

電気透析及び逆浸透による排水中リン濃縮効果の検討

——晶析脱リン法の前処理として——

相原 進 吾

Shingo AIHARA

環境ソリューション工学専攻修士課程 2017 年度修了

1. はじめに

富栄養化制御の観点から下水処理におけるリン除去の推進が求められている。一方で、日本が輸入したリン鉱石の約半分量に相当するリンが下水道に流入しており、それらをリン資源として回収する方法も注目されている。

汚泥の発生が少なく、資源利用が容易であるリン回収法の一つに晶析脱リン法がある。晶析脱リン法とはリン含有水に適当な条件 (OH^- 添加, Ca^{2+} 添加) を与え、種結晶と接触させることで、種結晶表面上にヒドロキシアパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$) [以下 HAP] を生成・晶析させる方法である。しかし、下水中のリン濃度は 2~4 mg-P/L 程度と低いことから、晶析脱リン法を運転するには多量のアルカリ剤、カルシウム剤の添加が必要となる。そこで、本研究では晶析脱リン法の薬剤添加量削減を達成するために、排水中リンの電気透析または逆浸透濃縮プロセスを組み込んだ晶析脱リン法の検討を行った。

2. 実験方法

ME-O 型電気透析装置及び逆浸透装置を用いてオルトリン酸及び Ca^{2+} と下水に含まれる一般的なイオン成分 (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NH_4^+) の濃縮特性を評価した。電気透析セルは脱塩室 (10 セル), 濃縮室 (11 セル), 電極室 (2 セル), 遮断室 (2 セル), 陽極板 (白金メッキチタン), 陰極板 (SUS316L) で構成されており、カチオン交換膜としてセレミオン CMV, アニオン交換膜としてセレミオン AMV (ともに AGC エンジニアリング製)

を使用した。有効膜面積は 1 枚当たり 50 cm^2 である。濃縮液及び脱塩液には、下水二次処理水 (龍谷大学排水を散水ろ床法で処理した溶液) を 1 L 用いた。電圧 15 V の定電圧モードで運転した。逆浸透装置へは加圧空気を用いて送液した。デッドエンドモードで運転を行い、5 分毎に弁を開いて濃縮水を排水した。この際に透過水流出量に対して 1, 1/2, 1/4 倍に濃縮水流出量を調整することで濃縮水回収率が 50%, 33%, 20% になるように調整した。電気透析では 15 分間、逆浸透では 25 分間を処理時間とし、5 分毎にサンプリングを行い、IC 法で、オルトリン酸, SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} 濃度を測定した。一般的に晶析脱リン法は pH 9 条件下で運転を行うことから各濃縮プロセスの P 濃縮量及び Ca^{2+} 濃縮量から pH 9 条件下の HAP のイオン積を算出し、適否を評価した。

HAP の溶解度積を式 1 に、準安定域内の HAP のイオン積の範囲を式 2 に示す。

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}]^{10} [\text{OH}^-]^2 [\text{PO}_4^{3-}]^6 \quad (\text{式 1})$$

$$10^{-113} < [\text{Ca}^{2+}]^{10} [\text{OH}^-]^2 [\text{PO}_4^{3-}]^6 \leq 10^{-60} \quad (\text{式 2})$$

3. 結果及び考察

図 1 に電気透析の脱塩液内の陰イオン成分及び陽イオン成分の残存率を示す。図 1 より電気透析における陰イオン成分の濃縮特性の評価として $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{オルトリン酸}$ の順で濃縮特性が高い結果となった。セレミオン AMV ではオルトリン酸の透過性が低いことが示唆された。陽イオン成分においては $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ の順で濃縮のされやすく、セレミオン CMV では Ca^{2+} の透過

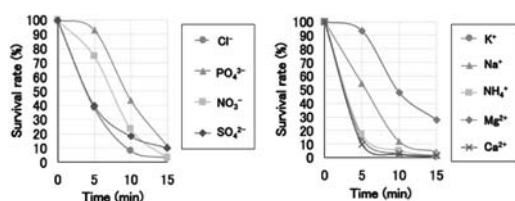


図 1 脱塩液内陰イオン成分及び陽イオン成分の残存率

表 1 各濃縮プロセスの原水及び濃縮水の PO_4^{3-} , Ca^{2+} 濃度

イオン成分	電気透析		逆浸透			
	原水	回収率	原水	回収率		
		50%		50%	33%	20%
PO_4^{3-} 濃度[mg/L]	12.6	22.9	12.9	20.7	33.0	50.5
Ca^{2+} 濃度[mg/L]	33.9	67.2	23.5	42.7	58.4	92.5

性が高いことが示唆された。各濃縮プロセスの原水及び濃縮水の PO_4^{3-} , Ca^{2+} 濃度を表 1 に示す。電気透析における濃縮水回収率 50% 条件の HAP のイオン積は 10^{-60} であり準安定域に含まれていた。一方で、逆浸透においては濃縮水回収率 50%, 33% の HAP のイオン積は 10^{-61} , 10^{-60} であり準安定域に含まれていたが、20% 条件の HAP のイオン積は 10^{-57} で不安定域に含まれていた。したがって、逆浸透の 20% 条件は晶析脱リン法に適さない可能性が示唆された。また、一般的な下水二次処理水の Ca^{2+} 濃

度は 20~40 mg/L であり、排水中の Ca^{2+} 濃度が 100 mg/L 以上になるとスケールが発生しやすくなる(堀井ら, 1997)。そのため、逆浸透法における 33%, 20% 条件は、対象排水により Ca^{2+} 濃度を 100 mg/L 以上に高める可能性があるため晶析脱リン法に適さない可能性が示唆された。これらのことから両濃縮プロセスにおいて濃縮水回収率 50% 条件が適している可能性が示唆された。

$$10^{-113} < [\text{Ca}^{2+}]^{10} [\text{OH}^-]^2 [\text{PO}_4^{3-}]^6 \leq 10^{-60} \quad (\text{式 2})$$

4. おわりに

今回の学会は修士課程で 2 年間の研究成果を発表することができ、充実した学会発表になりました。

最後に、研究や学会発表に関して多大な指導をいただきました岸本直之教授に深く感謝いたします。