

「可塑性を与えることで長期間『強さ』と『韌やかさ』を保つゲルを世界で初めて開発」

1. 発表者：

酒井 崇匡（東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻 准教授）

近藤 真司（東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻 博士後期課程3年）

鄭 雄一（東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻 教授、医学系研究科兼任）

2. 発表のポイント：

- ◆ゲル（注1）に可塑性（注2）部位を導入することで、長期間同じ強度と伸縮性を保つ信頼性の高い材料を世界で初めて実現した。
- ◆従来のゲルが持つ、繰り返しの荷重に弱く突発的に壊れてしまうという問題を、今回新しく開発したゲルで克服し、誰でも簡単に作製できる基盤技術を確立した。
- ◆人工軟骨や人工椎間板など、体の荷重がかかる部位への応用や、人工筋肉・フレキシブルディスプレイなどの繰り返し曲げ伸ばしが求められる分野への応用が期待される。

3. 発表概要：

ゲルとは、高分子の三次元網目構造が溶媒を含んだ柔らかい材料を指します。伸縮性に富み、液体を保持できるといったユニークな特徴を有していることから、食品や化粧品と言った日用品、コンタクトレンズやオムツなどの医療・衛生用品として幅広く使われています。しかしながら、ゲルは繰り返し荷重がかかると突発的に壊れてしまう性質を持つため、材料として信頼性が低いという問題がありました。

今回、東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻 酒井・鄭研究室の酒井崇匡准教授らの研究グループは、水溶媒下で凝集体（注3）を作る性質を持つ高分子（注4）を導入することでゲルに可塑性を付与し、長期間同じ強度と伸縮性を保つ性能を世界で初めて実現しました。

このゲルは、二種類の溶液を混ぜるだけで誰でも簡単に作製することができ、空気中・水中において荷重を繰り返し受けても壊れず、かつ長期間高い強度を維持することができます。そのため、人工軟骨や人工椎間板など、体の荷重がかかる部位への応用や、人工筋肉・フレキシブルディスプレイなどの繰り返し曲げ伸ばしが求められる分野への応用が期待されます。

4. 発表内容：

ゲルとは、高分子の三次元網目構造が溶媒を含んだ柔らかい材料を指します。日常生活で目にするゲルには、豆腐・寒天・煮こごりなどの食べ物が挙げられますが、コンタクトレンズやオムツなど、医療分野や衛生分野でも広く使われています。伸縮性に富み、自重の何倍もの液体を保持できるといったユニークな特徴を有していることから、今後も更に多様な分野への応用が期待されています。しかしながら、従来のゲルは非常に脆いために、これまで高負荷がか

かる部位における構造体として用いることができませんでした。それを受け、近年ではゲルの高強度化に向けた研究が数多くなされ、一部のゲル（高強度ゲル）は非常に優れた強度を示すことがわかってきました。しかし、これまでに提案されている高強度ゲルは、荷重が繰り返しかかるような環境ではその強度を長期間維持することができませんでした。作製直後には優れた強度を示すものでも、荷重が繰り返しかかると網目構造が少しずつ壊れ、時間とともに強度が低下してしまいます。また、ゲルは外部から水を吸収し膨らむ（膨潤）という現象がつきものです。膨潤が起こると、ゲル中の網目構造が伸びきった状態になり、低度の変形ですぐに壊れてしまいます。以上を踏まえると、ゲルを様々な環境で長期間使用したい場合、膨潤を防ぎ、かつ繰り返し荷重に耐える性能が求められます。

東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻 酒井・鄭研究室の酒井崇匡 准教授らの研究グループは、水中で自然に寄り集まって凝集体を作る高分子を、ゲルの網目構造に均質に組み込むことに成功しました。今回開発したゲルは、水中で寄り集まって縮まる部分が膨潤しようとする部分を引き止めることで、網目構造が伸びきる状態を防いでくれます（図1）。更に、ゲルに荷重がかかると、網目構造が壊れる前に凝集体の一部が優先的に解れる（可塑性）ことで、網目構造にかかる力をうまく逃してくれることを見出しました（図2）。このゲルは、従来のゲルと同様に90%程度の高い含水率を持つだけでなく、極めて高い透明性を示すことがわかりました。更に、従来のゲルと比較した引張耐久性試験を行ったところ、従来のゲルは、水中でわずか2倍に伸ばした時点で簡単に破断したのに対し、今回作製したゲルは、水中で3倍に伸ばして戻す操作を100回以上連続で繰り返しても壊れず、元の高い強度を保ちました。同様に、圧縮耐久性試験を行ったところ、1.2メガパスカル（MPa）程度の荷重であれば100回以上繰り返し受けてもその強度が保たれました。ゲル内に均質に分散した凝集体の可塑性が、繰り返しの引張・圧縮に負けない強さと韌やかさをゲルにもたらしたのです。今後、耐久できる荷重の最大値を更に向上させる研究が進めば、高負荷がかかる部位の構造材料として極めて有望な候補になるといえます。

これまでも、ゲルの構成物を単純混合するだけで簡単に構築することができる高機能ゲルはいくつか提案されてきましたが、それらのゲルは荷重が繰り返しかかる環境で長期間使用することを想定したものではありませんでした。本研究で新しく開発した材料は、世界初の、長期間強度と伸縮性を維持するゲルです。将来、人工軟骨や人工椎間板など、体の荷重がかかる部位への応用や、人工筋肉・フレキシブルディスプレイなどの繰り返し曲げ伸ばしが求められる分野への応用が期待されます。

5. 発表雑誌：

雑誌名：「Advanced Materials」（オンライン版：10月7日）

論文タイトル：Reliable hydrogel with mechanical ‘fuse link’ in an aqueous environment

著者：Shinji Kondo, Takashi Hiroi, Young-Soo Han, Tae-Hwan Kim, Mitsuhiro Shibayama, Ung-il Chung, and Takamasa Sakai*

DOI 番号：10.1002/adma.201503130

6. 問い合わせ先：

東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻 酒井・鄭研究室

准教授 酒井 崇匡（さかい たかまさ）

電話：03-5841-1876

E mail：sakai@tetrapod.t.u-tokyo.ac.jp

バイオエンジニアリング専攻：<http://www.bioeng.t.u-tokyo.ac.jp/>

酒井・鄭研究室：<http://www.tetrapod.t.u-tokyo.ac.jp/>

7. 用語解説：

注1. ゲル

三次元状の網目構造を持つ高分子が溶媒を含んで膨らんだ物質の総称である。例えば、紙オムツにはゲルが含まれ、1g の高分子で 1000 g 程度の水を吸収できる。

注2. 可塑性

外力を加えて変形させ、力を取り去ってももとに戻らない性質を指し、主に金属やプラスチックに見られる。

注3. 凝集体

溶液中に分散する粒子や高分子が寄り集まって、より大きな集合体となる現象を凝集と呼び、凝集によって生成する集合体を凝集体と呼ぶ。

注4. 高分子

高分子とは、多くの原子が連なってできたひも状の分子であり、大きなものでは1つの分子に 1000 万個の原子を含むようなものも存在する。

8. 添付資料：

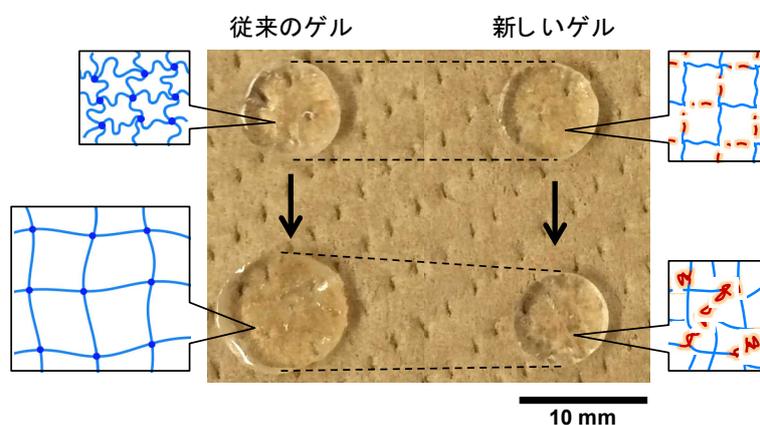


図1 従来のゲルと新しく開発されたゲルの、作製時と水中における形状変化の様子。
(上：作製時、下：水中)

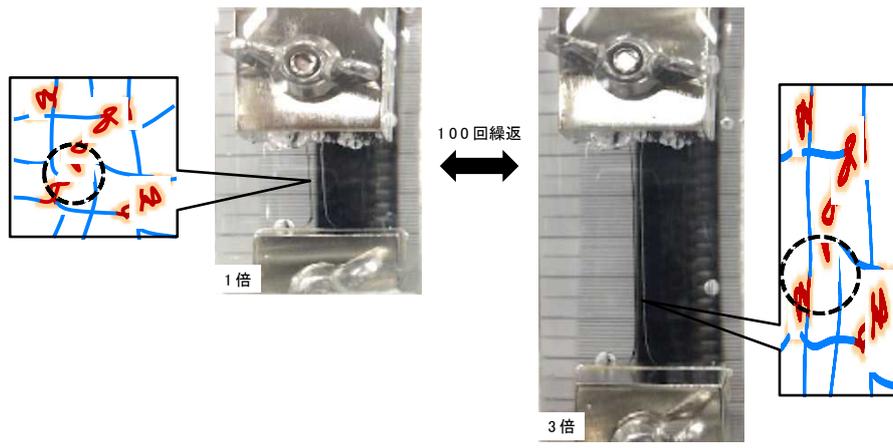


図2 引張耐久性試験におけるゲルの網目構造の変化。