

メカノケミカルピストンの水質変換システムへの応用

九州大学工学部 ○学生員 近田泰章 正会員 久場隆広 フェロー 楠田哲也
九州大学工学研究科 入江正浩

1. はじめに

機能性高分子ゲルは化学エネルギーを他のエネルギー形態をとることなく直接力学エネルギーに変換できる材料として知られる。そのため、熱機関等の他の変換方式に比べ、格段にエネルギー効率が高いと言え、小さくても効率の良い動力源となるものと予想される。そのようなことから機能性高分子ゲルを利用することで、軽量でコンパクトな、また無騒音で効率の良いアクチュエーターを開発できると思われる。

ここでは、水中のpH変化を鋭敏に感知し膨潤-収縮を繰り返す機能性ゲルを用いて、pHを自動的に制御しようとするシステムについて検討した。すなわち、pH応答性ゲルを用い、従来には見られない全く新しい水質変換システムを提案したものである。

2. 実験

2.1. pH応答性NIPA-MAゲルの作製 N-Isopropylacrylamide (NIPA)、Methacrylic Acid (MA ; NIPA に対し20wt%)、架橋剤N-N'-Methylen-bis-acrylamide (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、超音波分散装置で気泡除去した後、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、プレート状ゲルを得た。なお、多段装置にはプレート状ゲルを用い、メカノケミカルピストンにはこのプレート状ゲルを細かく碎破したゲルを充填した。

2.2. 多段装置及びメカノケミカルピストンの構造 pH応答性ゲルは水中のpH変化を鋭敏に感知し、膨潤-収縮(体積相転移)を繰り返すことができる。ここで作製した多段装置とメカノケミカルピストンにはそれぞれpH応答性ゲルが組み込まれており、ゲルの変化を直接上下方向に取りだせるようになっている。多段装置はプラスチック製のユニットとプレート状ゲルを交互に組み込んだ構造で、プレート状ゲルの膨潤-収縮により上下方向に駆動する(図1参照)。メカノケミカルピストンは外径の異なる二本の円筒状アクリルパイプを用いた構造で、充填した碎破ゲルの膨潤-収縮によりピストンは上下方向に駆動する(図2参照)。

2.3. 実験方法 イオン強度の大きい下水処理水中においても、NIPA-MAゲルはpH5.0と4.0の間で鋭く変化することが確認されている¹⁾。本研究では、このpH応答性ゲルの体積相転移の起こる不連続点のpHを明確にするために、pH5.0-4.0間でpHを細かく($\Delta \text{pH}=0.2$)変化させ、プレート状ゲル及び多段装置の挙動について検討した。さらに、下水処理水中でpHを変化させ、多段装置の駆動とそれに伴うエアレーション量の変化を測定した。図1に示すように、多段装置の上下方向の変位により接点A部が開閉されることで、エアの流れを切り替えられるようになっている²⁾。なお、この時のpHは0.01NのNaOH溶液とHCl溶液を用いて制御された。

後述するように、多段装置のpH応答性はその構造上から良好とは言えない。一般的に、ゲルの比表面積の増加、即ち、微粒子化が応答速度を高める一手法として知られている。そのような微粒子ゲルをピストン中に充填すれば、一次元的な膨潤が起こるために、応答速度の増大と同時に膨潤量も飛躍的に増大することが予想される。そこで、バッファーを用いpHを4.0-5.0の範囲で繰り返し変化させ、碎破ゲルを充填したメカノケミカルピストンの挙動を検討した。この時のpHはMcIlvaineの緩衝液を用いて制御し、温度を20℃一定で実験を行った。

3. 結果と考察

3.1. 多段装置を用いての結果と考察 図3-1、3-2に下水処理水中でpHを5.0

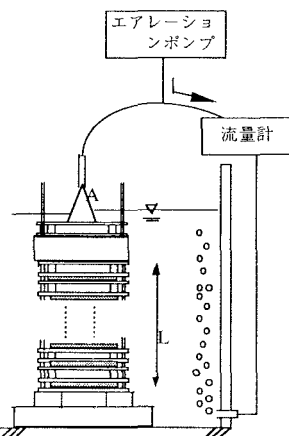


図1 多段装置を用いた通気量制御

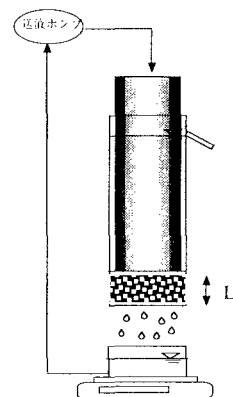


図2 メカノケミカルピストン

と4.0の間で細かく変化させた時のゲル及び多段装置の挙動を示す。pHを下げていった時、pH4.6から4.2の範囲で鋭く変化していることが分かる。この結果を用いてエアレーション制御実験のpH範囲を三種類決定した。図4-1、4-2、5-1、5-2に下水処理水中でpHを変化させた時の多段装置の変位及びそれに伴うエアレーション量の変化を示す。pH低下時、多段装置は2～4時間かけて徐々に駆動し、接点A部を開くことでエアレーションを停止させた。その後、pH上昇時、数時間かけて接点A部を閉じ、再びエアレーションを開始させた。この時の多段装置の変位は0.3～0.5mmであったが、十分にエアレーションを制御することができた。また、pH5.0-4.2間と比較し、pH5.0-4.0間やpH5.5-4.2間のようにpHの範囲を大きくとるほどエアレーションの停止時間は短いが回復時間は遅くなる傾向にあった。これはpHの範囲を大きくとった場合、pH低下時にゲルが鋭敏に収縮しすぎてしまい、pH上昇に伴い再び膨潤するのに時間がかかるためと思われる。

3.2. メカノケミカルピストンを用いての結果と考察

図6-1、6-2にバッファを用いpHを4.0-5.0間で繰り返し変化させた時のメカノケミカルピストンのpH応答特性を示す。メカノケミカルピストンは膨潤-収縮過程ともにわずか60分で完了し、その変化量は約5mmであった。多段装置の挙動と比較して格段に応答性と変位量が改善された。現在のところ、メカノケミカルピストンのpH応答性は水の透水性に大きく左右されることから、実際の水処理施設等での使用を考慮した実用的な構造に改良する必要がある。

4. 新しい水質変換システムの応用の可能性

ここで、提案したpH応答多段装置及びメカノケミカルピストンの応用場所としては、浄水あるいは下水処理施設等が挙げられる。下水処理において、エアレーションタンク内や処理水のpHが許容値を下回った際に、pH上昇操作を図る必要がある。そこで、DO-pH-機能性ゲルの関係に着目し、pHが許容値を下回った際に、ゲルの体積変化によってエアレーションを停止させることでpHの上昇操作が可能かもしれない。次に、浄水処理等での凝集過程において、凝集最適pH範囲から大きく変動するような場合、エアレーションにより水中の遊離炭酸を除去しpHを調整することがある。従って、遊離炭酸-pH-機能性ゲルの関係に着目し、pHが許容値を下回った際に、ゲルの体積変化によりエアレーションが開始されるシステムとして応用可能であろう。その結果、pHは遊離炭酸の除去により自動的に上昇する。また、高度処理の凝集沈殿法やアンモニアストリッピング法等において、処理水のpHが高くなるため炭酸ガスを吹き込みpHを低下させる操作が行われる。そのような時にも自動的に炭酸ガスを吹き込むシステムとして代替可能であろう。

5. おわりに 水処理におけるpH調整が重要であることは言うまでもない。ここで提案した方法を用いれば、従来のpHセンサーによるpHの検出・出力変換・曝気量等の調節を、この機能性ゲルで代替させることが可能である。もし、リアルタイムで膨潤-収縮する機能性ゲルを組み込んだ簡易的な装置を水中に設置しておくことが可能ならば、pHをある一定値付近に制御できるであろう。面倒なpHセンサーの校正をする必要もなく、その結果、維持・管理が容易になり、操作性が向上することが予想される。

参考文献

- 1) 近田；土木学会第52回年次学術講演会講演概要集第7部、p.380-381

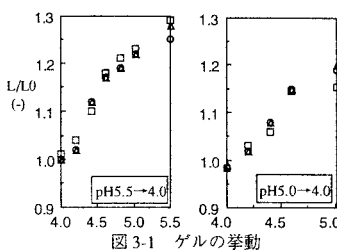


図3-1 ゲルの挙動

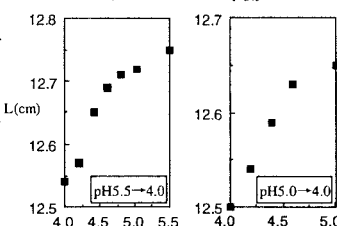


図3-2 多段装置の挙動

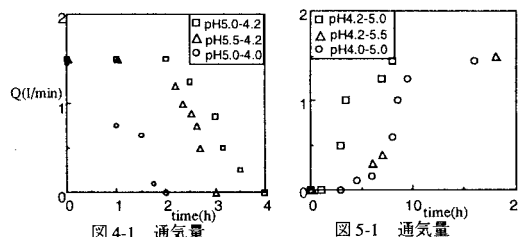


図4-1 通気量

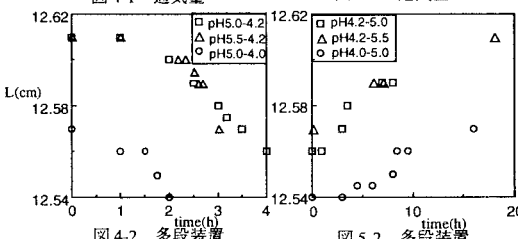


図4-2 多段装置

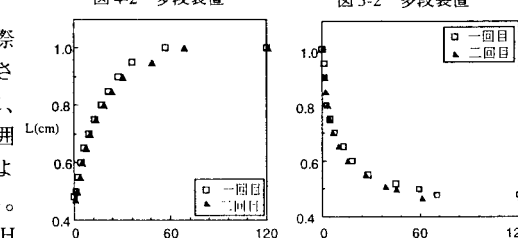


図5-1 通気量

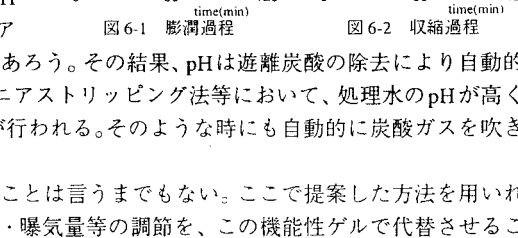


図5-2 多段装置

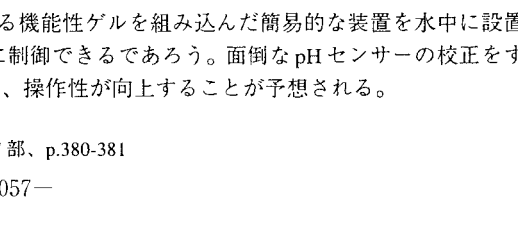


図6-1 膨潤過程



図6-2 収縮過程