



世界で一番高価な墨作り

固形墨の原理を応用した炭素材料が分散したキセロゲルの作成



Fuwa Yoshioka, Masato Takada, Rui Itoh, Airi Uzawa, Junpei Hayakawa

Science Team, Nara Prefectural Seiwaseiryō Senior High School, Sango 636-0813, Japan

研究概要

実験背景

固形墨 (Solid Ink) components: 膠 (Nikawa), 煤 (Susu)

炭素材料分散キセロゲル (Dispersed Carbon Material Xerogel) components: 膠 (Nikawa), 炭素材料 (Carbon Materials)

Carbon materials used: フラーレン(C₆₀), カーボンナノチューブ(CNTs), ナノダイヤモンド(ND), グラファイト

Examples of xerogels: C₆₀キセロゲル, CNTsキセロゲル, NDキセロゲル, グラファイトキセロゲル, グラフェンキセロゲル, CNTsNDキセロゲル

実験操作 (Experiment Procedure):

- 500 mg of carbon material is dispersed in a solution.
- The solution is stirred and sonicated.
- The solution is dried to form a xerogel.

炭素材料は未来の材料

炭素材料の応用:

- 潤滑油 → エンジンオイルの性能向上
- イオン液体 → バックゲル (カーボンナノチューブ/イオン液体ゲル) アクチュエータ
- 潤滑油 → 非毒性UV遮蔽ナノ添加剤 (日焼け止め, ポリマーコーティング)

炭素材料の種類: フラーレン(C₆₀), CNTs, ナノダイヤモンド

幅広い応用: 電気材料 (型半導体), 構造材料 (宇宙エレベーター), ドラッグデリバリー

先行研究

CNTs + (1) H₂SO₄ (搅拌, 超音波) → acid-treated CNTs

acid-treated CNTs + (2) ゼラチン (搅拌, 超音波, フリーズドライ) → 泡状CNTゲル

Sano M, et al Langmuir, 21, 1706 (2005)

先輩の研究

炭素材料分散液の調製:

- 墨汁 (煤の水分散液)
- 炭素材料の水分散液
- グラフェン
- 単層カーボンナノチューブ
- フルーレン(C₆₀)

K. Ishido, K. Nakamura, K. Taniyama, K. Fujita, K. Nakatani, J. Hayakawa * J. Chem. Edu. 98, 1381 (2021)

実験結果&考察

FE-SEM (電子顕微鏡) による表面観察

煤(原料) vs 煤キセロゲル

MWCNTs(原料) vs CNTsキセロゲル

フルーレンC₆₀(原料) vs C₆₀キセロゲル

棒状結晶構造が完全に崩れている

観察結果:

- 低倍率: 2次凝集体が観察可能
- 高倍率: 1次凝集体が観察可能
- 煤キセロゲル: 2次凝集体が完全に崩れている
- MWCNTsキセロゲル: 繊維が寄り集まった筒状構造
- CNTsキセロゲル: 筒状構造が完全に崩れている
- フルーレンC₆₀キセロゲル: 棒状結晶構造が完全に崩れている

2種類の炭素材料を用いたキセロゲルの作成

様々な2種類の炭素材料から様々な質量比でキセロゲルの調製が可能

2種類以上の炭素材料を用いたキセロゲルの表面抵抗率

entry	キセロゲル	質量比	表面抵抗率 (Ω/□)
1	CNTs	-	1.18 × 10 ⁰
2	Soot	-	3.54 × 10 ⁸
3	C ₆₀	-	6.55 × 10 ¹⁰
4	CNTs / Soot	250 : 250	1.35 × 10 ⁹
5	CNTs / Soot	100 : 400	2.99 × 10 ⁹
6	CNTs / C ₆₀	250 : 250	2.20 × 10 ⁹
7	CNTs / C ₆₀	100 : 400	1.71 × 10 ¹
8	CNTs / C ₆₀	50 : 450	1.38 × 10 ⁹
9	CNTs / C ₆₀	25 : 475	3.74 × 10 ⁴
10	CNTs / C ₆₀	10 : 490	<10 × 10 ⁶

C₆₀キセロゲルに10%のCNTsを加えると表面抵抗率は約10億分の1に変化

CNTsが高効率でキセロゲルに分散されていると示唆

低抵抗率系による抵抗率測定

キセロゲル	表面抵抗率 (Ω/□)
煤	3.54 × 10 ⁸
膠のみ (炭素材料なし)	<1.0 × 10 ⁰
多層カーボンナノチューブ	1.18 × 10 ⁹
フルーレンC ₆₀	6.55 × 10 ¹⁰
ナノダイヤモンド	3.07 × 10 ¹¹
グラファイト	1.13 × 10 ⁶

測定は全てのサンプルで充分乾燥した後6回行っている。

硬度計による硬度測定

キセロゲル	HA
墨 (玄磨)	94.0 ± 0.99
煤	95.6 ± 2.49
多層カーボンナノチューブ	76.1 ± 9.94
フルーレンC ₆₀	83.5 ± 2.22
ナノダイヤモンド	78.9 ± 3.30
グラファイト	86.1 ± 1.46

HA: デュロメーター硬さ タイプA
測定は全てのサンプルで充分乾燥した後6回行っている。

2種類以上の炭素材料を用いたキセロゲルの表面観察

煤キセロゲル vs CNTsキセロゲル vs CNTs・煤キセロゲル

煤のドメインの間にCNTsが分散している様子が確認できる

Conclusion

- 単純な操作で炭素分散キセロゲルを作成できる
- 作成したキセロゲルの表面は原料と大きく異なっていた
- 複数の炭素材料からキセロゲルが作成可能である
- 本手法はCNTsの固体分散方法として使える可能性がある