

B-22 多孔質電極を用いる電気泳動装置による イオン種の分離と中和処理

○松橋 大輔¹・田中 恒夫^{1*}

¹前橋工科大学 社会環境工学科 (〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1)

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

1. はじめに

分離技術は物質やエネルギーの生産過程、上下水道、食品、医療、環境浄化およびリサイクルなど、様々な分野で利用されている。中でも、水溶液系・均相系からのイオン種の分離・濃縮を目的とした分離技術としては、濾過、逆浸透、透析、電気透析および蒸留法などが挙げられる。しかしながら、これらの分離技術には、消費電力の高さ、膜の寿命、分離速度の遅さ、ランニングコストの高さなどの問題点が挙げられる。この問題点を解決することにより、実用化の範囲はさらに広がると考えられる。

本研究では、分離装置のシンプル化を目的として、電極に炭素多孔質板を用いる電気泳動分離・濃縮装置を提案する。具体的には、晶析法等により排水から栄養塩類の除去・回収する際には濃度が高いほうが有利であるため、その前段のプロセスとしての適用を目的とする。

2. 電気泳動について

電気泳動とは一般に、正または負の電荷を帯びているイオン、コロイド、粒子などに直流電圧をかけると、その電荷と反対符号の電極に引きつけられる現象をいう。電気泳動は低電圧でイオンや固体粒子を移動させ得るので、様々な工業的な応用がなされている。

本研究では、溶液中に存在するイオン種を炭素多孔質電極へ泳動させることによる、イオンの分離・濃縮を目的としている。多孔質電極を用いることの効果のイメージを図1に示す。陽イオンに着目すると、電気泳動により多孔質電極内部を含めた電極付近に陽イオンが蓄積されと考えられる。この結果、セル内においてイオンの分離・濃縮が可能になると考えられる。本装置の特徴として、①電気化学的に安定な多孔質電極を用いる必要があるが、膜を使用しないため装置構造は比較的簡単、

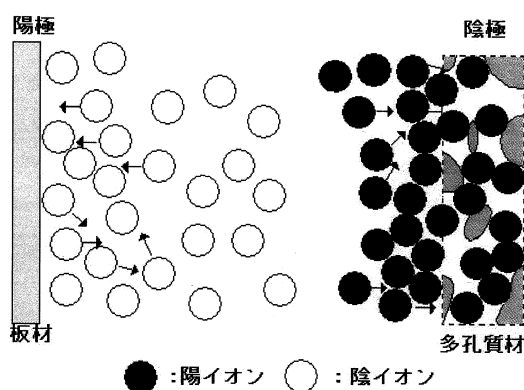


図1 多孔質電極泳動装置による分離・濃縮

②数ボルト程度の電圧印加で、イオン種の分離・濃縮が可能、③電極セル内の混合状態による分離・濃縮効率の変化は小さい、④電解装置の構造が簡単であるため、適用範囲は広く、既存装置・施設への付加も容易、などが挙げられる。

3. 既往研究¹⁾の結果

既往の研究¹⁾より、回分式および連続式の操作の通電実験において以下のことが確認された。①炭素多孔質材を陰極として用いて通電することにより溶液中に存在する陽イオン濃度は減少し、陽極として用いた場合には陰イオン濃度が減少すること、②平板電極を用いた通電実験においてはイオン濃度の減少は確認できず、電気泳動の効果は期待できないこと、③溶液中のイオン濃度の減少速度は電圧・電流に依存して大きく変化すること、④電極セル内のイオン濃度の減少における循環ポンプやスターラーによるセル内攪拌の影響は小さいこと、⑤連続的に被検水を流入させてもイオンの分離・濃縮は可能であること、などである。

4. 通電実験

(1) 装置

本実験は、被検水を連続的に電極セル内に流入させた場合において、電極セルより流出した溶液のイオン濃度の応答を確認する。電極セルは厚さ 0.5cm の塩化ビニル板を用いて作製し、その大きさは縦 8cm×横 10 cm×高さ 10 cm とした。平板電極としてチタン板（縦 10cm×横 10 cm×厚さ 0.5 cm）を使用した。多孔質電極としては、炭素多孔質材（10 cm×10 cm×1 cm）を使用した。電極への印加は直流安定化電源を用いて行なった。また、電極セルに被検水を流入させるためにチューブポンプを使用した。被検水の流入速度は約 2.8ml/min とし、電極セル内での滞留時間を 3 時間とした。

(2) 方法

被検水として、水道水 1ℓ に硫酸アンモニウム 0.1g を溶解した水溶液を 20ℓ 準備した。実験のトータル時間は 6 時間とし、実験開始から 3 時間後に 3V、10V、30V の電圧を印加した。また、ポリタンク、電極セル、流出口より実験開始から 3、4、5、6 時間後に溶液を採取し、イオンクロマトグラフィ (PIA-1000) を用いてアンモニウムイオン (NH_4^+) と硫酸イオン (SO_4^{2-}) の濃度を測定した。

5. 結果および考察

(1) NH_4^+ 濃度の変化

陰極に炭素多孔質板、陽極に平板電極を使用した時の実験結果を図 2 に示す。3V 印加時では、3 時間の通電時間で濃度の変化はみられなかった。このとき、電流は殆ど流れなかった。電圧が 3V 程度では、通電の効果は極めて小さいと考えられる。10V 印加時では実験開始時の 6 割程度まで減少した。30V 印加時では、通電開始 1 時間で 8 割程度減少し、通電終了時には 9 割程度の減少が見られた。 NH_4^+ 濃度の減少速度は電圧に依存して変化することが確認できた。

また、電極を平板に換えて行った結果、3V、10V、30V の電圧で通電を行っても NH_4^+ 濃度の大きな変化は認められなかった。平板電極では NH_4^+ の分離における電気泳動の効果は期待できないこと、および電極反応による NH_4^+ 濃度の減少は無視できることが確認できた。

(2) SO_4^{2-} 濃度の変化

陽極に炭素多孔質板、陰極に平板電極を使用した時の実験結果を図 3 に示す。3V 印加時では同様に SO_4^{2-} 濃度の変化は見られなかった。このとき、電流は殆ど流れなかった。10V 印加時では、実験開始 4 時間後には 1mg/L 以下となった。30V 印加時でも 10V 印加時と同様、

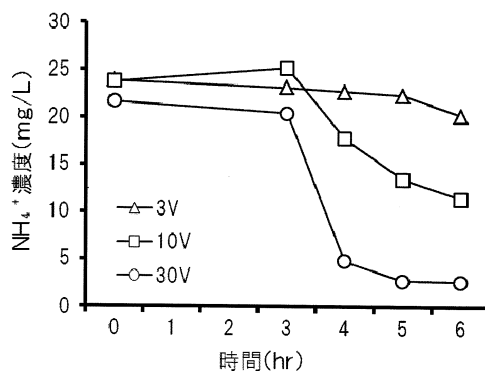


図 2 陰極多孔質電極使用時の NH_4^+ 濃度の変化

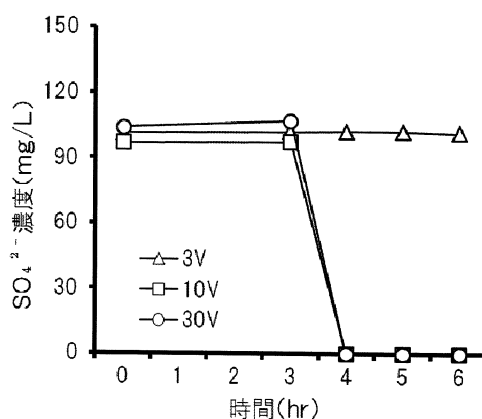


図 3 陽極多孔質電極使用時の SO_4^{2-} 濃度の変化

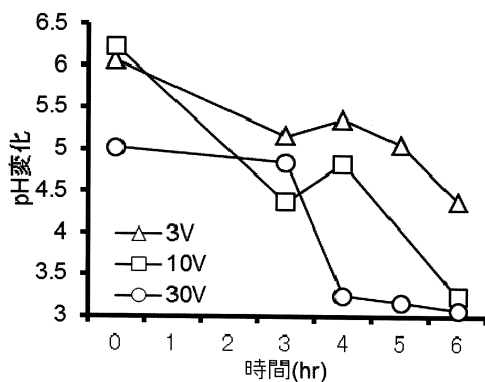


図 4 陰極多孔質電極使用時の pH の変化

SO_4^{2-} 濃度は実験開始 4 時間後には 1mg/L 以下となった。 SO_4^{2-} 濃度の減少速度は電圧に依存して変化することが確認できた。

また、電極を平板に換えて行った結果、3V、10V、30V

の電圧で通電を行っても SO_4^{2-} 濃度の大きな変化は認められなかった。平板電極では NH_4^+ 同様、 SO_4^{2-} の分離における電気泳動の効果は期待できないことが確認できた。

(3) pH の変化

実験開始から 3、4、5、6 時間後に pH を測定した。陰極に炭素多孔質板、陽極に平板電極を使用した時の実験結果を図 4 に示す。3V 印加時では、pH は 6 から 4 付近、10V 印加時で 6 から 3、30V 印加時で 5 から 3 付近に減少した。

一方、陽極に多孔質電極、陰極に平板電極を使用した場合は、3V 印加時では pH は 5 から 8 付近、10V 印加時では 6 から 11、30V 印加時では 5 から 11 付近に何れも上昇した (図 5)。

多孔質電極を用いて通電することにより、酸性の水溶液がアルカリ性に变化したことから、酸性水の中和の可能性が示された。

6. 既往研究¹⁾ との比較

先に行われた回分実験は、本研究の条件と異なるため減少率を用いて両者を比較した。既往研究と本研究で行われた連続実験の結果の比較を図 6 に示す。回分式実験および連続実験ともに通電開始 1 時間後に最も多く減少していることがわかる。また、回分式実験と連続実験の減少率は最終的に 5% 程度の差があることがわかる。これは、初期濃度や電流の差による影響、あるいは対流などの影響と考えられる。しかしながら、通電から 3 時間後には約 50% の NH_4^+ が減少していることから、連続的に被検水を流入させてもイオンの分離・濃縮は可能であると考えられる。

今後、連続実験で高い減少率を得るためには、印加する電圧条件などを検討する必要があると考えられる。

7. まとめ

本研究では、 NH_4^+ 濃度、 SO_4^{2-} 濃度等の分離と濃縮において多孔質電極を用いる電気泳動法を適用することを提案し、その可能性および操作因子について通電条件等を変化させて連続実験を行い検討した。本研究で得られた知見は以下の通りである。

既往研究の結果¹⁾ と比較するとイオン濃度の減少速度は低いものの、連続的に被検水を流入させてもイオンの分離・濃縮は可能であった。 NH_4^+ 濃度、 SO_4^{2-} 濃度ともに減少速度は電圧に依存して大きく変化することが確認できた。電圧 3V 以下および平板電極の条件では、通電の効果は極めて小さいことがわかった。イオン濃度の減少は多孔質電極を用いた場合において起こる現象である

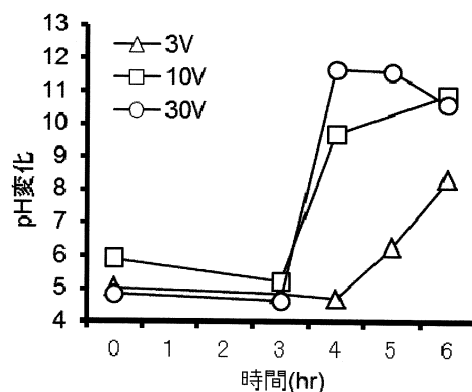


図 5 陽極多孔質電極使用時の pH の変化

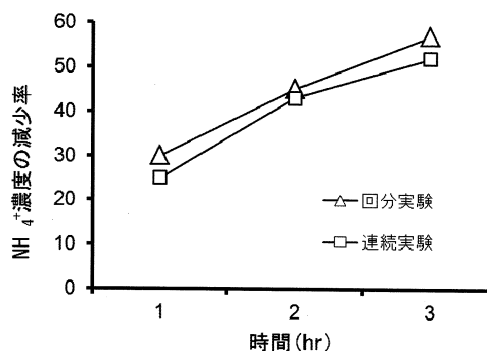


図 6 減少率の比較

ことが確認できた。すなわち、多孔質材を用いて通電することにより濃度の低い領域がセルの中央部に、高い領域が多孔質電極内あるいはその付近に形成されると推察される。電解セル内から、高濃度と低濃度の溶液を効率よく取り出すことが今後の課題となる。さらに、電解による pH 変化より、酸性水の中和の可能性が示された。現在、酸性河川は石灰等により中和処理されているが、本装置はその代替技術としても期待できる。

なお、本研究では電圧を主要な因子と考え、それを主に变化させて通電実験を行ったが、イオンの分離において物質移動に関連する電流の制御も重要であることが確認できた。また、実験前半の無通電条件においてイオン濃度に大きな変化はなく、多孔質材への物理的吸着の影響は無視できることが確認できた。

参考文献

- 1) 田中恒夫、吉田享史、杉戸千裕：水溶液系におけるイオン種の分離、環境技術学会、38(3), pp. 60-66、2009.