

光刺激応答性ゲルを包括固定化担体とした水質変換システムに関する研究

九州大学大学院工学研究科 学生会員 西山 大策

正会員 久場 隆広

フェロー会員 楠田 哲也

1. 研究目的

海域、河川、湖沼、地下水などの水環境における水質保全の対策が急がれている現在、従来の水処理技術では対応が困難な微量汚染物質の除去が可能となる高度水処理技術の開発が急速に進められている。このような水処理技術の進展は、水処理に用いられる材料の進歩に依存しているといえる。分離膜、イオン交換樹脂、高分子凝集剤及び固定化担体などは代表的な水処理高分子材料であり、機能性材料として重要な役割を果たしている。今後、機能性高分子材料として性能向上を目指すことは重要であり、高分子の持つ多様な機能性より新たな水処理技術が生まれる可能性は大きい。本研究では、下水処理において実用化が進んでいる包括固定化担体に、光というクリーンで比較的制御が容易な刺激に対して応答する NIPA-CH ゲルを用いた。その刺激応答性体積変化による硝化促進効果を有する担体の開発を本研究の目的としている。このため、NIPA-CH ゲルの光応答量を測定し、担体として最適となるサイズ及び組成を決定し、回分式実験によって硝化活性を調べた。

2. 光刺激応答性 NIPA-CH ゲル・担体の構成及び作製

NIPA-CH ゲルは、熱応答性の N-イソプロピルアクリルアミドと色素クロロフィリンとの共重合で合成され、光照射によるエネルギーを可視光領域に吸光域をもつ色素が吸収し、局部的に熱エネルギーとして放熱することで体積収縮するという特徴を有する。図1に示すように、その分子レベルでの構造は、NIPA と CH とのランダム共重合高分子鎖を BIS が架橋し、三次元的につながった網目構造となっている。本研究に使用した NIPA-CH ゲル及び微生物固定化 NIPA-CH 担体の組成を表1に示す。NIPA-CH 担体は、福岡市東部水処理センターの生物反応槽（第2系列第6好気槽）より採取した活性汚泥を高分子溶液（NIPA, BIS, CH）に混合し、TEMED と APS を添加すると同時に容器に流し込み、冷蔵庫内（7℃）に24時間放置し重合反応させることにより作製された。容器から取り出した後、一辺3mm程度のキューブ状に切断し、蒸留水中で洗浄し、アンモニア酸化菌用培地で培養した。

3. 実験結果及び検討

3-1 光刺激応答特性 蒸留水中温度26, 30℃において、光源150Wハロゲンランプを1時間照射し、その後照射を断ち、さらに暗黒条件下で1時間放置したときの3mmキューブ状ゲル（1, 3CH; 表1において、それぞれ $x=1, 3$ のサンプルを意味する）の一辺長 L_t 変化を測定した（図2）。ここで、 L_0 は初期状態におけるゲルの一辺長を意味し、膨潤比 L_t/L_0 でゲル体積変化を評価した。両サンプルとも光照射1時間で最大応答量に達しているが、照射を断って1時間で初期状態に回復したのは26℃のときであり、30℃では回復して

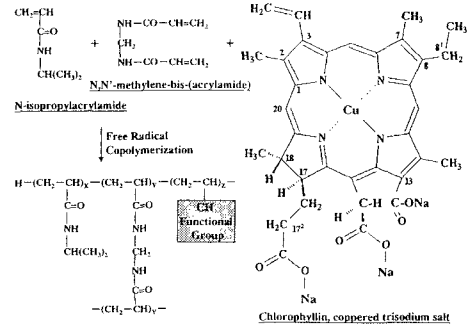


図1 NIPA-CH ゲルの分子構造

表1 NIPA-CH ゲルとNIPA-CH 担体の組成

Components of Samples (In 100 ml Distilled Water)		
	NIPA-CH Gels	NIPA-CH Pellets
Main polymer constituent N-Isopropylacrylamide (NIPA)	7.8 g	5.0 g
Cross-linker N,N'-Methylene-bis-(acrylamide) (BIS)	0.133 g	0.133 g
Chromophore Chlorophyllin, coppered trisodium salt (CH)	0.0722 × x g	0.0722 × x g
Accelerator N,N,N',N'-Tetramethylethylenediamine (TEMED)	400 μl	400 μl
Initiator Ammonium Peroxodisulfate (APS)	0.40 g	0.40 g
Immobilized microorganisms Activated Sludge	—	10 g-wet

"xCH" in this text, where x means the amount of CH reagent.

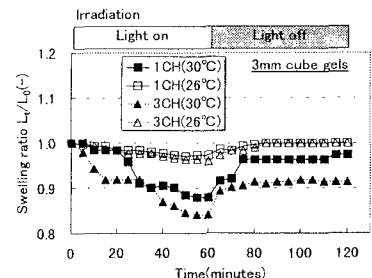


図2 NIPA-CH ゲルの光応答体積変化

いない。これは、30℃環境条件下の方が同じ照射時間での応答量が大きいため、必要とする回復時間が長くなるためである。また、1CH より 3CH の方が光刺激応答量が大きい。これは色素濃度と共に光応答量が増大することを意味している。

図 3 に、サイズ、CH 含有量の異なる NIPA-CH ゲル・担体の光応答体積変化を示す。蒸留水中 30℃で光照射 1 時間後の質量 W_t 変化を測定した。照射前質量を W_0 とし、縦軸を膨潤比 W_t/W_0 で表した。サイズが大きくなると応答量が小さくなること、色素濃度の高い 4, 5CH の応答量が小さいことは、照射された光がゲル内部まで透過できずゲル表面のみの応答になるからと考えられる。包括固定化担体のサイズとして 3-4 mm を仮定すると、CH 含有量は 2-3CH が最適値となる。また、図 3 のアンモニア酸化菌用培地中での NIPA-CH 担体の光応答結果より、微生物の包括固定化による光応答量への影響はほとんど無かった。

3-2 温度刺激応答特性 pH7.0 のアンモニア酸化菌用培地中において、温度を 30℃から 36℃まで 1℃/hour ベースで上昇させ、各温度において担体質量を測定することで NIPA-CH 担体の温度刺激応答を調べた (図 4)。CH 含有量増加と共に温度応答量が増加している。これは、CH の分子構造に含まれるカルボン酸ナトリウム基の解離による高分子鎖間に生じる静電的斥力によって高分子鎖網目が拡張し、高吸水性を増したことが原因と考えられる。

3-3 回分式硝化速度試験

同一培養タンク内で培養した 3 種の NIPA-CH 担体 (0, 2, 3CH) をアンモニア濃度 40 mgN/l 培地に容積比 16.7% で投入し、25℃光照射・非照射下で回分式実験を行った (図 5)。0CH に比べて、CH を導入した 2, 3CH の培養時点での活性が高いことが確認できた。0CH 担体では、光の on-off による硝化活性への影響はみられない。一方、CH を導入した 2, 3CH 担体は、光照射によって亜硝酸菌の活性増加が確認できた。これは、光照射によって局所熱が生じ、硝化活性が増加したからであると考えられる。

4. 総括

以上の結果より本研究で作製した NIPA-CH 担体が、硝化促進効果をもつ可能性があることを確認した。さらなる進展を目指して、NIPA-CH ゲルより大きな光刺激応答を示すゲルを開発することが今後の課題である。

参考文献 A.SUZUKI, Phase Transition in Polymer Gels Due to Local Heating by Illumination of Light, *Phase Transitions*, 47, 161-181 (1994).

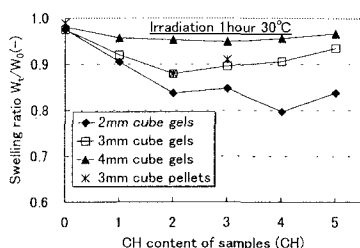


図3 異なるサイズの NIPA-CH ゲル・担体の光応答体積(質量)変化と CH 含有量との関係

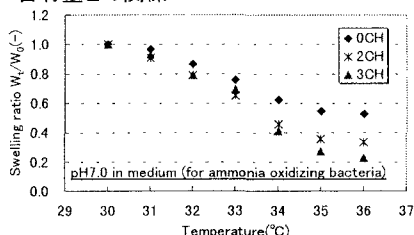


図4 NIPA-CH 担体の温度刺激応答性体積(質量)変化

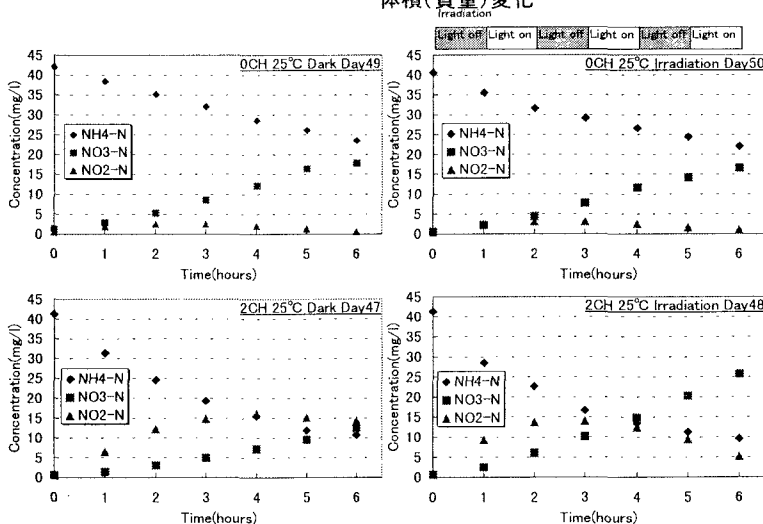


図5 光照射・非照射下の NIPA-CH 担体(0, 2CH)の回分式硝化速度実験結果