

Ⅶ-190

pH 応答性ゲルを用いた新しい水質変換システムの開発

九州大学工学部 ○学生員 近田泰章 正会員 久場隆広・楠田哲也
九州大学工学部応用物質化学科 入江正浩

1. 研究の目的

本研究の目的は、環境（排水中）の pH 変化に応じて体積変化を起こす機能性ゲルを用い、新しい水質変換システムを構築することである。ここでは、酸性側で収縮、アルカリ性側で膨潤するゲルを組み込んだ多段装置が駆動することで、自動的にエアレーション量を調節できるバルブ機能について検討した。すなわち、従来の排水処理過程における pH センサーによる pH の検出・出力変換・曝気量の調節を、この機能性ゲルで代替するシステムを完成させることを最終目標とする。

2. NIPA-MA ゲルの作製

N-Isopropylacrylamide (NIPA)、Methacrylic Acid (MA ; NIPA に対し 20wt%)、架橋剤 N-N'-Methylen-bisacrylamide (BIS)、開始剤 2,2'-Azobisisobutyronitrile (AIBN)、溶媒 Dimethyl Sulfoxide (DMSO) をそれぞれ、4.8g、1.2g、120mg、90mg、6ml 混合した。その溶液を窒素置換し、超音波で気泡除去した後、ゲル成型型（厚さ 0.3mm）に流し込み密封し、60℃で1時間50分でゲル化させた。その後、蒸留水中で2日以上水膨潤させたものを用いた。

3. 多段装置の構造

多段装置の概略を図1、2に示す。多段装置は、プラスチック製のプレートを組み立てたもの（プラスチックプレートをくり貫いたもので短く切った角柱を挟み、その上にステンレスメッシュを載せたもの）とゲルを交互に組み込んだ構造である。pH上昇時にゲルの膨潤により上方向に駆動し、pH下降時にゲルの収縮により下方向に駆動する。すなわち、多段装置は pH 変化に伴い上下方向に可逆的に駆動する。¹⁾

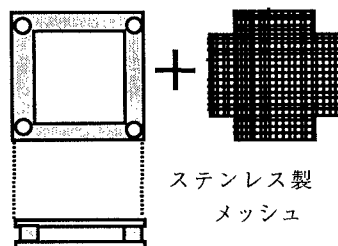


図1 多段装置のユニット

4. 実験方法

まず、20℃、pH4で平衡状態にある厚さ0.3mmのゲルを1.2cm角に切りわけ、多段装置に10枚組み込んだ。温度20℃一定とし、約24時間毎にpHを4-5-6.5-8-5-4に変化させ、ゲル及び多段装置の挙動を把握した。なお、蒸留水中と下水処理水中で比較実験を行った。

次に、蒸留水中でpH8-5-8と変化させた時、多段装置の駆動によるバルブ（A部）の開閉を試みた。pHを下げた時バルブ（A部）が開くことでエアレーションは止まり、逆にpHを上げた時バルブが閉じエアレーションが再び回復する。このようにして、pH8-5-8で4サイクル実験した。

5. 実験結果

図3-1、4-1に蒸留水中でのゲル及び多段装置の挙動を示す。pH8から5に下げた時、pH5から4に下げた時共にゲルの変化により多段装置では鋭く変化した。図3-2、4-2に下水処理水中でのゲル及び多段装置の挙動を示す。pH8から5に下げた時、蒸留水中での結果と比較して変化量・反応速度共に低下した。pH5から4に下げた時は鋭く変化した。繰り返し測定を続けていくうちに、収縮過程で戻りが悪くなっていき、さらにpH4で元の状態に回復しなくなった。

図5-1、5-2、6-1、6-2に蒸留水中でpH8-5-8と変化させた時の多段装置の変化及びそれに伴うエアレーションの変化を示す。pH8から5に下げた時、多段装置が作動し（ゲルの収縮による）、約30分から60分程度でバルブが完全に開きエアレーションが停止した。その後、pH5から8に変化させ、数時間でバルブが閉じ通気量が元に戻った。多段装置は

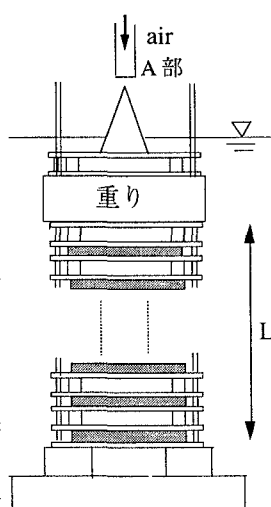


図2 多段装置図

キーワード：pH 応答機能性ゲル、多段装置、バルブ機能、水質変換システム、メカノケミカルシステム

連絡先：812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL (092) 642-3241 FAX (092) 642-3322

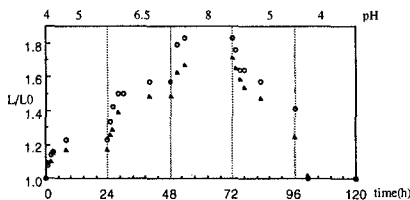


図3-1 ゲルの変化（蒸留水中）

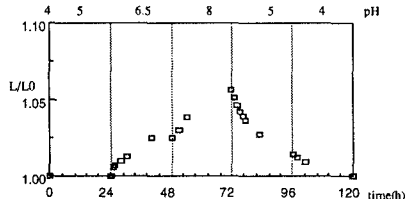


図4-1 多段装置での変化（蒸留水中）

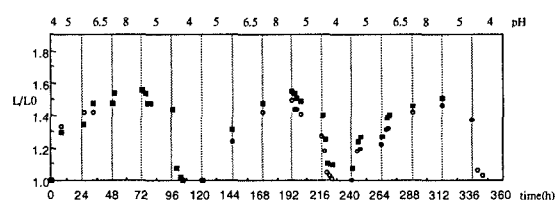


図3-2 ゲルの変化（処理水中）

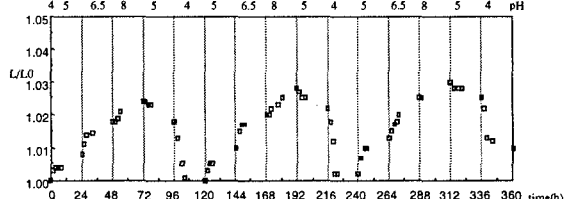


図4-2 多段装置での変化（処理水）

可逆的に約0.5mm変化し、バルブ機能を持たせることが可能であった。また、繰り返し測定により、四サイクルとも同様の挙動を示し、再現性が示された。

6. 考察

蒸留水中においてpH8から5に低下後数分間で、ゲル及び多段装置は変化し始める。空気の流れの制御なので、駆動体の動きが小さくても確実に動けば、十分にスイッチのような役割を持たせることができる。それゆえ、イオン強度の小さな水中ではこのような方法で、バルブ機能としての役割を十分果たせる。ただし、目的とするpH7から6といった狭いpH範囲で制御するには、現状では限界と思われる。その解決策として、ゲルの形状の工夫もしくは新しいゲルの開発などが挙げられる。

また、下水処理水中で用いた場合、イオン強度の大きいことがゲルの膨潤量を小さくし、収縮を悪化させることが明らかとなった。さらには、ゲルへのイオンの吸着、ゲル表面への有機物の付着などにより、ゲル表面の網目構造がふさがった可能性が考えられる。その結果、ゲルの体積変化に関係のある水中の陽イオンがゲル内に拡散しにくくなり、反応速度及び収縮率の低下が生じたと思われる。

7. まとめ

水処理分野においてこのような機能性ゲルを用いた研究例は少ない。ここでは排水中のpH変化により機能性ゲルを制御し、センサー・スイッチとしての機能をもつメカノケミカルシステムについて検討した。ここで用いたNIPA-MAゲルの応答性は下水処理水中においてあまり良好でないことより、pH7から6といった狭いpH範囲でその力を取り出すことに限界が感じられる。ただし、下水処理水中でもpH5と4の範囲では鋭い変化をみせた。今後は、次のような方向に研究を進める予定である。第一に、微小ゲルを細い円筒状の装置に組み込み、駆動体としたものを用いる。微小化によりゲルの反応速度が数段に良くなることから、装置の工夫により実現可能と考えられる。第二に、pH応答性の積層型PAA-PVAゲルあるいはPMA-PVAゲルを用いる（PAA: polyacrylic acid、PMA: polymethacrylic acid、PVA: polyvinylalcohol）。約40年前に、Katchalskyらは、pH変化によって伸縮しないPVA層と、伸縮するPAA-PVAゲル層とを交互に重ね合わせた積層型人工筋繊維を考案している²⁾。この積層型メカノケミカルシステムでは、ゲルは断面積一定のまま縦方向にのみ伸長するので、pHなどの外部刺激に対してより一層大きな力を取り出すことができる。

参考文献

- 1) 近田；平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演集、p.404-405
- 2) 神原；機能性高分子、高分子実験第7巻、共立出版、p.577

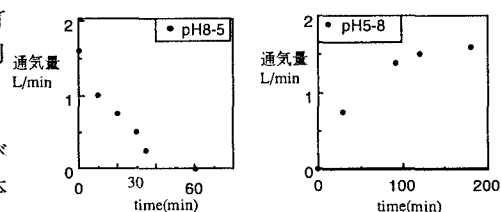


図5-1 通気量変化

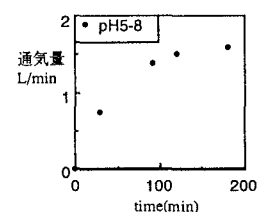


図6-1 通気量変化

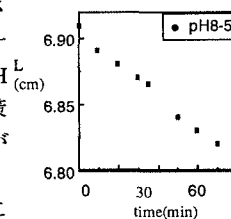


図5-2 多段装置変化

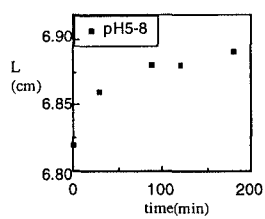


図6-2 多段装置変化