

2025年9月11日

吸湿自己集合性と水剥離型接着性を 併せ持つポリシロキサン材料

香川大学 創造工学部 材料物質科学領域
准教授 原 光生

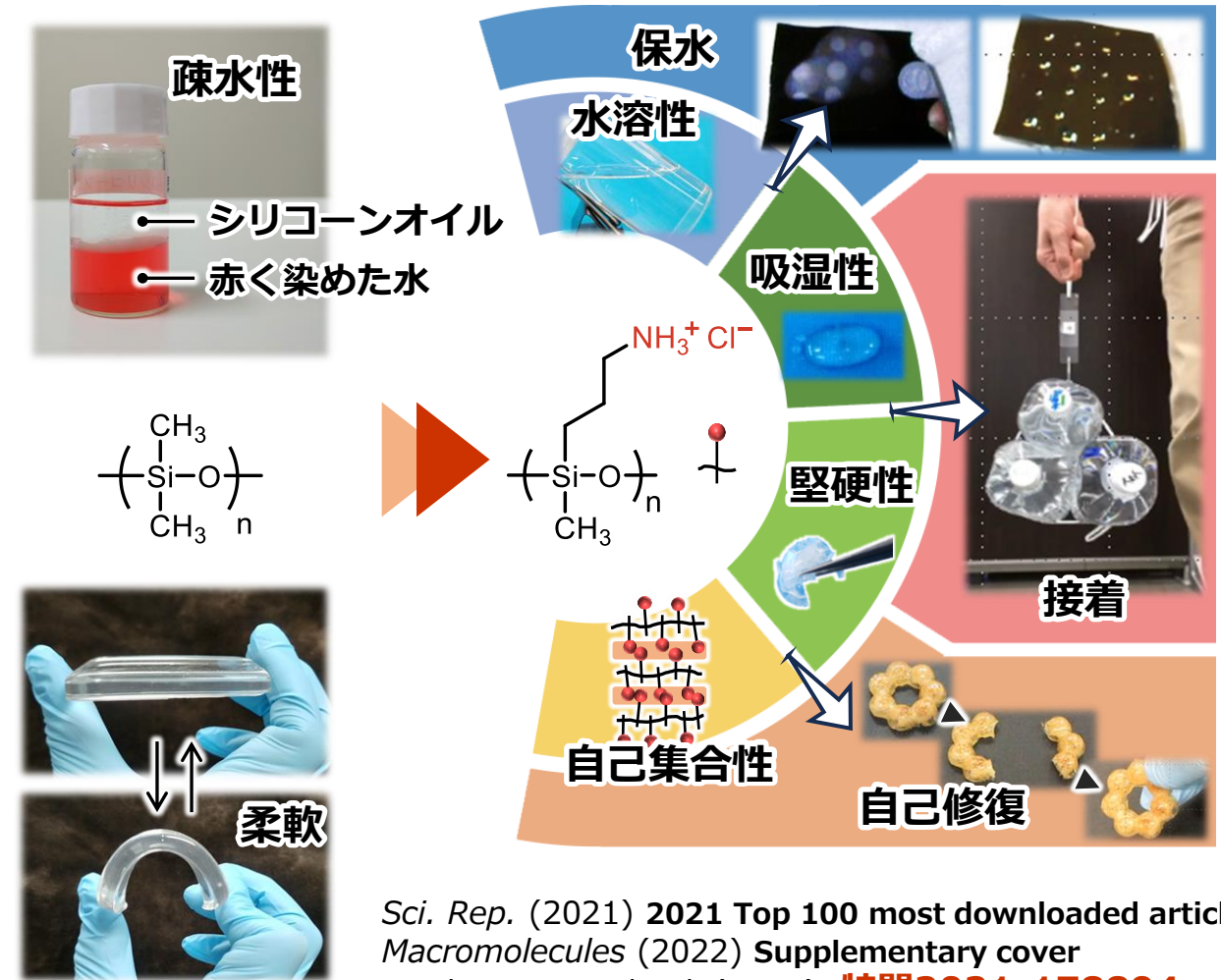
本技術の概要

・ポリシロキサン（シリコーン）へのイオン基導入

柔らかく、そして水には溶けないというのがこれまでの常識であったシリコーンにイオン基を導入することで、**レジンのように硬くなり水にも溶けるシリコーンを開発**した。このシリコーンは吸湿性を示し、乾燥状態ではレジンのように硬いが、吸湿すると水あめや卵黄レベルまで柔らかくなる。その弾性率の変化幅は 1 億倍に及ぶ。

・多様な機能の発現

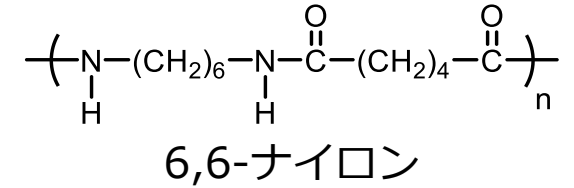
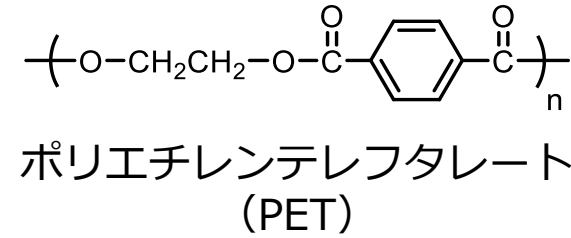
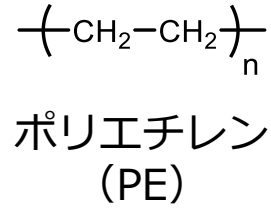
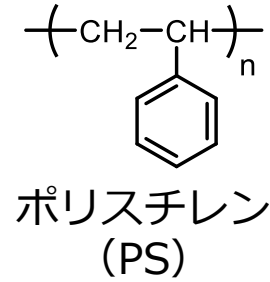
1. 自己集合
2. 保水
3. 水剥離型接着
4. 自己修復



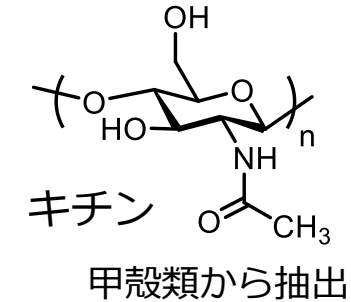
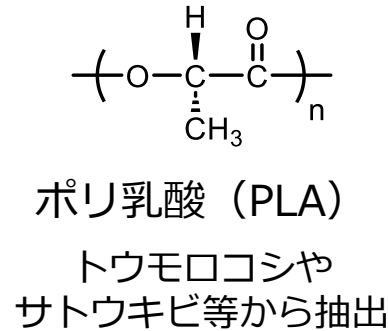
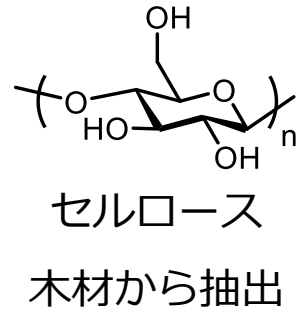
Sci. Rep. (2021) 2021 Top 100 most downloaded articles
Macromolecules (2022) Supplementary cover
J. Fiber Sci. Technol. (2022), 特開2021-178894

背景 | 原料による高分子の分類

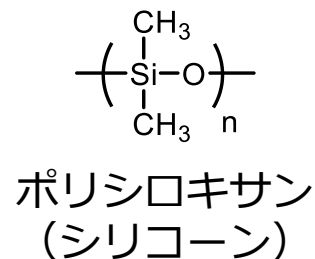
石油由来



動植物由来

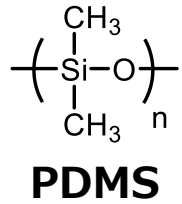


珪砂由来

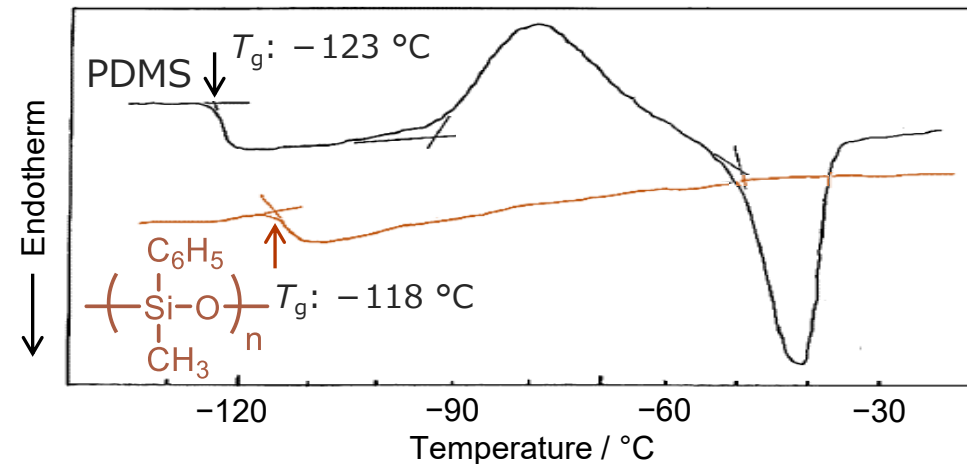
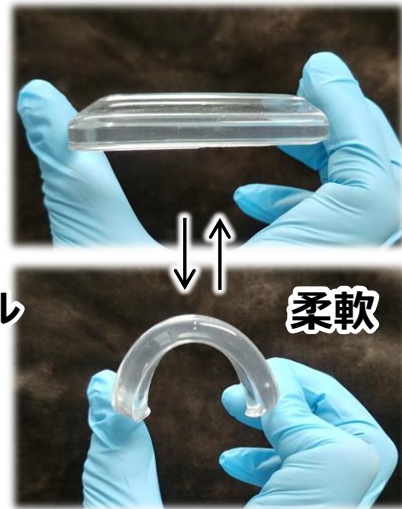


- 石油由来および動植物由来の高分子が主鎖骨格に Si (ケイ素) を含まない一方で、珪砂由来の高分子は Si を含む
- 主鎖が Si (ケイ素) と O (酸素) の繰り返し単位 (シロキサン結合) から構成される

背景 | シリコーンの特徴

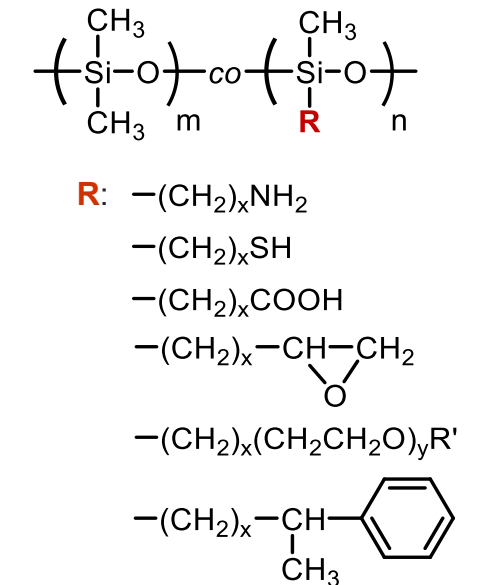


- ・原料 | 豊富な天然資源である珪砂（シリカ）を出発原料として合成される
- ・汎用樹脂と比較して優れる点 | 気体透過性、透明性、生体適合性、耐熱性、耐候性
- ・主な用途 | シーラント（シール材）、医療用具、脱泡剤、キッチン用品など



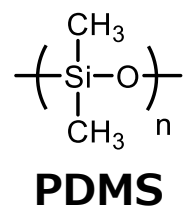
W. Noll, Chemistry and Technology of Silicones,
Academic Press, p. 259 (1968)

変成シリコーンの一例



主に疎水性と柔軟性を活かした用途で利用されてきた

シリコーンへのイオン基の導入

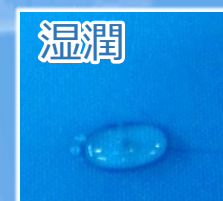
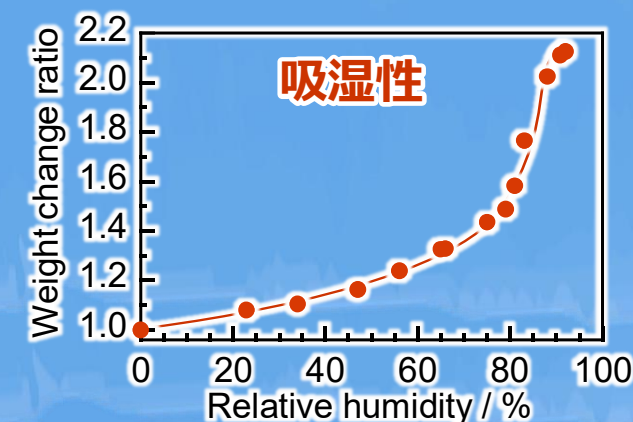
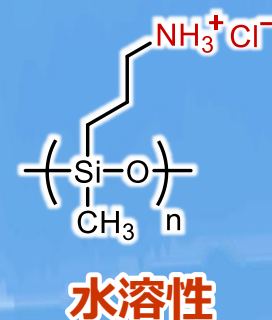


- ・原料 | 豊富な天然資源である珪砂（シリカ）を出発原料として合成される
- ・汎用樹脂と比較して優れる点 | 気体透過性、透明性、生体適合性、耐熱性、耐候性
- ・主な用途 | シーラント（シール材）、医療用具、脱泡剤、キッチン用品など

主に疎水性と柔軟性を活かした用途で利用されてきた

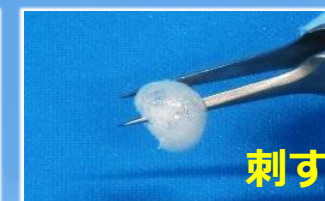


イオン性ポリシロキサン



加湿

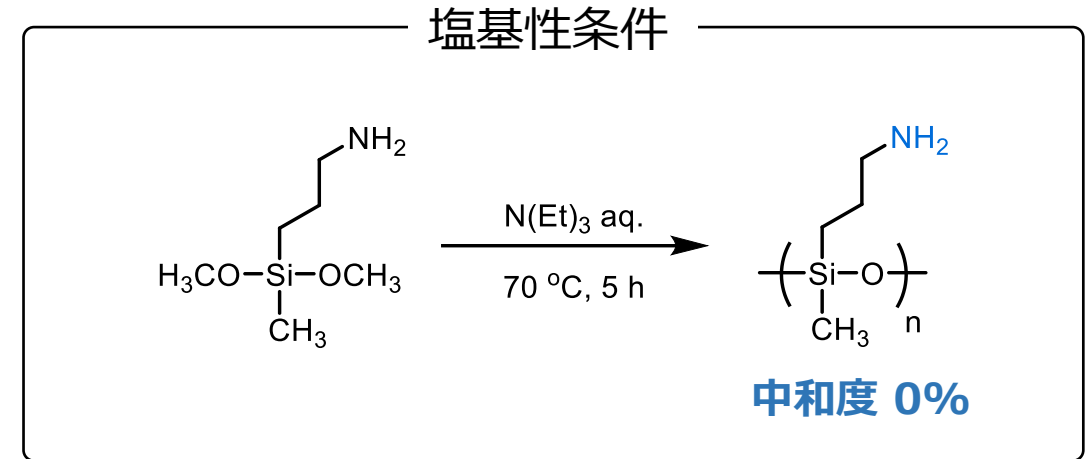
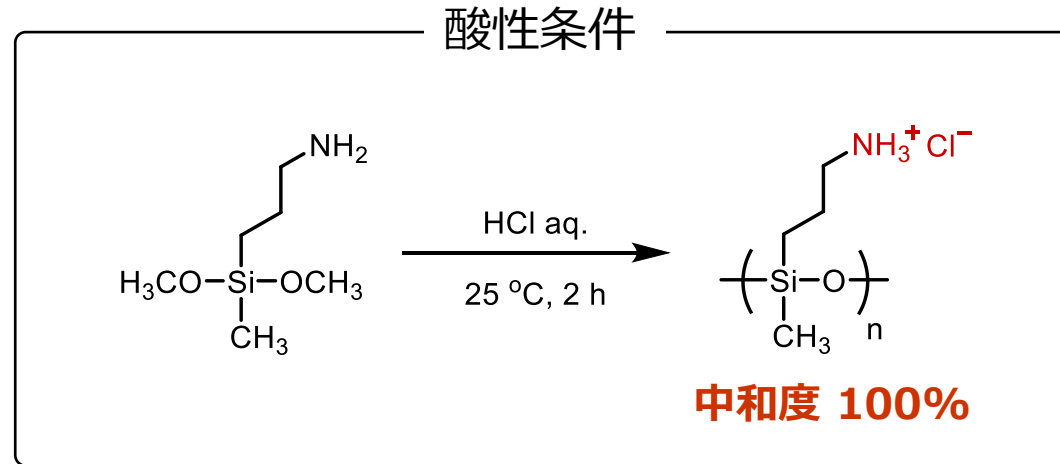
除湿



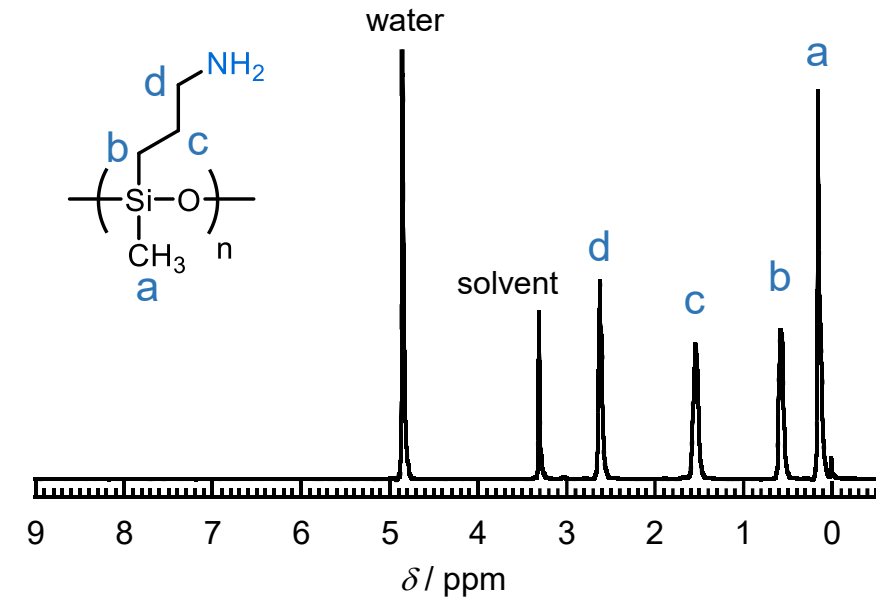
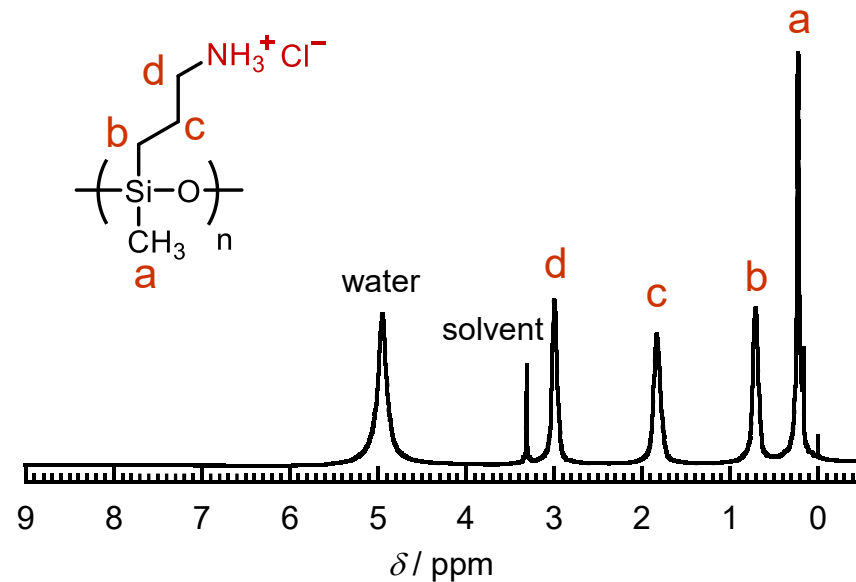
吸湿性に加えて**堅硬性が発現**

M. Hara et al., *Sci. Rep.*, **11**, 17683 (2021),
繊維学会誌, **78**, 424 (2022), 特開2021-178894.

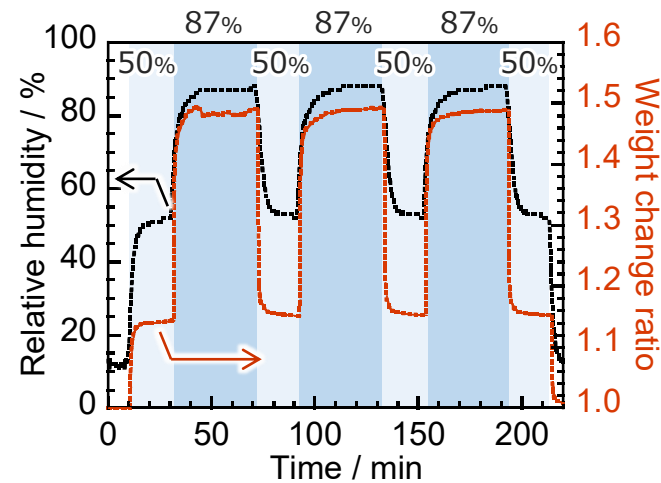
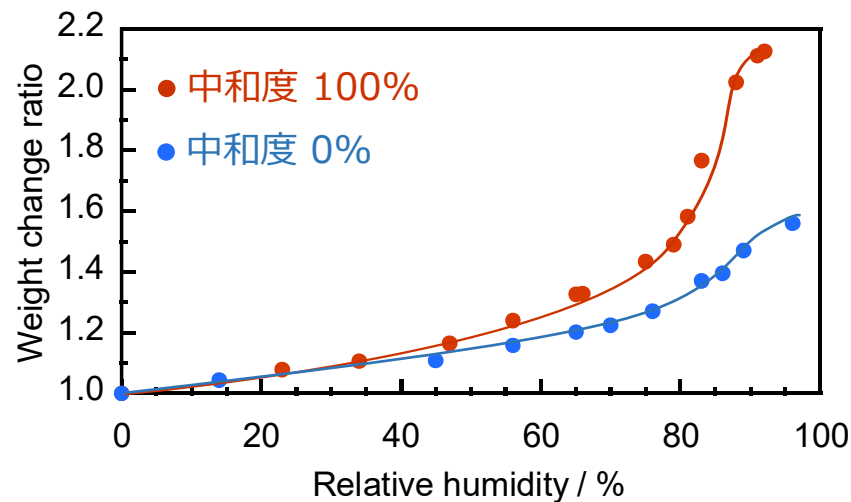
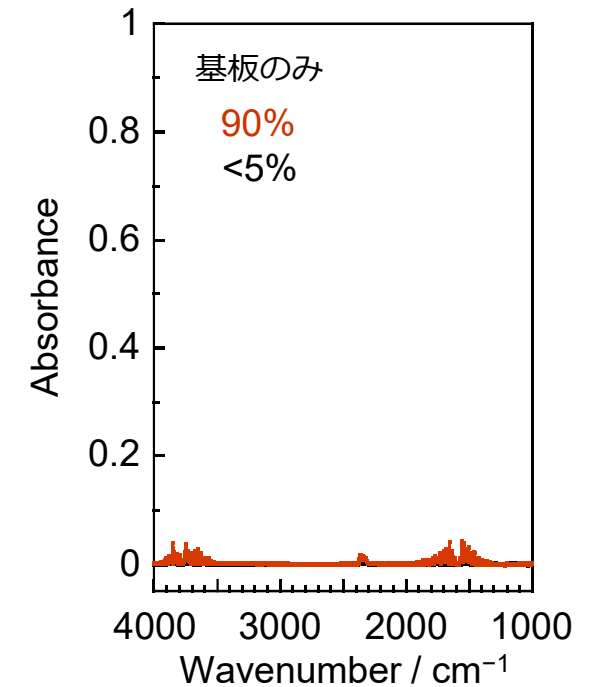
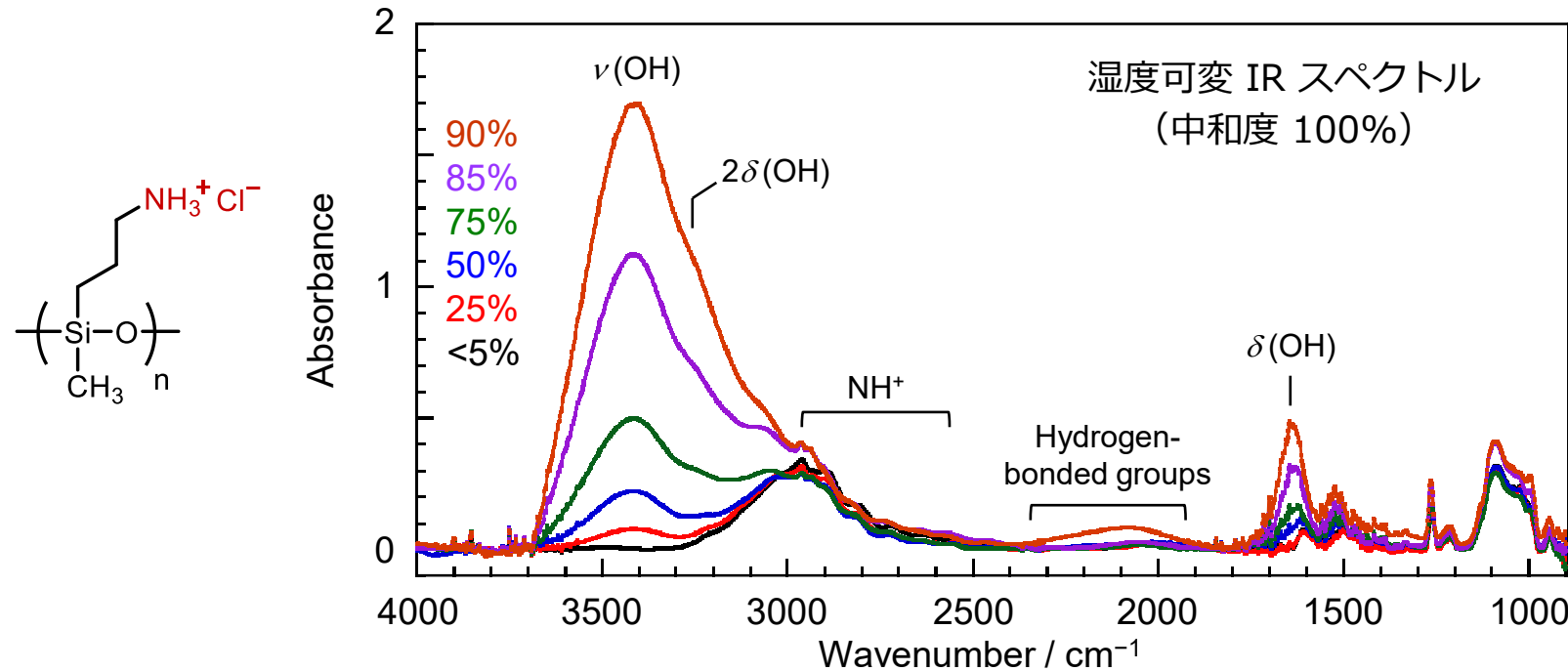
イオン性シリコーンの合成



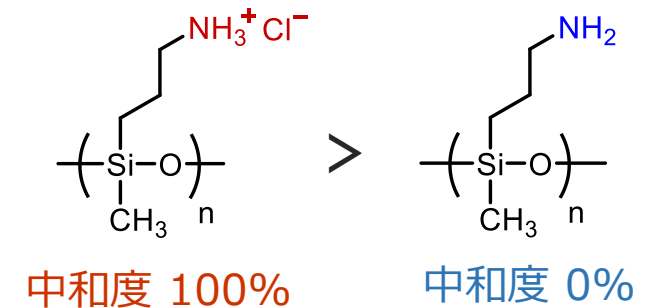
^1H NMR スペクトル (400 MHz, CD_3OD)



イオン性シリコーンの吸湿性



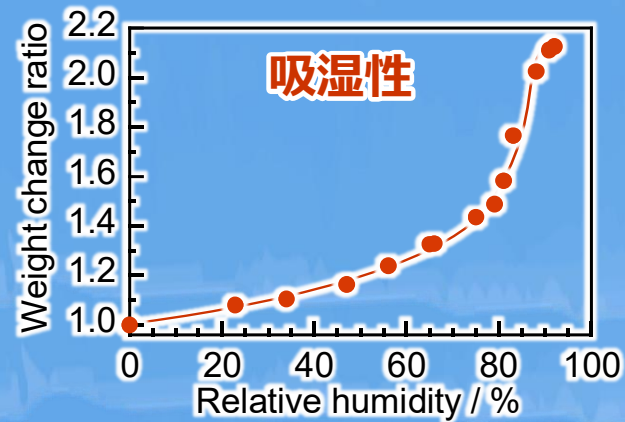
吸湿能力



Sci. Rep., **11**, 17683 (2021)

成型加工

イオン性ポリシロキサン

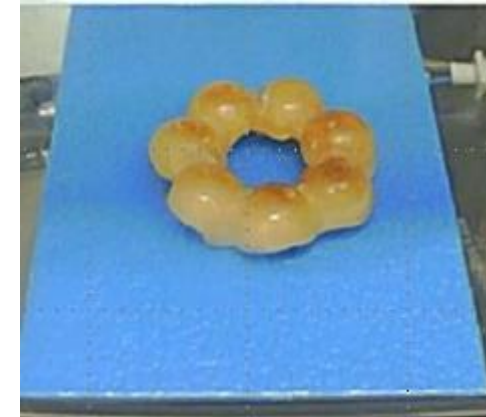
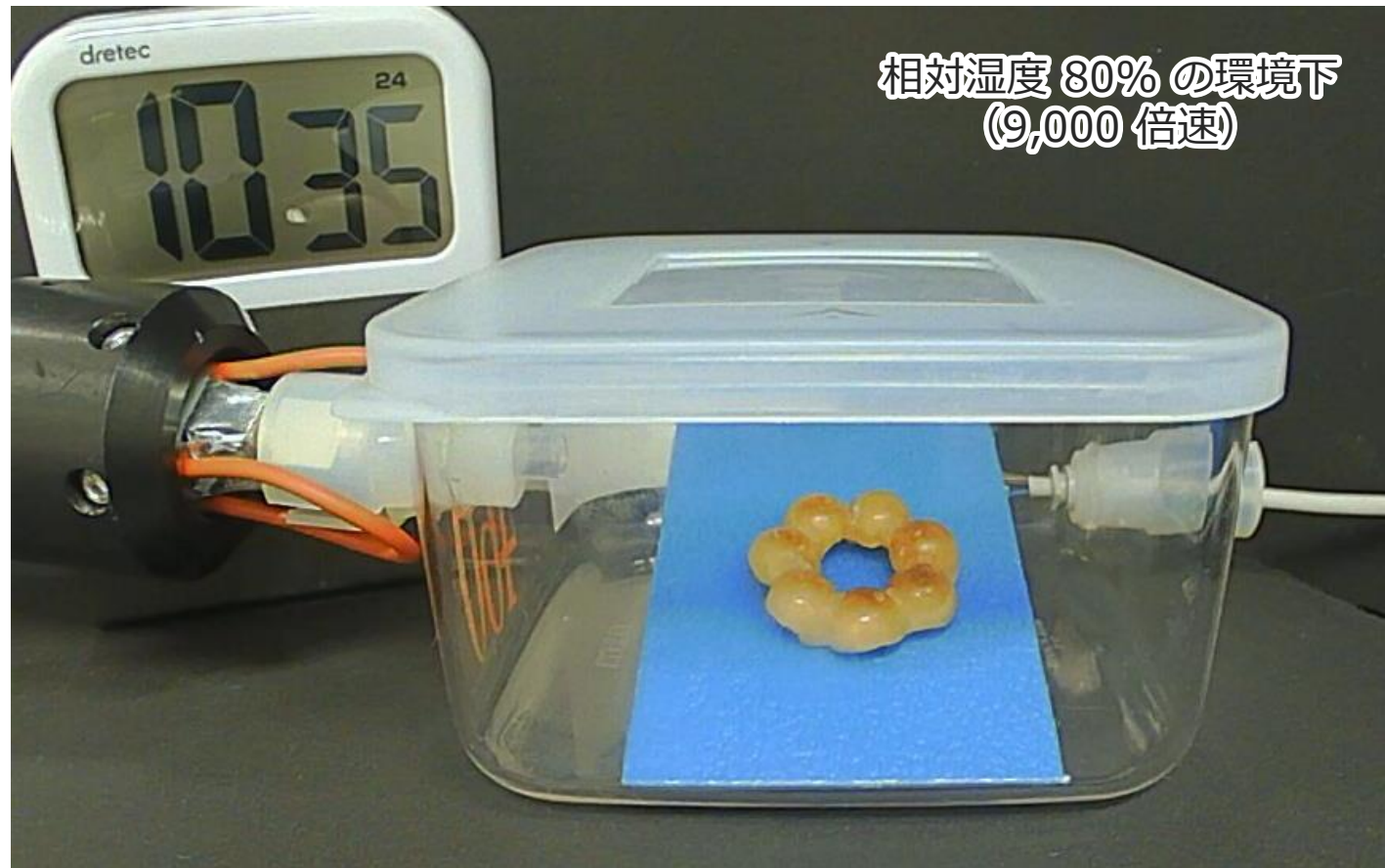


吸湿性に加えて**堅硬性が発現**

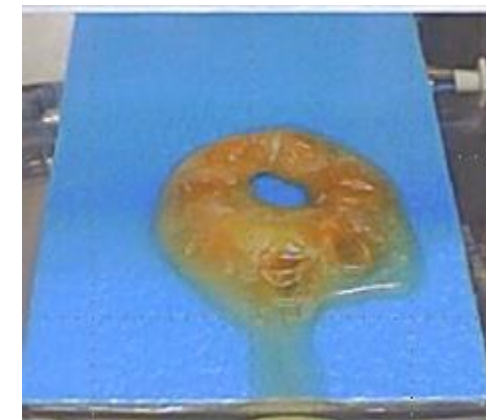
M. Hara et al., *Sci. Rep.*, **11**, 17683 (2021),
繊維学会誌, **78**, 424 (2022), 特開2021-178894.



成型加工品の潮解



10 時間後

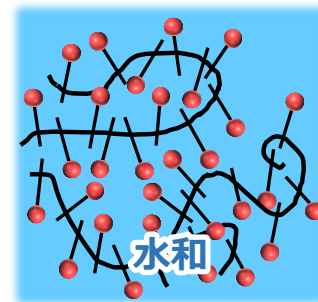
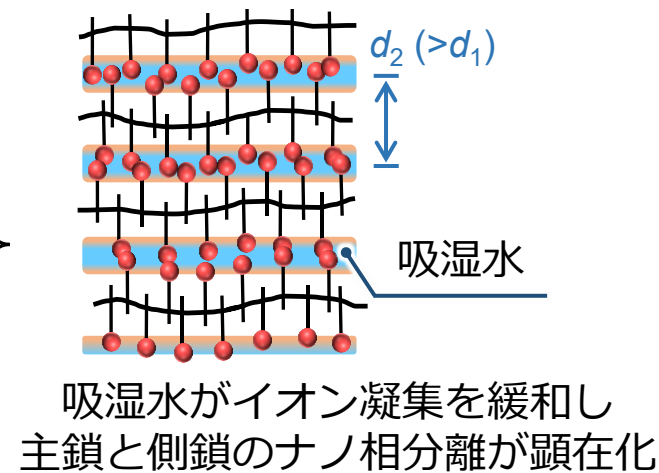
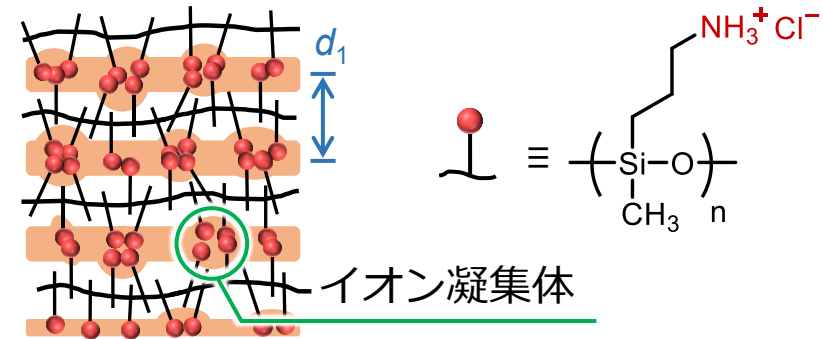
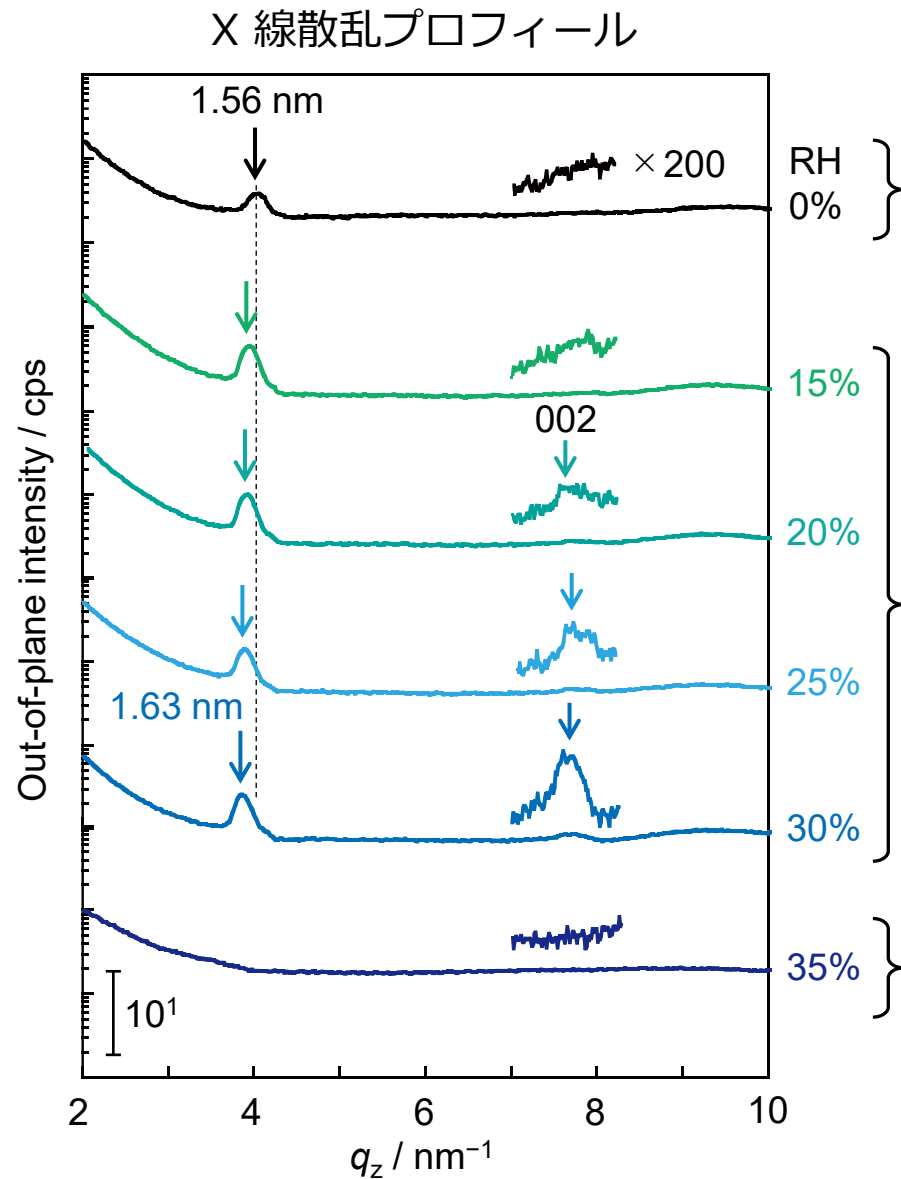


自己修復性



表面は速やかに吸湿するため、自己修復材料としての展開が可能

自己集合性

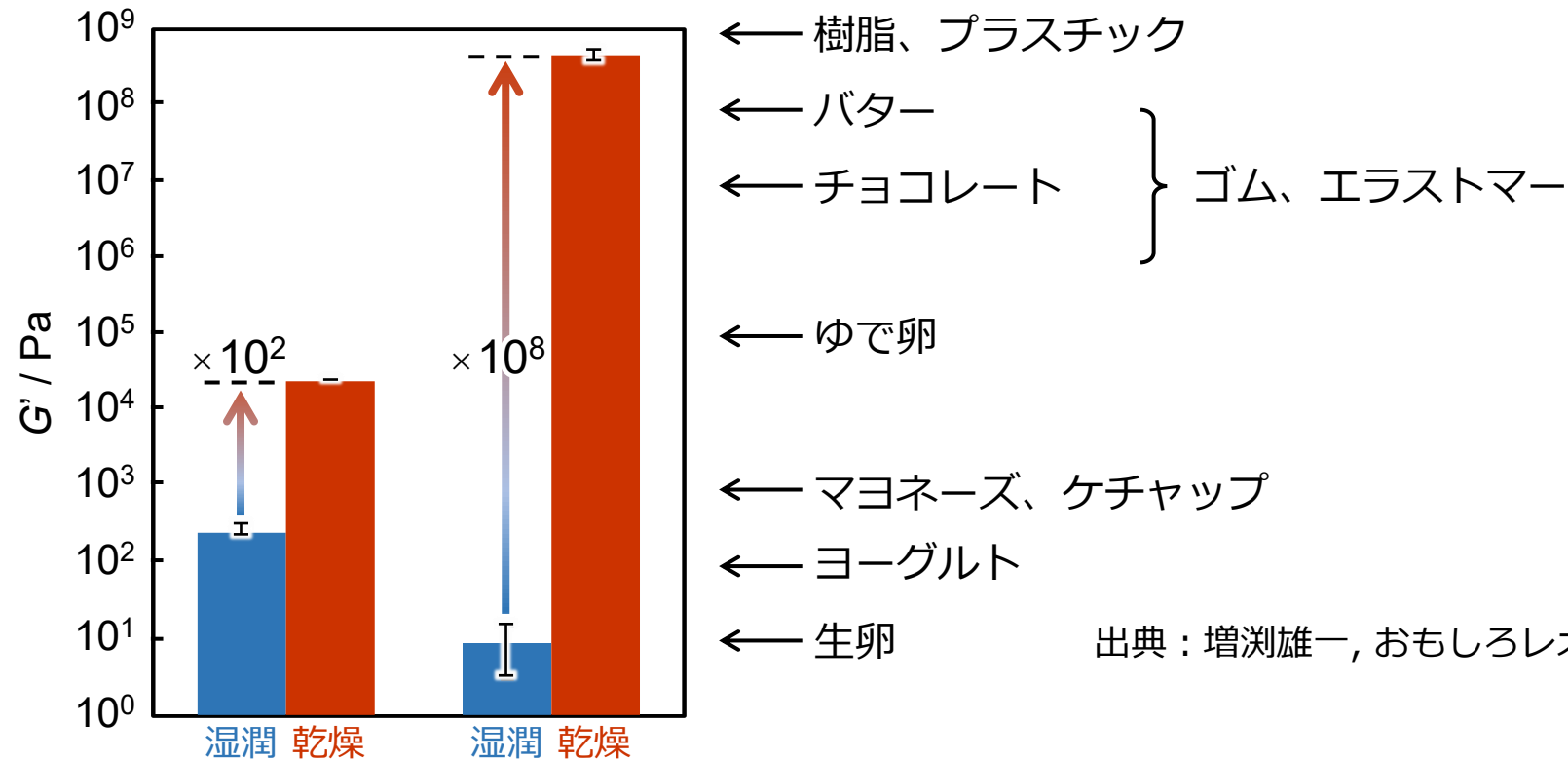


イオン架橋に基づく
リोटロピック液晶相の形成

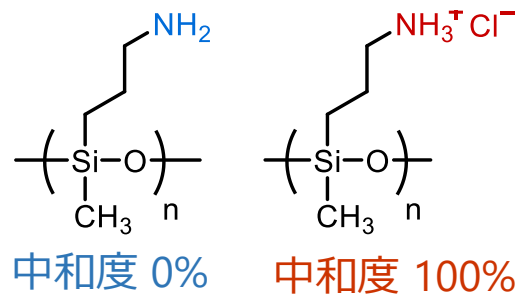
Macromolecules, **55**, 4313 (2022)

貯蔵弾性率の変化

室温における貯蔵弾性率



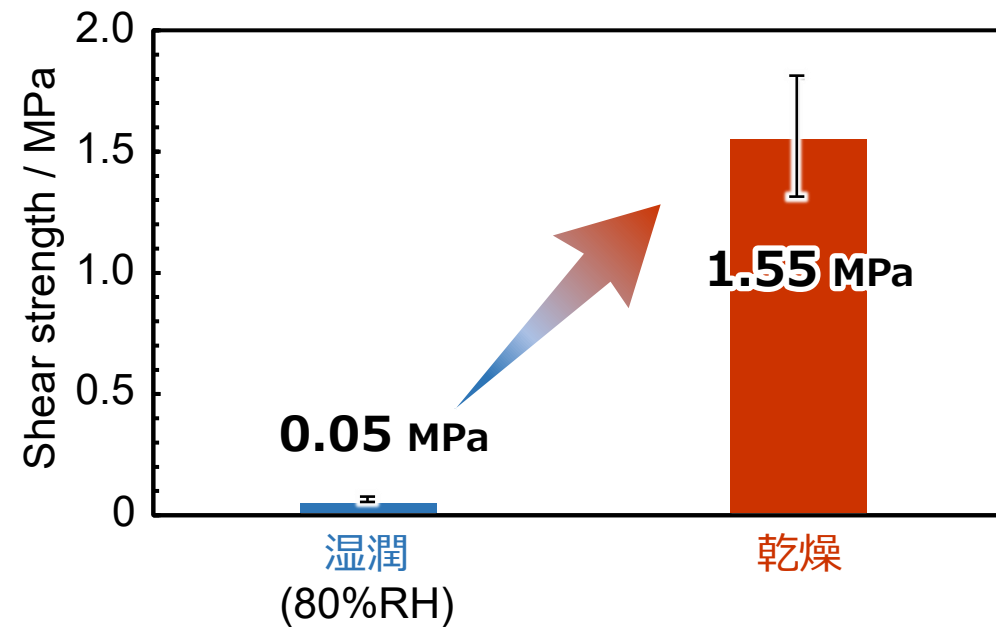
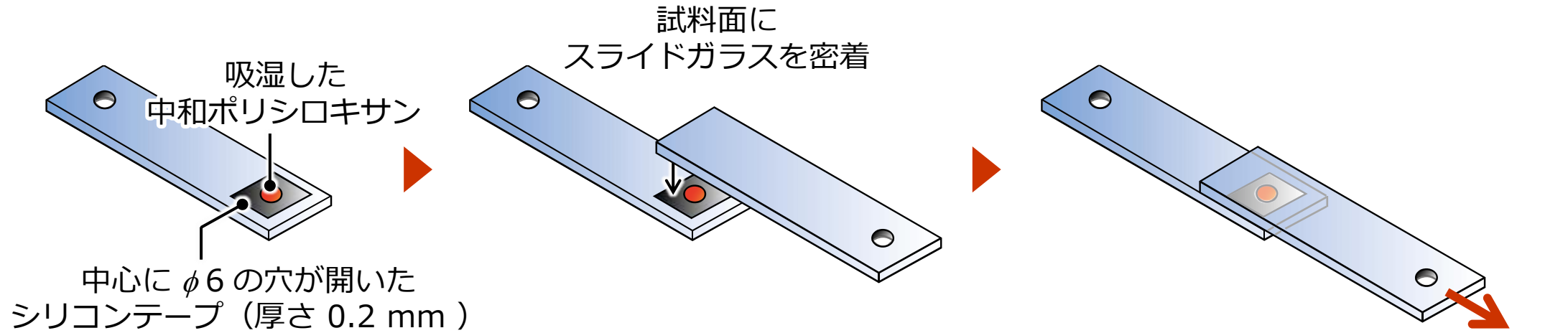
出典：増淵雄一, おもしろレオロジー, 技術評論社 (2010)



**中和度 100% のポリシロキサンは
乾燥により 1 億倍も硬化**
(生卵からプラスチックの弾性率へ変化)

Sci. Rep., **11**, 17683 (2021)

接着剤への応用



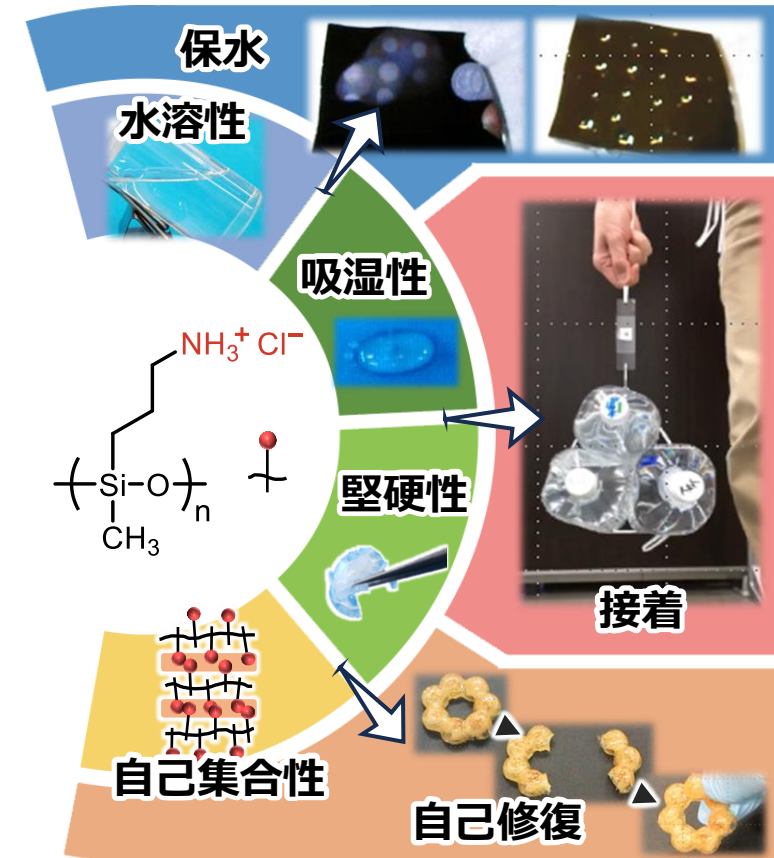
引張りせん断接着強さ
1.55 MPa (N/mm²)

1 cm² あたり 15.5 kg の重りを
吊り下げるために必要な接着力

Sci. Rep., **11**, 17683 (2021)

新技術の特徴 1

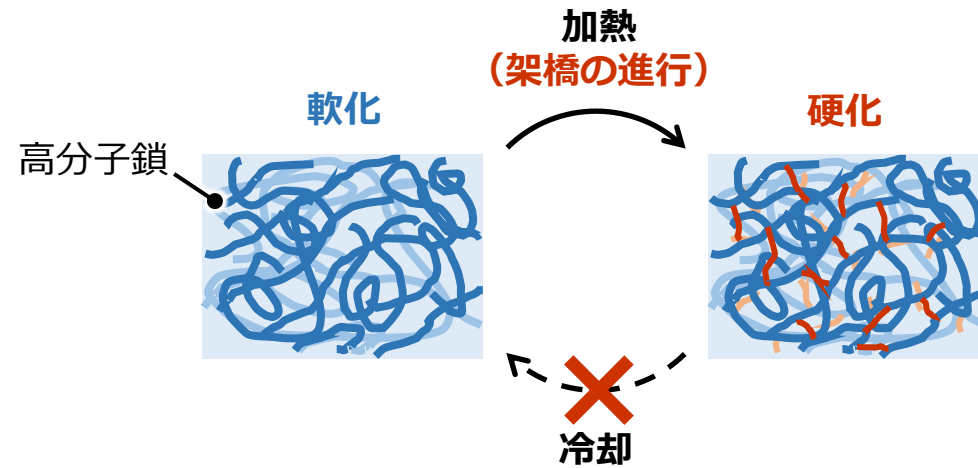
1. 水溶性のシリコーン
2. 合成が簡便
3. アニオン種の変換も可能
4. 乾燥状態と湿潤状態で弾性率が大きく変化
5. 加熱で水を蒸発させることでも硬化
6. 高温で仮固定できる水剥離型接着剤
7. 約 1.6 nm 間隔で水の流路が自発的に形成され、その間隔は分子設計により 0.1 nm オーダーで制御可能
8. 中和度による物性のチューニングが可能



Sci. Rep. (2021) 2021 Top 100 most downloaded articles
Macromolecules (2022) Supplementary cover
J. Fiber Sci. Technol. (2022), 特開2021-178894

新技術の特徴 2

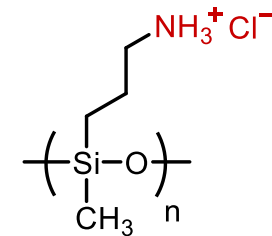
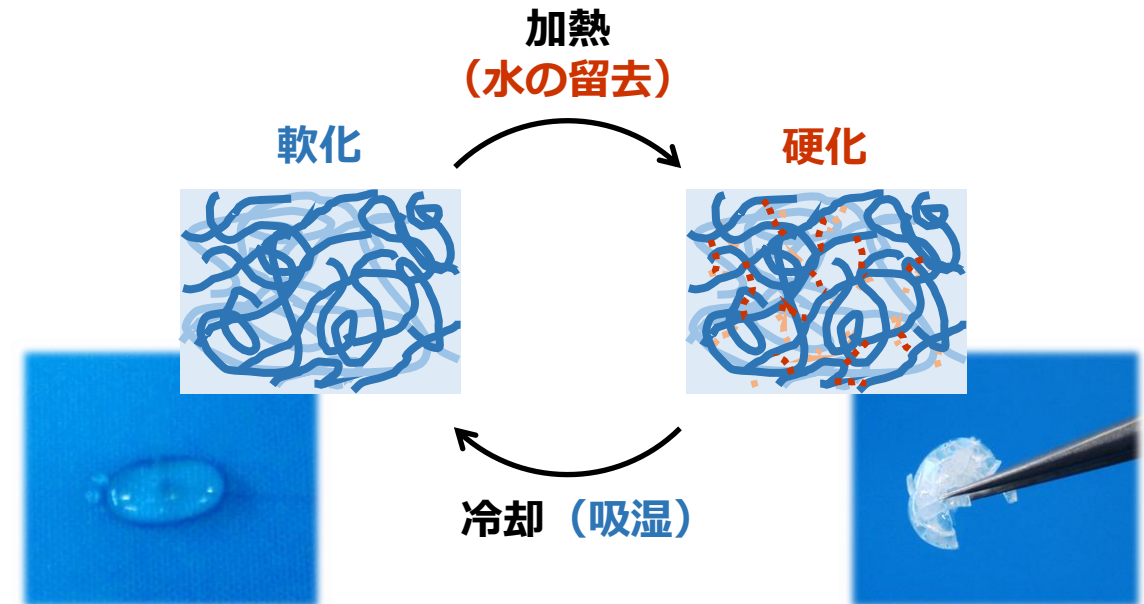
一般的な熱硬化材料



加熱で硬くなり、
冷却しても硬いまま

熱硬化後に軟化させるためには、
熱や光で化学的に分解する必要がある

新技術：熱硬化を繰り返す材料



リワーク可能な熱硬化性材料

Sci. Rep., **11**, 17683 (2021)

想定される用途

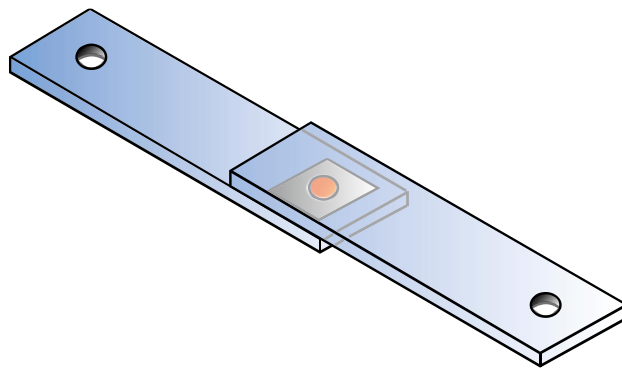
- **水剥離型の低環境負荷接着剤**

(例：100 °C 以上の高温条件で接着させ、接着不要になったら水洗で除去)

- **湿度検知・呼気検出などの柔軟型環境センサ**

- **熱硬化と冷却軟化を繰り返す樹脂**

- **高温で接着力が増すペースト**



湿潤 (湿度 80%)



乾燥



実用化に向けた課題

- 室温・大気下では徐々に吸湿するため、硬化状態を保持するためには乾燥または高温環境が必須となる
- 酸素の存在下で長期保存すると黄変する
- 合成および物性評価はテーブルテスト段階にとどまっており、スケールアップ試験が未実施である
- 原料であるモノマーのコストが高く、製品化に向けたコスト削減が求められる

企業への期待

- 具体的な製品開発および実用化への展開
- 共同研究における連携

企業への貢献、PR ポイント

水溶性シリコーンの材料設計技術

- 従来品にはない吸湿応答性・自己集合性など、用途に応じた機能性付与が可能

合成から物性評価まで一貫した技術サポート

- 紫外・可視、赤外、X線などの各種分光測定を調湿環境下で実施できる
独自の評価体制を研究室内に構築
- 材料の提供に加え、調湿環境下での材料評価に関する技術支援も可能

研究分野

- 有機から無機まで、バルク材料から表面・界面現象まで、
多様な研究テーマに取り組んできた実績
- 表面処理技術に関する共同研究実績を多数

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ポリシロキサン、接着剤および湿度センサ
- 出願番号 : 特願2020-083502（特許第7626418号）
- 特許権者 : 国立大学法人香川大学
- 発明者 : 関 隆広、原 光生、飯島雄太、竹下智也

お問い合わせ先

香川大学 産学連携・知的財産センター
(株) テクノネットワーク四国 (四国TLO)

Tel 087-832-1694

e-mail licence_info@s-tlo.co.jp