The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	スライムの架橋構造
Author(s)	
Citation	令和4（2022）年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2023
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/90972
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式６

申請先学部　　理学部　採択番号　No.4

令和４年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふ　り　が　な 氏　　名	こだいら　しゅんすけ 小平峻輔	学部 学科	理学部化学科	学年	１年
ふりがな 共　同 研究者氏名		学部 学科		学年	年
					年
					年

アドバイザー教員 氏名	井上正志、浦川理	所属	大阪大学理学研究科 高分子物理化学研究室
研究課題名	スライムの架橋構造		
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。（先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。）		

1. 研究目的

ホウ砂水溶液と PVA 水溶液を混ぜて作られるスライムは、子供向けの実験教室でよく用いられている題材の一つである。その理由として溶液を混ぜたときの粘弾性挙動の変化がわかりやすく、また独特の触感を持っていて触っていて楽しいことがあげられる。しかし、スライムの中の細かい構造やどういった反応が起きて独特の触感が生まれているのかはわかっていないことが多い。私はスライムに興味を持って高校で研究をしていたが、当時は自作の粘度計という限られた装置の中でしか実験ができずにいた。そのため、大学のより専門的な機器を使った実験をすることでさらに詳しいところまで知りたいと思いこの研究を始めた。

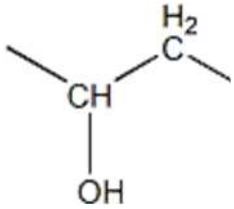

図 1　PVA の繰り返し単位

2. スライムについて

スライムはホウ砂水溶液と PVA 水溶液を混ぜて作られる粘弾性を持った物質である。

ホウ砂 $Na_2[B_4O_5(OH)_4]$は式(1)の反応を起こしてそれぞれ 2 倍量のホウ酸 $B(OH)_3$ とホウ酸イオン $B(OH)_4^-$となって水に溶ける物質である。PVA は$-CH_2-CHOH-$を繰り返し単位とする高分子である。(図 1)

$Na_2[B_4O_5(OH)_4] + 5H_2O \rightarrow 2B(OH)_3 + 2\,B(OH)_4^- + 2Na^+$・・・(1)

ホウ砂水溶液と PVA 水溶液を混ぜると、PVA のジオールとホウ酸やホウ酸イオンが錯形成反応を起こして、PVA 同士をつなげる架橋構造が形成される。(図 2)この反応によって PVA 同士がホウ酸やホウ酸イオンによってつながれる。スライム全体でみると架橋構造が多量存在する網目構になっていると考えられている。(図 3)

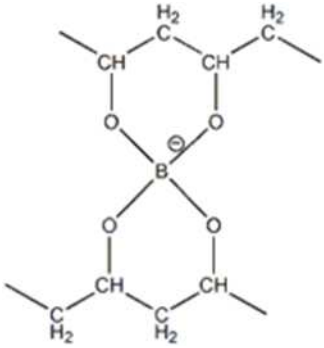

図 2　PVA の架橋構造

一般に水酸基とボロン酸の錯形成反応は平衡反応であるから、スライム中の架橋構造も長い間安定でいることはできず、しばらくすれば加水分解され架橋が外れる。このように架橋点が固定されず、短い時間で入れ

替わることがスライムの粘弾性を生み出している。

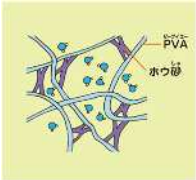

図３　網目構造の様子
化学だいすきクラブ [1]
より改

3. 研究計画

実験１

等温滴定型カロリメータ MicroCal VP-ITC/1000(VP-IT)は２つの溶液を混ぜた際の反応熱を調べることで反応の解離定数や結合の種類を知ることのできる装置である。これを用いて PVA 水溶液をホウ砂水溶液に混合した際の反応熱を調べ、スライムの架橋構造の様子や錯形成反応の解離定数について知る。

実験２

レオメータ(MCR302)を用いてスライムのホウ砂濃度を変化させたときの粘弾性と緩和時間の変化を測定する。

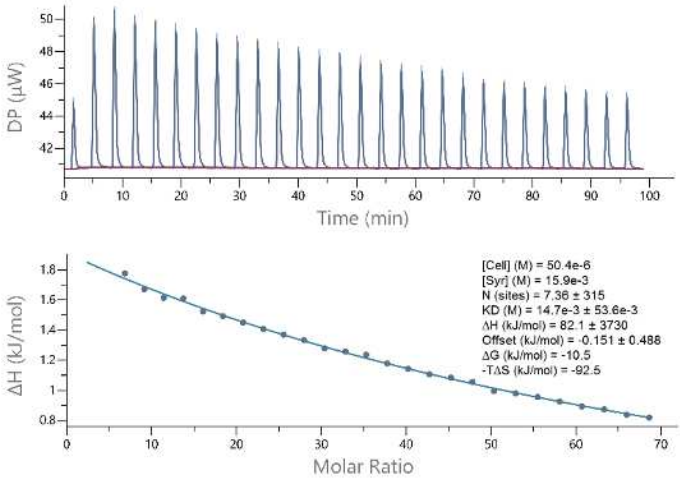

図４　1.26×10^{-5} mol/L のホウ砂水溶液に 7.93×10^{-6} mol/L の PVA 水溶液を滴下した際の反応熱とその解析で得られたデータ(セルの濃度にはホウ酸とホウ酸イオン濃度の合計を入力し、シリンジの濃度には PVA のモノマー単位の濃度を入力した。)

4. 研究成果

4-1. 実験１　VP-ITC を用いた反応熱の測定

4-1-1. 使用した機材と試料

等温滴定型カロリメータ MicroCal VP-ITC/1000

Polyvinyl Alcohol 167-03065 和光純薬株式会社

ホウ砂　健栄製薬株式会社

4-1-2. 実験内容

1.26×10^{-5} mol/L のホウ砂水溶液と 7.93×10^{-6} mol/L の PVA 水溶液を用意し、セルにホウ砂水溶液を、シリンジに PVA 水溶液を入れ測定を行った。

4-1-3. 結果

結果を図４､図５に示す｡解析には MicroCal PEAQ-ITC Analysis Software を用いた。解析の際は、セルの濃度にはホウ酸とホウ酸イオン濃度の合計を入力し、シリンジの濃度には PVA の繰り返し単位の濃度を入力した。

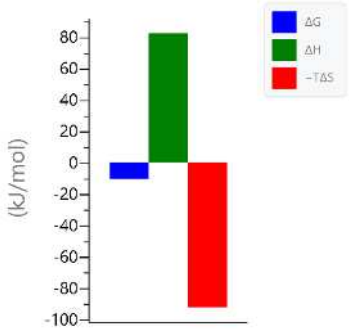

図５　図４の解析で得られたΔG、ΔH、-TΔS

4-1-4. 考察

解離定数 K_D の値が 10^{-3} オーダーであることから PVA とホウ酸やホウ酸イオンとの結合は非常に弱い結合であることが分かった。また図のΔH、ΔG、-TΔS の値の正負を見ると疎水性結合と同じ傾向を示すことが分かった。しかしΔH の誤差が最確値の 50 倍程度あるので、良い精度の測定ができたとは言えなかった。

4-2. 実験２　MCR を用いたスライムの粘弾性および緩和時間の測定

4-2-1. 使用した機材と試料

MCR302　株式会社 UBM 製

Polyvinyl Alcohol 167-03065 和光純薬株式会社製

ホウ砂　健栄製薬株式会社製

4-2-2. 実験内容

PVA2000 濃度はすべて 2.50×10^{-4} mol/L に固定し、ホウ砂濃度を 1.75×10^{-2}、2.50×10^{-2}、3.75×10^{-2} mol/L に調整した 3 つのスライムを作り、それぞれ MCR を使い 25℃における貯蔵弾性率 G'と損失弾性率 G"の周波数依存性を測定した。

4-2-3. 結果

測定結果を図 6、図 7、図 8 に示す。結果から計算した弾性率 G_N、ゼロずり粘土 η_0、緩和時間 τ は表 1、図 9 の通りになった。

4-2-4. 考察

緩和時間はホウ砂濃度に大きくは依存せずあまり変化がないことが分かる。よって架橋構造の組み変わる速度はホウ砂濃度にあまり依存しないことが分かった。

弾性率、ゼロずり粘度は共にホウ砂濃度が 1.75×10^{-2} mol/L のスライムより 2.50×10^{-2} mol/L のスライムのほうが少し低くなり、3.75×10^{-2} mol/L のスライムはそれらと比べて大きく上がっている。弾性率、ゼロずり粘度ともにホウ砂濃度に比例して大きくならかったのは、ホウ砂濃度が大きくなることにより pH が変化しそれが架橋構造に影響を与えたからではないかと考えている。

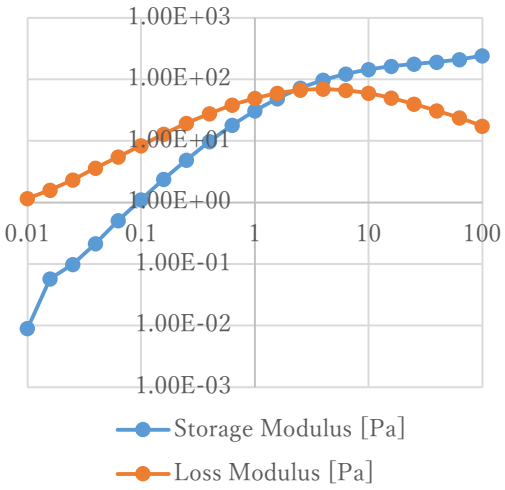

図6 PVA2000 2.50×10^{-4} mol/Lホウ砂 1.25×10^{-2} mol/Lのスライムの粘弾性

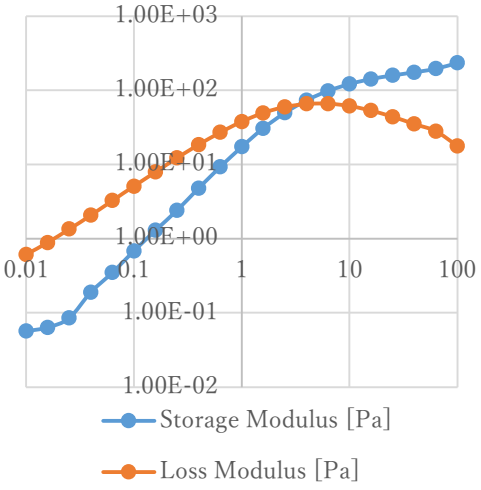

図7 PVA2000 2.50×10^{-4} mol/Lホウ砂 2.50×10^{-2} mol/Lのスライムの粘弾性

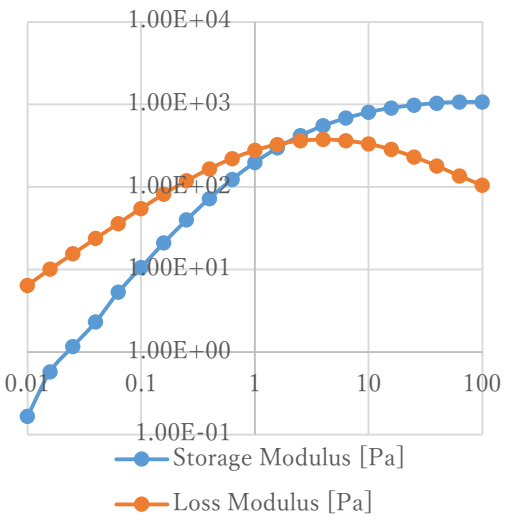

図8 PVA2000 2.50×10^{-4} mol/Lホウ砂 3.75×10^{-2} mol/Lのスライムの粘弾性

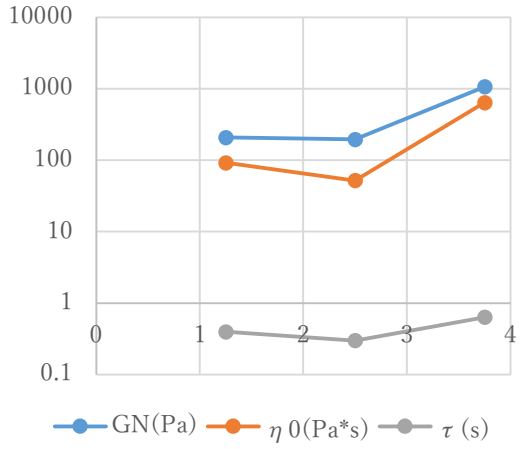

図9 PVA濃度2.50×10^{-4} mol/Lのスライムの弾性率G_N、ゼロずり粘土η_0、緩和時間τ

表１ PVA 濃度 2.50×10^{-4} mol/L のスライムの弾性率 G_N、ゼロずり粘土η_0、緩和時間τ

ホウ砂濃度($\times10^{-2}$ mol/L)	1.25	2.50	3.75
G_N(Pa)	208	196	1.07×10^{3}
η_0(Pa×s)	92.0	52.0	639
τ (s)	0.398	0.300	0.637

5. 今後の展望

スライムの架橋形成反応の解離定数や結合の種類を知ることはできたが、架橋構造が組み変わる速度を知ることはできなかったので、NMR を使ってスライムの B^{11} を対象としたデータをとるなどして架橋構造の組み変わる速度についての情報を得たい。

スライムの粘弾性を測る際は常時 pH も測るようにし、また pH を変化させたスライムの粘弾性測定も行っていきたい。

VP-ITC の濃度調整などの実験条件が適切ではなく、解析の仕方に改良の余地があるため最適化を行っていきたい。

6. 参考文献

1) 化学だいすきクラブ　https://kdc.csj.jp/learning/item_183.html (2022/12/16 現在)

7. 謝辞

I thank Mr. Todokoro, who is a member of the Analytical Instrument Facility, Graduate School of Science, Osaka University, for the discussion about figurers 4 and 5 data.
I greatly appreciate Professor Inoue, Associate Professor Urakawa, and members of Inoue lab.