



創発的研究支援事業

Fusion Oriented REsearch for disruptive Science and Technology

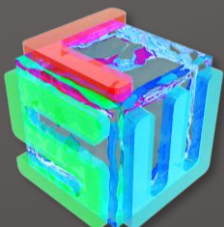
令和3年10月27日(水)

高温で瞬時に1,000倍硬くなる 新奇ソフトマテリアルの開発

野々山 貴行 准教授



北海道大学大学院先端生命科学研究院
ソフト&ウェットマター研究室



これまでの研究概要 ～ソフトマター～

ソフトマターとハードマター



ソフトマター：

主に高分子から成り、分子の自由度・運動性の高さから、特徴的な柔らかさを示すゲル（溶媒を含む）、ゴム・エラストマー（無溶媒）、液晶など

広義には、骨・歯以外の生体組織もソフトマター（特に高分子ゲル）

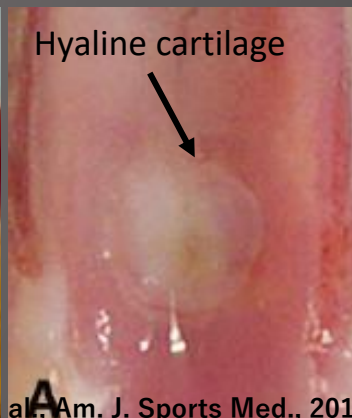
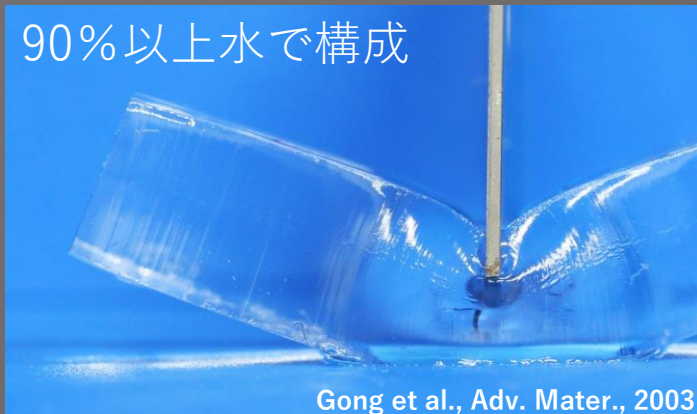
生体組織はゼリーよりもずっと丈夫 →

生体組織から学んで高靱性ゲルへ
高靱性ゲルをバイオマテリアル材料へ

これまでの研究概要

～高靱性ゲルと骨再生～

ダブルネットワーク (DN) ゲル

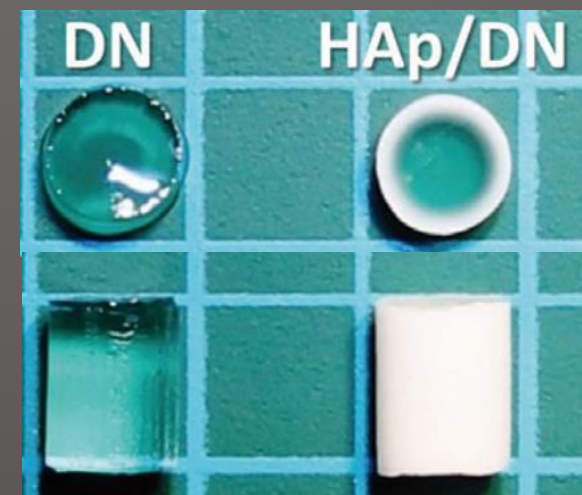


- トラックで轢いても壊れない！
- 軟骨組織と同程度の強度＝次世代軟骨代替材料
- 軟骨組織の再生＝軟骨再生医療

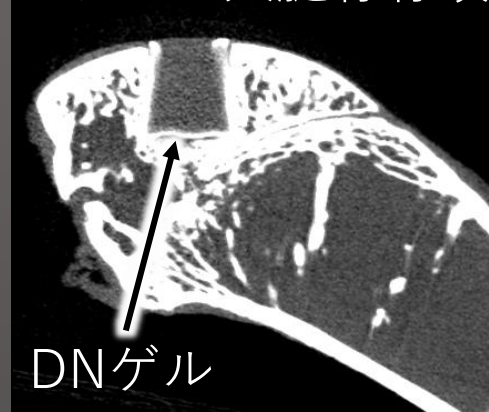
生体組織から学ぶ高靱性ゲルの開発
高靱性ゲルを医療材料へ応用

骨再生を利用した生体内ゲル固定法

ゲルはほとんど水のため医療用の接着剤で固定できず、縫合糸では裂けてしまう→生体内固定の課題



ウサギの大腿骨骨頭



Nonoyama, Wada et al., Adv. Mater., 2016

- 骨の無機成分(ハイドロキシアパタイト, HAp)との複合
- ゲルの内部まで骨再生が進展し、骨との融合
- 軟骨組織と同様の自然な接着形態
- 毒性のない強固な接着技術の確立

あらゆるゲル材料に普遍的な接着技術

企業との人工軟骨の開発へ

一般的な高分子の熱的性質

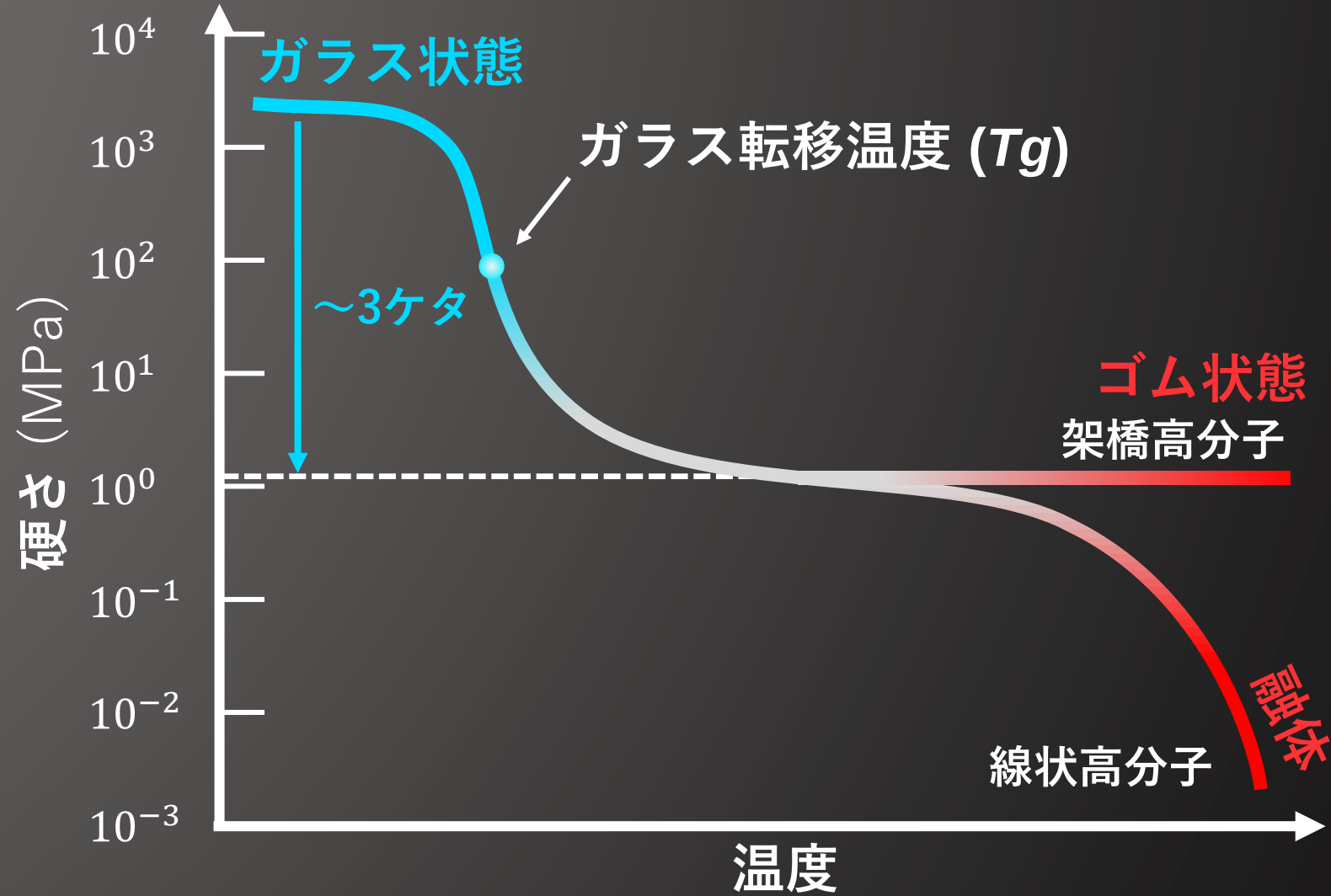
高分子製品



ガラス状態

$\Delta T \downarrow$

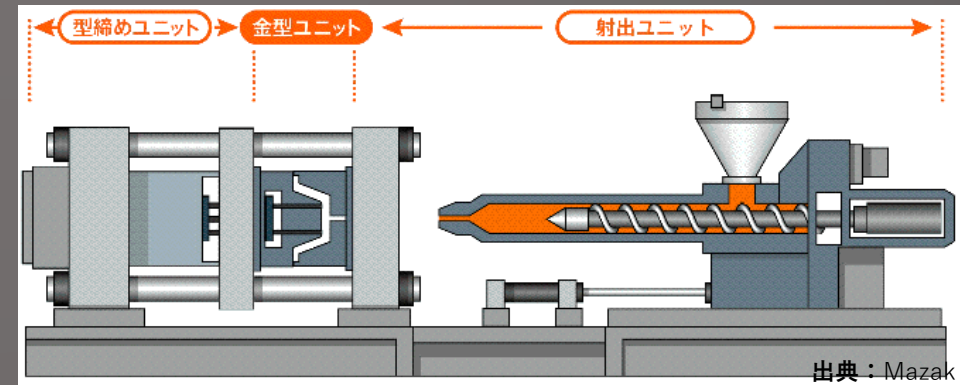
ゴム状態



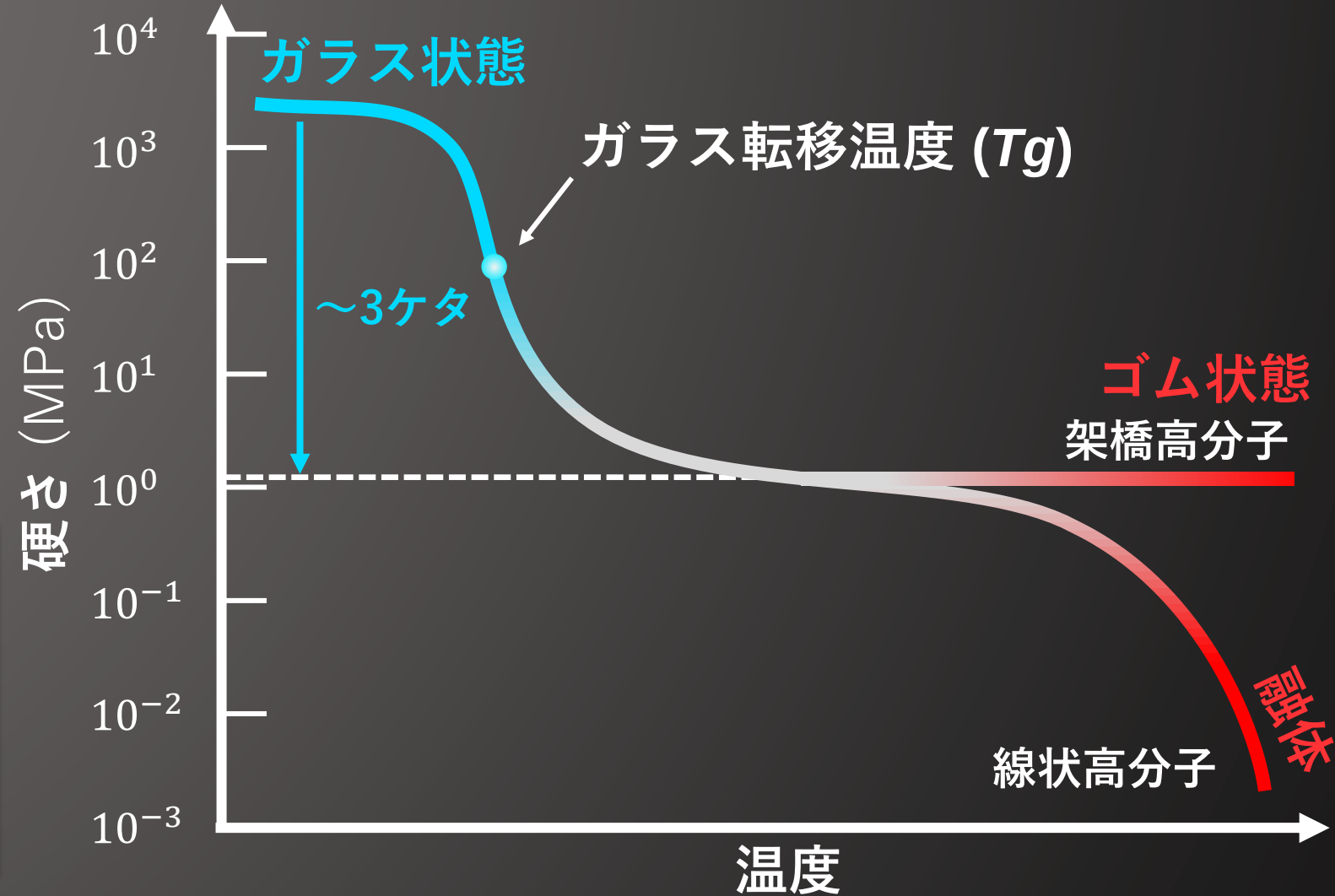
一般的な高分子（プラスチック）は T_g を境に高温で柔らかくなる

一般的な高分子の熱的性質

利点：大量生産・自由成型



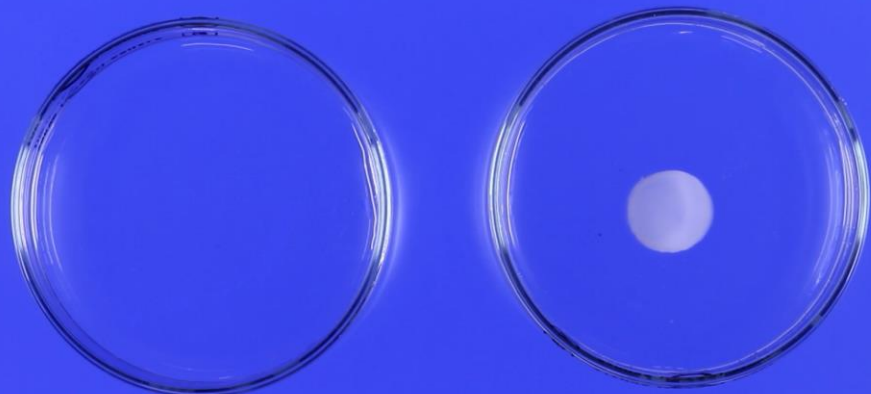
課題：高温下での使用制約



高温軟化は高分子に普遍的な性質のため、既存の高分子材料では解決できない…

熱で1000倍(以上)硬くなる高分子ゲルの発見

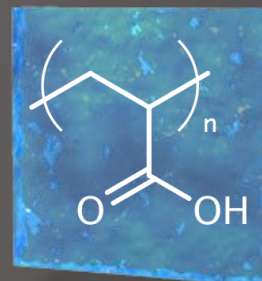
極限相分離(XPS)ゲル



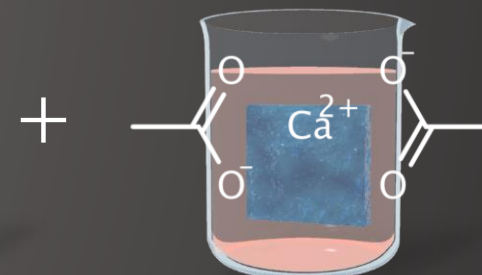
20 °C

60 °C

Nonoyama et al., Adv Mater., 2020



ポリアクリル酸ゲル
(PAAc)



酢酸カルシウム
(CaAc)

安価な原料を
混ぜるだけ！

- どちらも食品添加物に使われるほど毒性が低い
- 瞬時に最大1,800倍以上の硬さ変化(ゼリー→樹脂に相当)
- 何度でも繰り返し硬化・軟化可能

単に硬くなるだけではなく、**高温でゴム状態からガラス状態に転移**

→ 3桁以上の硬さのジャンプを達成！

高分子科学が始まって100年の歴史の中で初めて逆の転移現象を発見
(1920年にH.シュタウディンガーが当時は異端とされていた高分子説を提唱)

→ これまでにない高分子材料の新しい応用へ



1881-1965

H.シュタウディンガー
(高分子科学の祖)

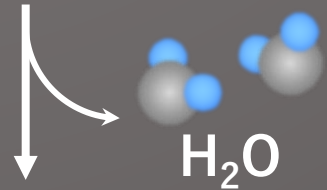
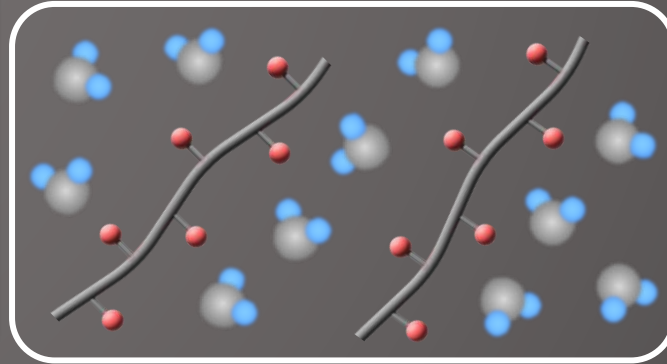
どうして高温で硬くなるのか(推定)

含水・柔らかい



出典: Ameba

分子間に水分子が存在

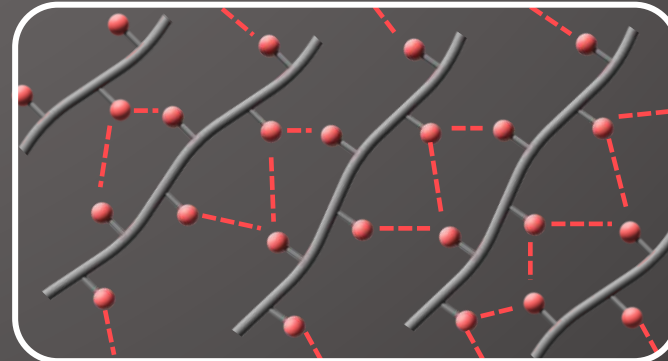


乾燥・硬い

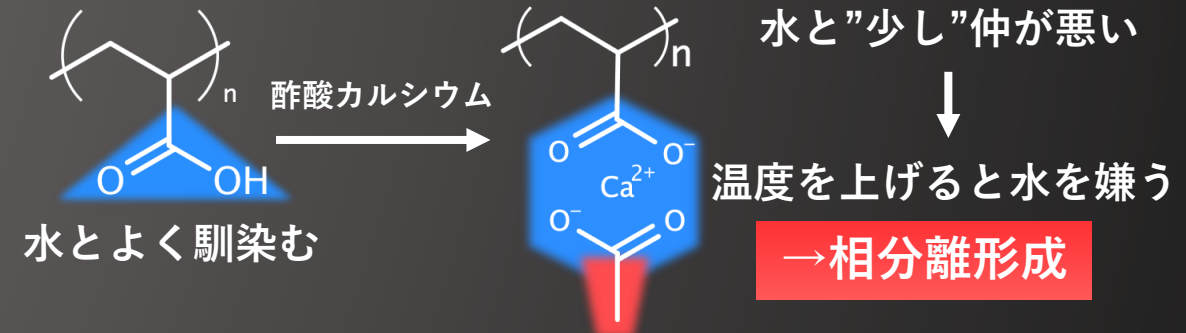


出典: 旭化成

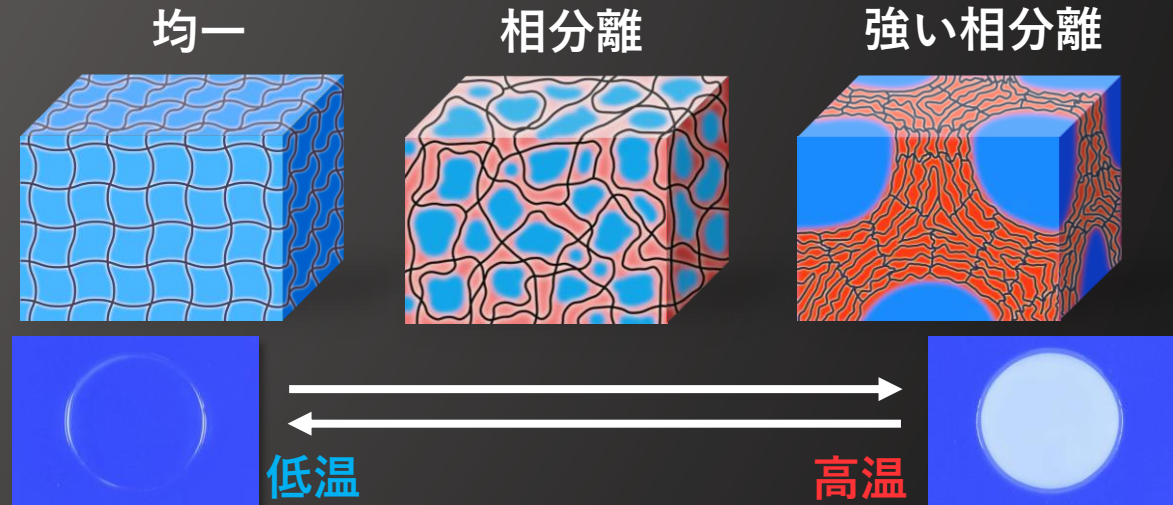
分子間の相互作用が強まる



塩との相互作用による高分子の性状変化



強い相分離による超ドライ/ウェット領域の共存

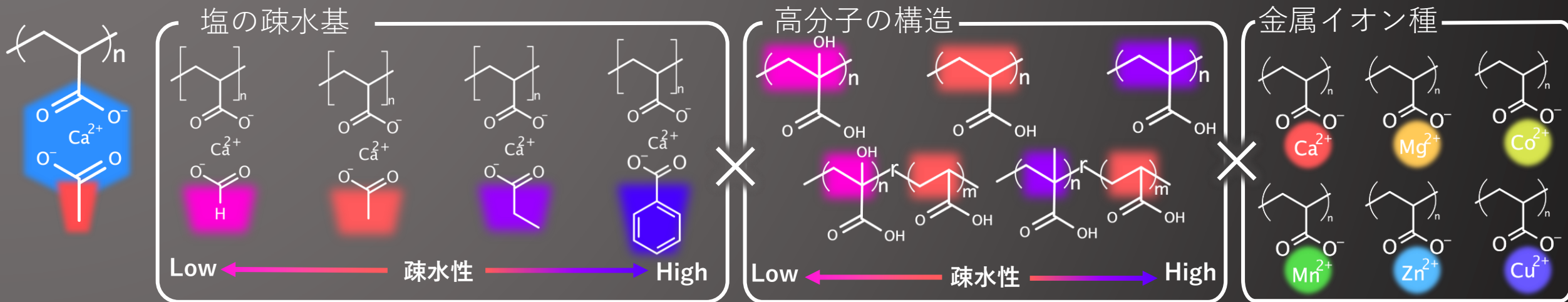


部分的に乾燥するが材料全体として水を失わない!
温度変化だけで元の状態に戻せる!

この研究で目指すところ

ゴム－ガラス転移のメカニズム解明・普遍性へ

①ポリアクリル酸－酢酸カルシウム基本骨格の普遍性



- ・ 物理化学的に現象を説明し、目的に合わせて転移温度や硬さの変化を自在に制御
- ・ 金属イオン種、高分子化学種による、さらなる機能性の追加

②溶媒のないゴム・エラストマーへの展開

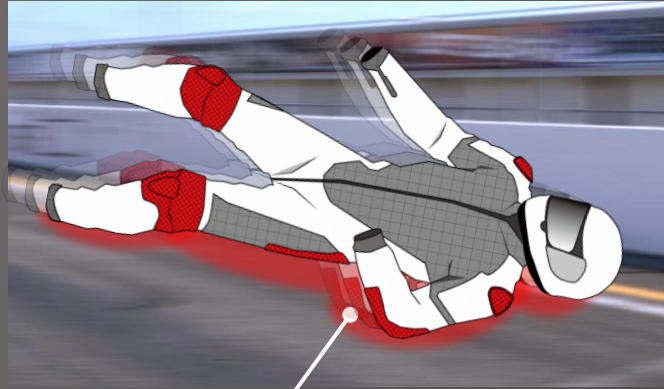
- ・ 上記の材料は、すべてハイドロゲル → 水がなければ機能は失われる・乾燥による応用への制約
- ・ 高分子により根本的なガラス転移に注目、ゲル・ゴムに関わらず広く普遍的に説明可能なメカニズムの解明

→ 高温で硬くなるゴム材料ができれば、応用の範囲は絶大！

何に使えるか ～熱硬化～

① 熱応答性スマートプロテクター

通常時は柔らかく動きを妨げない



摩擦熱による硬化

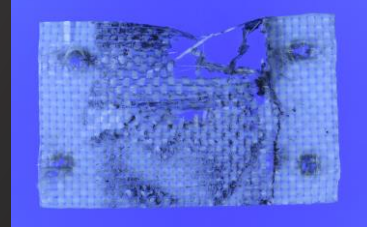
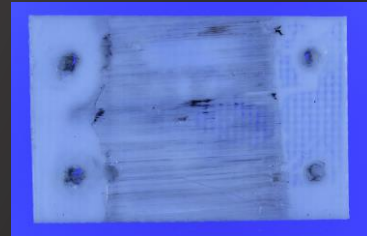
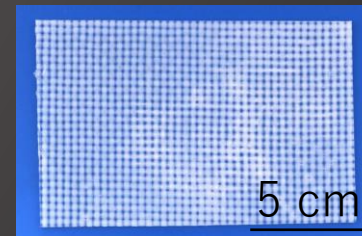
摩擦耐性テスト@レーシングサーキット



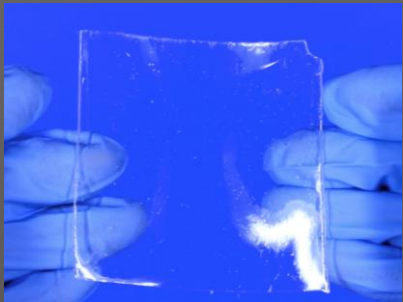
テスト前

テスト後

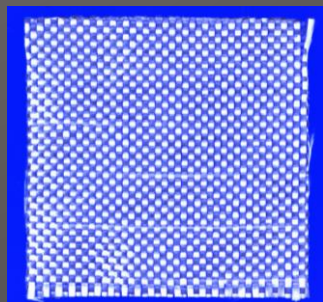
本材料
比較材料



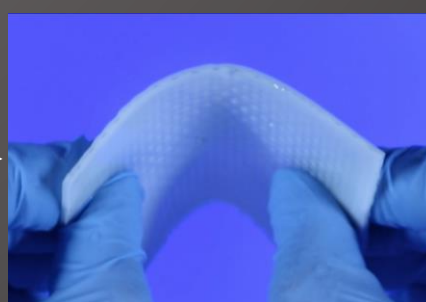
XPSゲル



ガラス繊維布

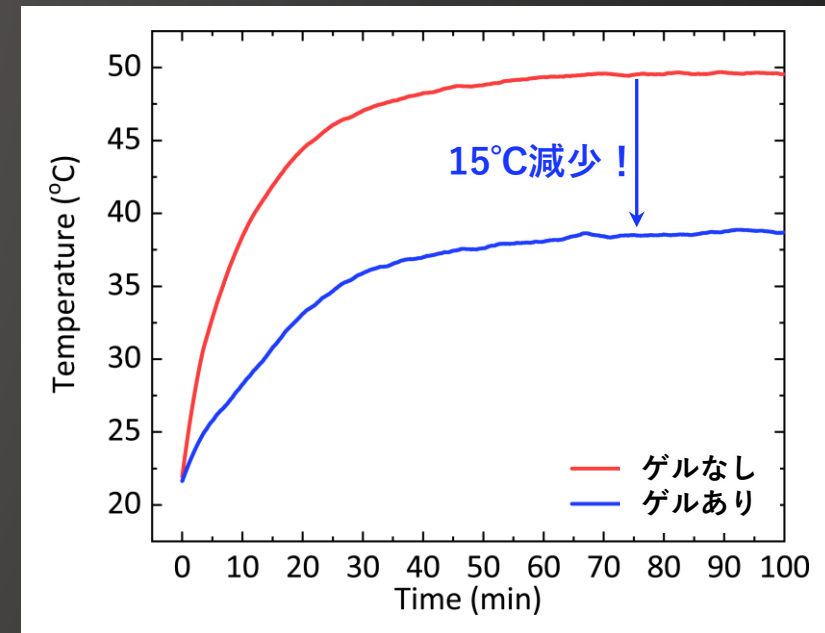
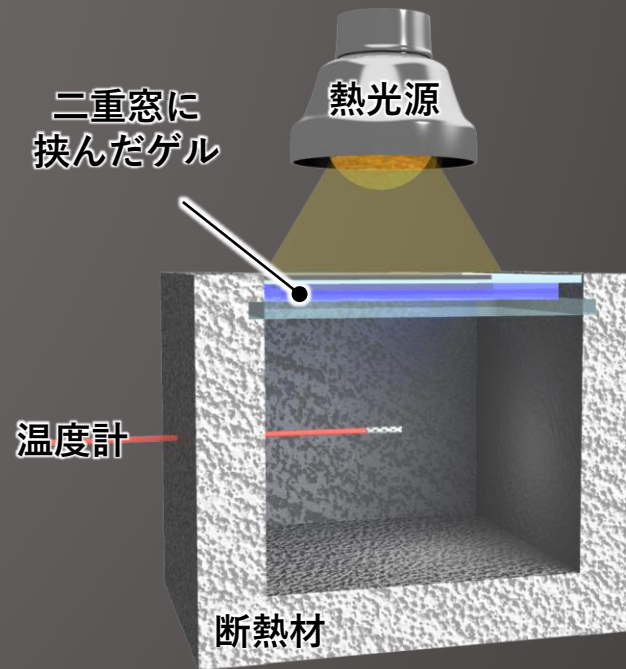
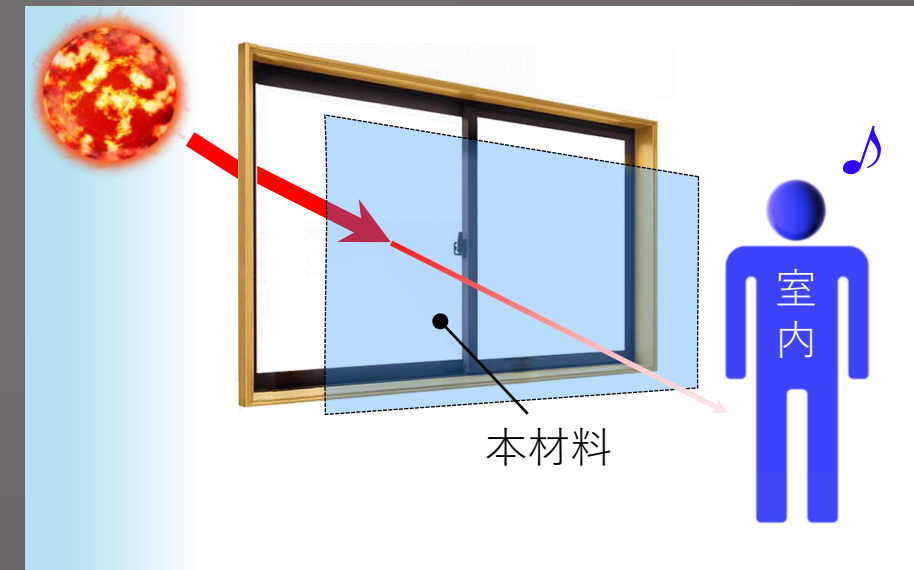


複合シート



何に使えるか ～吸熱材～

②省エネ恒温建材



③その他自動車分野、医療分野の2社と共同研究を進行中



ゴム－ガラス転移の原理・仕組みを解明し、唯一無二の新材料をもって、
私たちの生活・地球環境・宇宙開発に貢献したい！