

アルギン酸で強靱化した サステイナブルゴム材料の開発

関西大学 化学生命工学部 化学・物質工学科
准教授 曾川 洋光

2025年9月18日

環境調和型高分子材料（バイオプラスチック）

環境負荷を低減しつつ，従来高分子材料と同等以上の性能を持つことを目的とした材料

バイオマスプラスチック

原料にバイオマス資源を使用

バイオPE
バイオPP
バイオPET

ポリ乳酸（PLA）
ポリヒドロキシ
アルカン酸（PHA）

生分解性プラスチック

微生物等の働きによって分解

ポリブチレンサクシネート（PBS）
セルロース・デンプン由来プラスチック



バイオマス由来であっても，生分解性を持たないものもある

循環型社会の実現のため，これら新材料の開発が必須

1. 陸上植物由来

セルロース, リグニン, デンプン, 植物油脂 など

2. 藻類由来

アルギン酸, カラギーナン, アガロース, 藻類油脂 など

3. 動物由来

キチン・キトサン, ゼラチン, コラーゲン, 動物油脂 など

4. 微生物由来

ポリヒドロキシアルカン酸, セルロース (バクテリアセルロース),
酵母バイオマス など

廃棄・非可食バイオマスを効率良く利用するのが大事

コーヒーかす, 卵殻, 果物の皮, 米ぬか, 麦わら等

藻類バイオマス利用のメリット

成長速度：短期間での大量生産が可能

土地利用：海上が利用可能（耕作地との競合がない）

非可食性：大部分が人間の食料ではない

資源多様性：様々な有用物質を生産可能

藻類バイオマスのデメリット

生産コストが高い（設備費用，収穫・乾燥・抽出工程等）

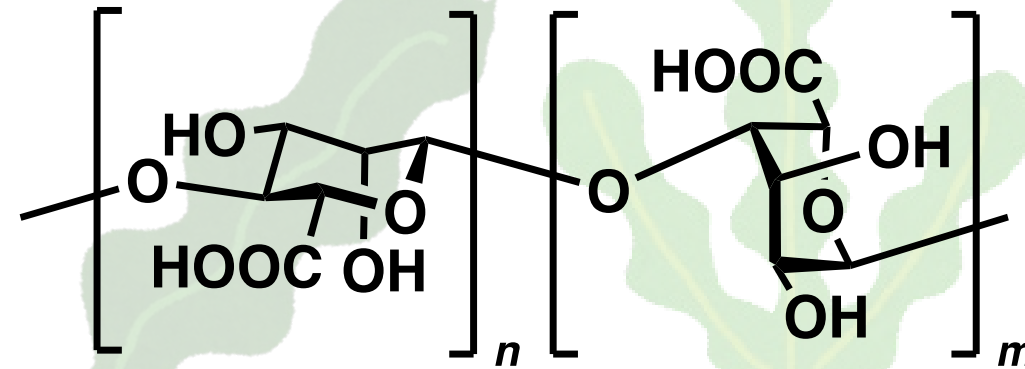
生産効率が不安定（天気，気温，日射量の影響等）

用途拡充による藻類バイオマスの高付加価値が重要

従来の用途展開

S. N. Pawar, K. J. Edgar, *Biomaterials*,
2012, 33, 3279–3305.

食品 医薬品 化粧品



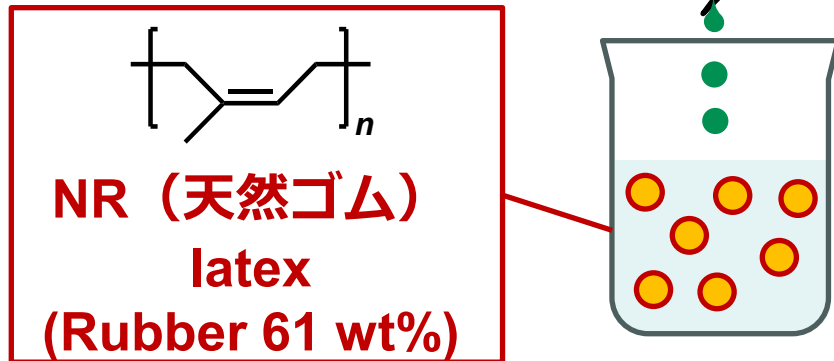
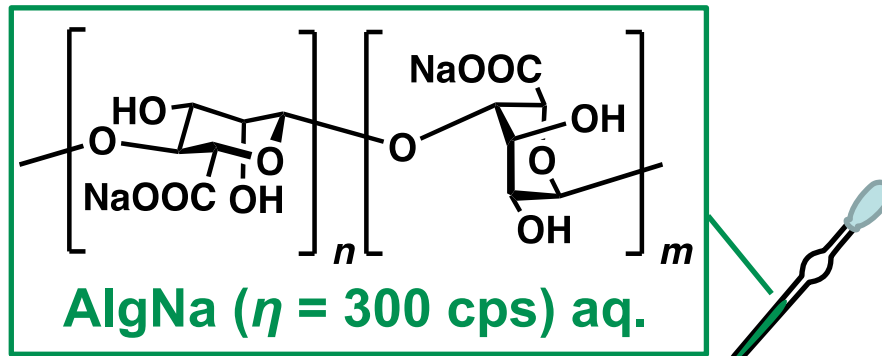
アルギン酸: Alg
(藻類由来高分子多糖)

本研究での展開

接着剤

ゴム複合材料

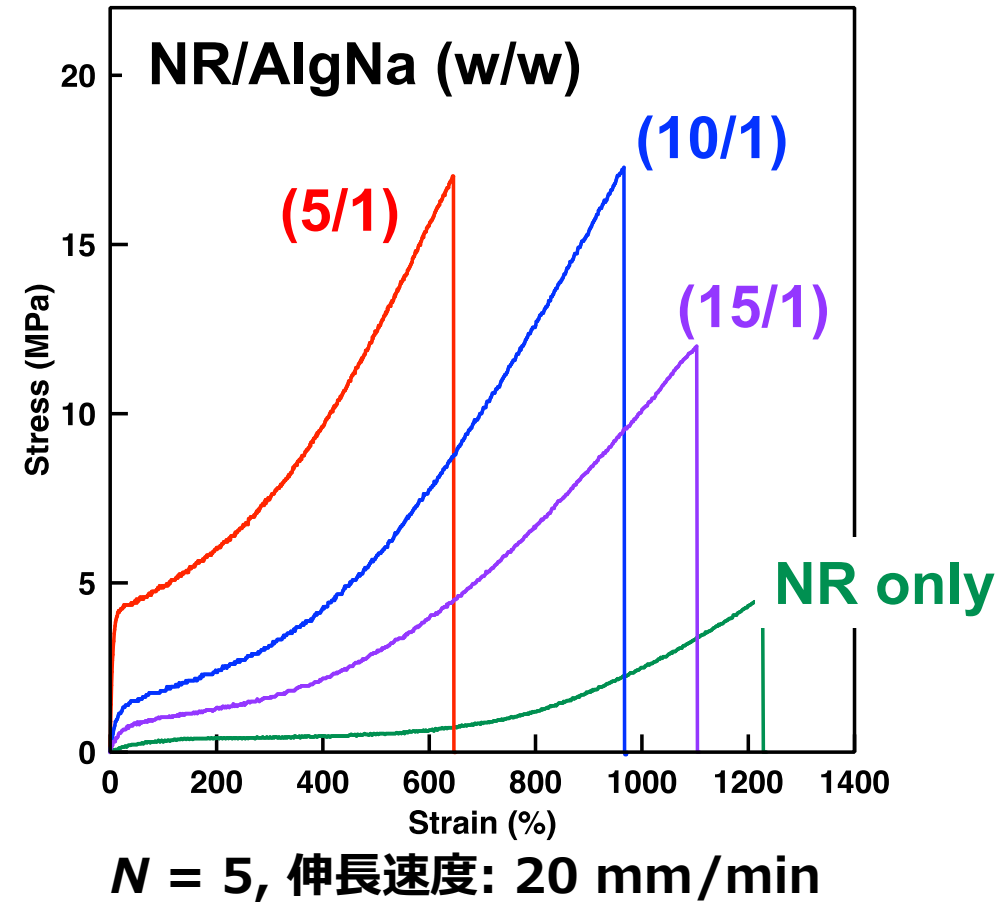
NR/Alg複合材料



乾燥
r.t.

NR/AlgNa (300 cps) = 5/1

NR/Alg複合ゴム



未加硫の状態ながらも，優れた力学特性を発現

ゴム材料の複合化

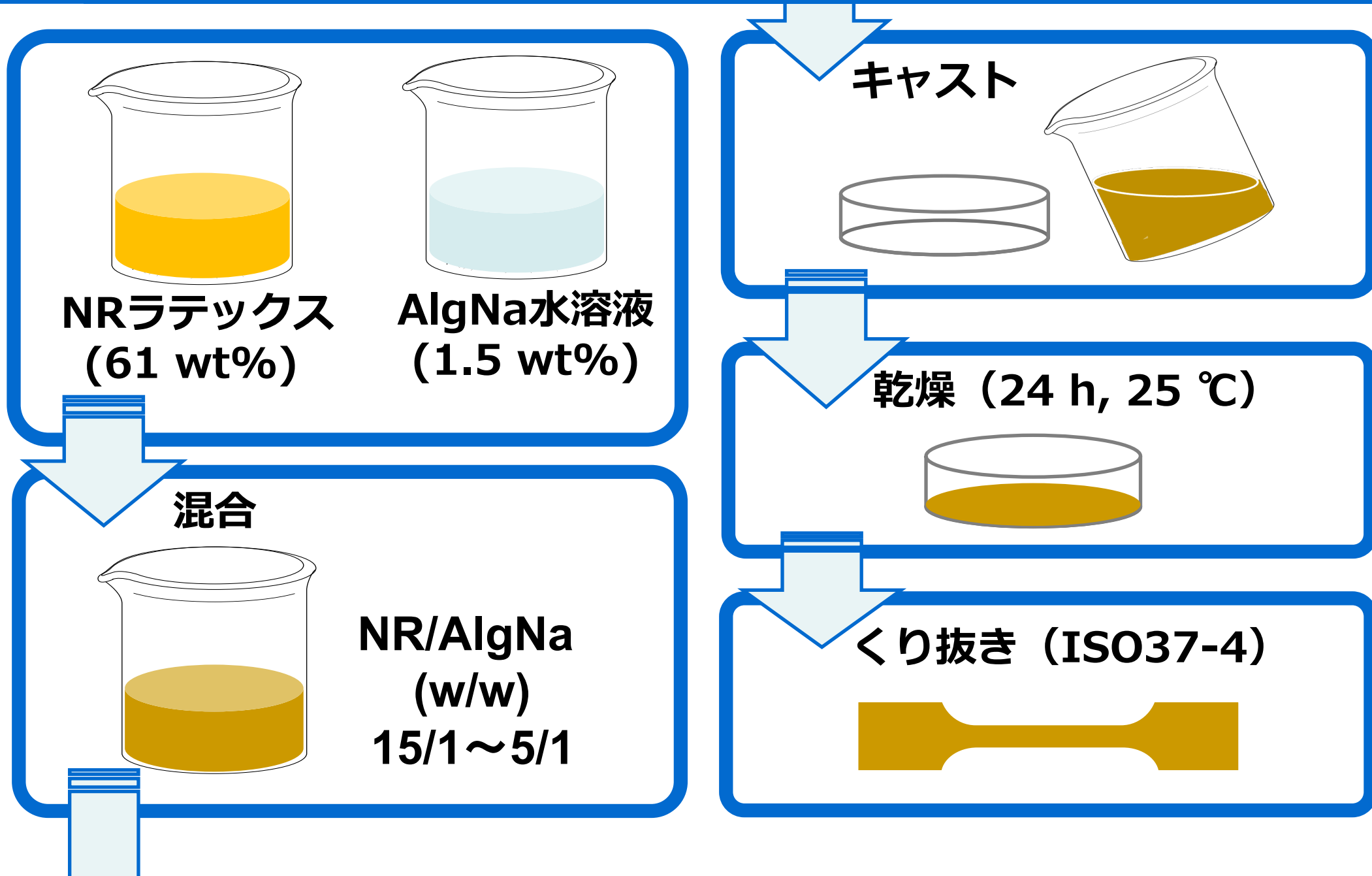
従来技術

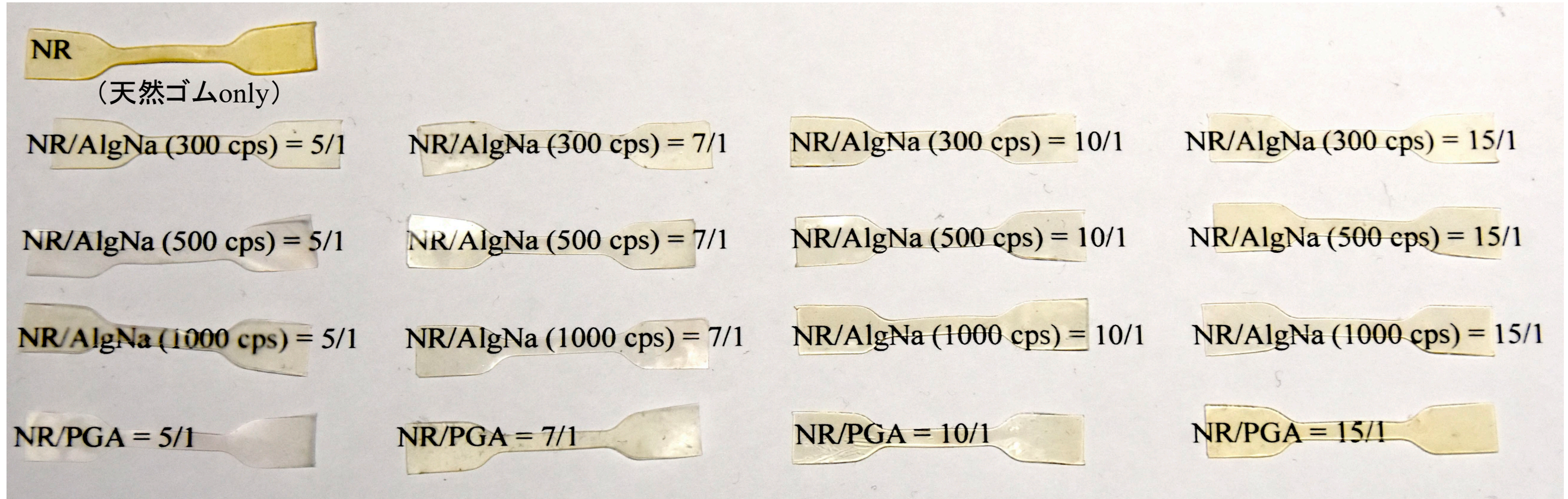
固相系（ドライ系）で加熱により複合
溶液混合法もあるが、有機溶剤を使用
加硫等による架橋構造の形成により不溶化

新技術の特徴

常温での混合攪拌・乾燥が可能
水のみを使用し、有機溶剤を用いない
未加硫状態であるため、使用後にゴム成分が溶解可能
（リサイクル性に優れる）

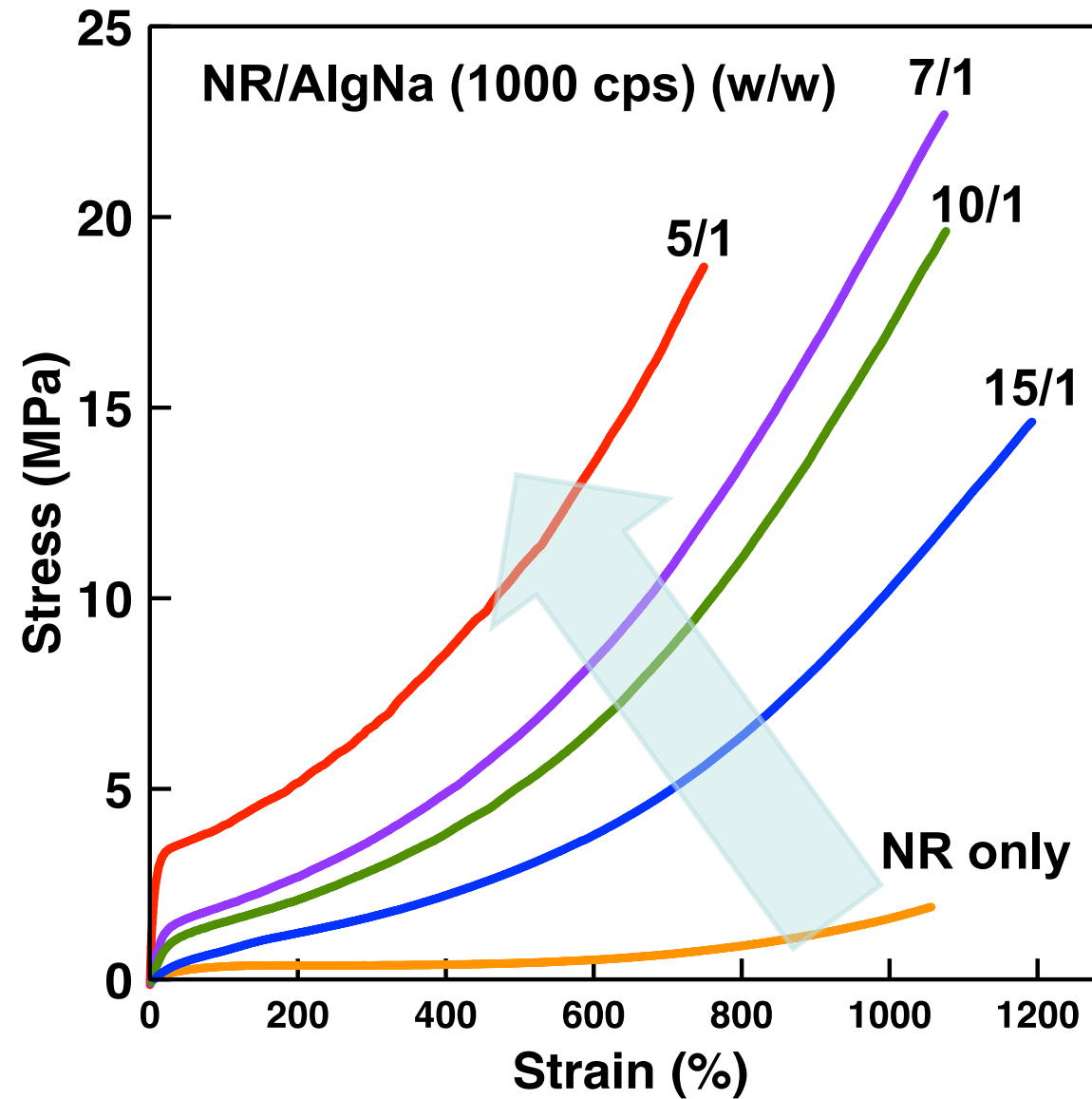
サンプル調製





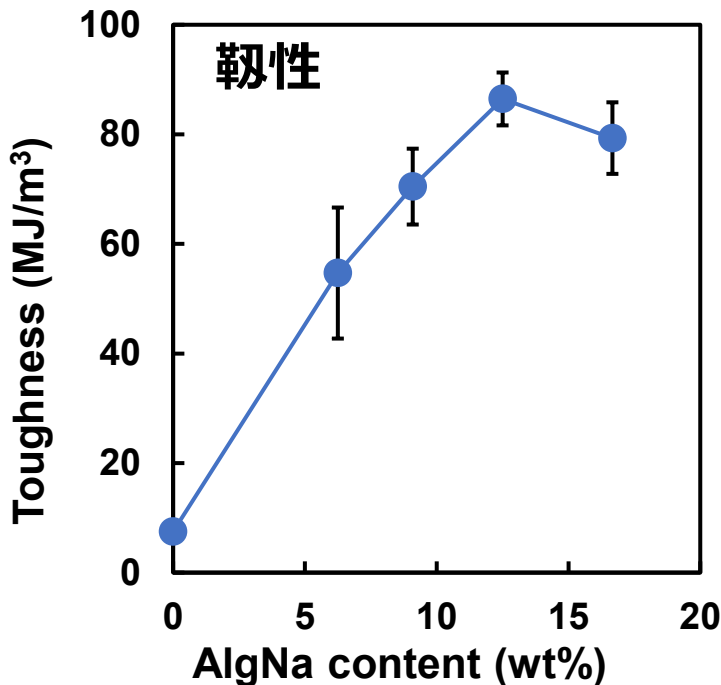
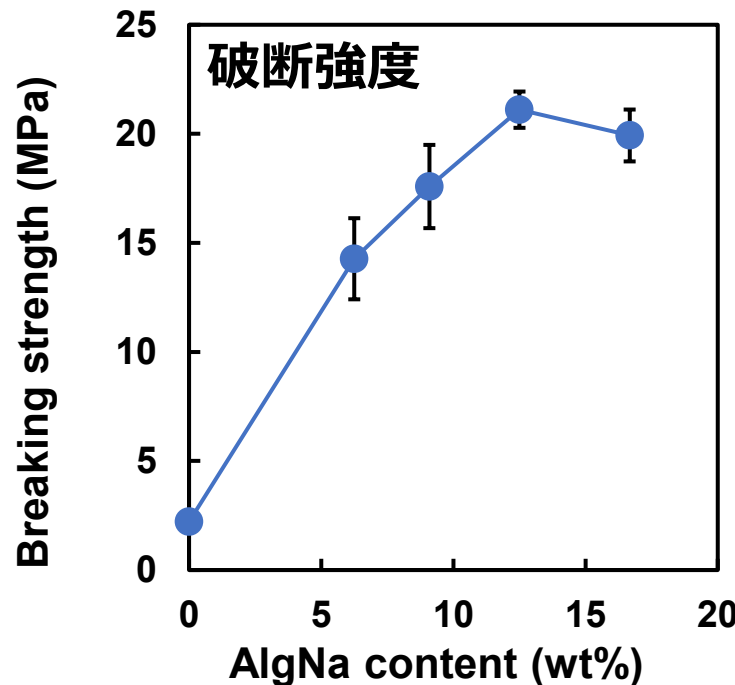
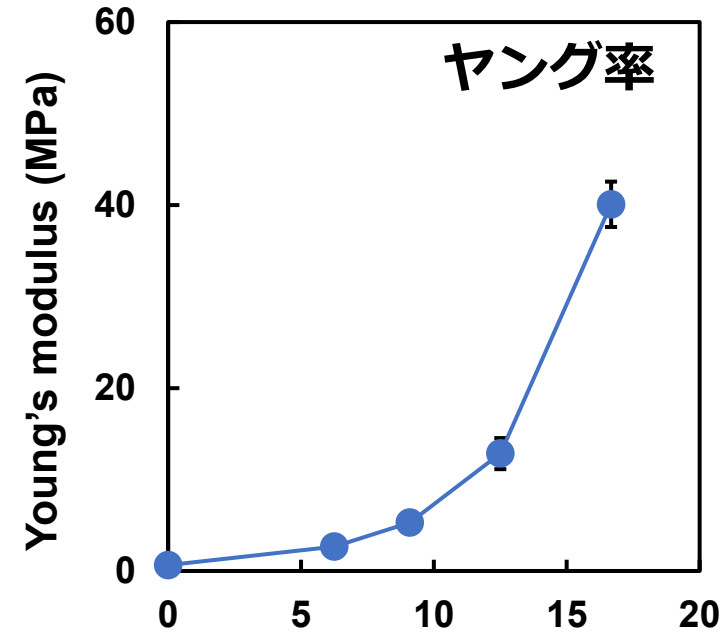
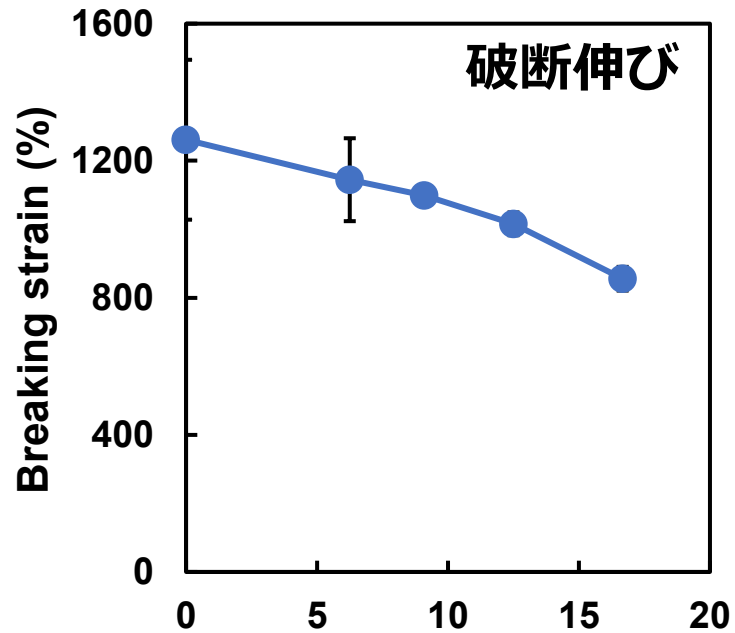
膜厚: 182–697 μm
(NR only: 1229 μm)

応力-ひずみ曲線



$N = 5$, 伸長速度: 20 mm/min

各力学パラメータ



破断伸び : 800–1200%

破断強度 : ≈ 20 MPa

ヤング率 : 0.3–40 MPa

靱性 : ≈ 80 MJ/m³

一定の比率で靱性は最大値を示す

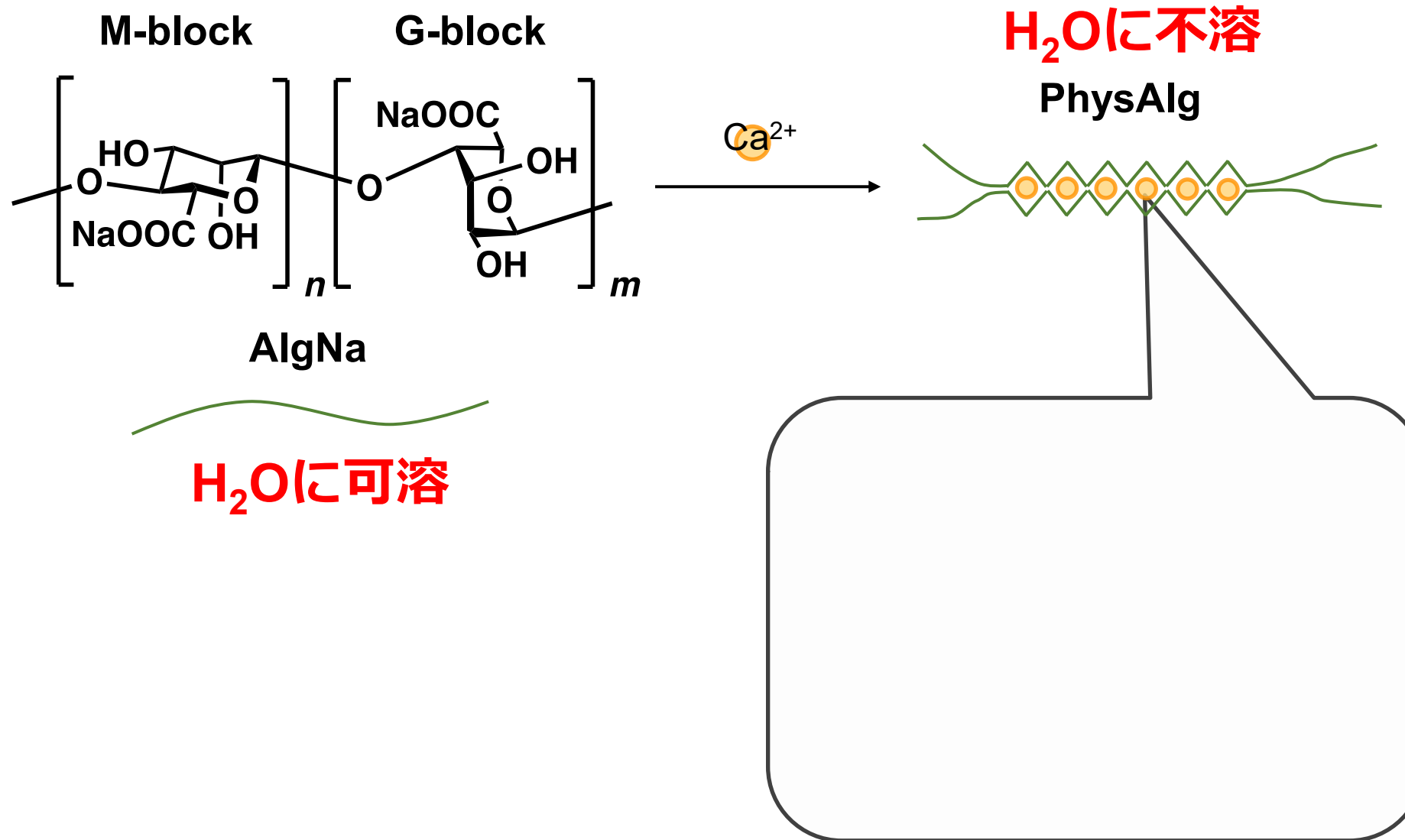
力学強度を混合比で調整可能

(水による影響を受けやすい)

(ヒステリシスロスは大い)

2つのアプローチでの改善

Algのイオン応答性

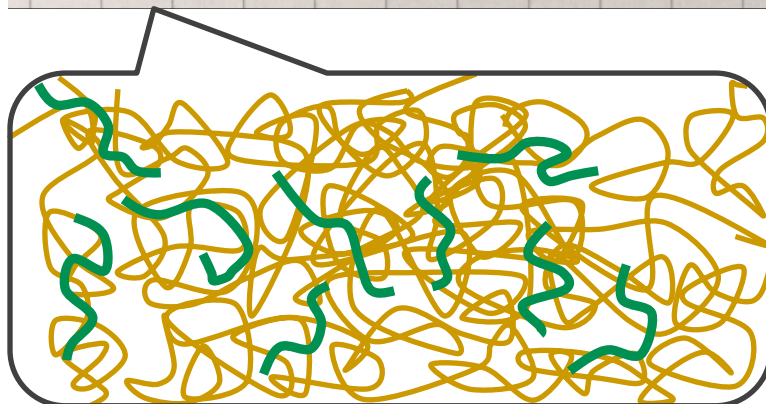
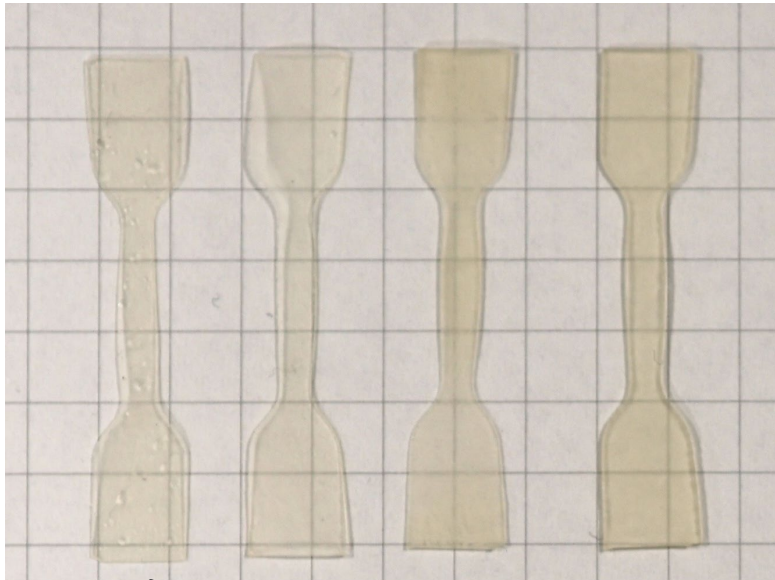


F. Wan and coworkers, *Carbohydr. Polym.*, **2021**, 267, 118167.

Algのイオン応答性

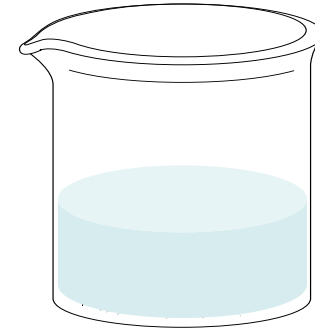
NR/AlgNa (w/w)

5/1 7/1 10/1 15/1



NR

AlgNa

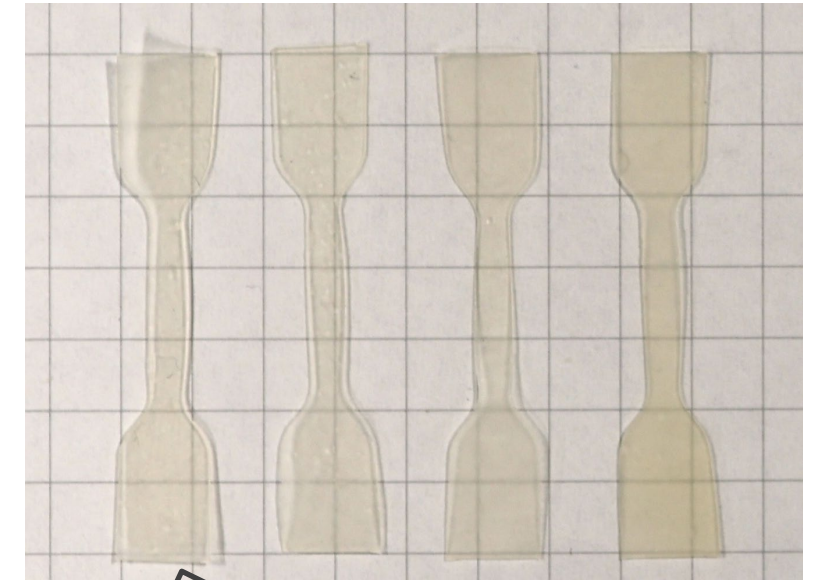


1 M CaCl_2 aq.

イオン交換

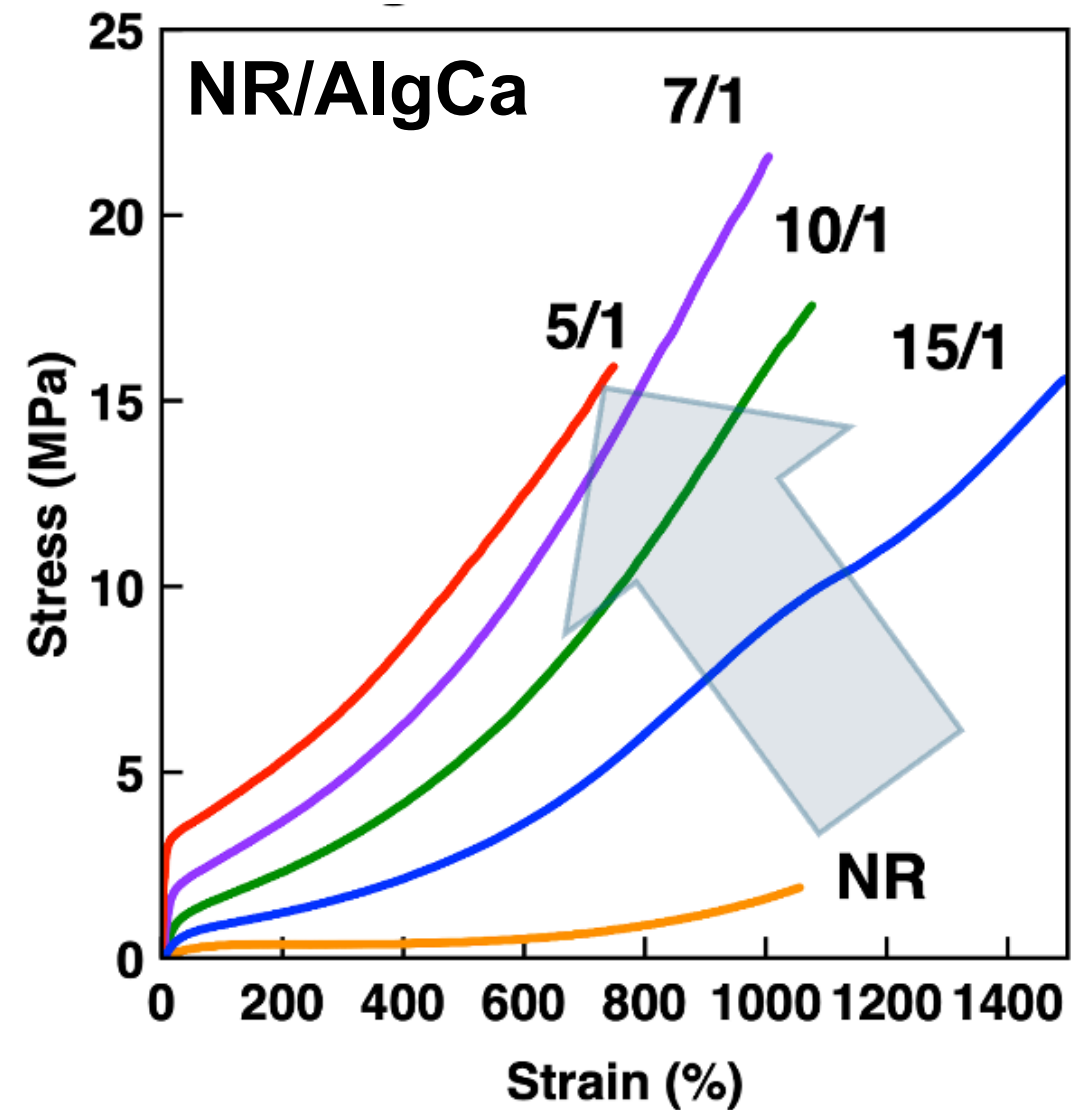
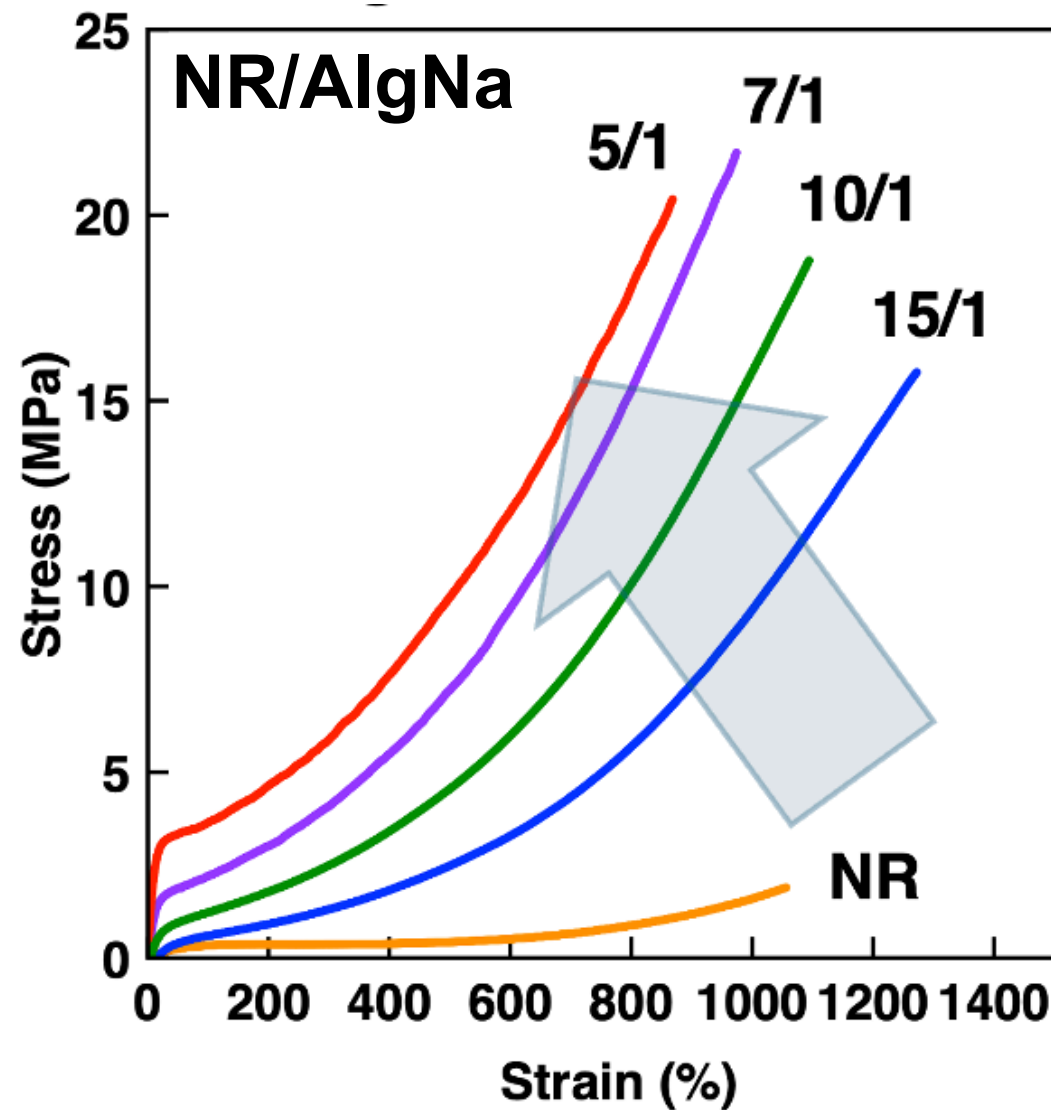
NR/AlgCa (w/w)

5/1 7/1 10/1 15/1



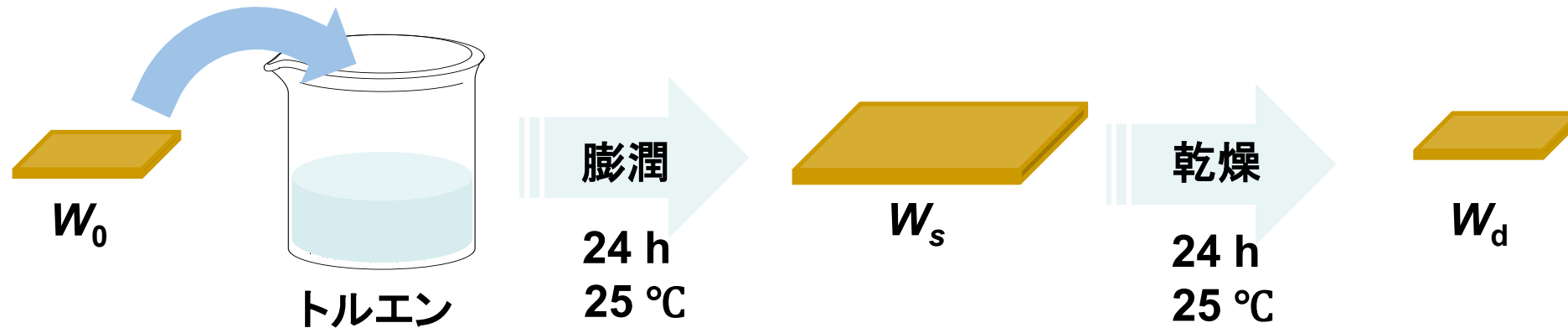
Ca^{2+}

NR/AlgCaの力学強度



NR/AlgCaもNR/AlgNaと同様の力学挙動を示す

耐溶剤性の向上

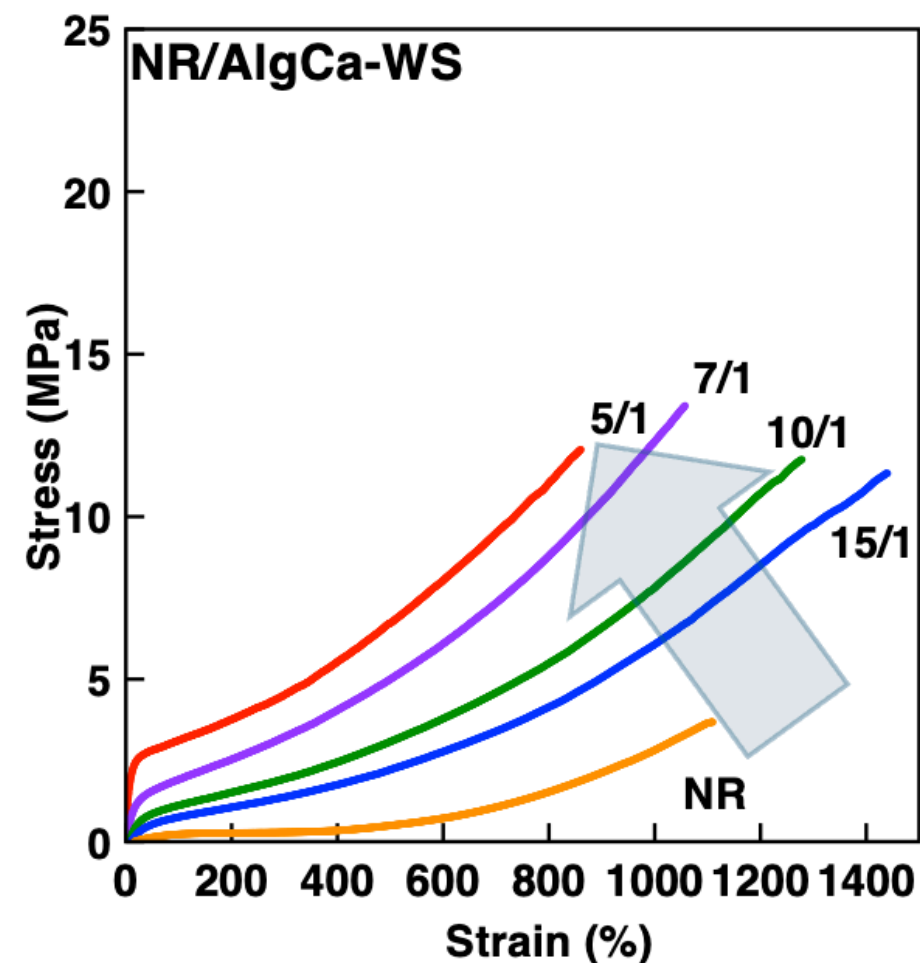
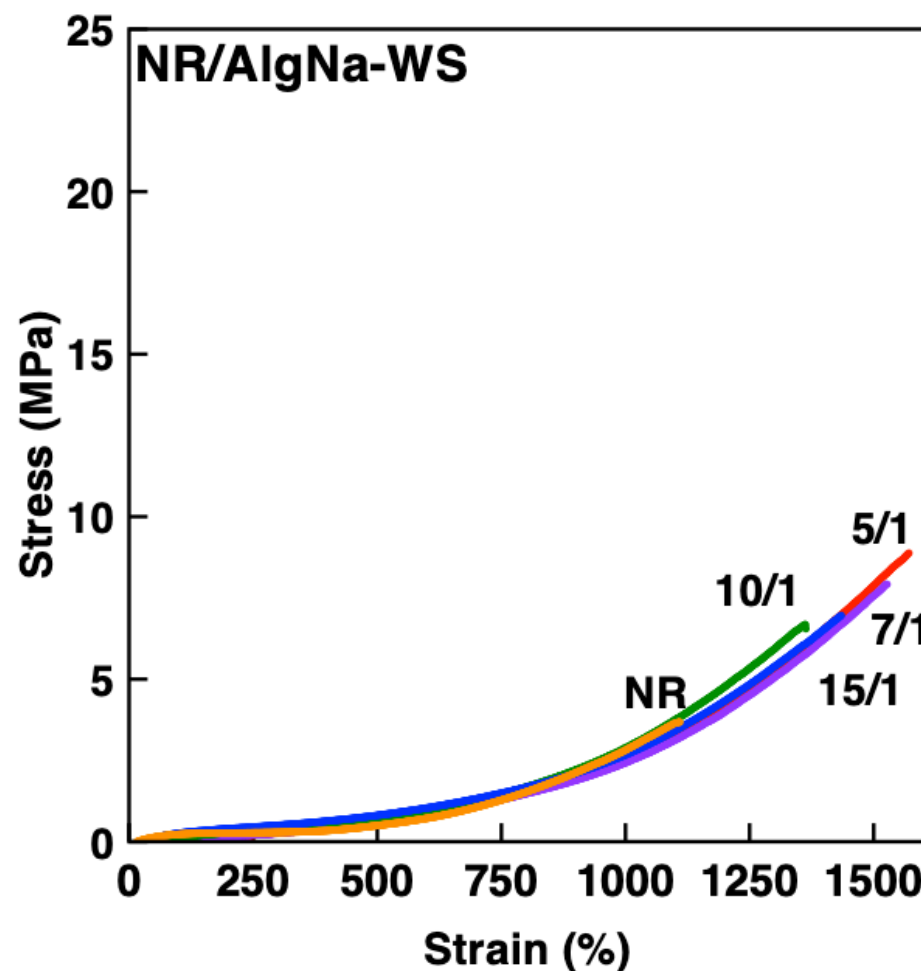
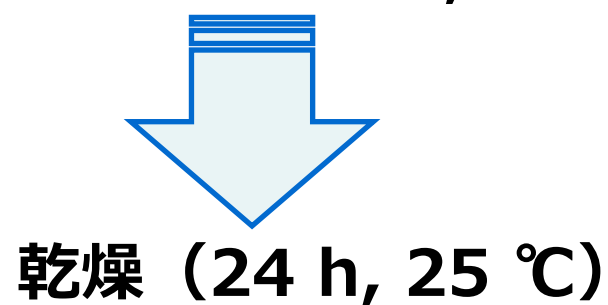
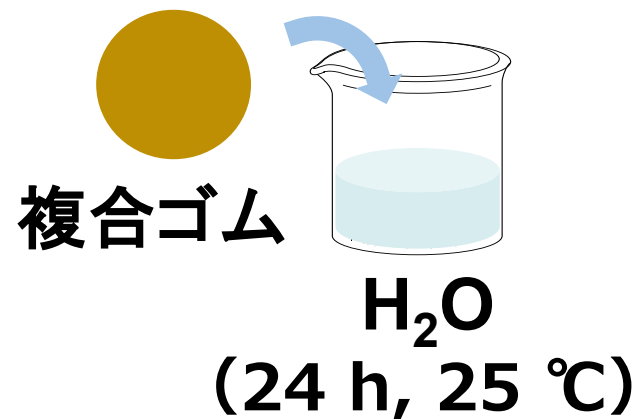


Sample (w/w) (7/1)	ゲル分率 (%)	膨潤率 (%)
1.NR	61	5500
2.NR/AlgNa	77	960
3.NR/AlgCa	90	760

$$\text{ゲル分率 (\%)} = \frac{W_d}{W_0} \times 100$$

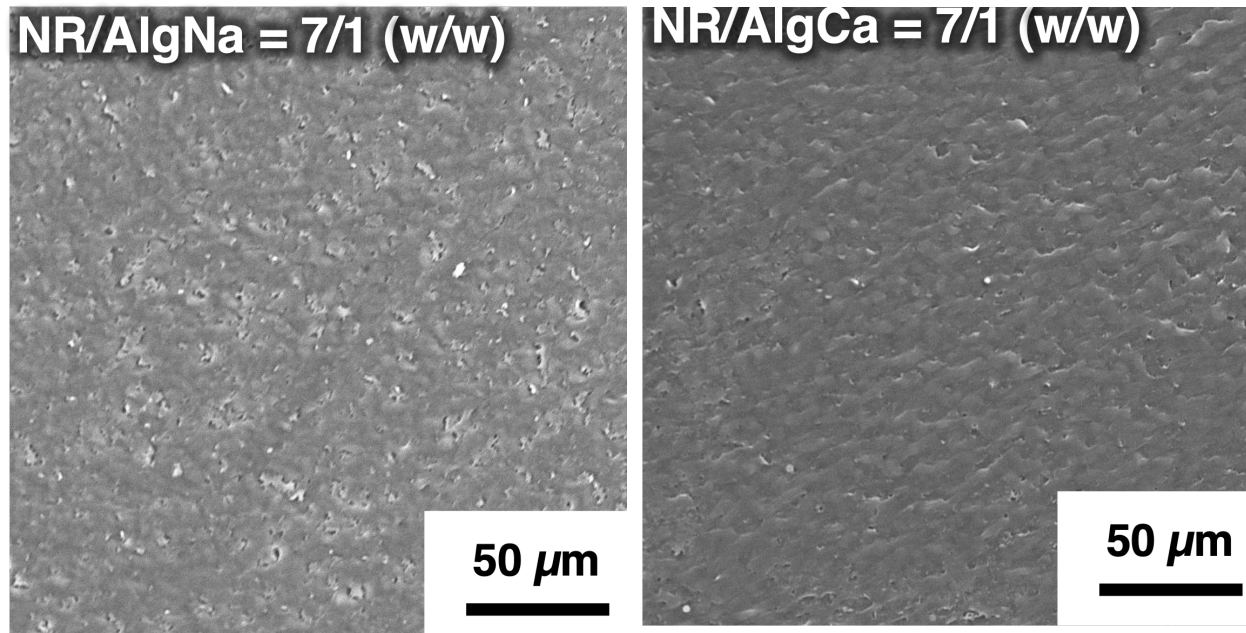
$$\text{膨潤率 (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

有機溶剤への膨潤率がAlgの添加によって抑制
NR/AlgCRではよりその効果が顕著になる

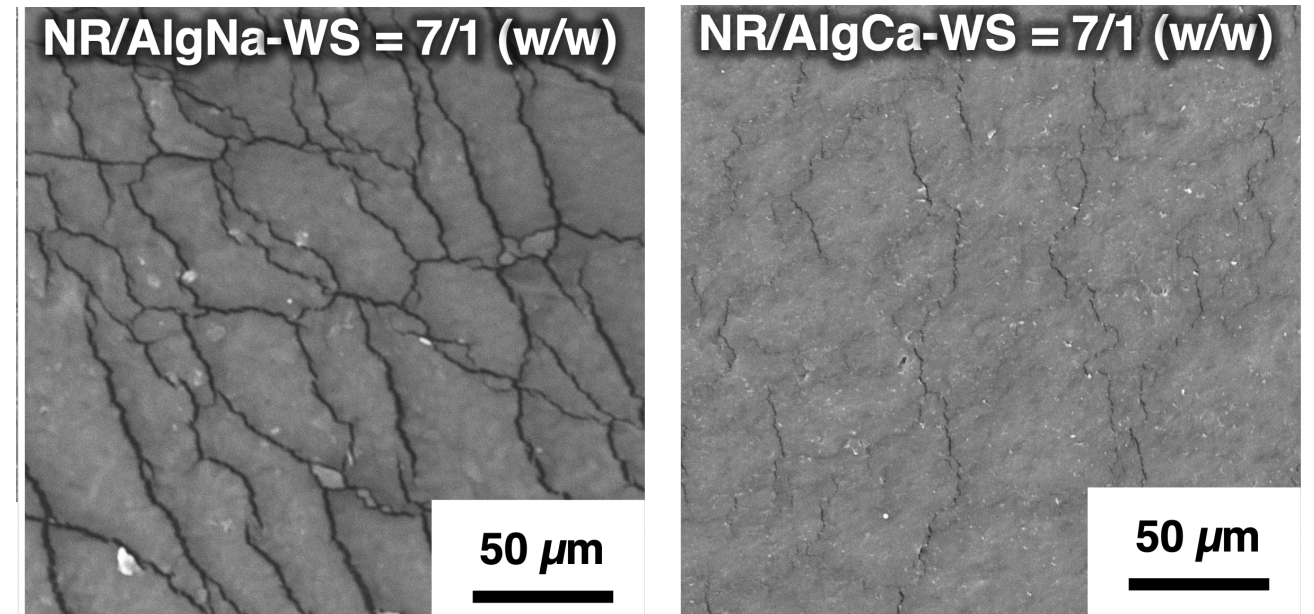


NR/AlgCaは耐水性が向上

水浸漬前



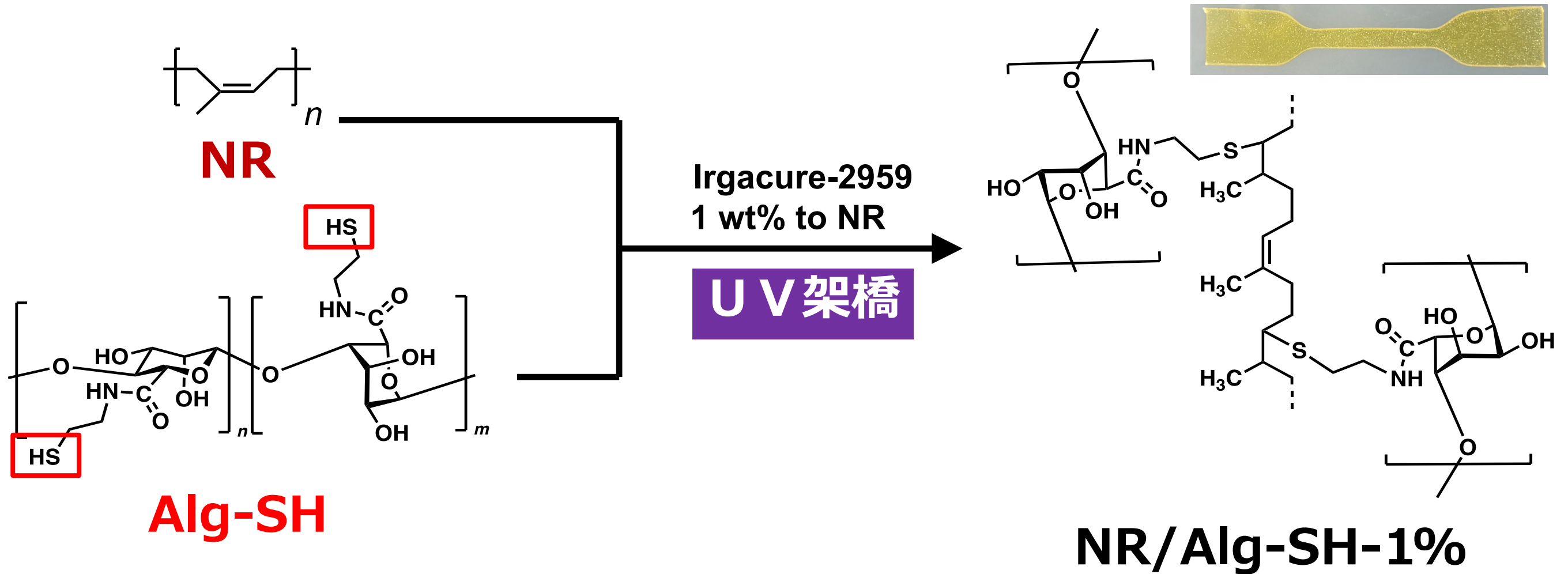
水浸漬後



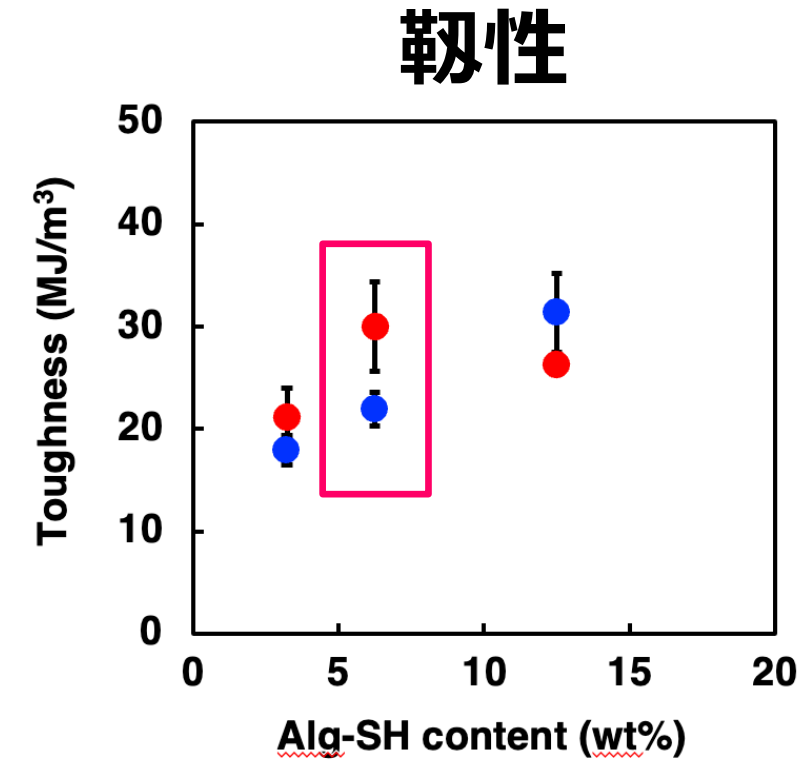
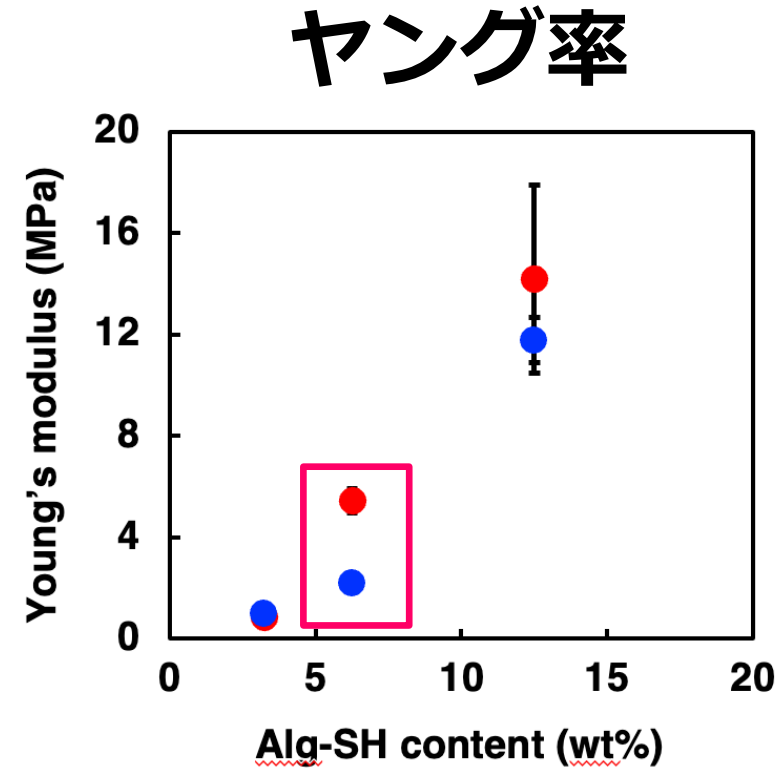
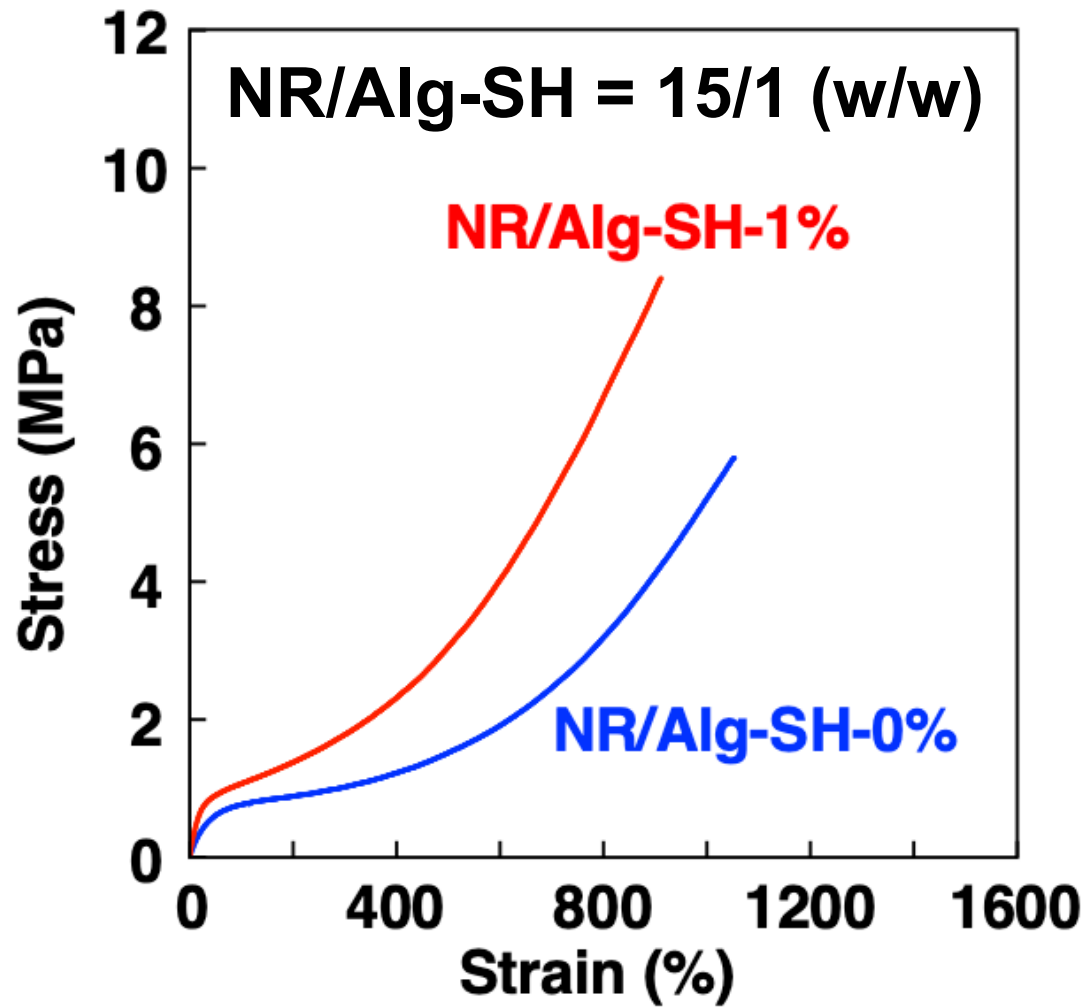
水浸漬後において

- NR/AlgNa : 表面に多くの亀裂
- NR/AlgCa : 比較的亀裂が少ない

複合材料間への共有結合の導入

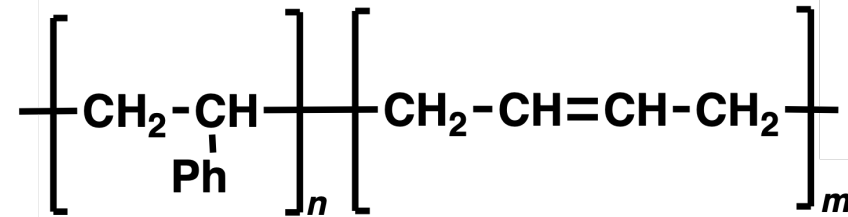


NR/Alg-SH-1%の力学強度

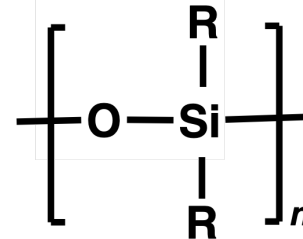


架橋構造の導入に伴い、
ヤング率・靱性が向上

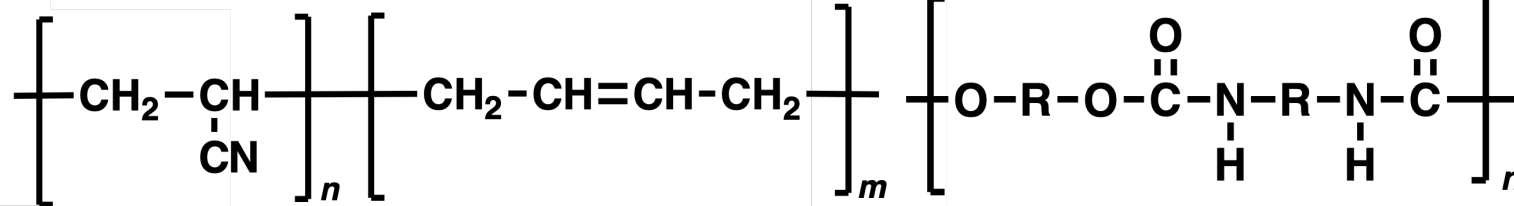
合成ゴムラテックスへの展開



Styrene butadiene rubber (SBR)

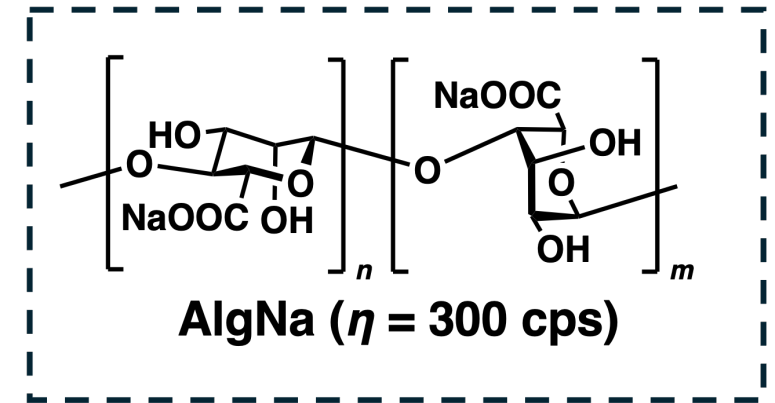


Silicone rubber (SR)

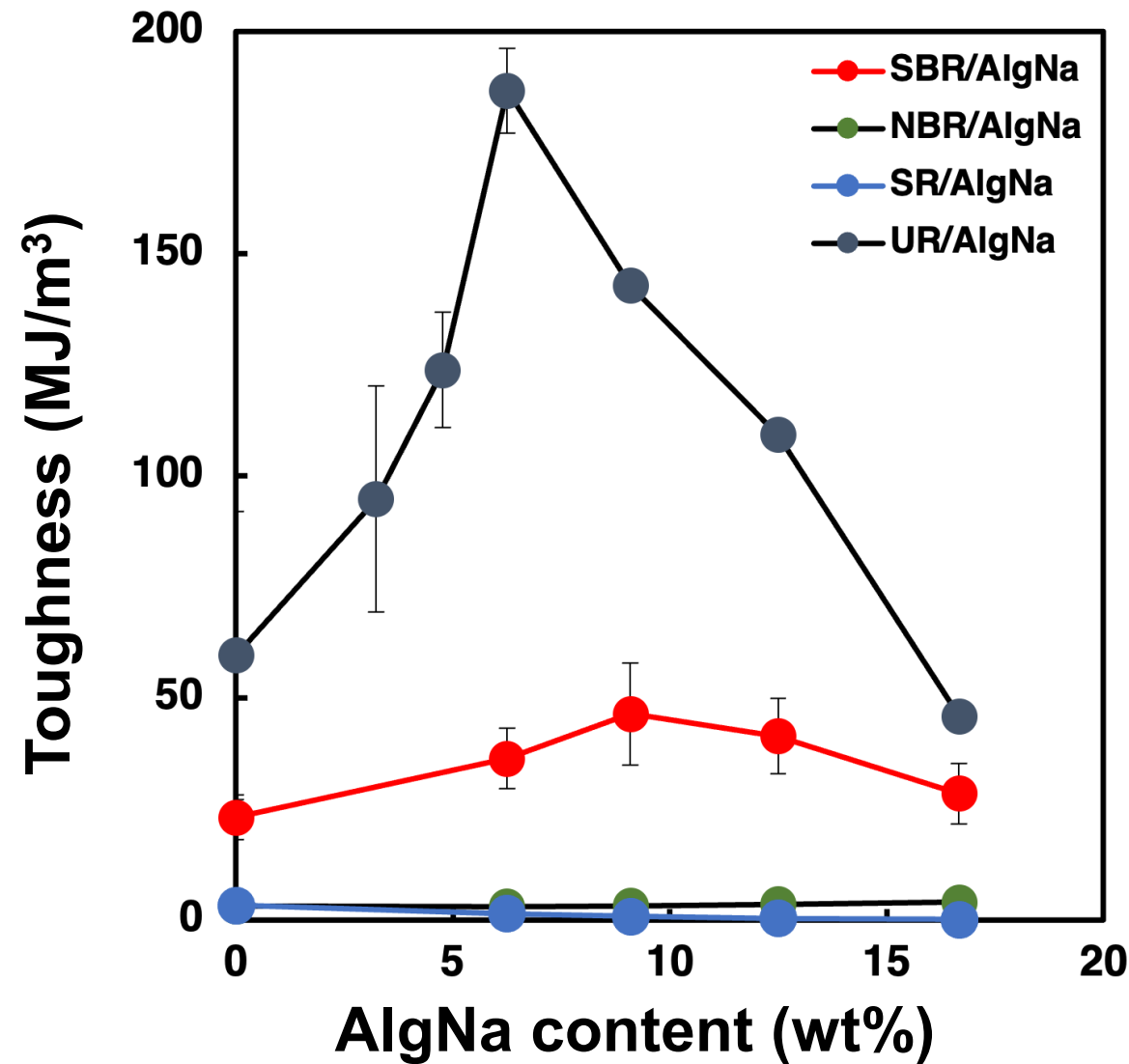


Acrylonitrile butadiene rubber (NBR)

Urethane rubber (UR)



本複合化技術は天然ゴムだけでなく，合成ゴムにも展開可能



SBR/AlgNaやUR/AlgNaで顕著な補強効果を確認

タイヤ材料，導電性ゴム材料，生分解性プラスチック素材

**環境負荷を抑えた製造プロセスによって，一定の力学特性を維持しつつ，
導電性やリサイクル性に優れた材料を提供**

**Algの 生体適合性を利用し，医療分野
保水性を利用し，環境分野**

材料への展開も期待

全体的な課題

ゴム成分の多様化および多機能化

安価な原材料の調達および安定供給の確保

原材料コストの社会的実装ならびに出口応用製品の選定

各アプローチの課題

UV架橋条件の最適化（熱架橋の適用も検討）

NR/AlgNa からNR/AlgCa へのイオン交換反応の最適化

Caイオンの付与方法が複合ゴムの特性に与える相関関係の明確化

期待

- ・藻類からのAlg抽出技術を持つ企業との共同研究。
- ・各企業が所有するラテックスゴムのご提供と共同研究。
- ・ゴム/エラストマー関連企業をはじめとした幅広い分野の企業とのディスカッション。

貢献・PRポイント

- ・本技術はリサイクル可能なゴム材料を環境負荷を抑えたかたちで製造できることから、環境問題を考慮したゴム材料や分解性プラスチックの開発に取り組む企業に貢献できると考えている。
- ・本技術の導入にあたり、必要な追加実験の実施や技術指導も可能。

本技術に関する知的財産権

1) 発明の名称：ゴム複合材料及びその製造方法

出願番号：特願2025-61300 (2025-04-02)

出願人：関西大学

発明者：曾川洋光・三田文雄

2) 発明の名称：ゴム複合材料及びその製造方法

出願番号：特願2025-95545 (2025-06-09)

出願人：関西大学

発明者：曾川洋光・三田文雄・馬天逸

関西大学

社会連携部 産学官連携センター



〔 TEL 〕 06-6368-1245

〔 E-mail 〕 sangakukan-mm@ml.kandai.jp