

## ハイドロゲルを利用した複合吸着剤に関する基礎的検討

大成建設（株） 正会員 ○根岸 昌範

### 1. はじめに

ハイドロゲルは水溶性の多糖類などが異なる分子の間で架橋され、三次元網目構造をもち、水に不溶となったもので、その網目構造の内部に多くの水を含んだ膨潤体のことである。ハイドロゲルのうち、アルギン酸ゲルは図1に示すように、アルギン酸ナトリウムがカルシウムと置換されていくことで三次元架橋する。常温常圧下での反応であり、大量製造にも適しているものと考えられる。人工イクラなどの食品分野に加えて、近年では医療分野でも活用されるようになってきている<sup>1)</sup>。

ここでは、アルギン酸ゲルを環境浄化資材に適用するための製造方法を検討し、放射性セシウム対応の磁性除染剤を試作した結果について報告する。

### 2. 合成方法の検討

#### 2.1 試験方法

図2に示すフローに従って、アルギン酸ナトリウム (Alg-Na) を糸状で射出し、ゲル中の架橋反応に必要な浸漬時間を検討した。

Alg-Na は昆布などの褐藻類から抽出した粉体であり、それ自体もある程度の粘性を有する。ここでは、工業薬品の中粘性タイプ（富士化学工業製）を使用した。また、乳酸カルシウム（乳酸Ca）も工業品（扶桑化学工業製）を使用した。

Alg-Na 3%溶液を容量 50 mL のシリンジを用いて、乳酸Ca 5%溶液 2L 中に射出した。先端の内径は 2.4 mm のもので、射出後に回収した糸状のゲル体としてはおよそ 3 mm 程度であった。回収したゲルを 110°C 炉乾燥して水分量を確認し、回収した残渣を微粉碎して蛍光 X 線分析装置により組成分析を実施した。

#### 2.2 試験結果

回収したゲル中に含まれる Ca と Na の分析結果を表1に示す。内径 2.4 mm で射出した糸状のハイドロゲルは、乳酸Ca溶液中に 20 分以上浸漬した段階で、回収ゲル中の Na は定量下限値未満となっており、Ca との置換反応と三次元架橋が概ね完了したと判断できた。

### 3. 複合吸着剤の検討（磁性吸着剤の低コスト化の検討例）

筆者らは一次粒子が 100 nm サイズの湿式合成法で作成した鉄粉（磁性粉）に対して、バインダーを介して Cs 捕捉性化合物であるフェロシアン化ニッケル（以後 NiFeCN と略号で表記）を担持させた複合資材を検討した<sup>2)</sup>。磁気分離性を向上させるために、籠状構造の二次粒子化（平均 20 $\mu$ m 程度）することで磁気分離装置での回収効率を上げる必要があった。

磁性粉を磁気分離性や経済性に優れたマイクロスケール鉄粉（平均粒径 80 $\mu$ m）に変更を検討したところ、比表面積が小さいために、

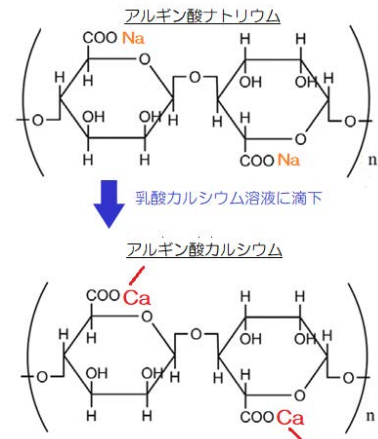


図1 アルギン酸ゲルの架橋反応

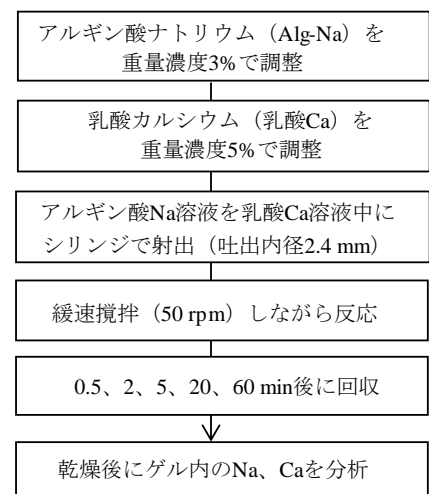


図2 アルギン酸ゲル試作と評価フロー

表1 ゲル組成の分析結果

製造時 浸漬時間 (min)	水分 (%)	Na含有率 (%)	Ca含有率 (%)
0.5	90.8	1.1	2.4
2	86.7	0.5	3.7
5	85.3	0.3	4.2
20	83.5	N.D.	4.8
60	82.5	N.D.	5.1

キーワード ハイドロゲル, アルギン酸ゲル, 複合吸着剤, 放射性セシウム

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 080-1079-7453

バインダーにより捕捉性化合物を磁性粉に直接担持させることが困難であった。そこで、アルギン酸ゲルを使用し、磁性粉と捕捉性化合物を包含する複合吸着剤とすることを検討した。

### 3.1 試験方法

#### (1) 磁性除染剤の合成

表 2 に放射性 Cs 対応の磁性除染剤の構成を示す。捕捉性化合物である NiFeCN は、 $K_4Fe(CN)_6$  溶液と  $NiSO_4$  溶液を混合して湿式析出させた。Alg-Na 3% 溶液に NiFeCN スラリーを均一になるまで混合し、さらに鉄粉を添加混合後に、図 2 に示す方法で乳酸 Ca 溶液中に射出して製造した。回収後の水凝胶は糸状のものを 1-2cm に細断し試験に供した。

#### (2) 性能評価試験 (安定同位体 Cs での試験)

塩化セシウム ( $CsCl$ ) 試薬により Cs 濃度を 10 mg/L に調整した模擬液に対し、水凝胶を 5 % 重量で添加し、回転型振とう装置で 10 分、30 分振とう後に磁気分離して回収後の試験液中に含まれる Cs 濃度と Ni 濃度を ICP/MS により定量分析した。

#### (3) 飛灰除染試験 (放射性 Cs での試験)

放射性 Cs を含んだ都市ごみ飛灰に対して 5 倍の蒸留水を添加し、飛灰スラリーを作成した。飛灰重量に対して 5% の水凝胶除染剤を添加し、200 rpm の回転速度で攪拌しながら 30 分間反応させた、ネオジム磁石内蔵のマグネットバーで磁性除染剤を回収 (写真 1) し、処理済みスラリーとした。上記スラリーを孔径  $0.45\mu m$  で固液分離し、ろ過残渣 (= 処理飛灰) とろ液 (= 処理水) に分けたうえで、それぞれの放射能濃度を Ge 半導体検出器で測定した。

### 3.2 試験結果

Alg-Na の 3% 溶液に捕捉性化合物と磁性粉を事前混合する方式としたが、Alg-Na 自体も粘性を有しており、乳酸 Ca 溶液に射出するまでに材料分離することなく水凝胶に包含させた複合資材化が可能であった。表 3 に示した性能評価試験結果から、30 分程度の実用的な反応時間で 99% 以上の Cs を吸着除去することが可能であった。さらに、捕捉性化合物の主要成分である Ni 濃度も低濃度を維持しており、試作した複合吸着剤は対象成分である Cs を水凝胶中に取り込み、捕捉性化合物は外部に流出させないことを確認した。

表 4 に示した実汚染飛灰を使用した除染試験結果から、放射能濃度で評価した場合でも除染後の処理飛灰は再生利用可能な 8,000 Bq/kg を下回り、処理水中の放射性 Cs は非検出となった。このことから、飛灰洗浄により液相中に移行した水溶性 Cs を除染剤に取り込み、磁気分離により回収する飛灰除染方式へ適用可能と考えられる。

### 4. まとめ

アルギン酸ゲルを利用した吸着剤製造に関して、直径 3mm 程度の糸状に射出したアルギン酸ナトリウムを 20 分以上乳酸カルシウム溶液に浸漬することで架橋反応が終了することを確認した。さらに、アルギン酸ゲルを使用した放射性 Cs 対応の磁性吸着剤を例に、環境浄化用途の複合吸着剤に関する検討例を紹介した。

今後、さらに機能材としての水凝胶に関する検討を進め、他の有害物質を除去するための複合吸着剤の開発や、異分野の用途を含めた技術開発を継続していきたい。

### 参考文献

- 1) 手島涼太, 水野和浩: アルギン酸カルシウムを用いた非生体由来創傷治療用水凝胶の開発, 科学・技術研究, 第 7 巻 2 号, pp.133-137, 2018.
- 2) 根岸昌範, 高畑陽, 島田曜輔, 並木禎尚: ナノ磁性除染剤を用いた飛灰洗浄技術の安全性に関する検討, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演集, CS-9 部門 pp.23-24, 2014.

表 2 磁性除染剤の構成

区分	原料	比率 (重量%)
磁性粉	アトマイズ鉄粉 (平均粒径 $80\mu m$ )	5.1
捕捉性化合物	フェロシアン化ニッケル ( $NiFeCN$ ) 化学式: $K_2NiFe(CN)_6$	3.2
水凝胶	アルギン酸ゲル	91.7 (水分 89.9)

表 3 性能評価試験結果

項目	反応時間	
	10 min	30 min
Cs 濃度 (mg/L)	0.49	0.046
Cs 除去率 (%)	95.1	99.5
Ni 濃度 (mg/L)	0.04	0.063



写真 1 除染剤回収状況

表 4 飛灰除染試験結果

項目	除染前 飛灰	除染後	
		処理飛灰 (ろ過残渣)	処理水 (上澄み)
Cs-134 (Bq/kg)	700	60	<10
Cs-137 (Bq/kg)	19,000	1,600	<10
合計 (Bq/kg)	19,700	1,660	—