である。図のように底部を傾斜形状にして剥落した結晶性物質を沈殿させ、回収できるようにした。左側の槽は、電解により発生する泡を処理するための消泡槽とした。消泡槽に溜まった処理水はフロート付のポンプを設置して系外に排出できるようにした。制御装置は、500A まで通電可能な直流電源を装着し、さらにリバース・タイマー通電が可能なシステムとした。

表－1 実験条件

実験 No.	電流値(A)	流入水量(mL/min)	槽内流れ
1	50	700	上向流
2	55	700	上向流
3	100	700	上向流
4	150	700	上向流
5	100	1400	上向流
6	150	1400	上向流
7	150	2300	上向流

4. 実験方法

本研究では、共通の条件として電極材質にはチタン母材白金メッキを使用した。電極寸法は、縦：100cm、横：50cm、厚さ：0.1cmとした。電極配列はプラスとマイナスを交互に配列した。電極枚数は合計20枚とした。流入水量：1～4 m³/dで制御、電極の間隔：1.0～1.5cmの範囲、電流値50～150Aの範囲で通電し条件を変えながら実験を行った（表－1）。供給原水は畜産尿汚水を活性汚泥処理した二次処理水を使用した。また、水質調査（有機物や栄養塩類の濃度の分析）のため、流入水と処理水を週に3回程度の頻度で採取した。結晶化物質の回収作業は、週に1回の頻度で行った。

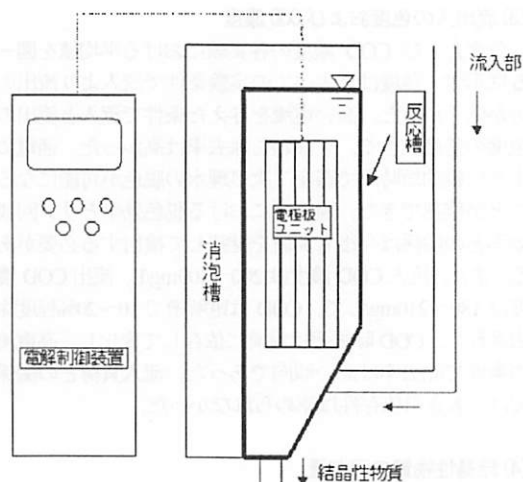
5. 実験結果

(1) 流入の TP, TN 濃度

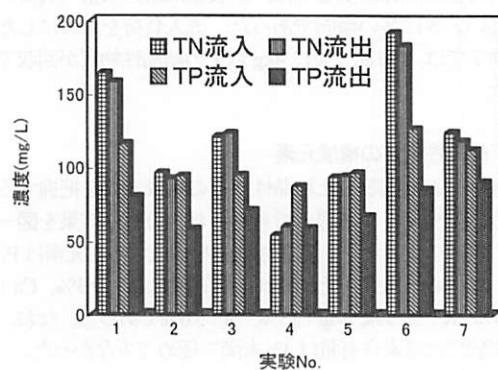
各実験における平均 TP, TN 濃度を図－3に示す。本実験では、流入 TP 濃度は70～130mg/Lの範囲であった。流出 TP 濃度は一貫して流入濃度より低かったものの、先に行った実験の結果³⁾と比較すると、電流や流入栄養塩類負荷による除去率（除去量）の変化は明確ではなかった。また、流入 TN 濃度は50～200mg/Lの範囲で大きく変化した。流出 TN 濃度も50～190mg/Lで、流入と流出の濃度の差は小さかった。全体として、TNの除去率はTPのそれより低かった。

(2) 流入の Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺濃度

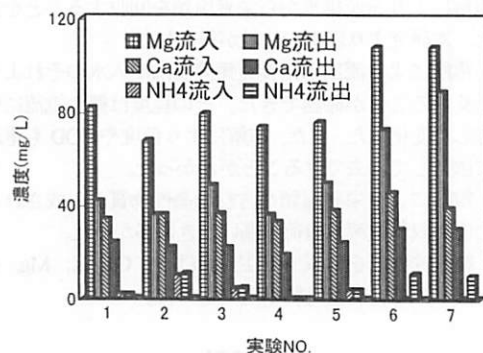
各実験における平均 Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺濃度を図－4に示す。まず、流入 Ca²⁺濃度は40mg/L付近でほぼ安定していた。流出 Ca²⁺濃度は20～35mg/Lの範囲であった。条件による Ca²⁺除去率の大きな変化は見られなかった。流入 Mg²⁺濃度は60～110mg/Lであった。流出 Mg²⁺濃度は、図からわかるように、流入負荷により大きく変化している。電流による除去率の変化も僅かではあるが確認できる。また、NH₄⁺濃度に関しては、流出濃度の方が高い時があり、実験を通して NH₄⁺の除去率は極めて低かった。



図－2 電解装置



図－3 流入の TN, TP 濃度



図－4 流入の Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺濃度

(3) 流入の色度および COD 濃度

色度および COD 濃度の各実験における平均値を図-5に示す。色度は、すべての実験条件で流入より流出の方が低かった。高い電流を与えた条件で流入と流出の色度の差は大きく、すなわち除去率は高かった。通電により比較的短時間で畜産二次処理水の脱色が可能になることが確認できた。通電時における脱色効率とリン回収効率との関係は今後も実験を継続して検討する必要がある。また、流入 COD 濃度は 200~300mg/L、流出 COD 濃度は 180~210mg/L で、COD は電解槽で 10~20%程度除去された。COD 除去率は電流に依存して変化し、高電流の条件で除去率は高い傾向であった。流入負荷との関係では、大きな依存性は認められなかった。

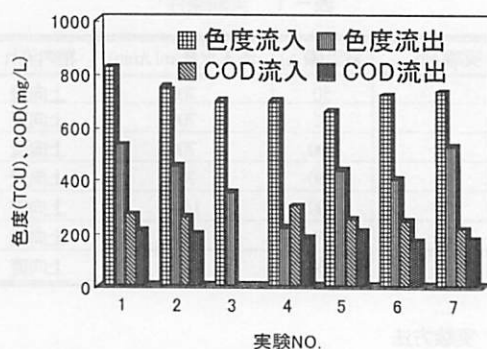


図-5 流入の色度と COD 濃度

(4) 結晶性物質の回収量

電解槽より回収した結晶性物質の量を図-6に示す。本実験では、与えた電流と結晶性物質の回収量との間には明確な関係は認められなかった。これに関しては、今後も実験を継続して行い確認する必要がある。また、流入負荷との関係に関しては、回収量は流入水量（負荷）が高いときに多い傾向であった。流入負荷を最大にした実験7では、8日間で実に 4kg 以上の結晶性物質が回収できた。

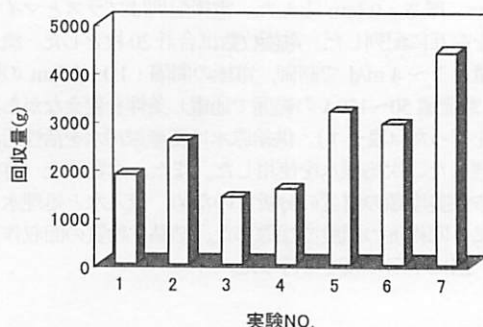


図-6 各実験における回収量

(5) 結晶性物質の構成元素

電解槽より回収した結晶性物質の構成元素を把握するために蛍光エックス線分析を行った。分析の結果を図-7（実験7）に示す。結晶性物質を構成する主元素はP、Ca、K、Mg、Siで、それぞれの含有量はP: 19.3%、Ca: 34.4%、K: 25.3%、Mg: 13%、Si: 5.6%であった。なお、本実験では窒素含有量は1%未満で極めて少なかった。

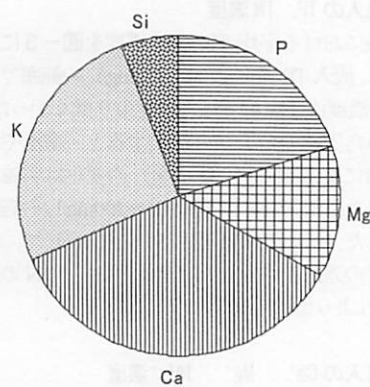


図-7 結晶性物質の構成元素

6. まとめ

電解により畜産排水から栄養塩類を回収することを試みた。本研究より以下の知見が得られた。

- 1) 電解により流出水栄養塩類濃度は流入水のそれより低くなることが確認できた。その程度は概ね電流に依存して変化した。また、電解により色度やCODも電流に依存して除去できることがわかった。
- 2) 電解により栄養塩類を含む結晶性物質が生成され、その回収量は流入負荷の高いときに多かった。
- 3) 結晶性物質を構成する主元素はP、Ca、K、Mg、Siで、リンの含有量は約19%であった。

参考文献

- 1) Abelson P.H. (1999) A potential phosphate crisis, Science, Vol.283, p.2015.

- 2) 村山勝男(1992)排水中のリン除去とリサイクリング, 資源環境対策, 28(12), 1099 - 1106.
- 3) 田中恒夫, 小池範幸, 佐藤孝志, 新井忠男, 平靖之 (2009): 電解法による畜産排水からのリン酸塩の回収, 水環境学会誌, Vol.32(2), 79-85.