

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

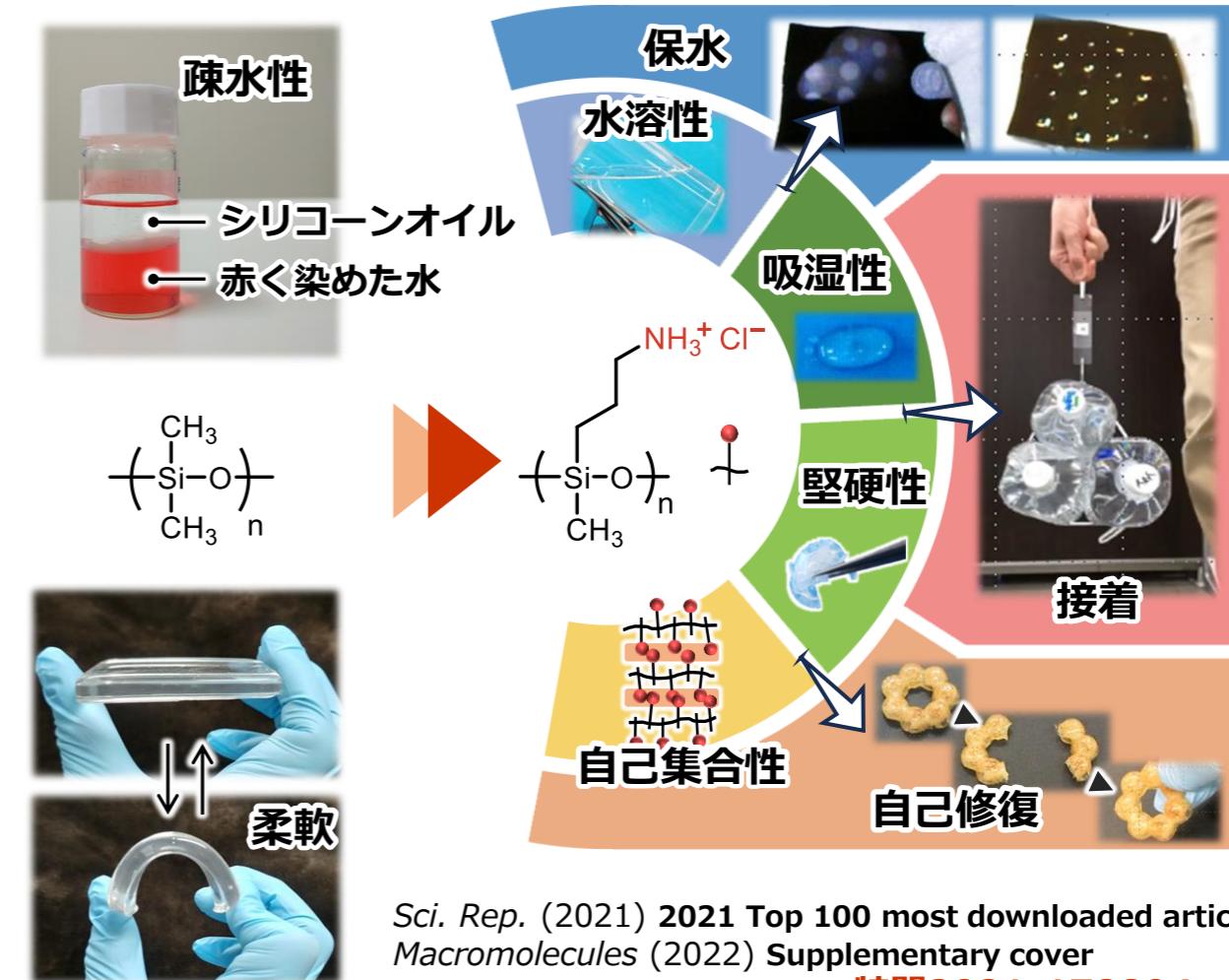
香川大学 創造工学部 材料物質科学領域
准教授 原 光生

本技術の概要

- ・ ポリシリコキサン（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。

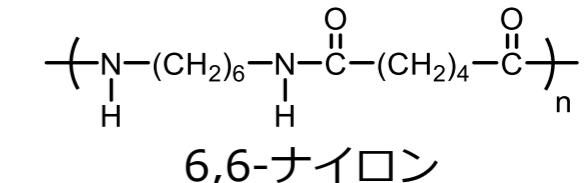
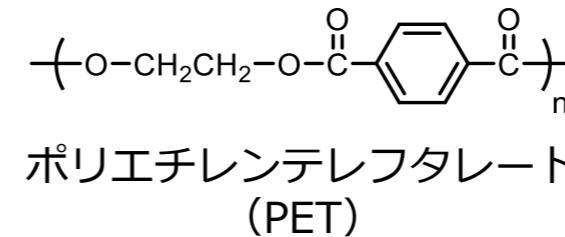
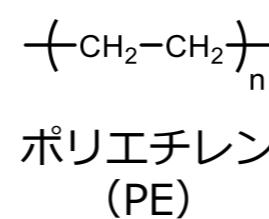
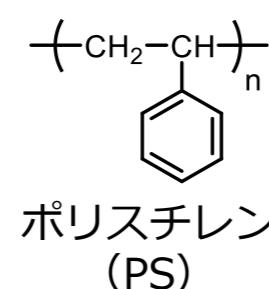
- ・ 多様な機能の発現
 1. 自己集合
 2. 保水
 3. 水剥離型接着
 4. 自己修復



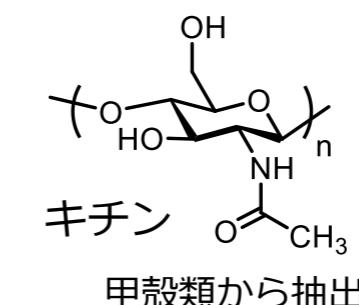
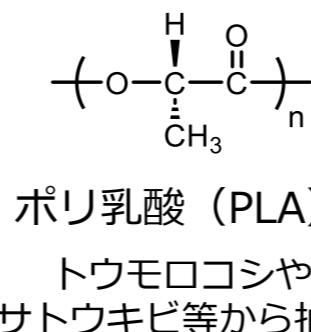
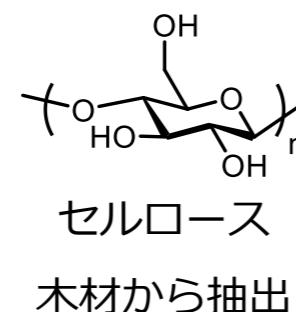
Sci. Rep. (2021) 2021 Top 100 most downloaded articles
Macromolecules (2022) Supplementary cover
J. Fiber Sci. Technol. (2022), 特開2021-178894

背景 | 原料による高分子の分類

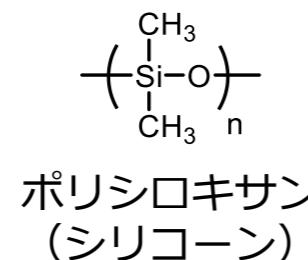
石油由来



動植物由来

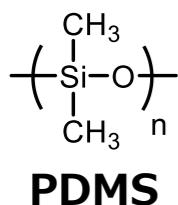


珪砂由来

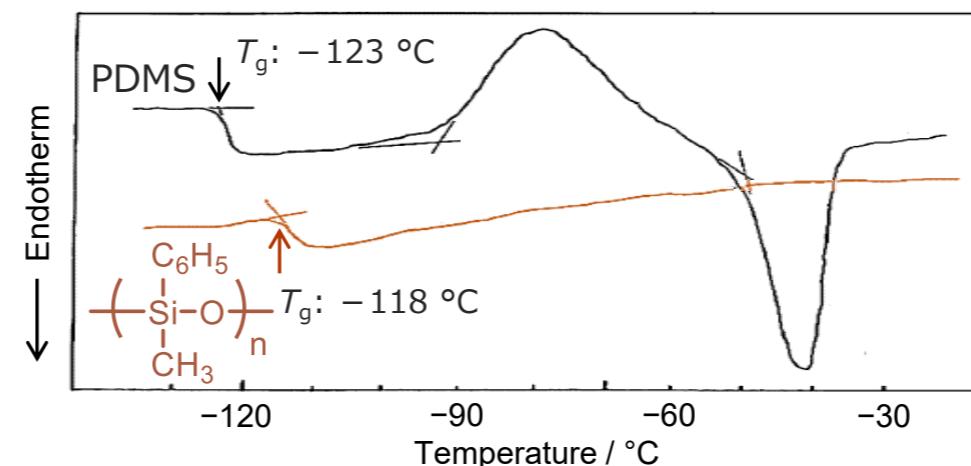
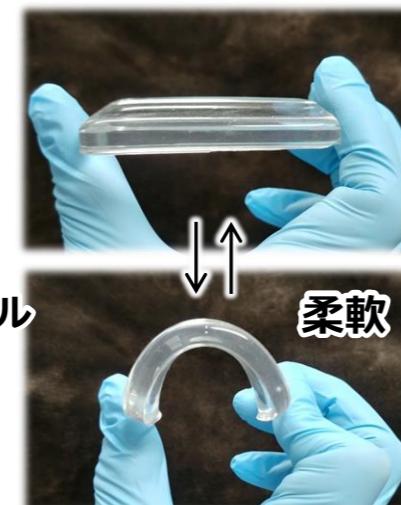


- 石油由来および動植物由来の高分子が主鎖骨格に Si (ケイ素) を含まない一方で、珪砂由来の高分子は Si を含む
- 主鎖が Si (ケイ素) と O (酸素) の繰り返し単位 (シロキサン結合) から構成される

背景 | シリコーンの特徴

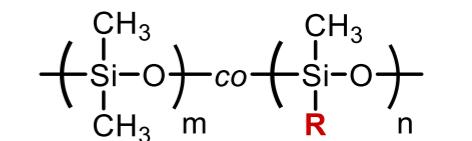


- ・原料 | 豊富な天然資源である珪砂（シリカ）を出発原料として合成される
- ・汎用樹脂と比較して優れる点 | 気体透過性、透明性、生体適合性、耐熱性、耐候性
- ・主な用途 | シーラント（シール材）、医療用具、脱泡剤、キッチン用品など



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

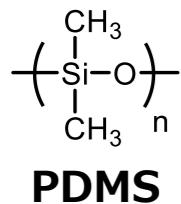
変成シリコーンの一例



R: $-(\text{CH}_2)_x\text{NH}_2$
 $-(\text{CH}_2)_x\text{SH}$
 $-(\text{CH}_2)_x\text{COOH}$
 $-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}-\text{CH}_2$
 $-(\text{CH}_2)_x(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_y\text{R}'$
 $-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$

主に疎水性と柔軟性を活かした用途で利用してきた

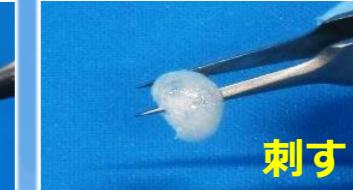
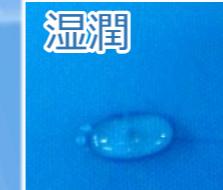
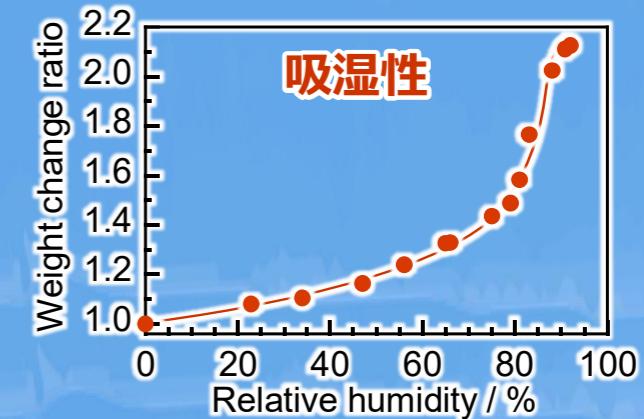
シリコーンへのイオン基の導入



- ・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



イオン性ポリシロキサン

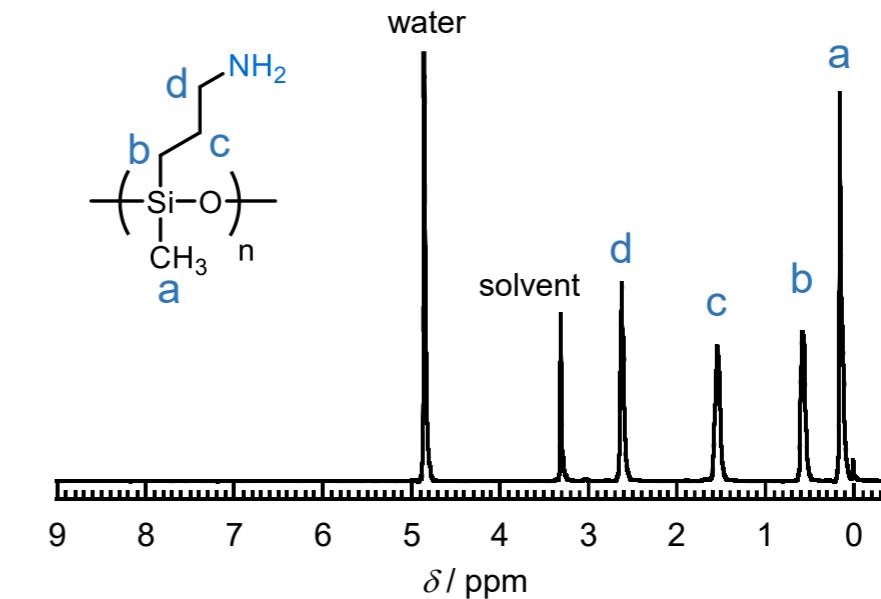
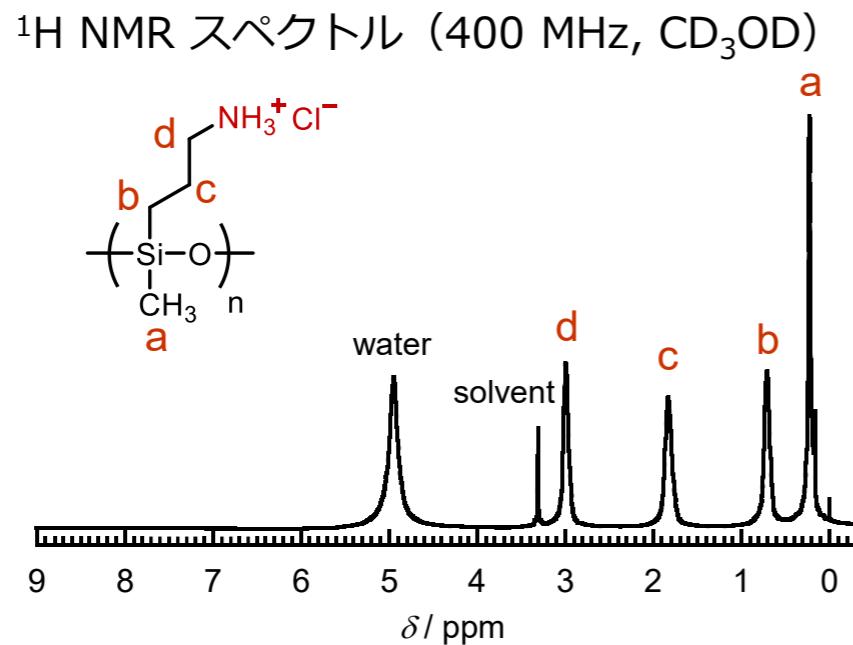
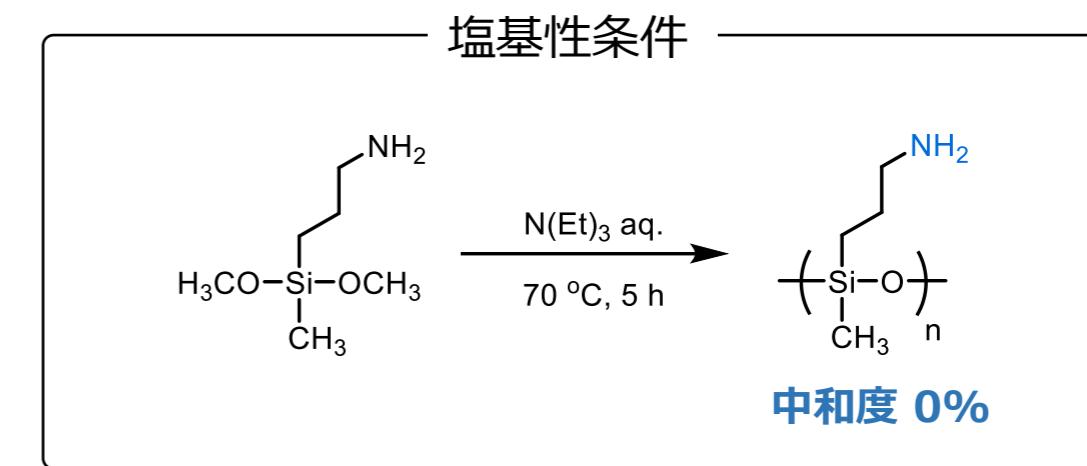
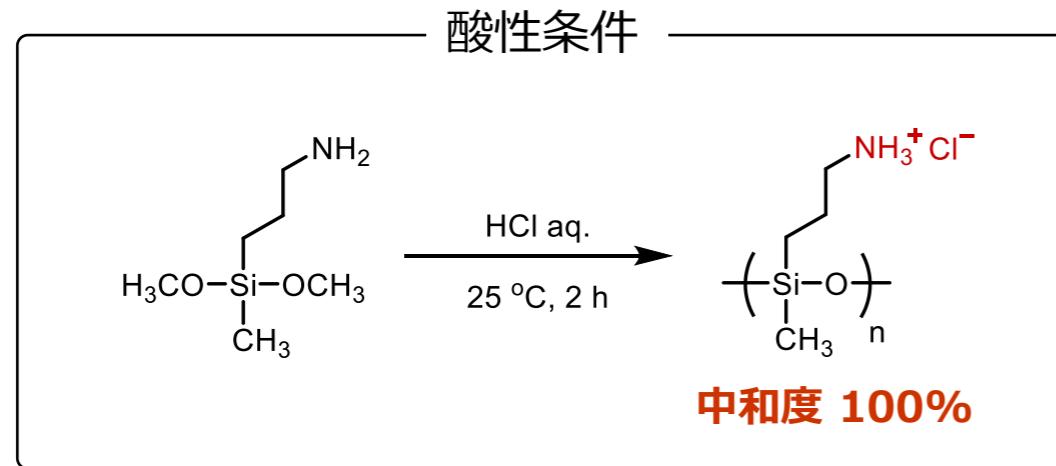


吸湿性に加えて堅硬性が発現

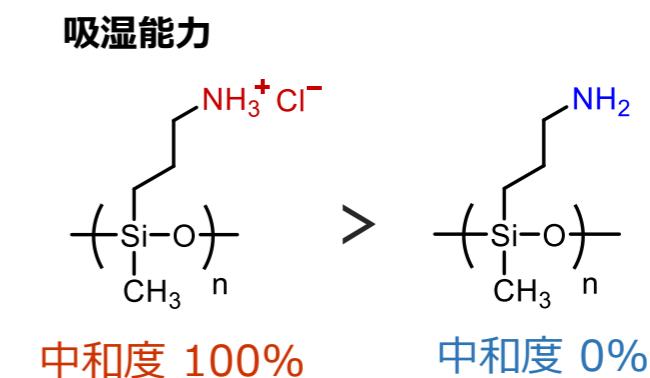
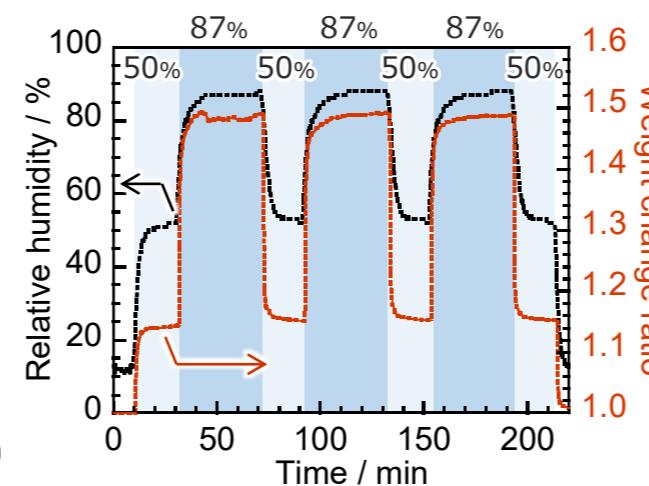
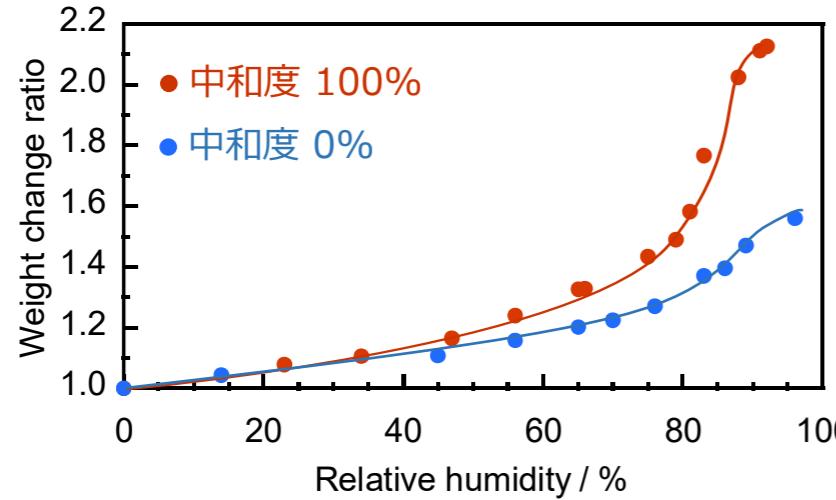
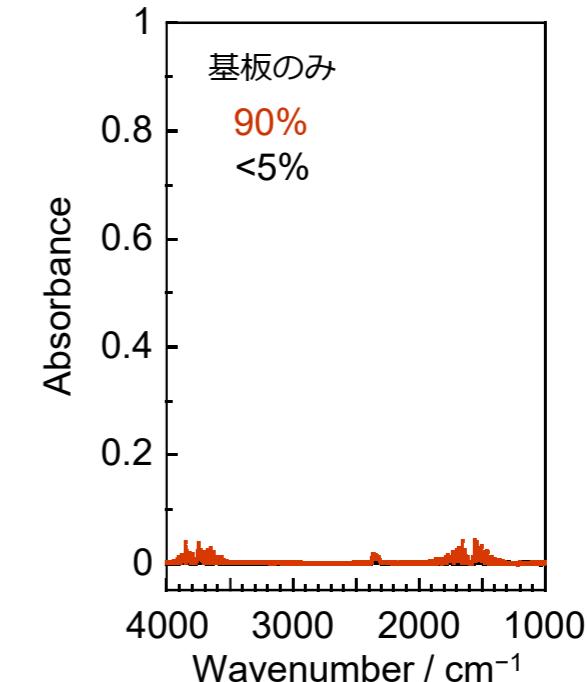
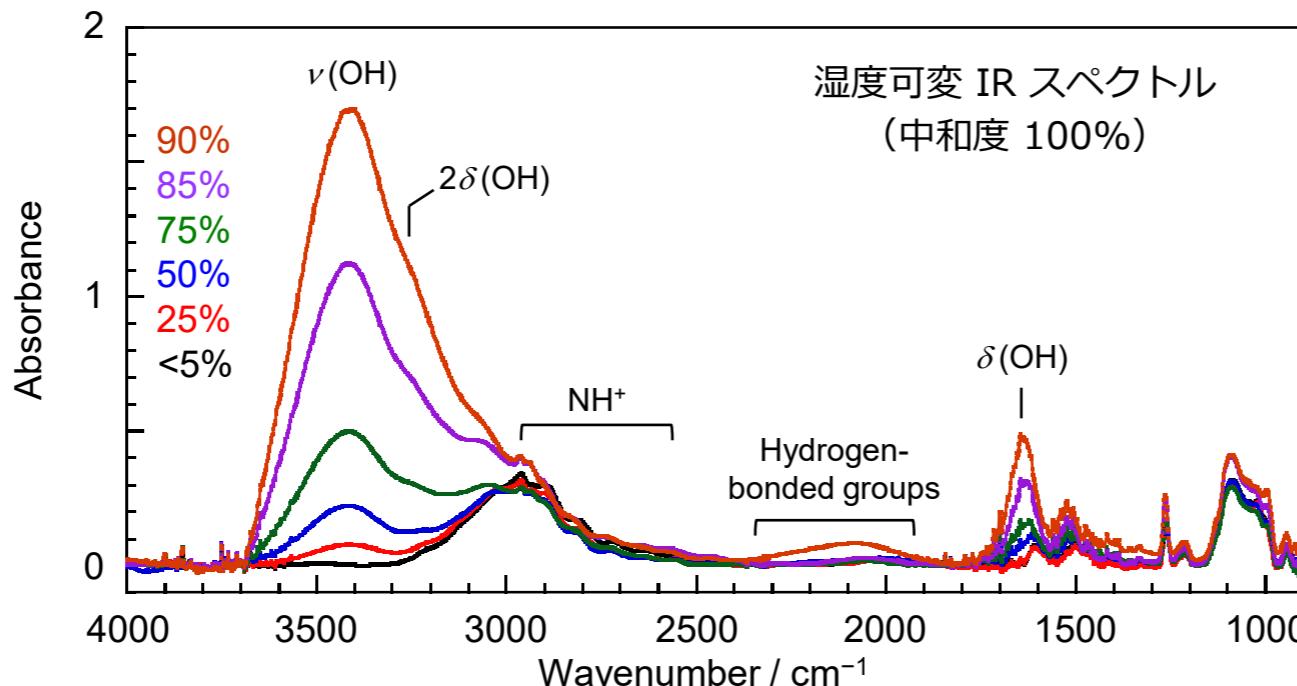
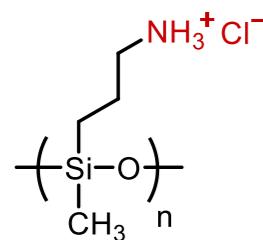
M. Hara et al., *Sci. Rep.*, **11**, 17683 (2021),
纖維学会誌, **78**, 424 (2022), 特開2021-178894.

主に疎水性と柔軟性を活かした用途で
利用してきた

イオン性シリコーンの合成

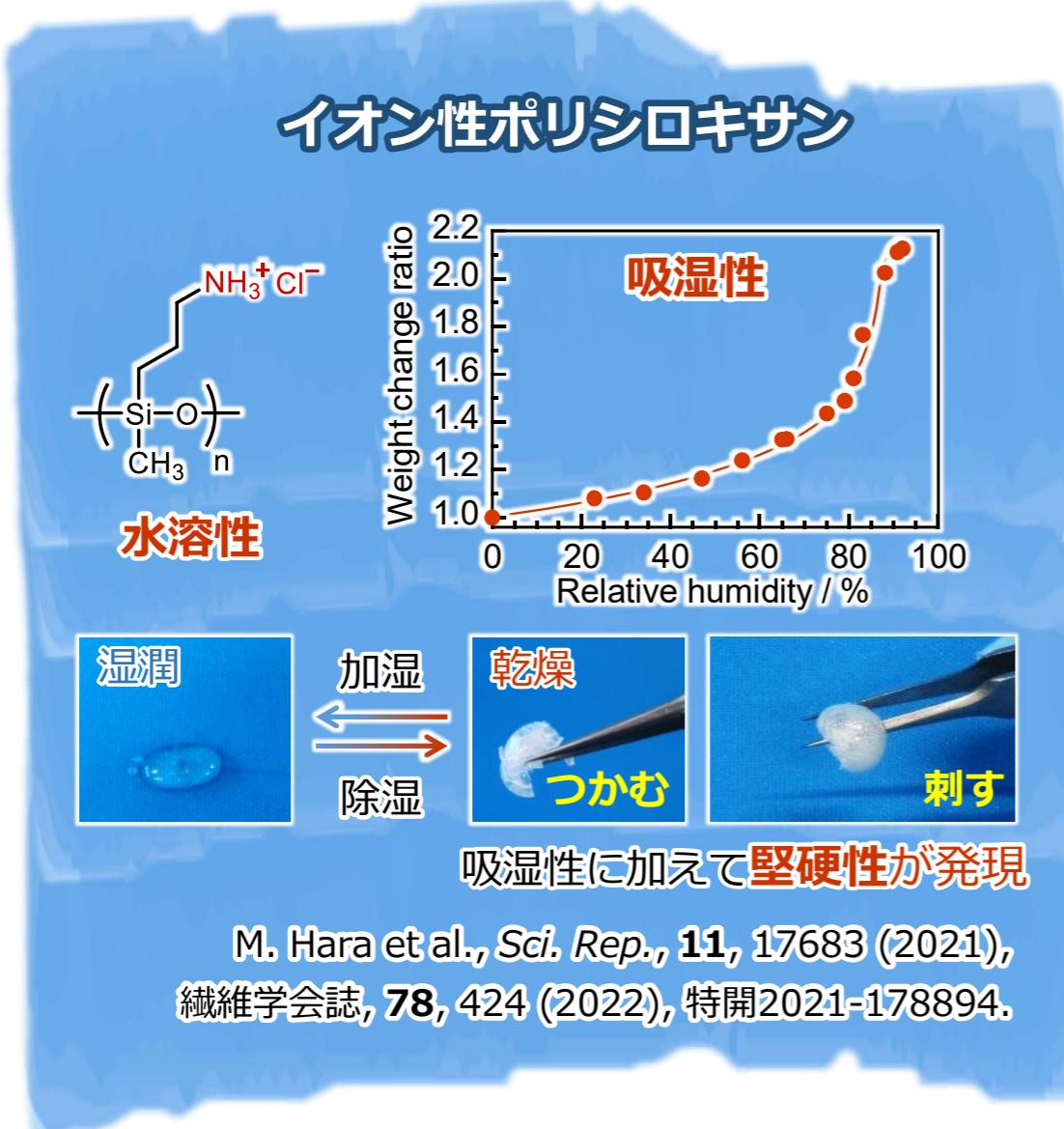


イオン性シリコーンの吸湿性

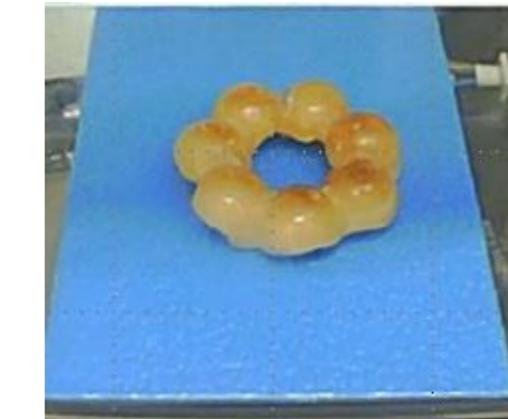
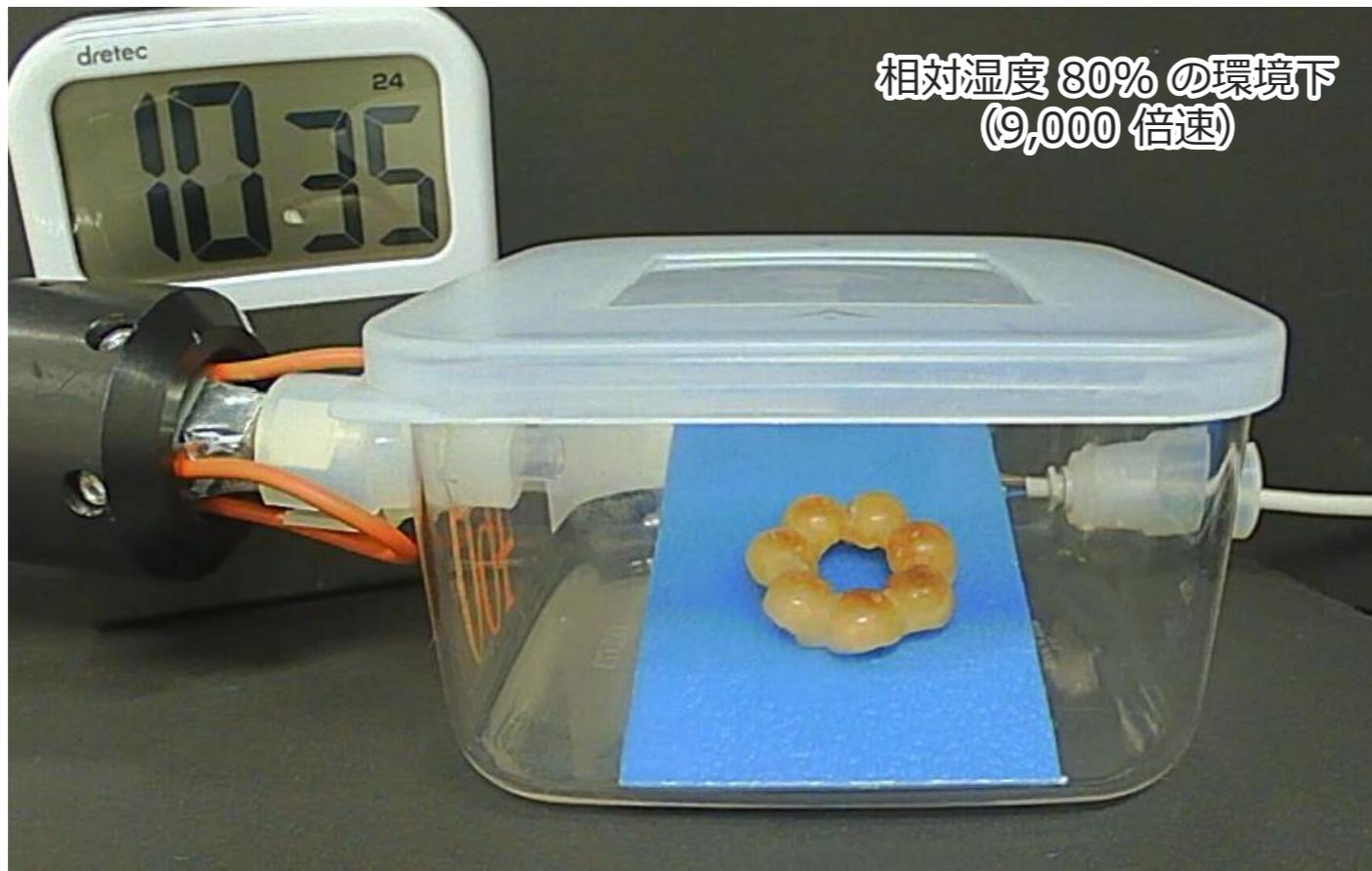


Sci. Rep., 11, 17683 (2021)

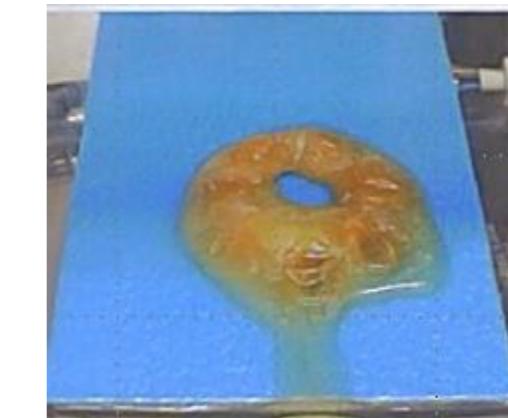
成型加工



成型加工品の潮解



10 時間後

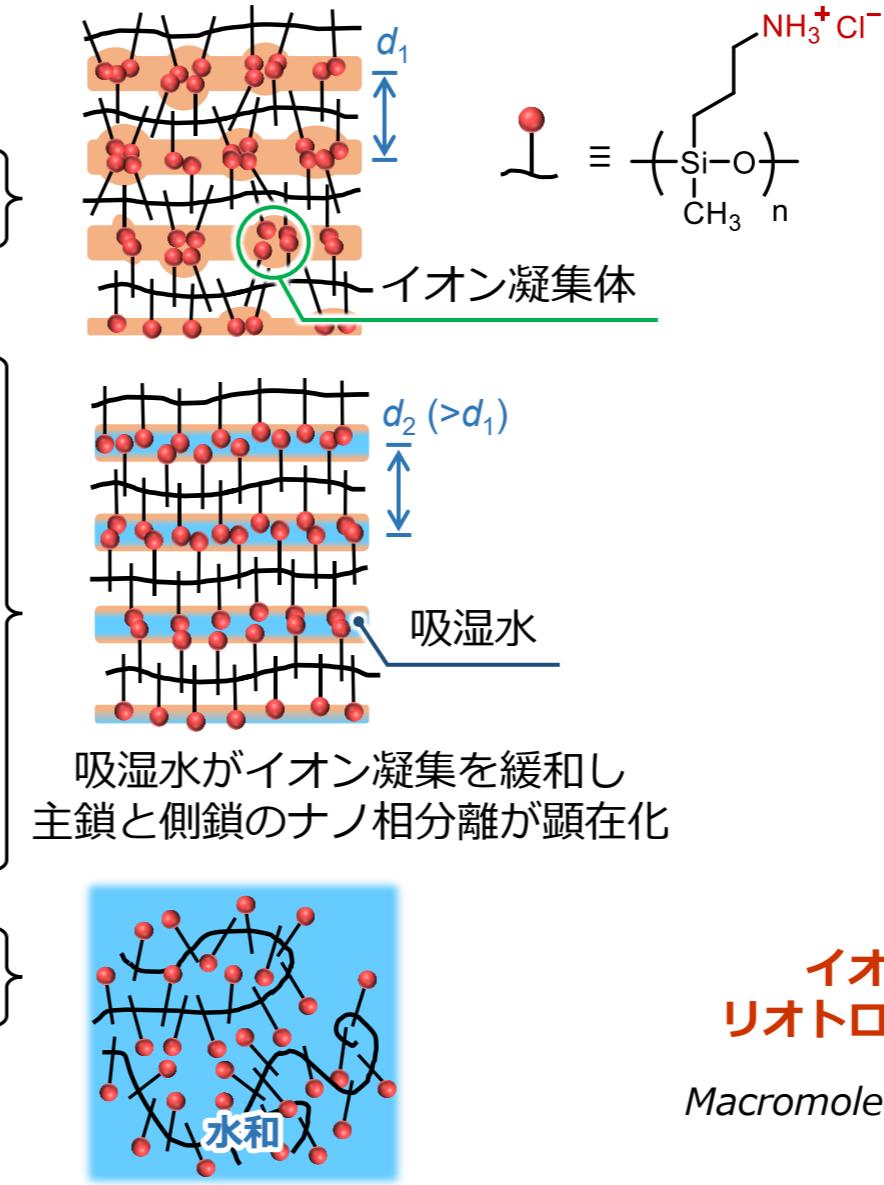
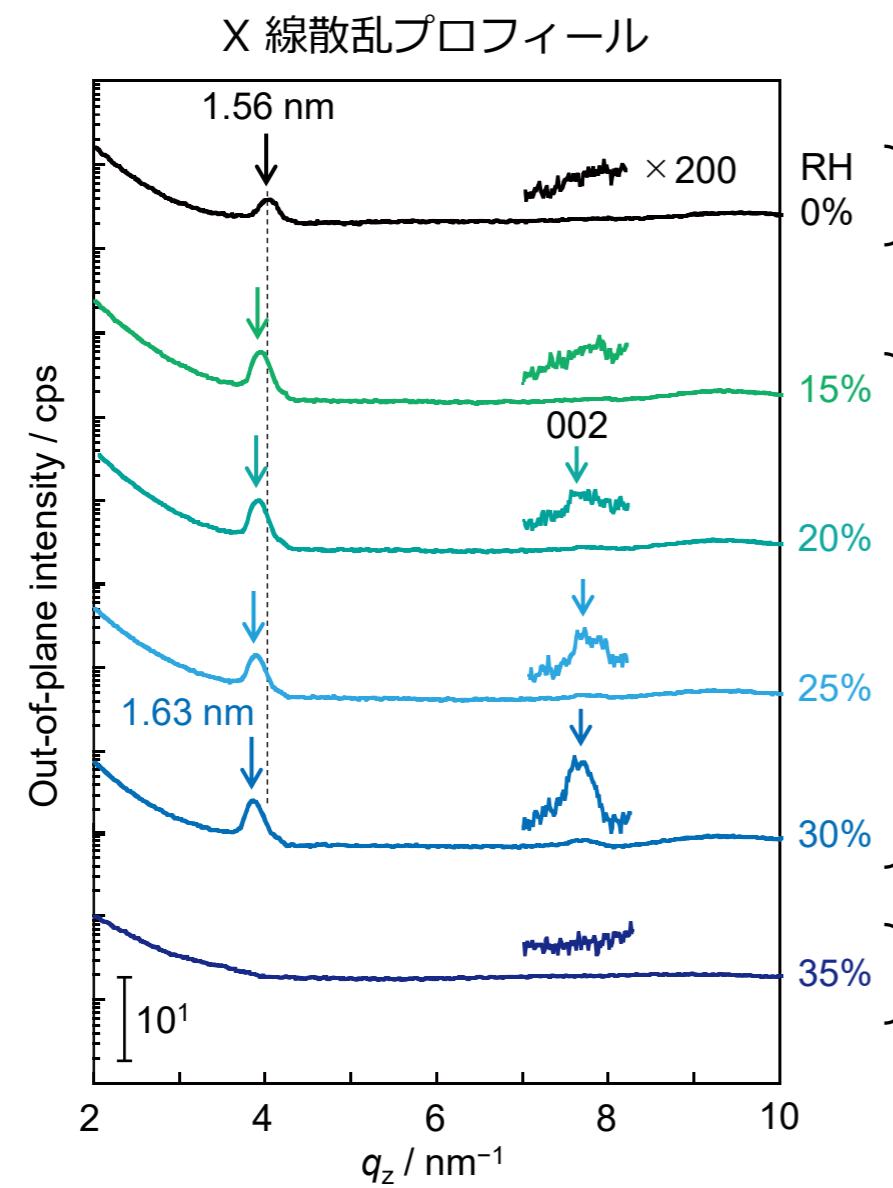


自己修復性



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

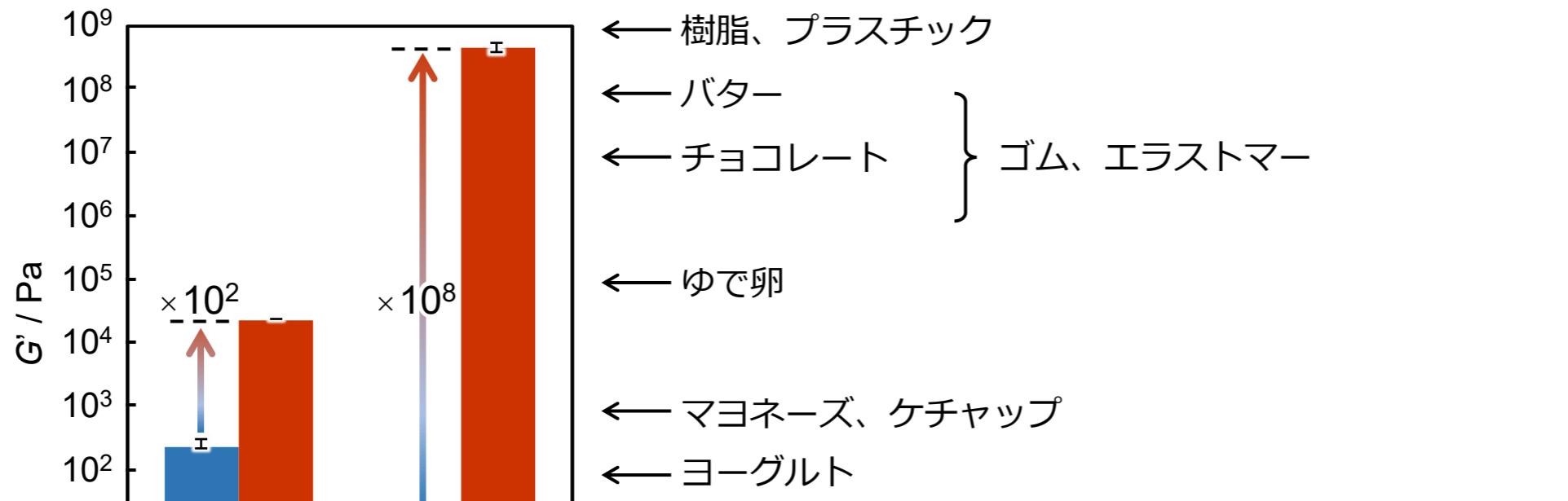


イオン架橋に基づく
リオトロピック液晶相の形成

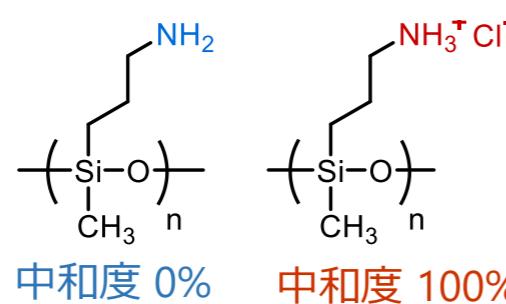
Macromolecules, 55, 4313 (2022)

貯蔵弹性率の変化

室温における貯蔵弾性率



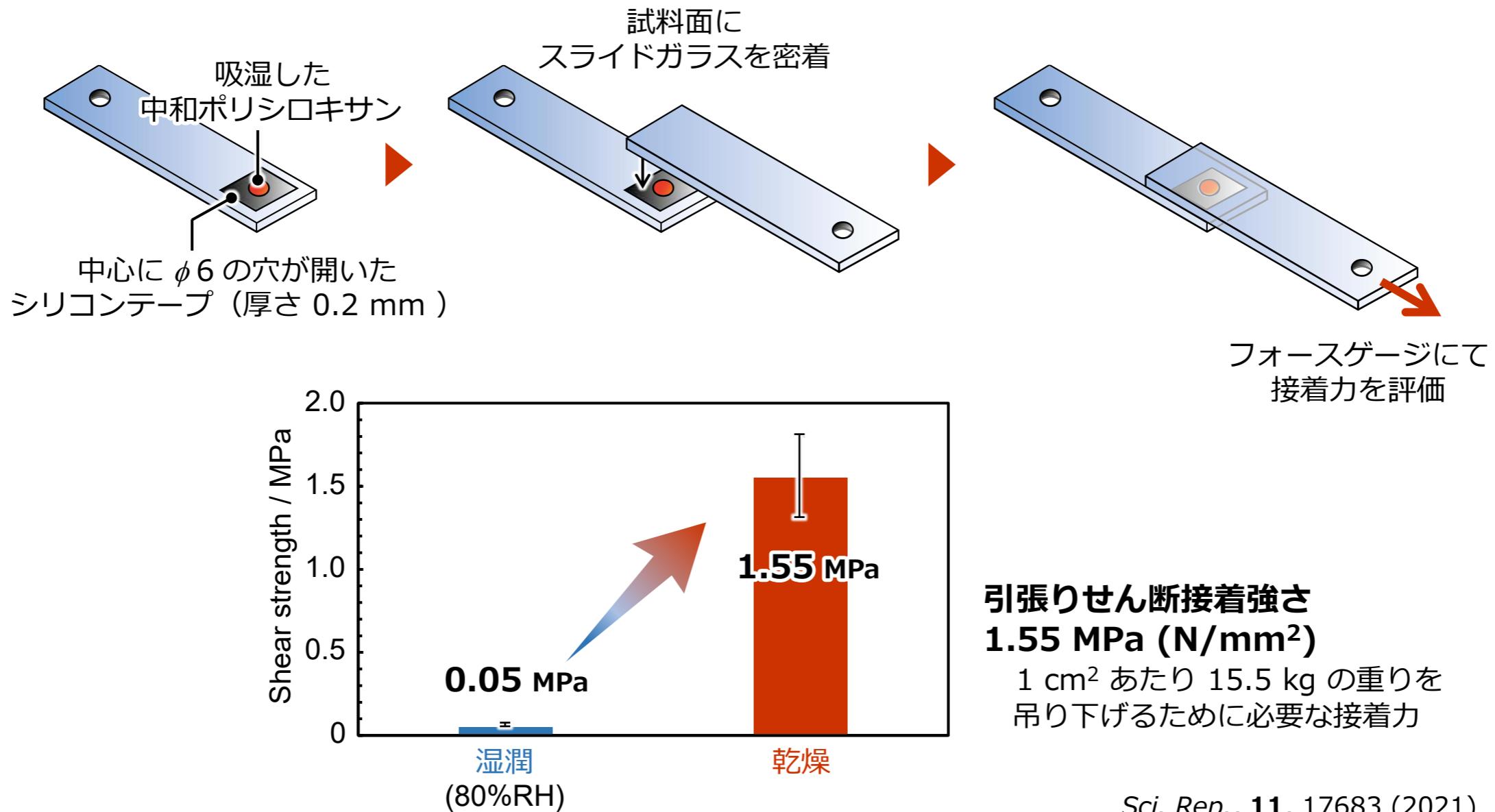
出典：増渕雄一, おもしろレオロジー, 技術評論社 (2010)



中和度 100% のポリシロキサンは 乾燥により 1 億倍も硬化

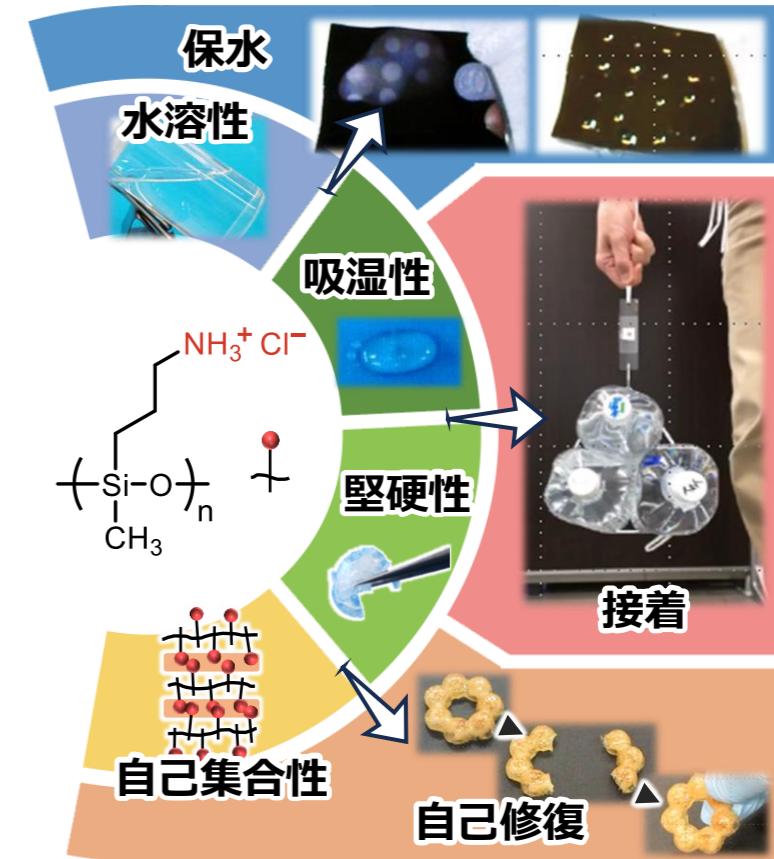
Sci. Rep., **11**, 17683 (2021)

接着剤への応用



新技術の特徴 1

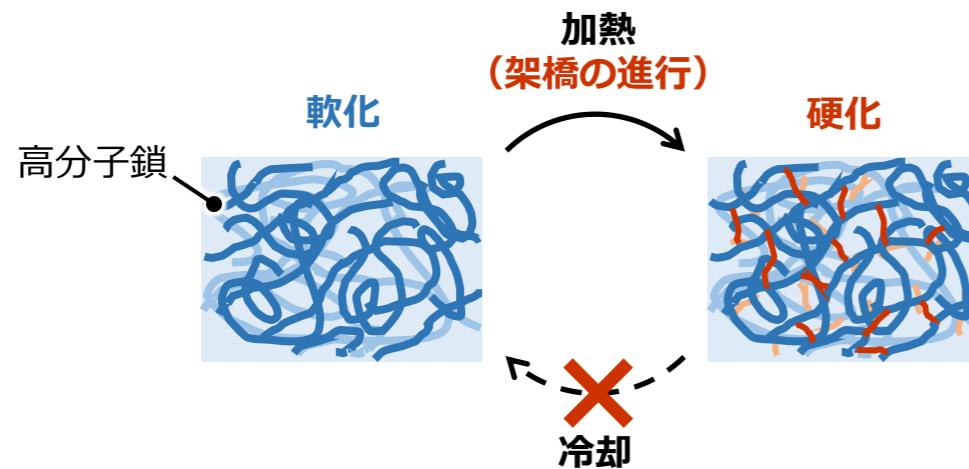
1. 水溶性のシリコーン
2. 合成が簡便
3. アニオン種の変換も可能
4. 乾燥状態と湿潤状態で弾性率が大きく変化
5. 加熱で水を蒸発させることでも硬化
6. 高温で仮固定できる水剥離型接着剤
7. 約 1.6 nm 間隔で水の流路が自発的に形成され、
その間隔は分子設計により
0.1 nm オーダーで制御可能
8. 中和度による物性のチューニングが可能



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

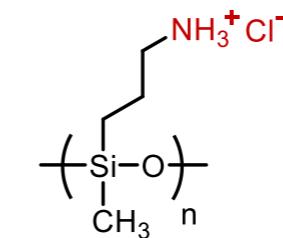
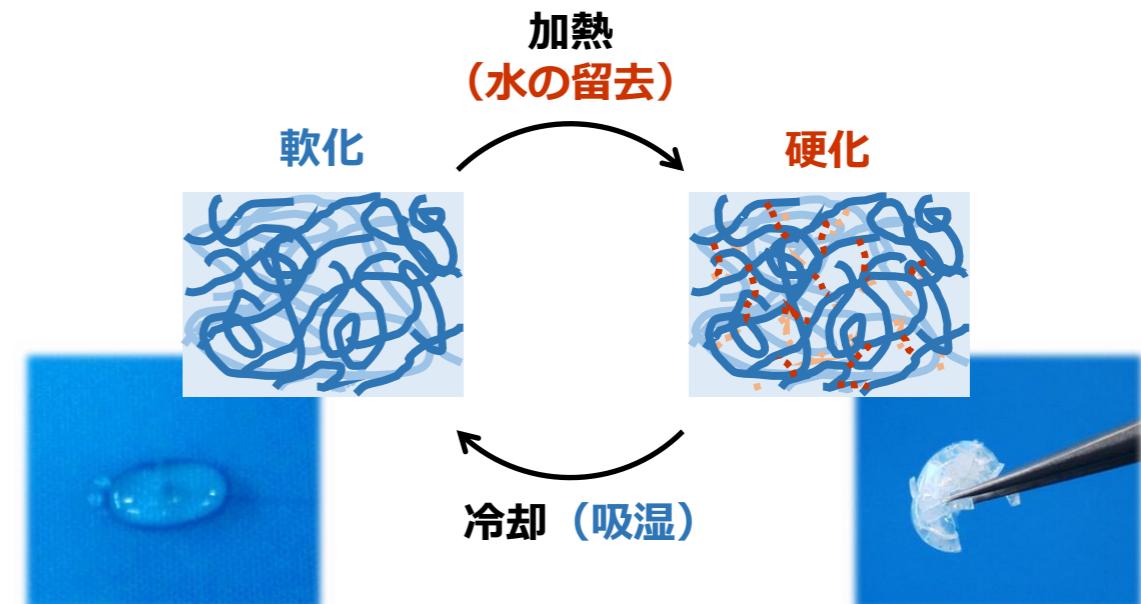
一般的な熱硬化材料



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

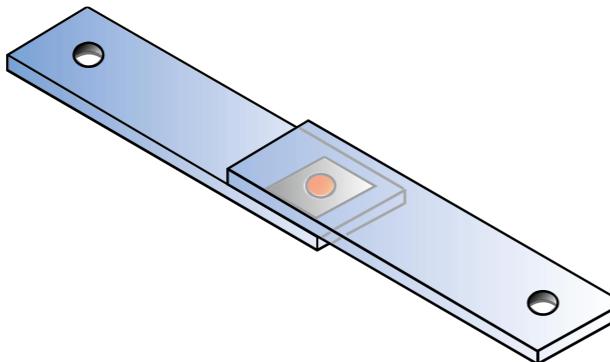


リワーク可能な熱硬化性材料

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、接着不要になつたら水洗で除去)
- **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**



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