

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：32675

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25550089

研究課題名(和文) 微粒子沈降濃縮層による浸透圧発生現象の解明と海水淡水化技術への応用

研究課題名(英文) Elucidation of osmotic pressure generated by concentrated layer of settled particles and its application to desalination of seawater

研究代表者

森 隆昌 (MORI, Takamasa)

法政大学・生命科学部・准教授

研究者番号：20345929

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：微粒子沈降濃縮層の浸透圧は粒子個数濃度に依存して増加するが、その値は小さく、正浸透のドロ-溶液として利用するためには、高分子溶液や無機塩の溶液のように分子個数濃度が劇的に大きいものを組み合わせる必要があると考えられた。そこで、刺激応答性高分子であるPNIPAM(温度応答性)とアルミナ微粒子を混合した刺激応答性スラリーを調製し、ドロ-溶液としての可能性を検証した。その結果、加温による粒子分散・凝集状態の変化を利用して、吸水・分離を繰り返し行うことに成功し、再利用可能な新たなドロ-溶液の候補に成り得ることを示す事ができた。

研究成果の概要(英文)：It was found that the osmotic pressure of the concentrated layer formed by particle settling and thickening increased with an increase in particle concentration, however, the osmotic pressure was quite small as a draw solution of FO process. It was suggested that the combination of a polymer solution or inorganic salt solution which can produce a relatively large osmotic pressure due to its large number concentration of molecules should be necessary. Therefore, the alumina slurries containing a temperature responsive polymer, PNIPAM were prepared and investigated its potential as a novel draw solution. It was demonstrated that suction and separation of water could be easily and repeatedly done by changing the temperature of the stimulus responsive slurry.

研究分野：化学工学，粉体工学

キーワード：刺激応答性スラリー ドロ-溶液 正浸透

1. 研究開始当初の背景

水資源，特に安全な飲料水の確保は，人口増加によって人類が直面している地球規模の課題の一つである．したがって地球上に存在する水資源の大部分を占める海水から飲料水を確保する技術として，海水淡水化技術が世界中で研究されている．中でも主流の逆浸透に変わって，コスト・エネルギー的に有利な正浸透による海水淡水化が注目されている．正浸透は，海水よりも溶質濃度が高いドロ溶液と海水とを，半透膜を介して接触させ、水をドロ溶液側に抜き、何らかの方法で溶質を除去することで純水を得る方法である．正浸透実用化のためには高性能ドロ溶液の開発が不可欠で，ドロ溶液には，高い浸透圧が発生し，毒性がなく，溶質の分離・回収が容易で，低コストであることが求められる．

2. 研究の目的

そこで本研究では，分離・回収操作を全く必要としない正浸透による海水淡水化装置の開発を目指して、サブミクロン粒子スラリーについて、種々の調製条件が発生する浸透圧の大きさ及びモデル海水と接触させたときの吸水流速に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

NIPAM 溶液の作製

イオン交換水:適量、NIPAM(固体):17.2g、TEMED(液体):0.232g、および APS(固体):0.046 g を秤量した。ビーカーに、所定量の NIPAM を薬さじを用いて投入した。TEMED を 10 μ L マイクロピペットを用いて所定量入れた。次にイオン交換水を入れ、パラフィルムで直ちに蓋をした。

撈拌子を入れ、マグネチックスターラーで試薬が完全に溶けるまでおよそ 30 分程度撈拌した。試薬の塊が溶解しない場合はスパチュラでつぶした。試薬が完全に溶けたら、マ

グネチックスターラーのスイッチを切り、撈拌子を取り除き、モノマー水溶液を得た。

10mL メスフラスコに所定量の APS をスパチュラで入れ、標線までイオン交換水を加えて APS 水溶液を調整した。

300mL のビーカーを用意し、イオン交換水を 190 cm^3 とり、作製したモノマー水溶液をこのビーカーに入れた。さらに、モノマー水溶液の入ったビーカーに 10 cm^3 程度の水を入れて 300mL ビーカーに移した。この操作を 3 回ほど行った。次いで、標線までイオン交換水を加えた。

パーズ用のバルブが全て閉じていることを確認した。ポンベ本体のバルブとレギュレータ(圧力調整器)左側のバルブ(2 箇所)を一回転半程度回して開けた。レギュレータの中央のバルブを用いて約 0.05 MPa にした。

モノマー水溶液と開始剤水溶液にそれぞれに酸素を逃がすための小さい穴が開くようにパラフィルムで蓋をする。10 の恒温槽に、モノマー水溶液が入ったビーカーを固定した(液面が水に全て浸るようにした)。レギュレータの 2 次圧(左側のメータ)が約 0.05 MPa であることを確認した。30 分窒素パーズした(パーズの時間は、作製するポリマーの反応性を考慮して決める)。

開始剤を 10mL 加え、パラフィルムで蓋をした。パーズ用のバルブを閉め、ガスポンベのバルブを閉じた。

定期的に(10 分間隔くらい)にゲルを見て、溶液の流動性をみてゲル化しているか確認した。

2 時間以上たったらゲルを取り出した。プラスチック製の 100 mL メスシリンダーにお湯を入れ、ビーカー内のゲルが浸るように入れた(NIPAM ゲルはお湯で収縮する)。1 分程度待ち、ゲルが白濁して収縮したのを確認し、シャーレにゲルを移した。

加熱して収縮した白濁のゲルを薬さじで押しつぶすことで未反応の溶液が流出して

くるので、それを捨てた。この操作を溶液が出てこなくなるまで数回繰り返した。

イオン交換水を加え、冷却しながら攪拌、または、冷蔵庫に保存し数日攪拌、静置を繰り返し水和させた。

ゲルを乾燥した際に薄く(およそ1mm以下)になるように入れたシャーレを110℃に設定した乾燥機に入れ、1日程度乾燥させた。

吸水実験

刺激応答性高分子であるP-NIPAMとアルミナの刺激応答性スラリーを用いて吸水、そして、ドロースolutionの再利用の実験を行った。実験で用いる装置を図1に示す。

ドロースolutionの浸透圧でイオン交換水がドロースolution側に徐々に流入していき、所定の時間吸水させる。その様子をイオン交換水が入ったビーカーの減少量を日ごとに記録していく。

吸水し終わったら、加熱をすることで刺激応答性高分子であるP-NIPAMの特性を利用し、上澄みとドロースolutionの分離を行う。これによりドロースolutionが再利用可能であるかを検討する。

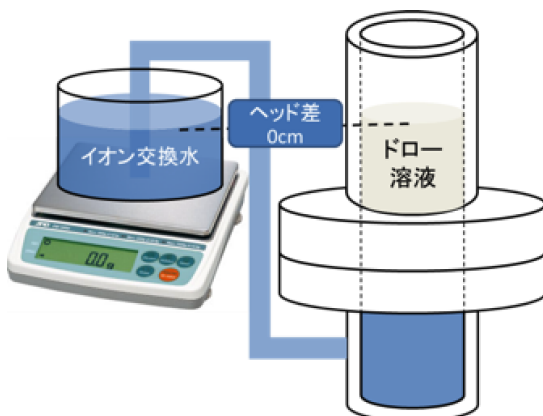


図1 吸水実験装置の概要

4. 研究成果

生成したP-NIPAMが刺激応答するかどうかP-NIPAMの入った容器を90℃の熱湯を温度計で温度を見ながら徐々に加え、白濁した時点の温度をP-NIPAMのスイッチング温度とした。この操作を4回繰り返し平均を取った。

結果は以下の表1の通り、スイッチング温度は35.5℃であった。これをもとに以後の吸水実験の温度条件を設定した。

表1 PNIPAM水溶液の白濁温度

回数	白濁温度[℃]
1	35.8
2	35.5
3	35.2
4	35.5
平均	35.5

合成したPNIPAM及びアルミナ粒子でスラリーを調製し、吸水実験を行った結果を図2に示す。

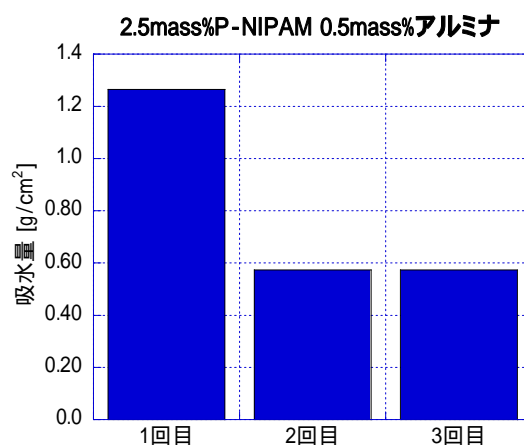


図2 PNIPAM+アルミナスラリーの吸水実験結果

1回目の吸水に比べて2,3回目は吸水量が落ちてきている。また、2,3回目の吸水量はほとんど同じであることもわかる。これは、1回目の吸水が終了した後、加熱静置し、上澄みを採取した際に、分離しきれなかったP-NIPAMも採取してしまったためであると考えられる。しかし、2,3回目の吸水量がほぼ等しいことから、以後は全て粒子に吸着させて水と分離できていたと思われる。

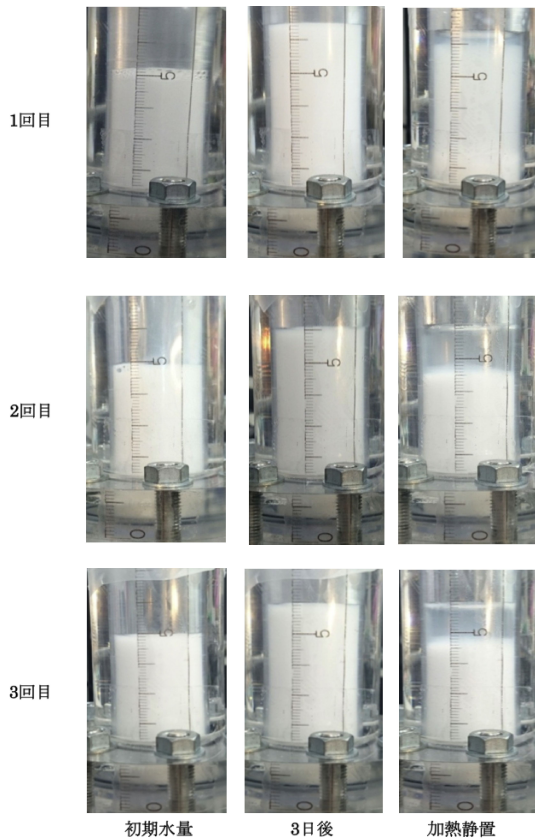


図 3 PNIPAM+アルミナスラリーの吸水及び加熱時の上澄み層形成の様子

TOC-V_{CSN}(全有機体炭素計、島津製作所製)を用いて、アルミナの割合を変えた時の、温度の変化前後の、溶液中の P-NIPAM 量を測定した。結果を図 4 に示す。

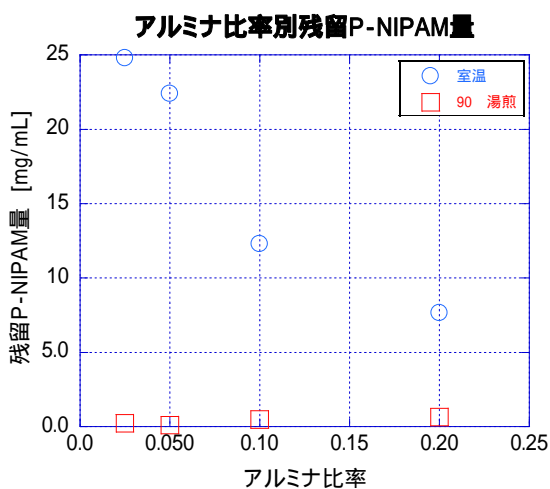


図 4 アルミナ比率を変えた時のスラリー温度変化前後における溶液中の PNIPAM 量
アルミナ比率が少ないものは P-NIPAM のアルミナへ吸着量が少なく、アルミナ比率が多い

ものに比べて上澄み中に多く残留していることがわかる。また、温度上昇後のスラリーでは、ほとんど上澄み中に P-NIPAM が残留してないこともここから読み取れる。

このことから、アルミナ比率や P-NIPAM の量を変えることで残留する P-NIPAM の量を極力なくして水を分離できる可能性が示された。

以上の研究成果をまとめると、

- ・刺激応答性ポリマーを含む微粒子スラリーを調製し、温度変化を利用することで、容易に純粋を分離・回収出来る可能性を示した。
- ・刺激応答性スラリーは繰り返し再利用可能なドロ溶液に成り得るということを示した。

- ・今後刺激応答性スラリーの調製条件が浸透圧及び吸水に及ぼす影響を定量的に解明することで、本技術の実用可能性が検証できると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 1 件)

- ・森 隆昌, 後藤 太善, 刺激応答性スラリーを利用した正浸透技術開発のための基礎検討, 分離技術会年会 2015, (明治大学生田キャンパス(神奈川県川崎市), 2015 年 5 月 30 日発表予定)

6. 研究組織

(1)研究代表者

森 隆昌 (MORI Takamasa)
法政大学・生命科学部・准教授

研究者番号：20345929

(2)研究分担者

(3)連携研究者