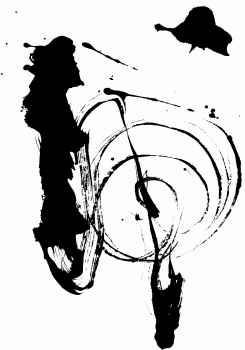




ゲルで医療を革新する



東京大学大学院工学系研究科
化学生命工学専攻
酒井崇匡



ERATO



酒井崇匡

生年月日：1980年2月15日

1998年	長崎県立島原高校卒業	
2007年	東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 博士課程修了 博士（工学）	
2007年	東京大学大学院工学系研究科 特任助教	
2011年	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	助教
2015年	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
2018年	ジェリクル株式会社 最高科学責任者	
2020年	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
2022年	東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻	教授

本講演に関連し、発表者の開示すべきCOI関係にある企業として、
ジェリクル株式会社があります

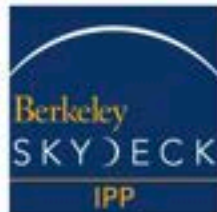


創業 8期目

VC入っていません

黒字

First in human まだです



酒井崇匡

生年月日：1980年2月15日

1998年

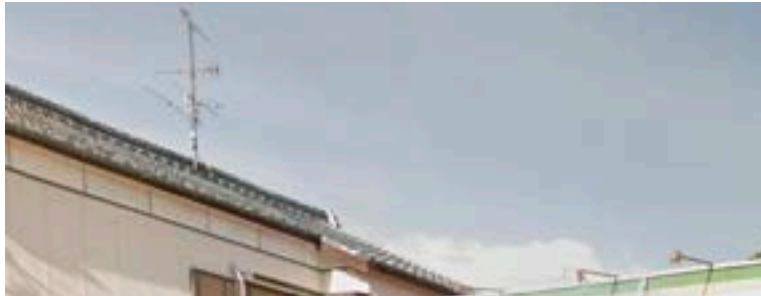
長崎県立島原高校卒業



スーパーさかいの長男として生を受け、
18歳で東京へ出ました。



スーパーさかいの長男として生を受け、 18歳で東京



島原新聞 2025年(令和7年)10月11日(土曜日) 10月11日(土曜日)

来月12日開催
島高第50回生
東大大学院教授 酒井崇匡氏が帰郷講演

◆島高PTA主催、島高同窓会共催◆
母校後輩と一般向けに企画

31日申込締切

千代田通商株式会社
自動車保険・火災保険・傷害保険
個人年金・生命保険が完備
お問い合わせは、千代田通商株式会社
島原支店 0954-82-1111

島原新聞 2025年(令和7年)12月28日(日曜日)

「限界決めずに挑戦を!!」
◆ゲル研究の第一人者◆
酒井氏、母校島原高で講演

第50回生

AIや学びの意義など討論
成功には悪あがきが重要

うちだ耳鼻咽喉科
クリニック
島原市中央二丁目 0954-82-1111











Human



water content

70%

Human



water content

70%

Hydrogels



Human



water content
70%

Hydrogels



water content
99-50%

Human

C

Hydrogels



water content
70%



water content
99-50%

サイエンス
ZERO

常識破りのゲル続々!
悲願の実用化へ

公式X @nhk_sciencezero



↑NHKプラスで
番組見逃し配信中

ゲルを愛しているので



10:37:51:04

ちっちゃん
おどろろ

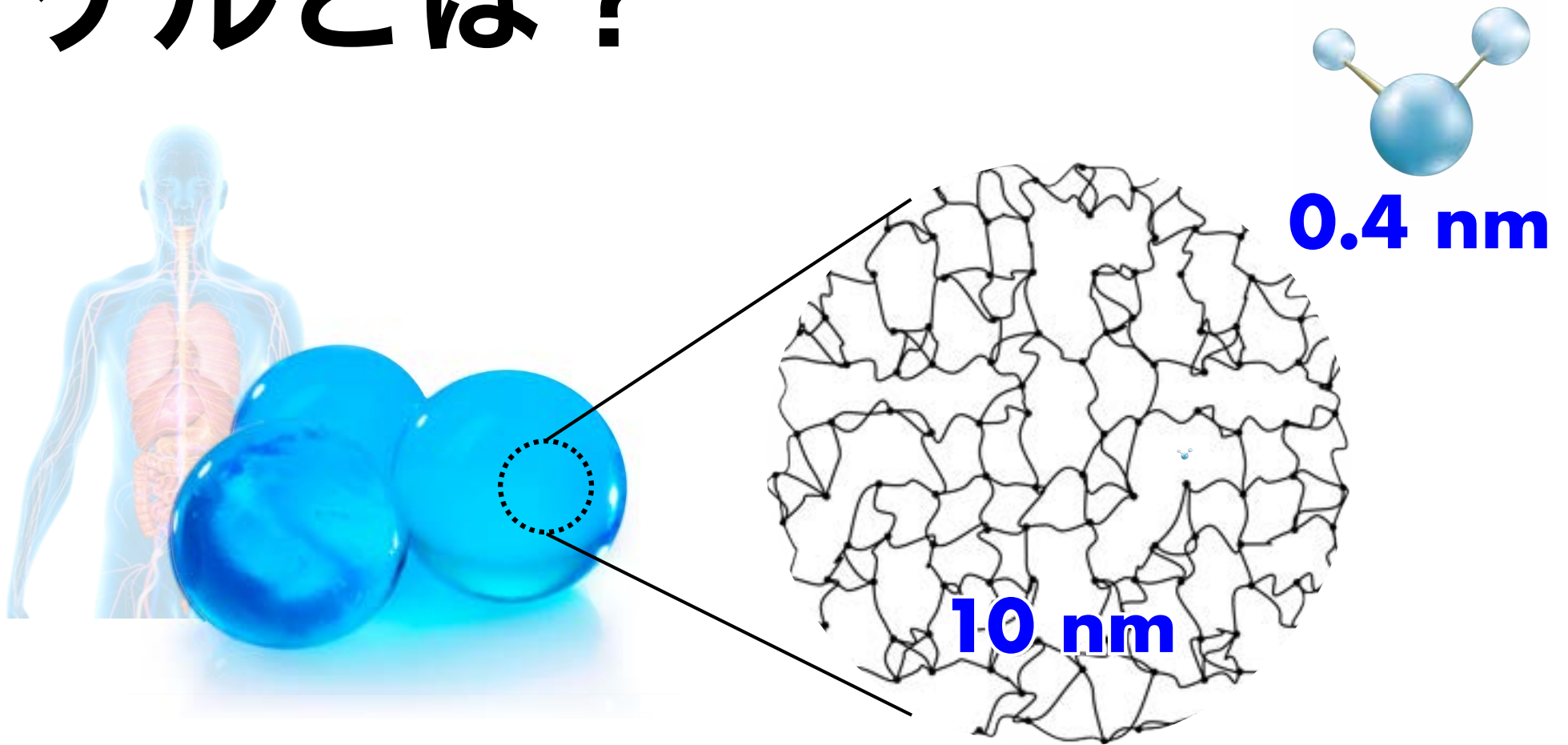


NH
NEWS

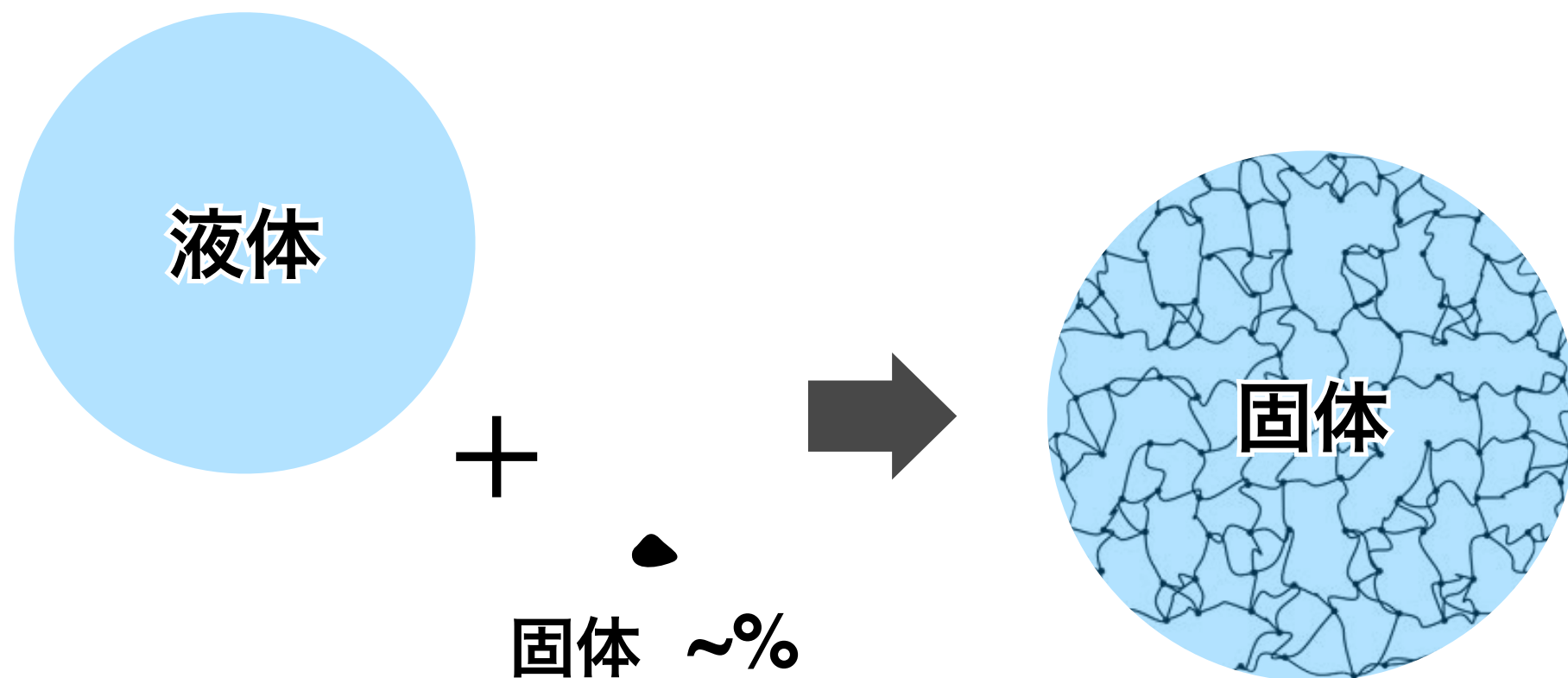
千穂ちゃん パパ出演で歓喜



ゲルとは？



3次元の高分子網目が溶媒を含んだもの

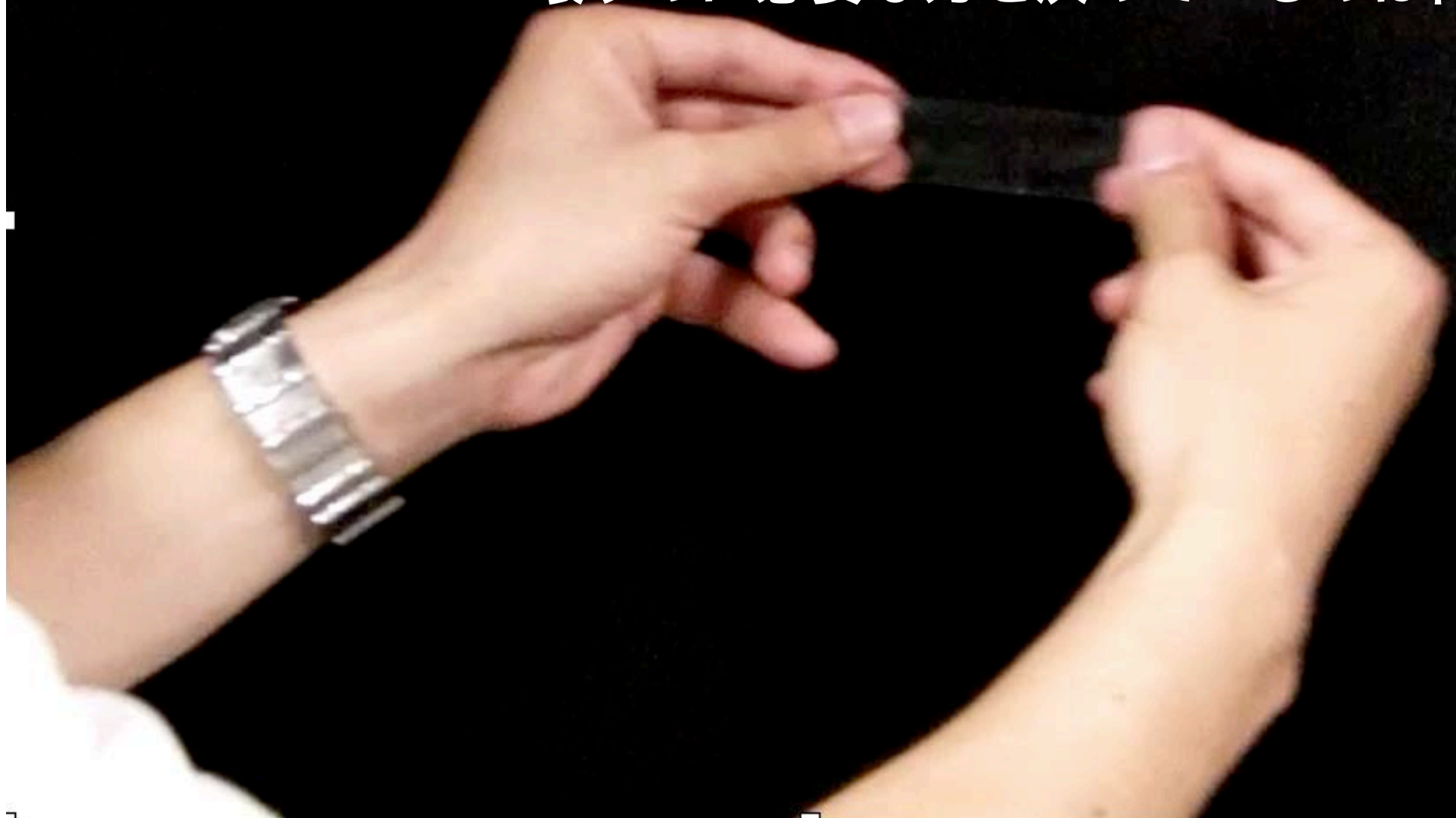


主成分が液体であるにもかかわらず
物質としては固体である

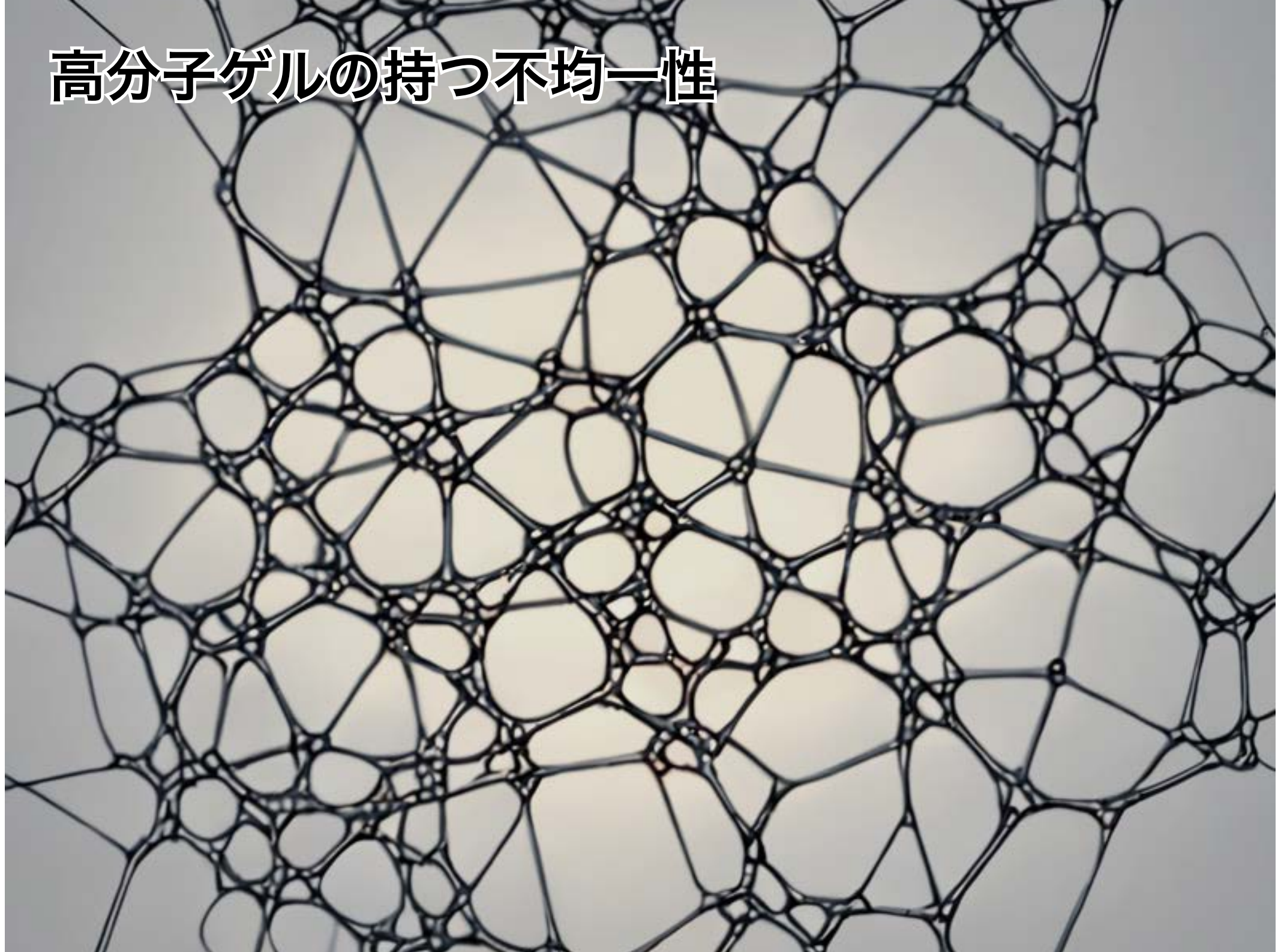
やわらかさを決めているのは何か？

どこまで伸びるかを決めているのは何か？

壊すのに必要な力を決めているのは何か？

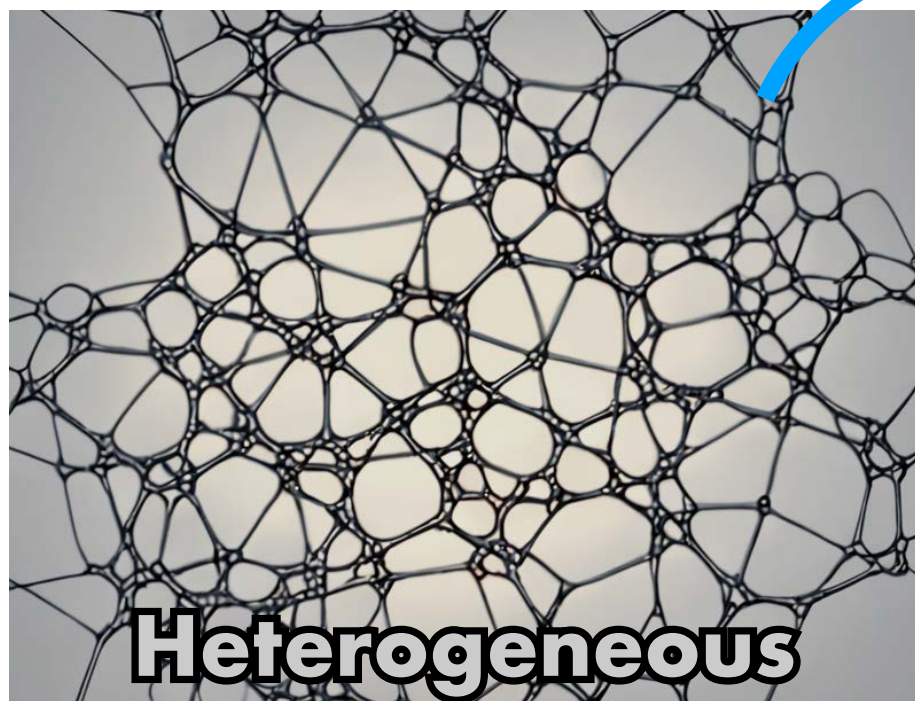


高分子ゲルの持つ不均一性

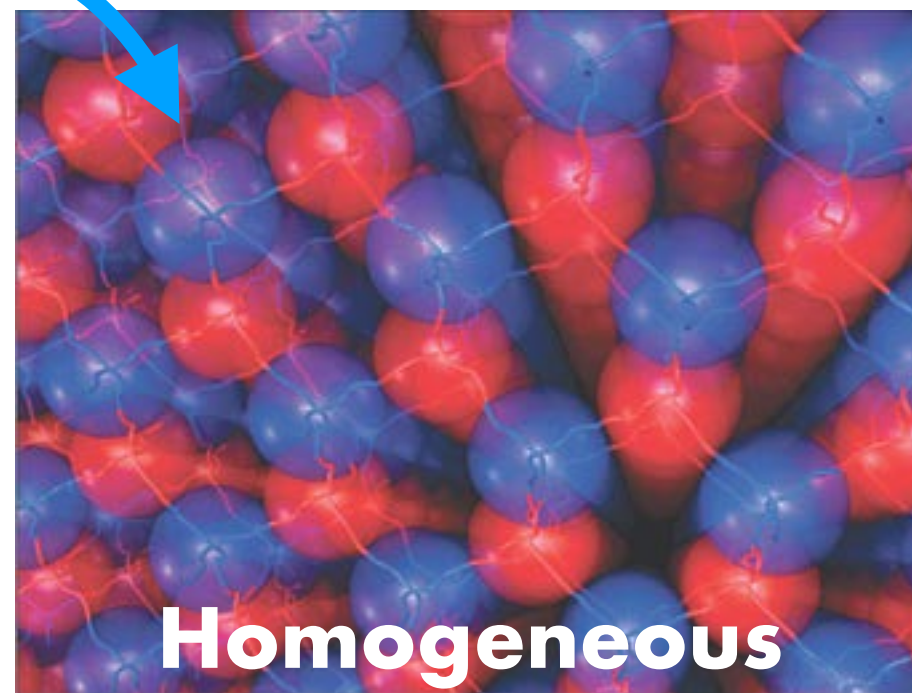


ゲルを「不均一でよくわからないもの」から、
「均一でわかりうるもの」へ変えた

Conventional gels

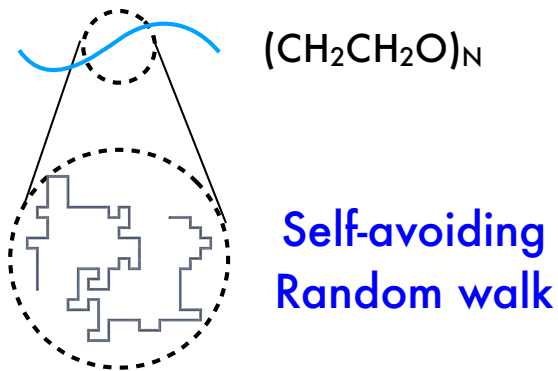
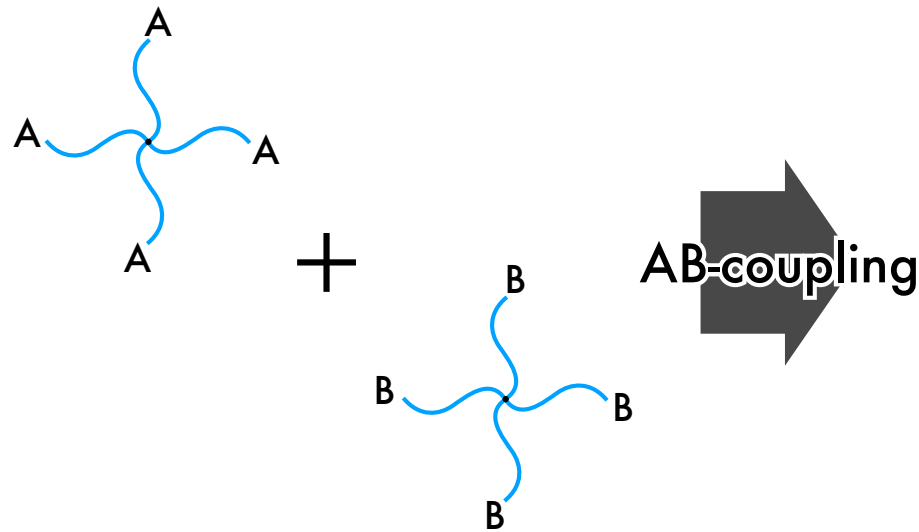


Tetra-PEG gels

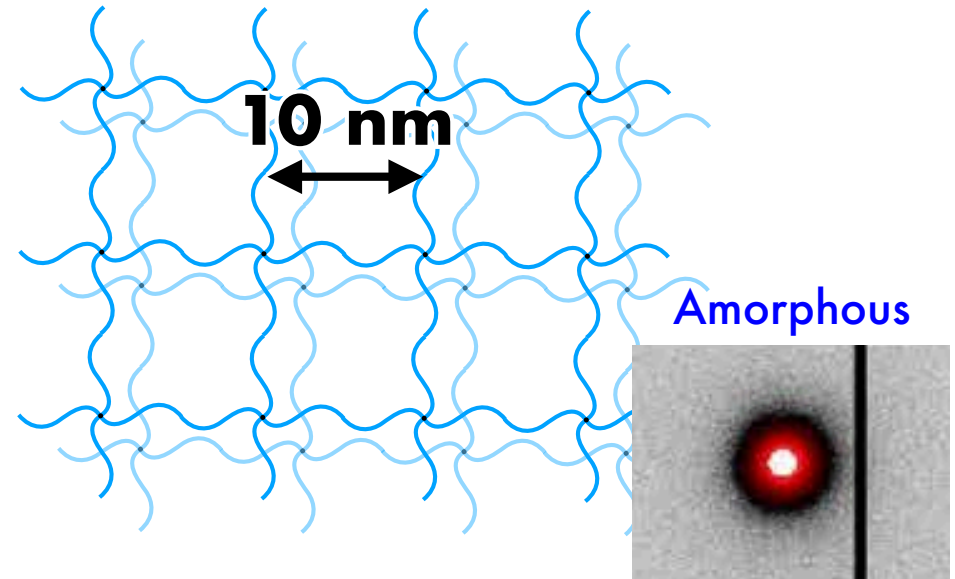


T. Sakai et al, Macromolecules 2008

Tetra-PEG gel – 均一なゲル群



Tetra Gel



T. Sakai* et al., Macromolecules 2008

> 1100 times cited

Nature Materials 2023

Science Advances 2022

Physical Review X 2021

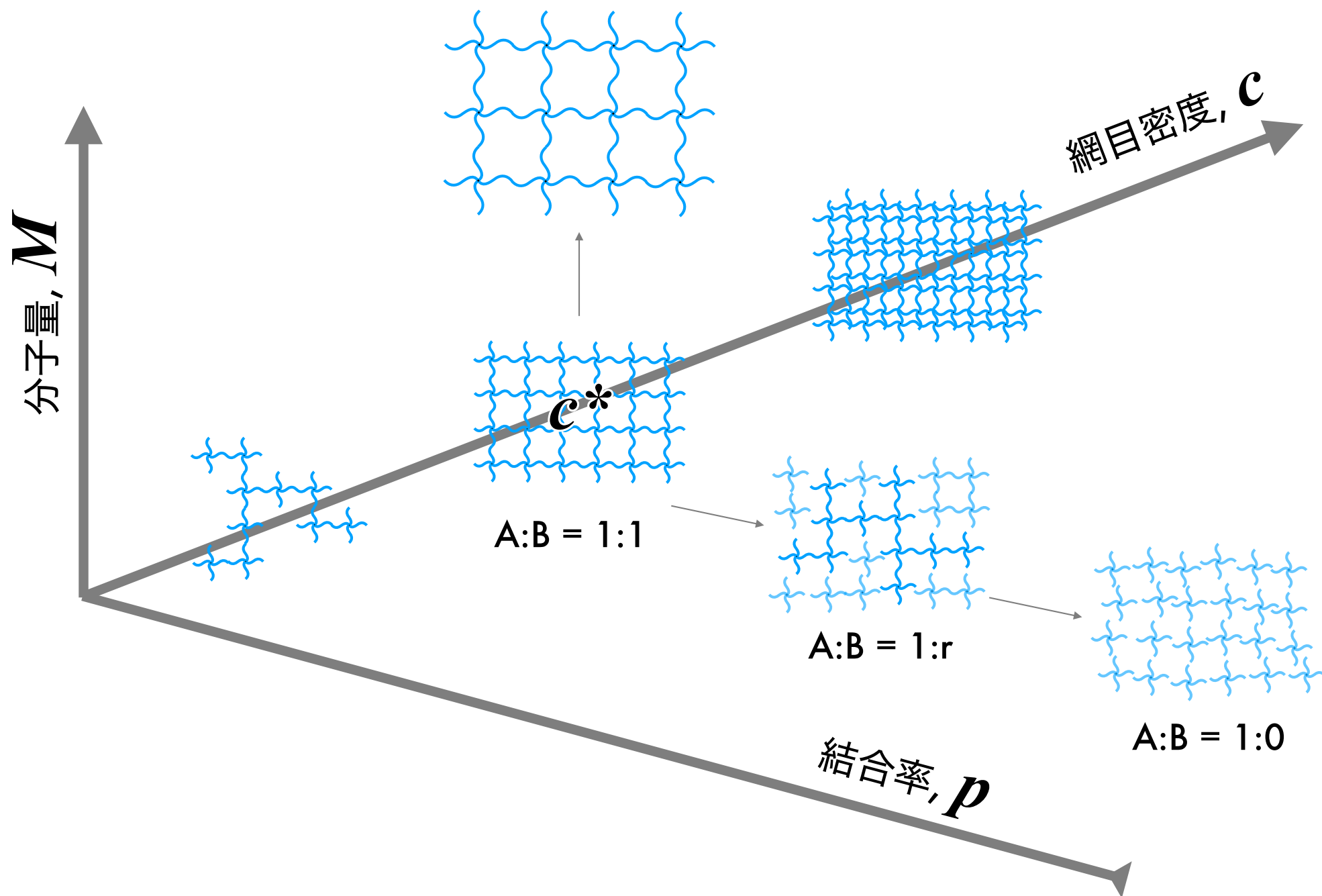
Physical Review Letters 2017, 2020, 2021

Journal of Chemical Physics 2012, 2013, 2014, 2015

Macromolecules 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021

> 140 papers

3つの独立パラメータ



世界最高峰のゲル物理を工学部でやる

Elastic modulus (弾性率, 負のエネルギー弾性)

$$G = A\xi(T-T_0)$$

Y. Yoshikawa et al., PRX 2021

Ultimate elongation (弾性域)

$$\lambda_{\max} = Cc^{1/3}N^{2/3}$$

T. Fujiyabu et al., Science Adv., 2022

Osmotic pressure (浸透圧, 準希薄スケーリング則)

$$\Pi = Bc^{2.31}$$

T. Yasuda et al., PRL 2020

Partition of polymer chain (分配係数)

$$K = -A \exp\left(\frac{R_g}{L_\xi}\right)^2$$

H. Takarai, Bachelors Dissertation, 2023

Diffusion of dsDNA (dsDNAの拡散係数)

$$D/D_0 = An^{-\alpha} \exp(-Bn^\beta c)$$

X. Li et al., Macromolecules 2015

世界最高峰のゲル物理を工学部でやる

Elastic modulus (弾性率, 負のエネルギー弾性)

$G =$

Ultimate

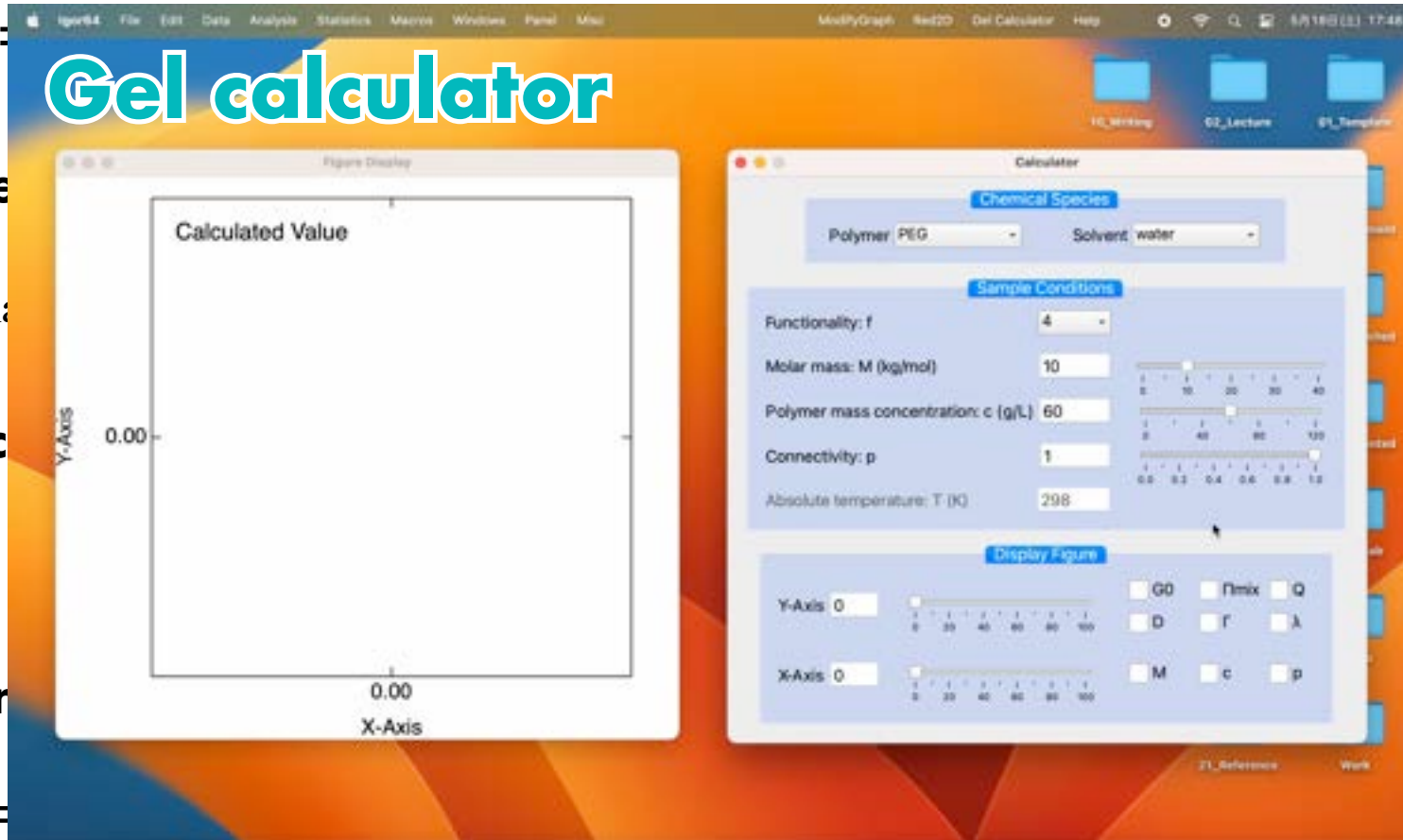
λ_m

Osmotic

Π

Partition

$K =$



L_{ξ}

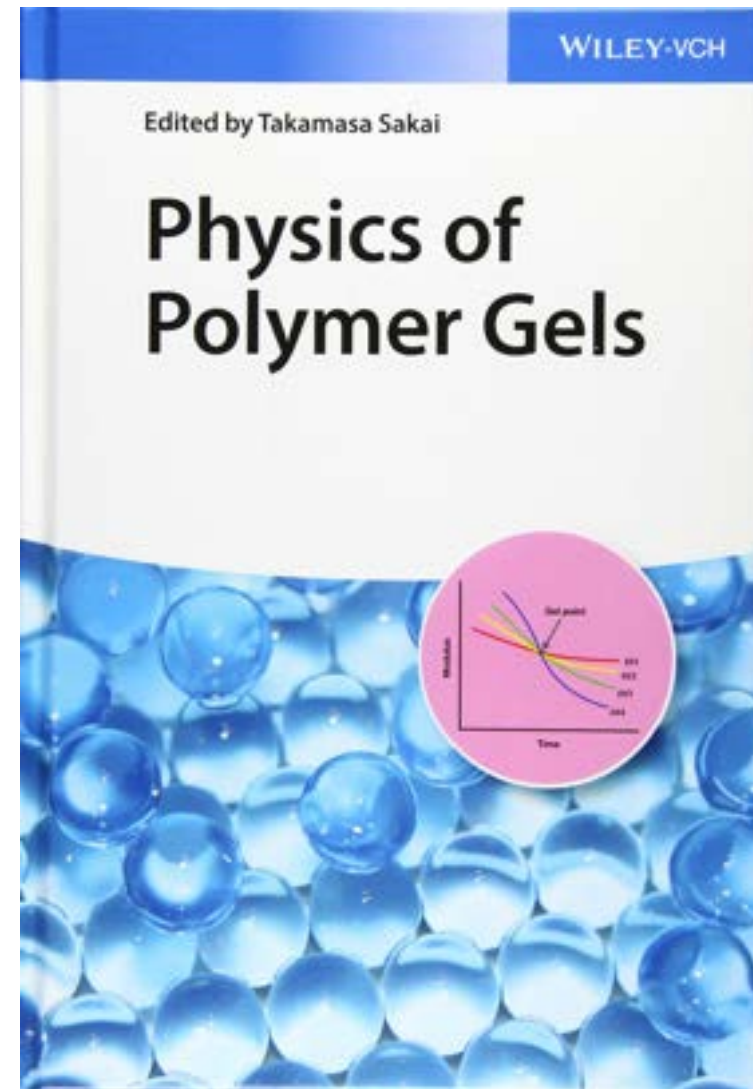
H. Takarai, Bachelors Dissertation, 2023

Diffusion of dsDNA (dsDNAの拡散係数)

$$D/D_0 = An^{-\alpha} \exp(-Bn^{\beta}c)$$

X. Li et al., Macromolecules 2015

世界最高峰のゲル物理を工学部でやる



物理 x 医療

or

化学 x 医療

物理 x 医療

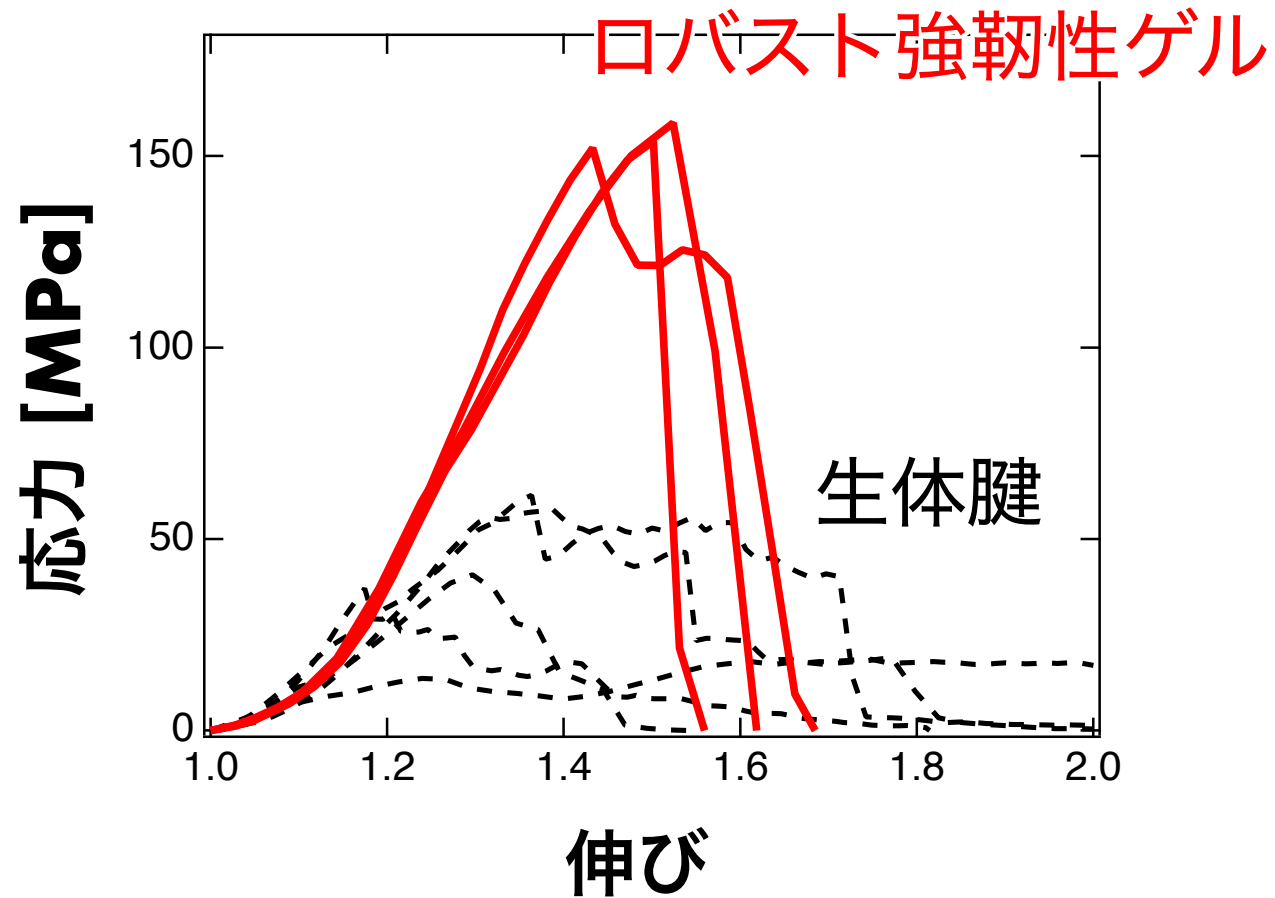


H₂O 98%

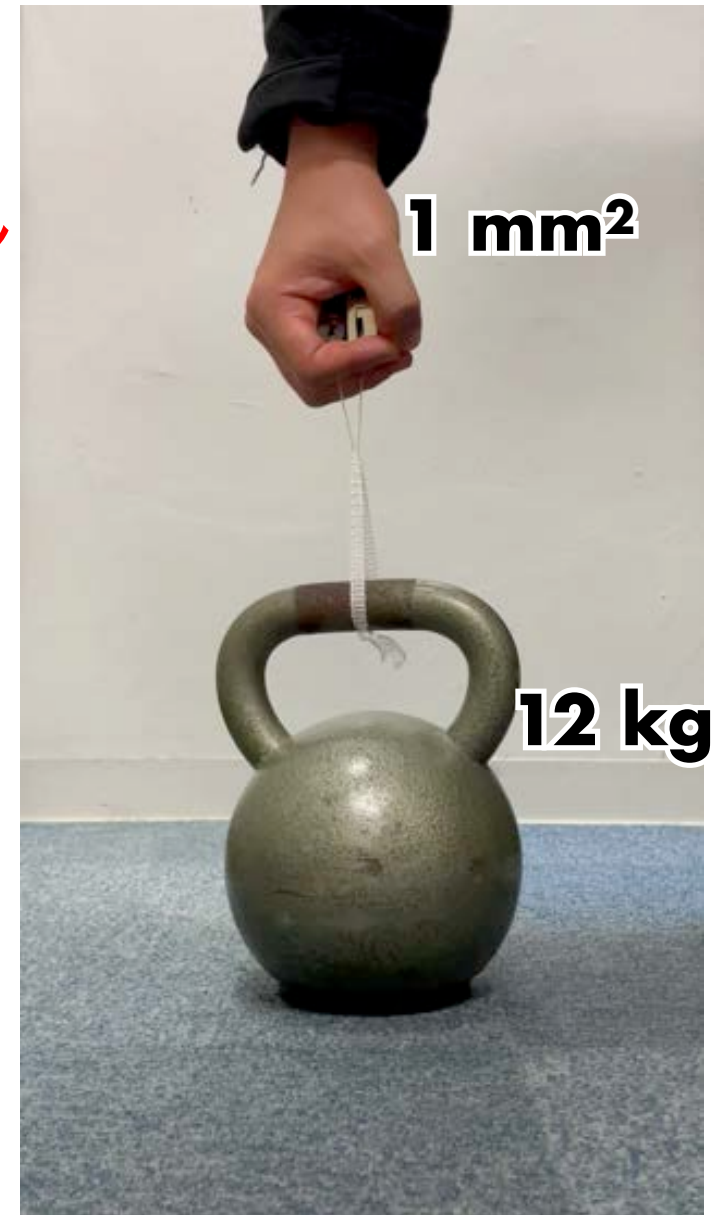


H₂O 85%

生体靱帯を超える強度を持つゲル



人工腱・靱帯への応用



ゲルで医療を変える



hri 東大病院
The University of Tokyo Hospital

筑波大学附属病院
University of Tsukuba Hospital



脳神経外科
齊藤 延人



整形外科
齊藤 琢



循環器内科
藤生 克仁



眼科
岡本 史樹



血管外科
保科 克行



心臓外科
中島 淳

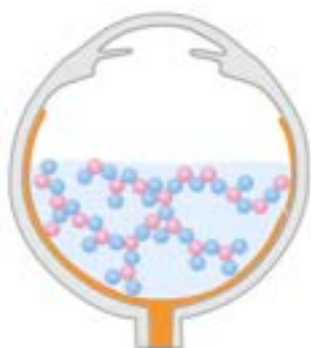


形成外科
栗田 昌和



眼科
星 崇仁

ベンチャーを起業し、臨床ニーズ駆動の開発、パートナー企業への導出を迅速化



Nature Biomedical Engineering 2017



Annals of Vascular Surgery 2022

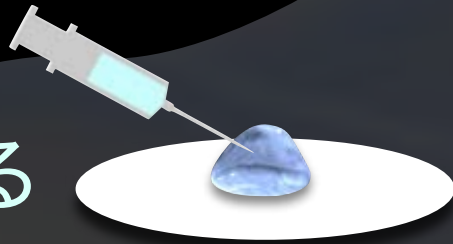


J Hand Surgery Global Online 2020

ゲル物理の指導原理に基づき、複数の医療機器を同時開発

確かな学理を基盤とした医療応用

つくる



かためる

Artificial vitreous
Hemostatic agent

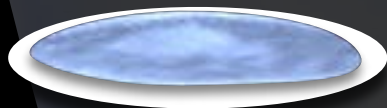
わける

Adhesion barrier


つなげる

Scaffold

こわす



効果・効用は物理的な機序によるため、
種差による影響が少ないと想定される



面白かったから、
鄭先生の話してくださいよ

@先週 都内某所

ジェリクルを創った男

鄭雄一



東京大学医学系研究科・工学系研究科 教授
日本再生医療学会 理事





骨の研究は、やらなくて良いよ。
自分のやりたい研究をやりなさい。
研究費は、使って良いから。

来年、学生7人来るからさ、
全員面倒見てね。

コラボとかは勝手に決めて良いよ。
必要だったら、私が頭は下げるから。



まずは、論文を年の数だけ書こうか。
そしたら、助教にしてあげるよ。

どう、論文書けた？

どう、論文の数増えた？



酒井崇匡

生年月日：1980年2月15日

1998年 長崎県立島原高校卒業

2007年 東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻
博士課程修了 博士（工学）

2007年 東京大学大学院工学系研究科 特任助教

2011年 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 助教

New!



なんかさ、教員の昇進って謎だよね。
気に食わないから、ルール決めよう。
立川談志流は、ルールあるんだよ。

よし、
論文50報とScienceかNature
通したら、准教授にする。

どう？
論文書いた？
論文の数増えた？

HOME > SCIENCE > VOL. 343, NO. 6173 > "NONSWELLABLE" HYDROGEL WITHOUT MECHANICAL HYSTERESIS

 **REPORT**

[f](#) [X](#) [t](#) [in](#) [g+](#) [v](#) [e](#) [m](#)

"Nonswellable" Hydrogel Without Mechanical Hysteresis

HIROYUKI KAMATA, YUKI AKAGI, YUKO KAYASUGA-KARIYA, LING-SI CHUNG, AND TAKAMASA SAKAI [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 21 Feb 2014 • Vol 343, Issue 6173 • pp. 873-875 • DOI:10.1126/science.1247811

 6,795  585

酒井崇匡

生年月日：1980年2月15日

- | | | |
|-------|---|-----|
| 1998年 | 長崎県立島原高校卒業 | |
| 2007年 | 東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻
博士課程修了 博士（工学） | |
| 2007年 | 東京大学大学院工学系研究科 特任助教 | |
| 2011年 | 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 | 助教 |
| 2015年 | 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 |

New!

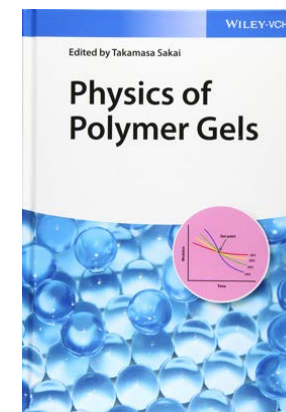


ノーベル賞取ってる人はさ、
大体30代で教科書書いてるから。
酒井くんも書いてみよう。

どう？
書いた？
毎日少しでも書かないと終わらないよ。



2017年 @37歳



2020年 @40歳

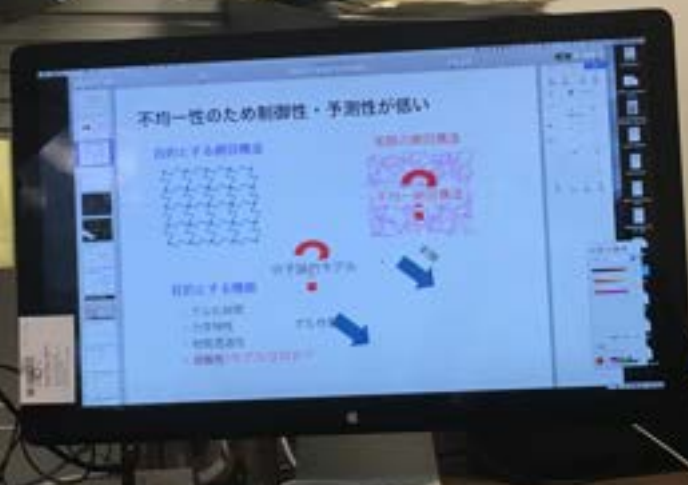


教授はさ、タイミングが来たら、
どの大学からのオファーでも
絶対に受けなさい。

論文100報と
後、ベンチャー設立かな。
そこまでやれたら、東大でもいいけるかも

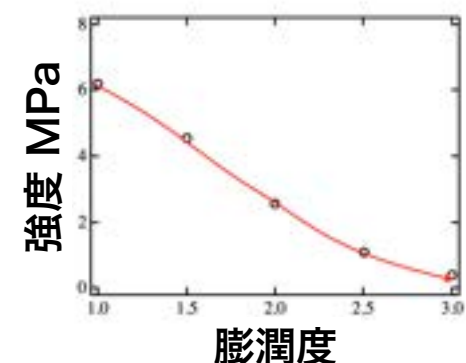
どう？
進んでる？
論文の数増えた？

さんには
100

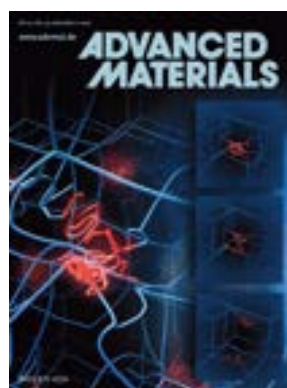
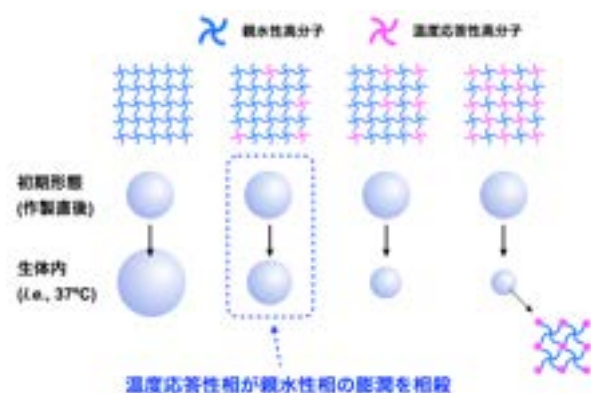




「膨らまないゲル」の開発と医療応用



問題：ゲルは生体内などの水のある環境で膨潤し、強度が劇的に低下、周辺組織を圧迫障害

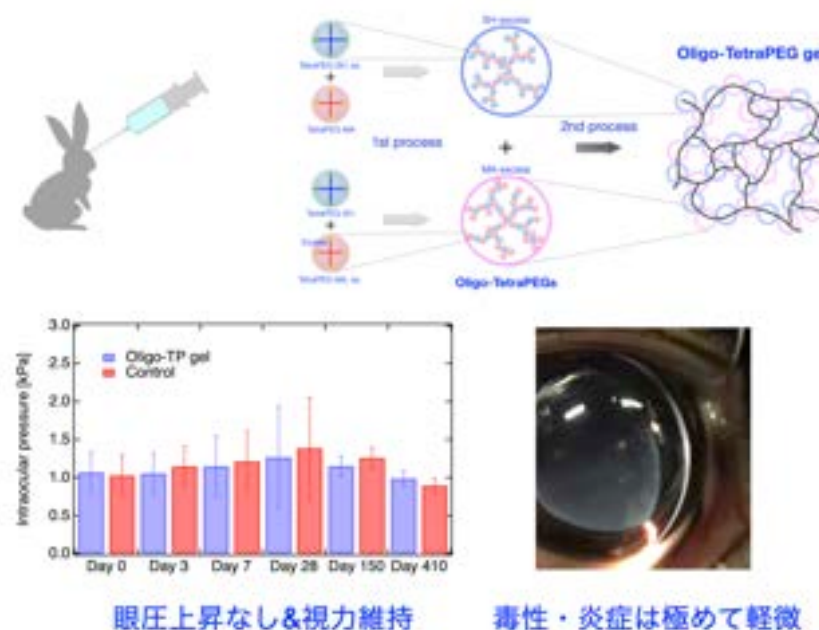


膨らまないゲルという概念を提案
すると共に、設計原理を複数構築

Science 2014 (Top 1% citation in chemistry)

Advanced Materials 2015

Angewandte Chemie Int. Ed. 2016



99.5%の超高含水率ゲルの作製と
人工硝子体への適用

Nature Biomedical Engineering 2017

既存の止血剤の問題点

1. 血液製剤の場合は未知のウイルス混入の可能性あり
2. 抗血液凝固剤を使用していると止血不可能
3. 止まらない時は止まらない



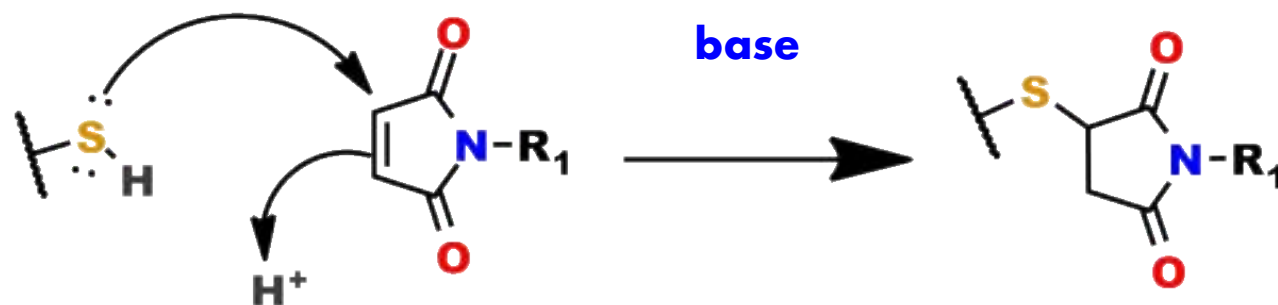
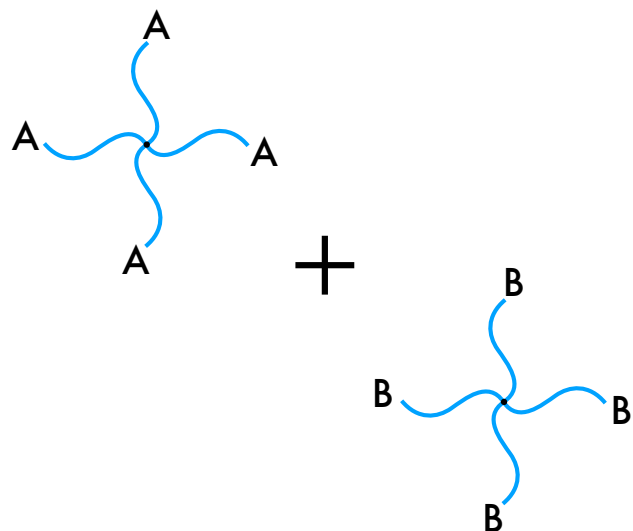
Prof. Katsuyuki Hoshina

現在においても、止血は困難な場合アリ！



共同研究者：東京大学附属病院血管外科 保科 准教授提供

シンプルな方法論：化学反応速度のpH依存性

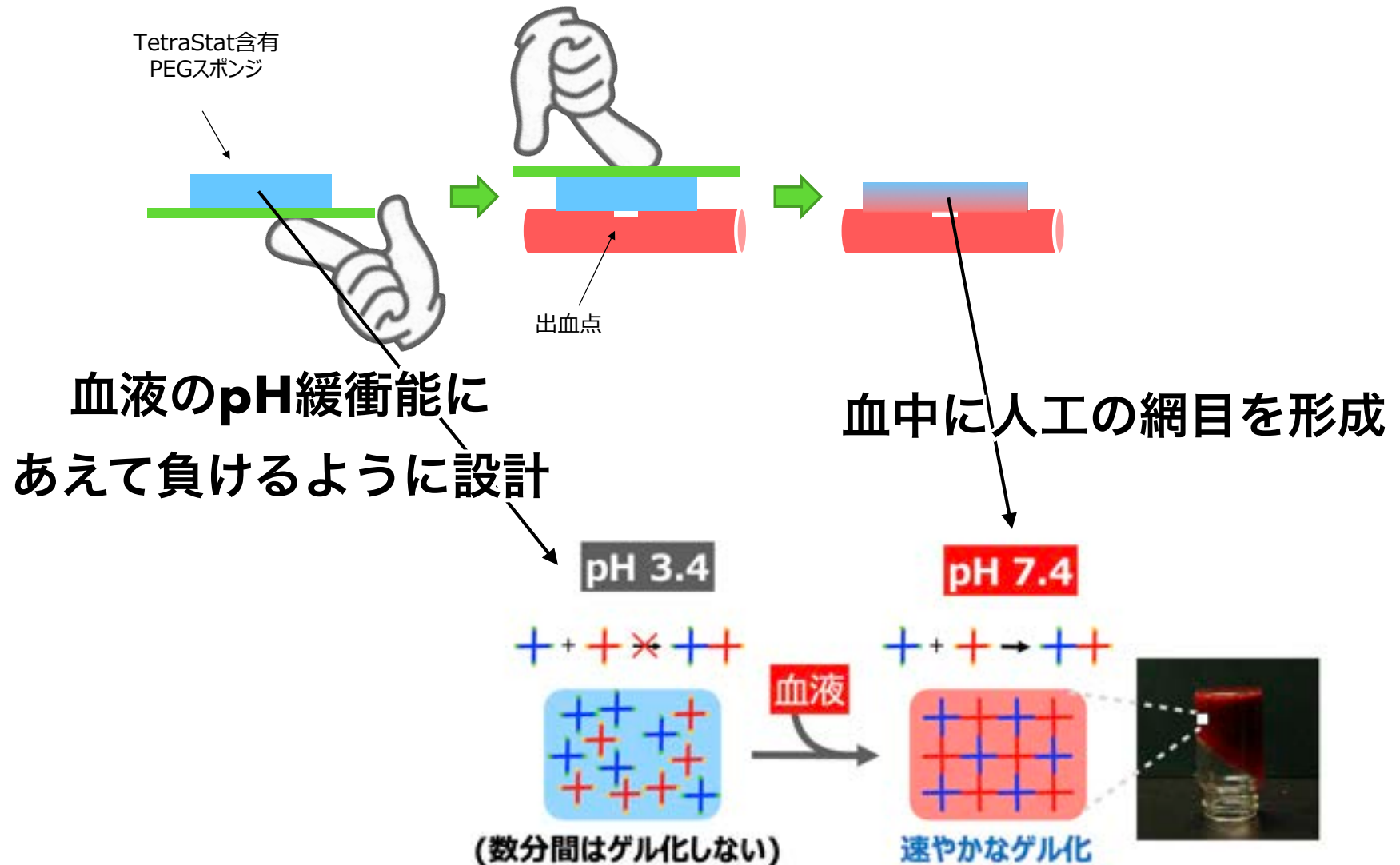


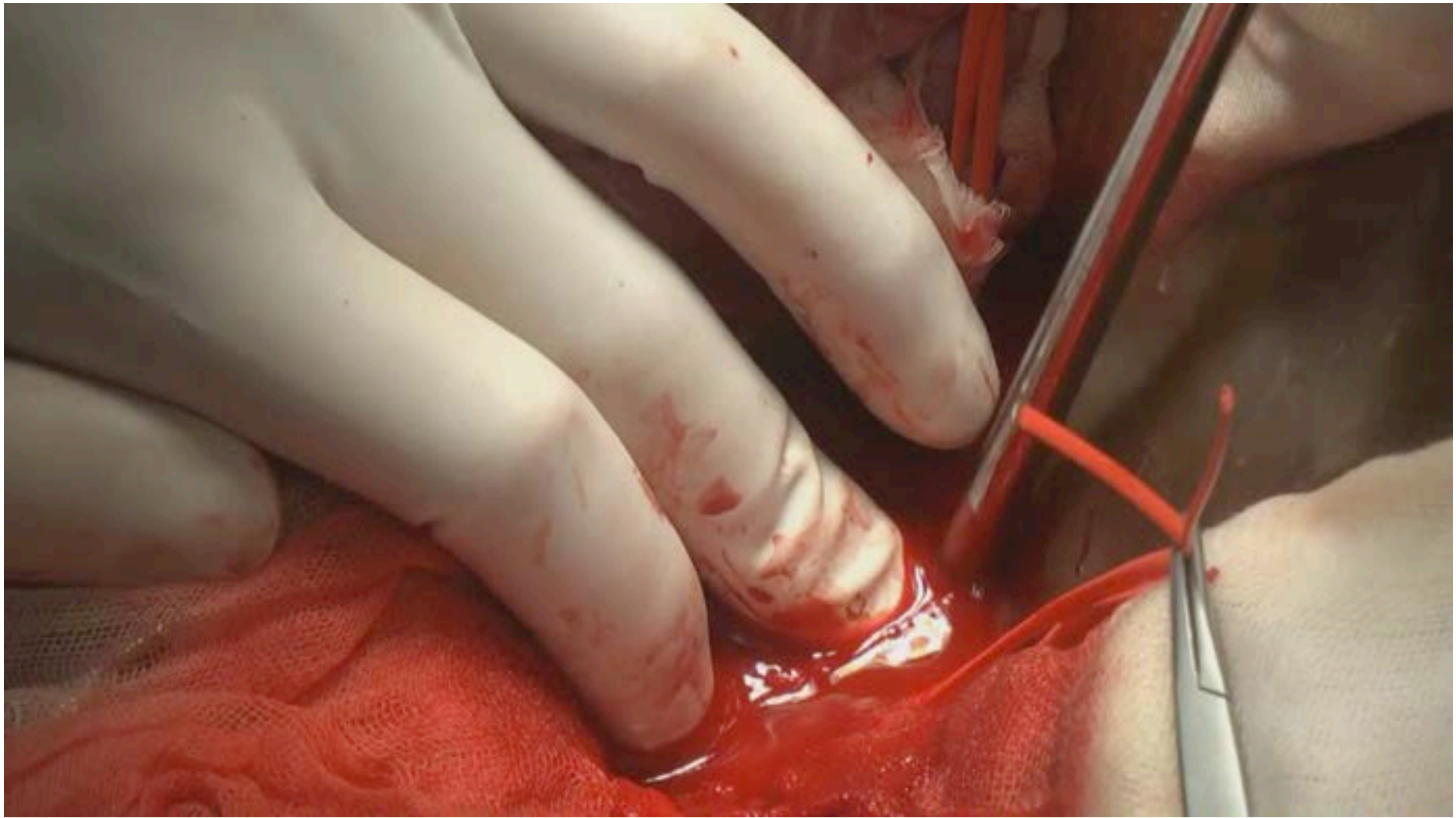
酸性では反応速度が遅く、塩基性では速い

「擬似」血液反応性硬化剤

*止血剤特許出願済

同意書不要！ ヘパリン使用時でも止血可能！





市販の止血剤よりも止まる！

メディコスヒラタとジェリクル、下肢静脈瘤を含む血流障害及び血管疾患分野の体に負担の少ない治療法として、テトラゲル技術の実用化に向けた提携拡大

～ゲルの注射だけという侵襲性の低い治療が可能に～

医療機器業界に於いて100有余年の歴史を有し血管医療の先駆者である株式会社メディコスヒラタ（本社：大阪府大阪市、代表取締役：平田 全孝、以下メディコスヒラタ）とテトラゲルを用いて医療に革新を起こす東京大学発のバイオベンチャー企業ジェリクル株式会社（本社：東京都文京区、代表取締役：増井 公祐、以下ジェリクル）は、両社の共同開発の枠組みを拡大し、血流障害及び血管疾患分野におけるテトラゲルの活用を目的とした共同開発契約を締結しましたので、お知らせ致します。



× MEDICO'S HIRATA INC.

日本経済新聞

紙刊・タ刊 LIVE Myニュース 日報

トップ 速報 オピニオン 経済 政治 ビジネス 金融 マーケット マネーのまなび テック 国際 スポーツ 社会・健康 地域

東大、体液に触れると瞬時に固化する合成ハイドロゲルで速やかな止血を実現

2022年3月7日 15:23



発表日:2022年03月07日

体液に触れると瞬時に固化する合成ハイドロゲルで速やかな止血を実現

—安全かつ高性能な局所止血材や体液漏出防止材の開発に期待—



市販の止血剤よりも止まる！

→開発パートナーに技術移転

既存の腱癒着防止剤の問題点

1. 癒着防止能が不足している
2. 術後、機能が完全には戻らない



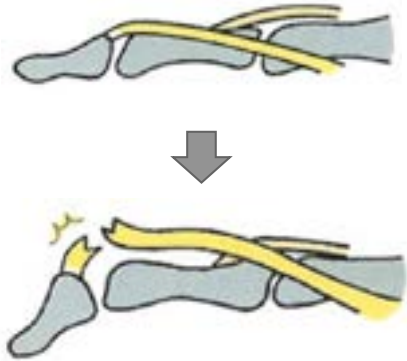
Prof. Taku Saito



Dr. Yasuhide Iwanaga

開発の背景

腱の損傷



誰でも簡単に
いつでも起こりうること



病院へ



腱縫合術の様子
(縫合することはできるが...)

でも...

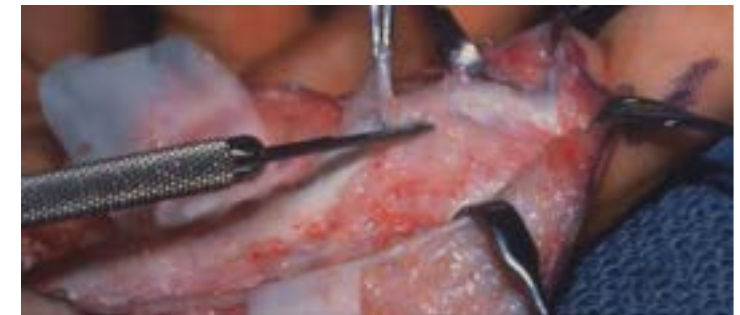


可動域制限が不可避



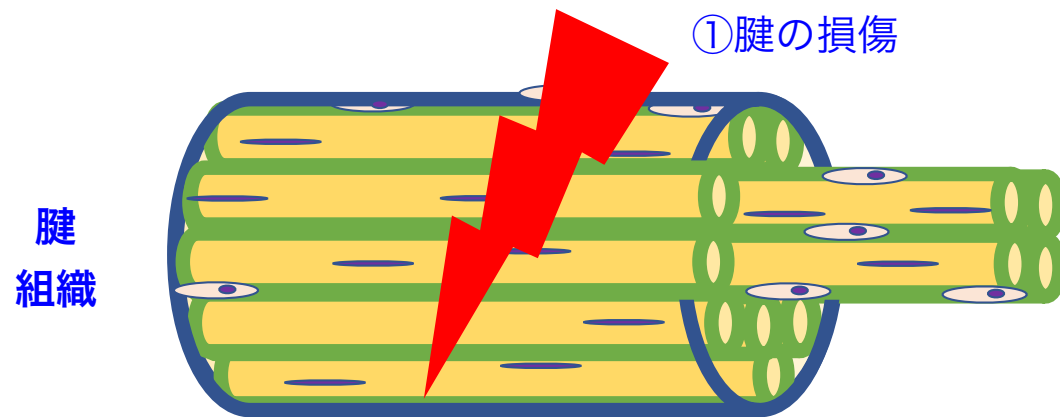
うまく動かない... QOLの大幅低下

原因: 腱の周囲組織との癒着

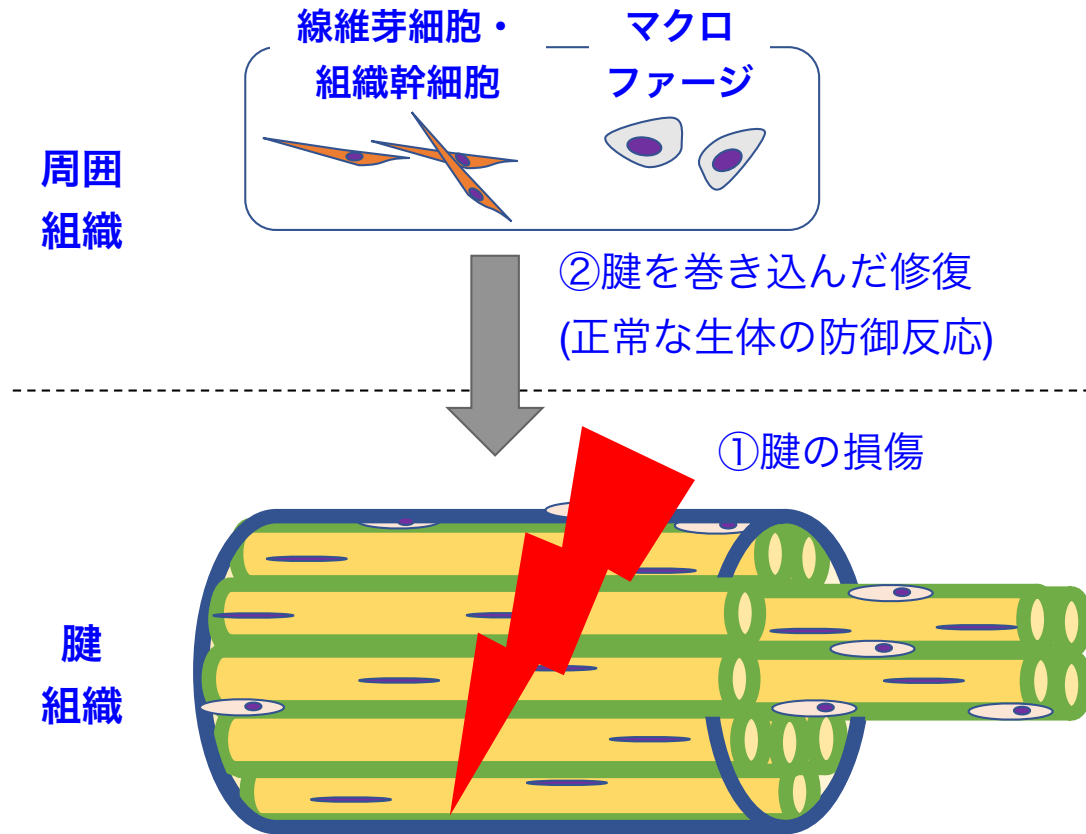


手術やリハビリの技術向上は限界に達しており、腱癒着防止のための医療機器も存在しない
根本的な解決のためには、腱を癒着なく治癒させる新たな医療機器の開発が必要

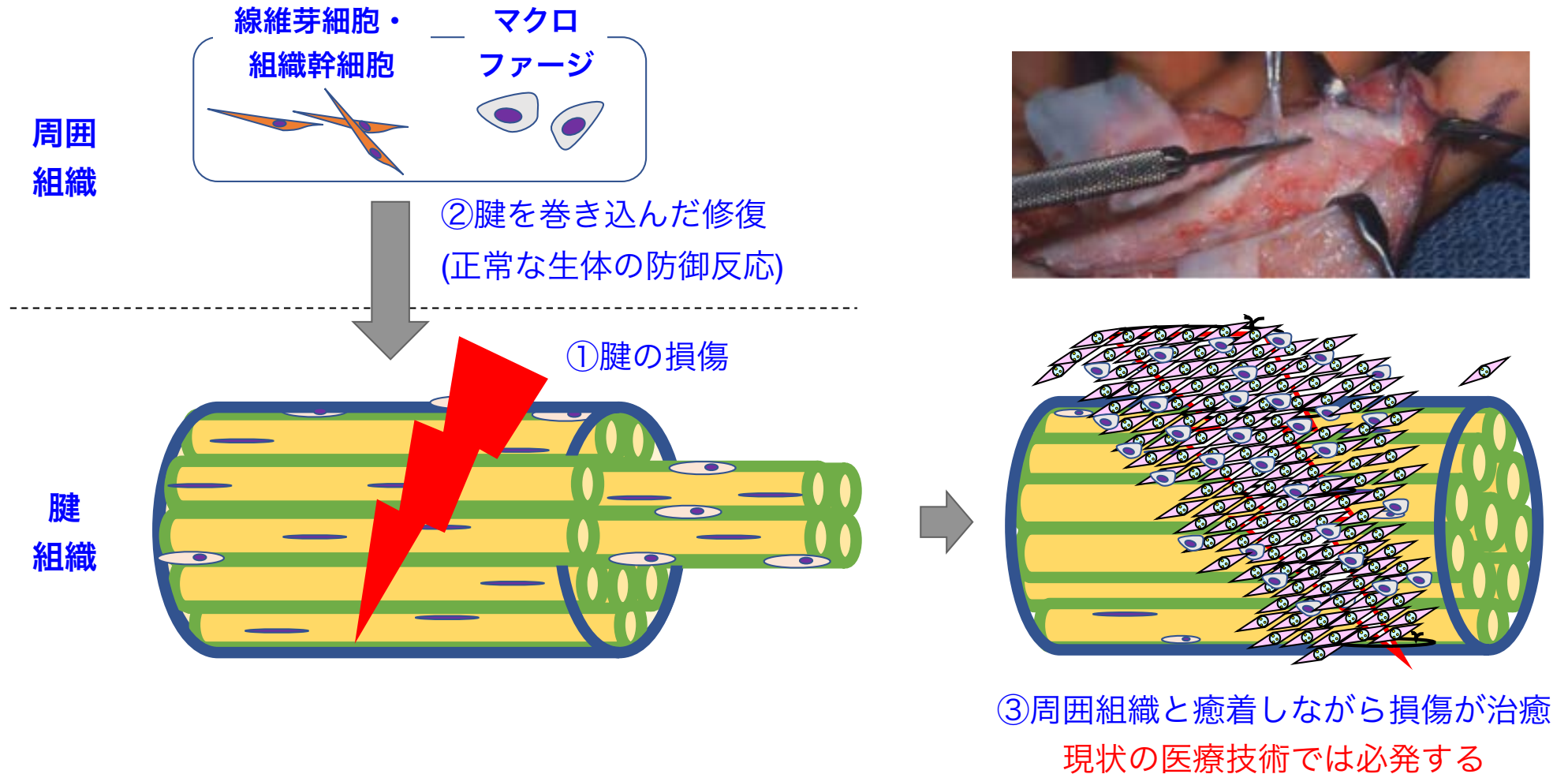
癒着の原因: 腱周囲からの細胞侵入がトリガー



癒着の原因: 腱周囲からの細胞侵入がトリガー



癒着の原因: 腱周囲からの細胞侵入がトリガー



癒着を防ぐには、周囲組織からの細胞侵入を防ぐバリアを設ける必要がある

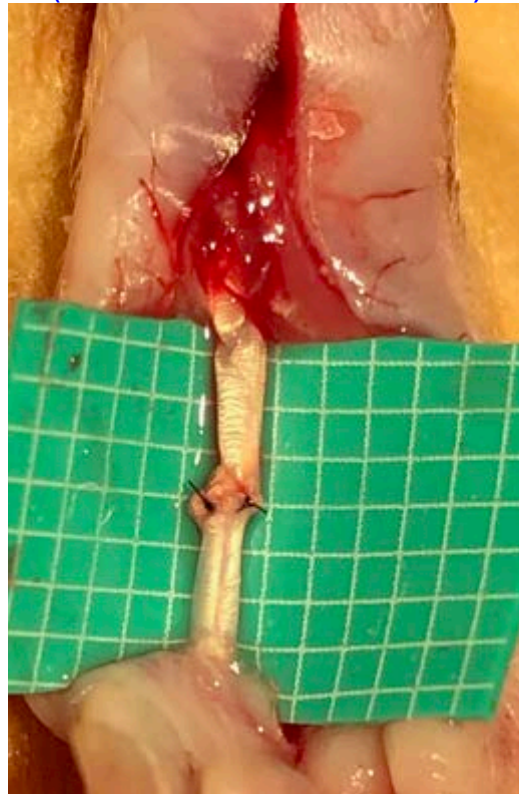
屈筋腱切断モデルでの癒着評価

方法^[1]

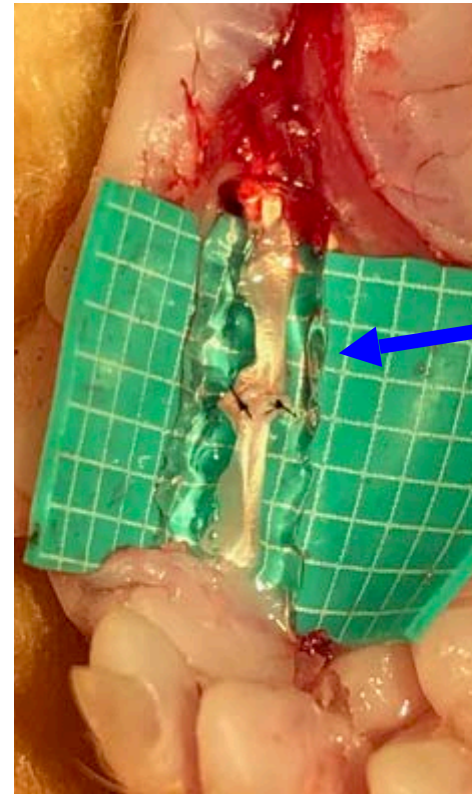
- ①ラット足底の深指屈筋腱を展開し、中央で切断(各群12匹)
- ②津下式ループ針を用いて、下図のように縫合して閉創 ※本品適用群にはゲルを適用
- ③術後3, 7, 14, 21日目にそれぞれ3匹ずつ解析

比較対照群

(縫合のみ = 既存の治療法)



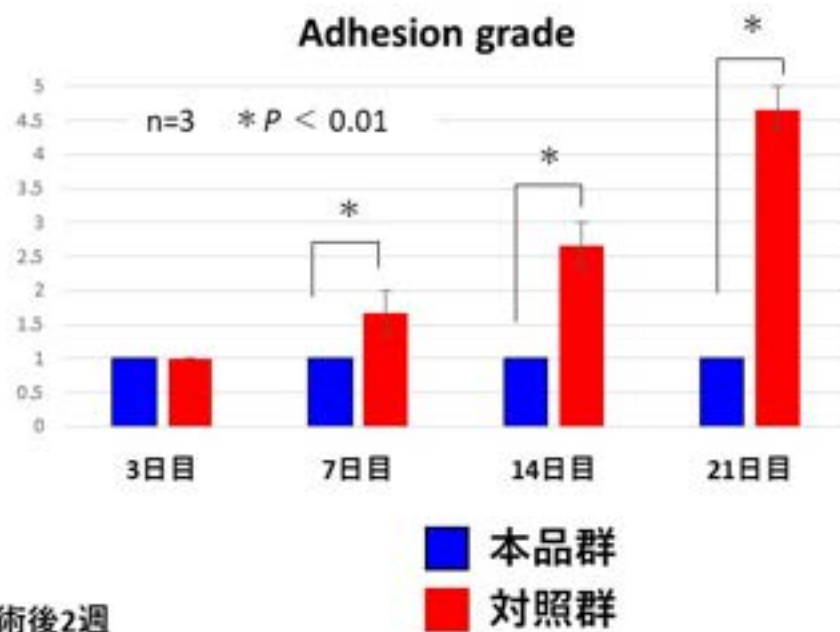
本品適用群



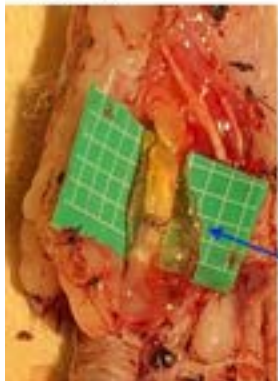
(透明部)
立体的に硬化した
ハイドロゲル

[1] 確立されたラット屈筋腱癒着モデル (Iwanaga Y et al., *J Hand Surg GO*, in press)

癒着グレードの評価



術後2週
本品群



本品群において、周辺組織との癒着は見られず、
本品は術直後のまま腱周囲に存在していた
(術後3週でも同様の結果)

Adhesion grade (macroscopic evaluation)

grade1

No adhesion

grade2

Adhesion can be separated by blunt dissection

grade3

Sharp dissection is required to separate less than or equal to 50% of the adhesion

grade4

Sharp dissection is required to separate 51-97.5% of the adhesion

grade5

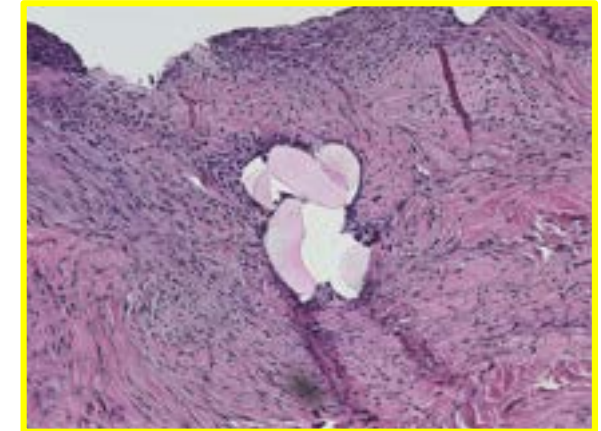
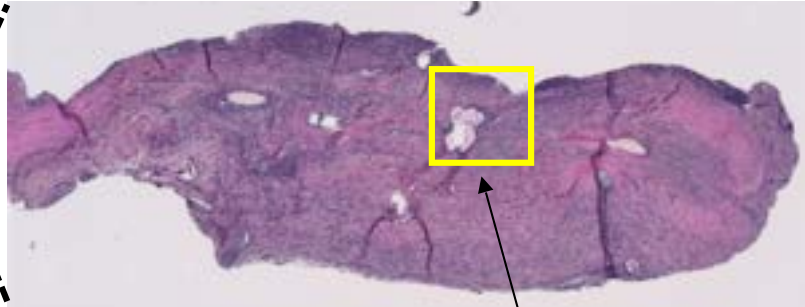
Sharp dissection is required to separate more than 97.5% of the adhesion

J Orthop Res. 2008 April ; 26(4): 562–569

本品によって、ラットモデルにおける腱癒着をほぼ完全に防止することができた

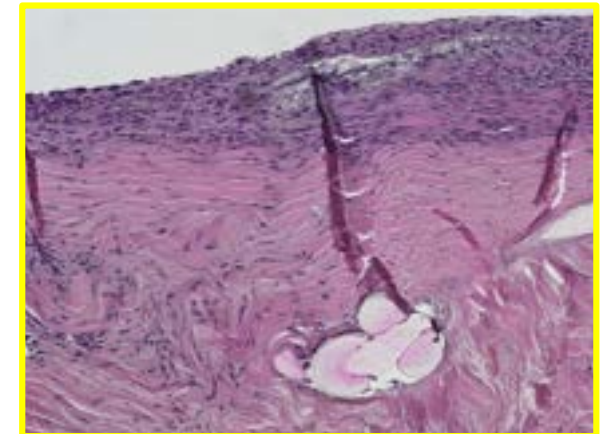
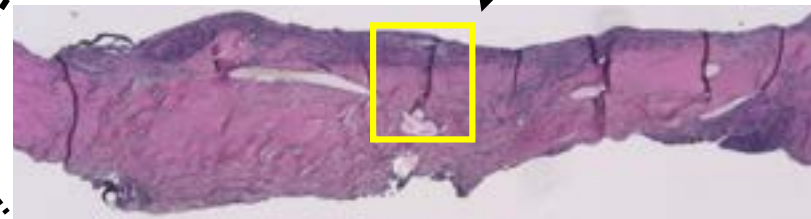
再生腱の組織学的評価の一部

対照群



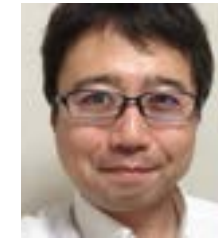
腱内部まで広範囲に無数の細胞が増殖しており、本来の構造を保っていない

本品適用群



辺縁は腱前駆細胞が豊富であるが、内部は腱本来の線維構造が保たれている

縫合部



ゲルのロバスト強靱化機構の解明と人工**靱**・**靱帯**の開発

東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻

ジェリクル株式会社

酒井 崇匡

現状の人工靱帯は医療ニーズを満たしていない

前十字靱帯（ACL）損傷診療ガイドライン 2012

解 説

Leeds-Keio 人工靱帯を用いた ACL 再建術5年以上の成績では、関節不安定性や関節症変化を高率に合併する、高い初期強度を確保し、優れた組織誘導能も有すると報告されているが、早期のスポーツ復帰が安全により高率に可能となるかどうかについては報告をみない。また、Dacron 人工靱帯と Gore-Tex 人工靱帯による ACL 再建術の成績は不良で、中長期成績での断裂頻度も高く、滑膜炎や骨孔拡大の合併症が数多く報告され、現在は使用されていない。



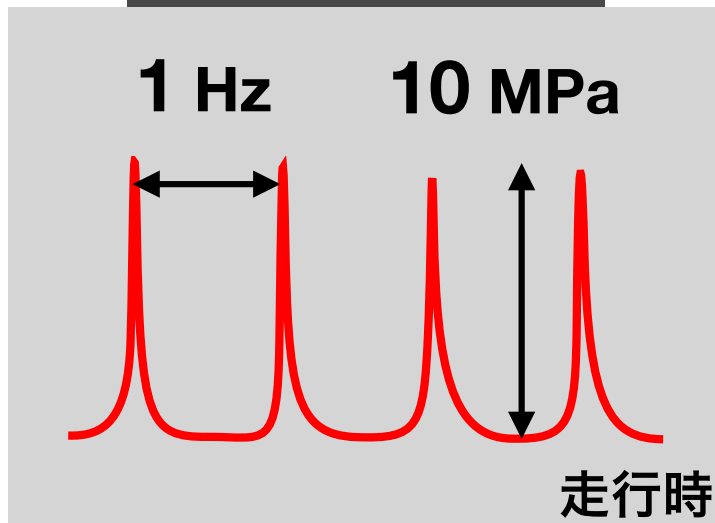
医学的アンメットニーズ：人工腱・靱帯

使用環境において、常に一定の力学応答を示すことが必要不可欠



10^4 歩 ... 10^6 歩 ... 10^7 歩
1 日 ... 3 年 ... 30 年

力学的ストレス



炎症によるストレス

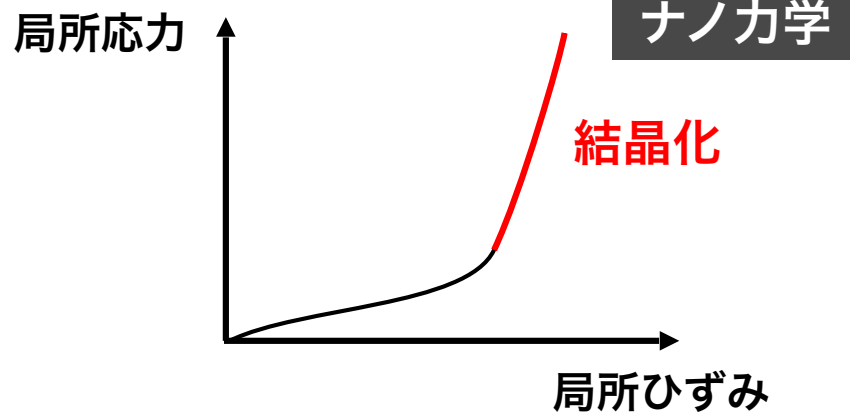


ロバスト強靱性ゲルのタフ化メカニズム

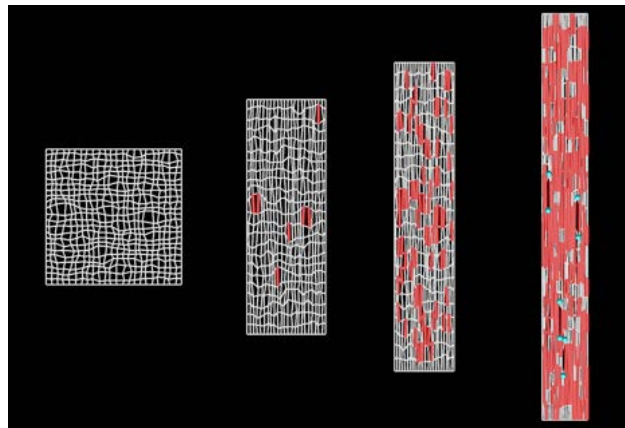
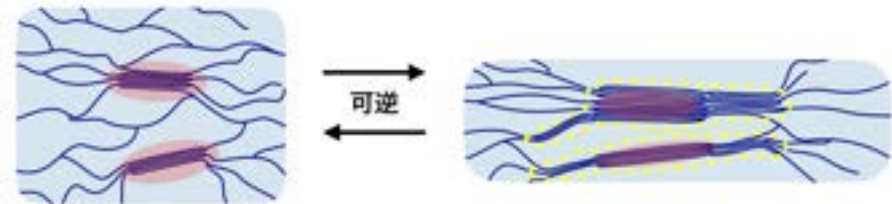
原理：ひずみの平準化



応力集中部位のひずみ硬化

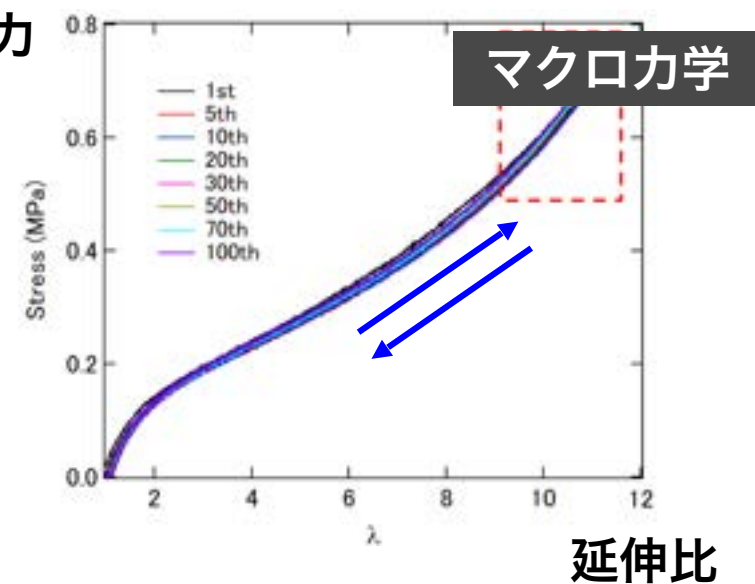


伸張誘起結晶化



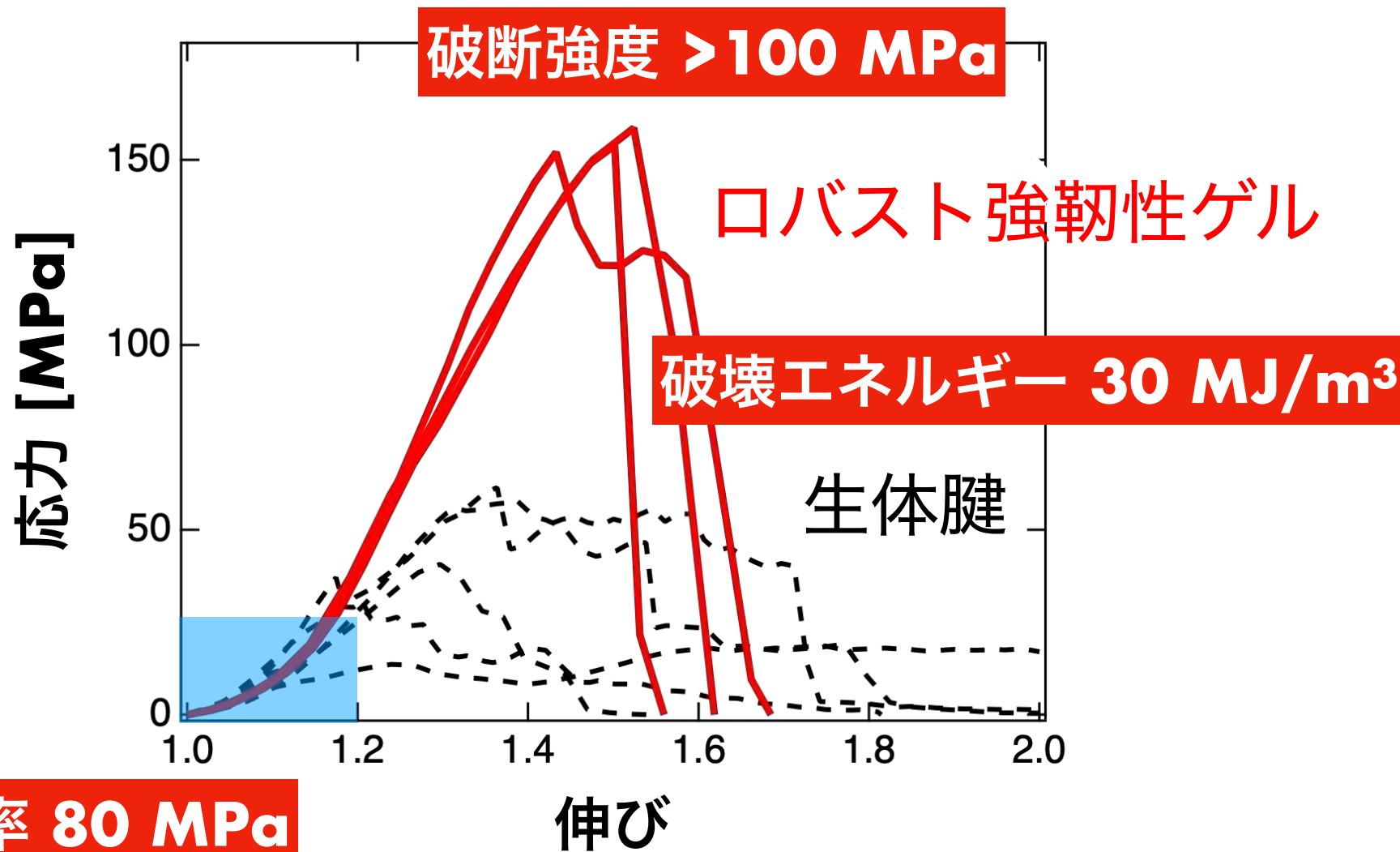
増測Gによるシミュレーション

応力



ロバスト強靱性ゲルの力学特性

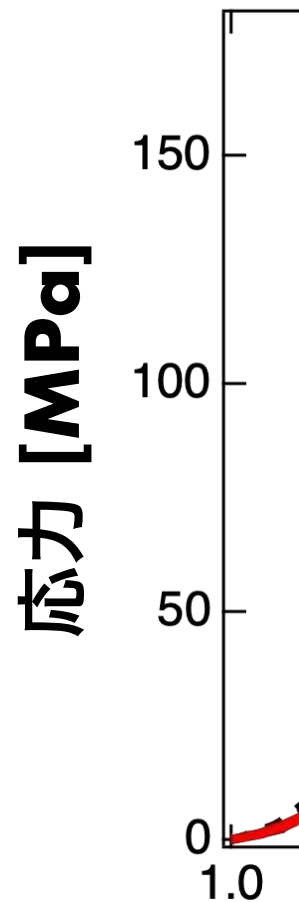
@生理食塩水中 37°C



ヒトに使用可能な高分子+水

ロバスト強靱性

@生理食塩水中 37°C



弾性率 80 MPa



Pa

ト強靱性ゲル

しギー 30 MJ/m³

腱

2.0

用可能な高分子+水

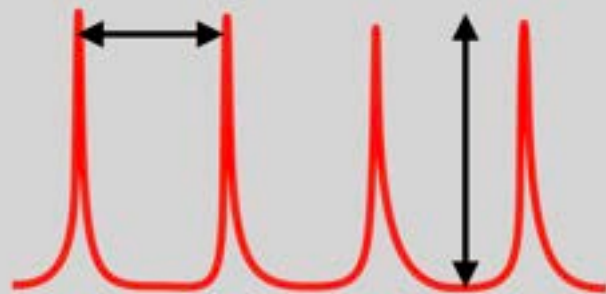
@生理食塩水中 37℃



力学的ストレス

1 Hz

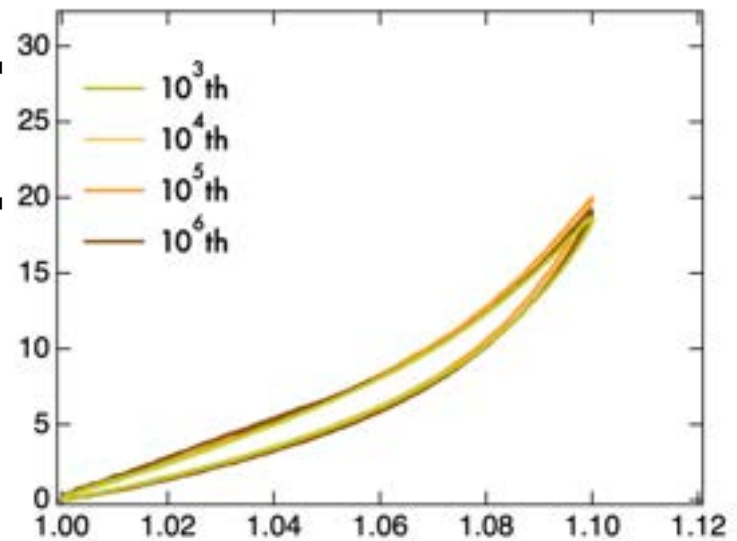
10 MPa



走行時

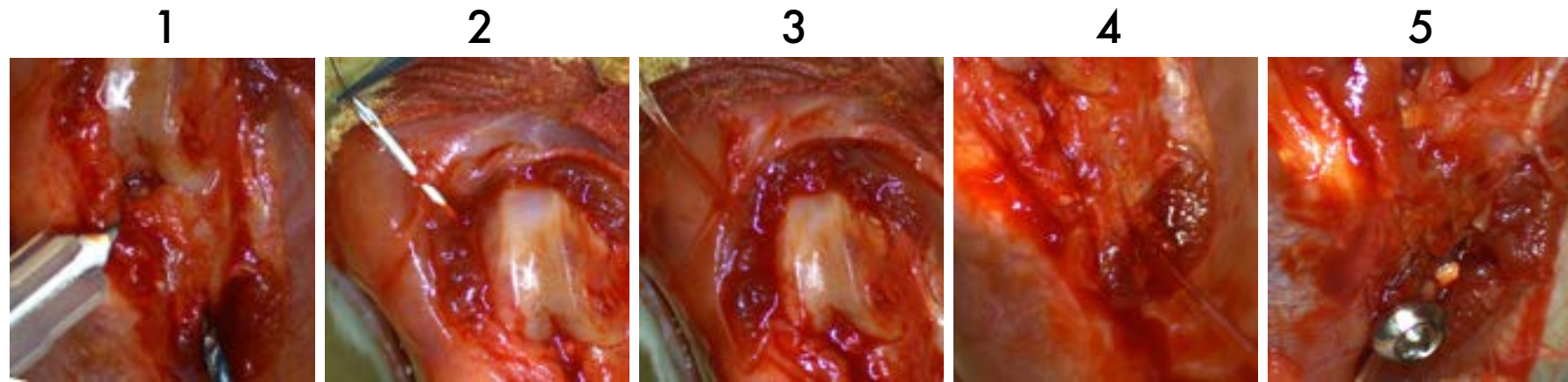
20 MPa 10^6 cycles

引っ張る力 [MPa]



伸び

ラットモデルを用いた前十字靭帯再建術



1
骨孔の作
成

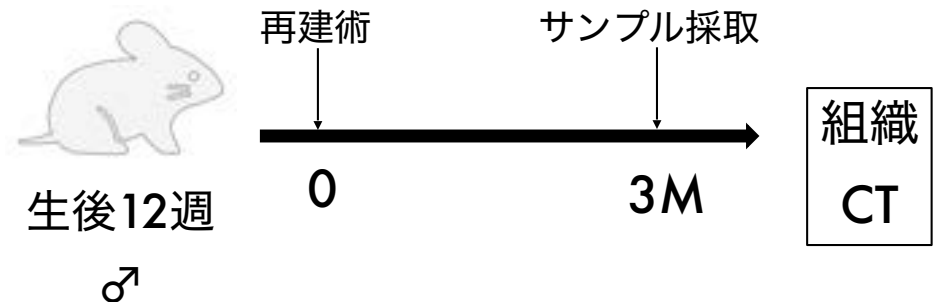
2
注射針での
誘導

3
骨孔にゲルを
通す

4
ゲルを脛骨側に
牽引

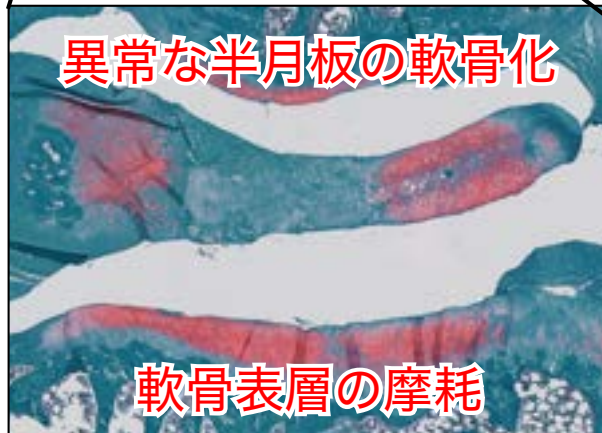
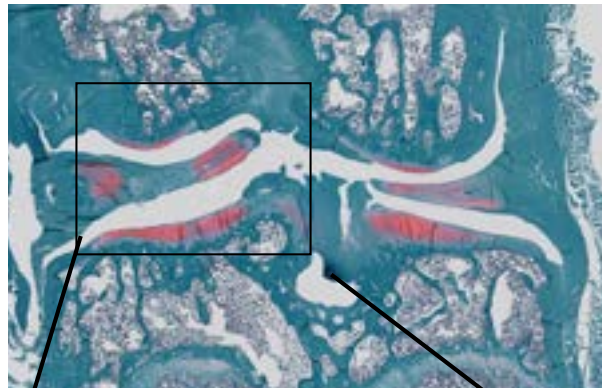
5
ゲルの固
定

術前の人工靭帯（モノフィラメント）

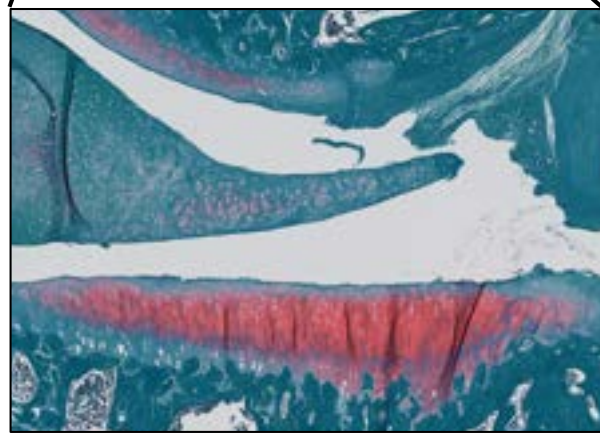
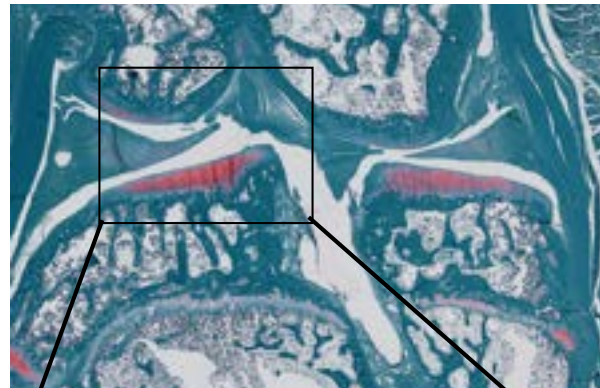


組織学的評価（術後3ヵ月）

ACL切断

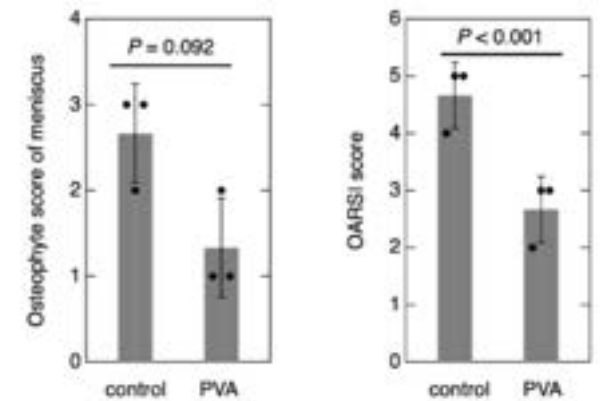
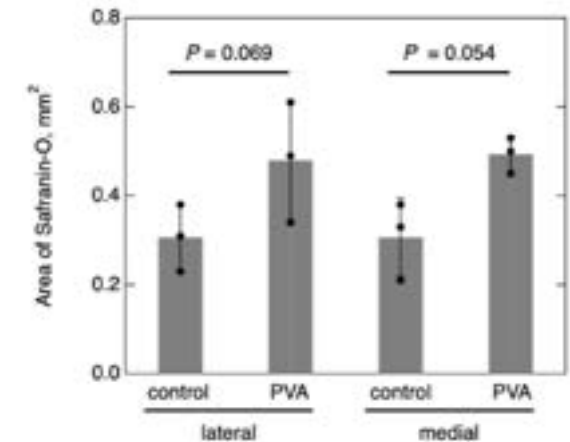


人工靱帯



Safranin-O staining
軟骨細胞の染色

正常な軟骨細胞

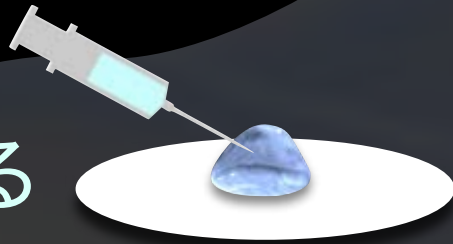


異常な半月板
の骨化

変形性関節症
スコア

確かな学理を基盤とした医療応用

つくる



かためる

Artificial vitreous
Hemostatic agent

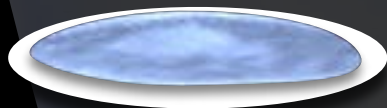
わける

Adhesion barrier

つなげる

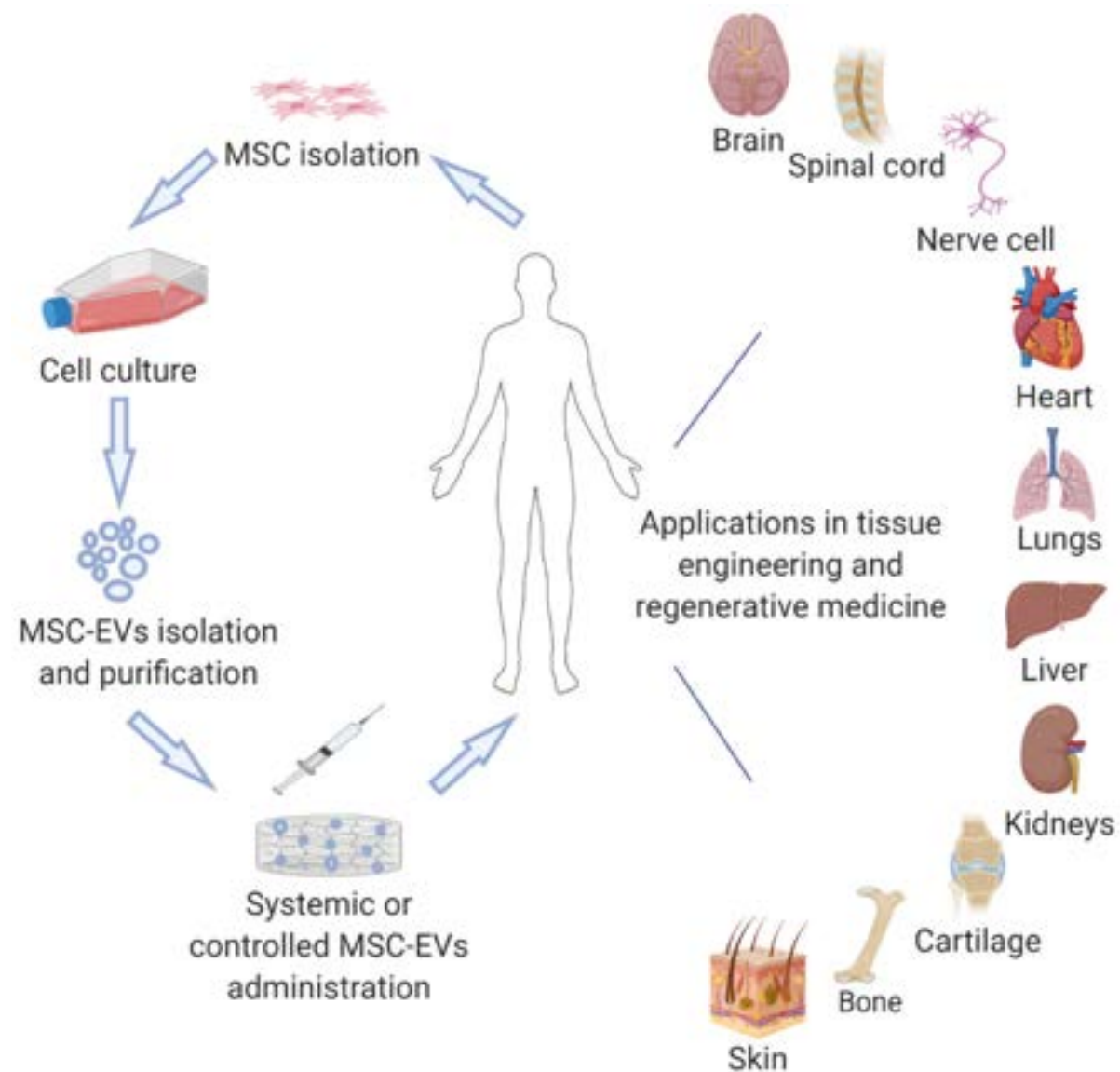
Scaffold

こわす



効果・効用は物理的な機序によるため、
種差による影響が少ないと想定される

足場は再生医療における Last One Mile



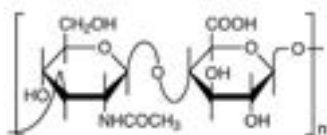
マトリゲルはヒトには使えない



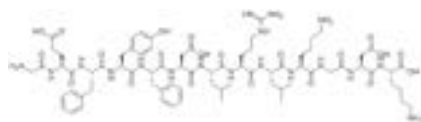
Corning Matrigel matrix is a solubilized basement membrane preparation extracted from the **Engelbreth-Holm-Swarm (EHS) mouse sarcoma**, a tumor rich in extracellular matrix proteins, including Laminin (a major component), Collagen IV, heparan sulfate proteoglycans, entactin/nidogen, and a number of growth factors.

ヒトに使える材料は限られている

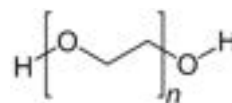
ヒアルロン酸



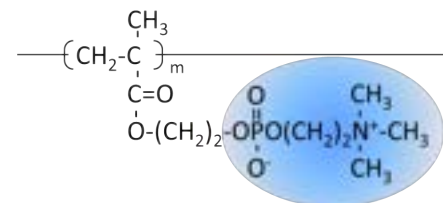
コラーゲン



ポリエチレングリコール



MPC



化粧品・石鹸



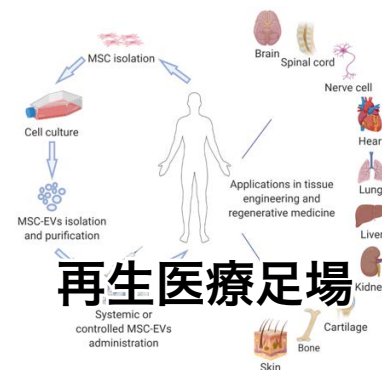
人工関節



人工心肺



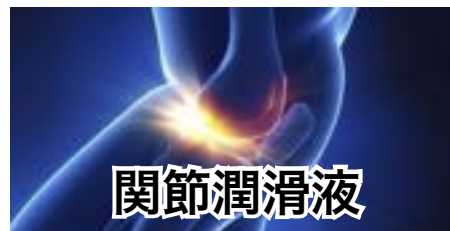
再生医療足場



人工血管



関節潤滑液



医用賦形剤



歯磨き粉



ワクチン
抗体医薬
核酸医薬



ステント



座薬



ポリエチレングリコール

文A 26の言語版 ▾

ページ ノート

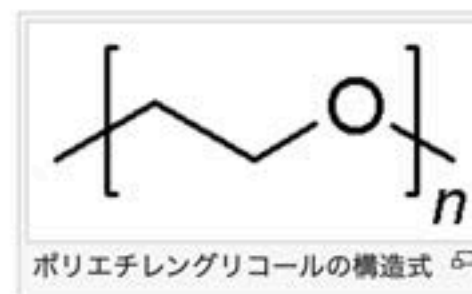
閲覧 編集 履歴表示

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia) 』

ポリエチレングリコール（polyethylene glycol、略称 **PEG**、マクロゴールとも）は、**エチレングリコール**が**重合**した構造をもつ**高分子化合物**（**ポリエーテル**）である。**ポリエチレンオキシド**

（polyethylene oxide、略称**PEO**）も基本的に同じ構造を有する化合物であるが、PEGは**分子量**2万程度（下記 CH₂-CH₂-Oの分子量が44なので、概ねn≦450）までのもの、PEOは数万以上のものをいう^[1]。両者は物理的性質（**融点**・**粘度**など）が異なり用途も異なるが、化学的性質はほぼ同じである。

一般的な構造式は HO-(CH₂-CH₂-O)_n-H と表される。PEG は**水**・**メタノール**・**ベンゼン**・**ジクロロメタン**に可溶、**ジエチルエーテル**・**ヘキサン**には不溶である。**タンパク質**など他の**高分子**に PEG構造を付加することを **PEG化**（ペグ化/pegylation）という。



利用 [編集]

PEG はエチレングリコールを重合した物で、色々な製品に用いられる。材料としての PEG は、**軍用防護服**^[2]や、**糖尿病患者**の血糖値を監視するための採血器に代わる**タトゥー**風の方法^[3]などへの応用も開発されつつある。PEG により、**ポリウレタンエラストマー**にゴム状の性質を与えることができ、これはポリウレタンフォームや**スパンデックス**繊維へ応用されている。

PEG を他の**疎水性**分子に結合すれば、**非イオン界面活性剤**（PEG部分はポリオキシエチレン[POE]鎖と呼ばれる）が得られ、**化粧品**の**乳化剤**などに用いられている。

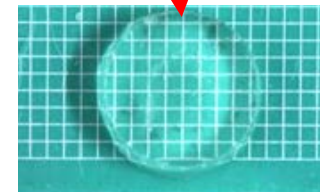
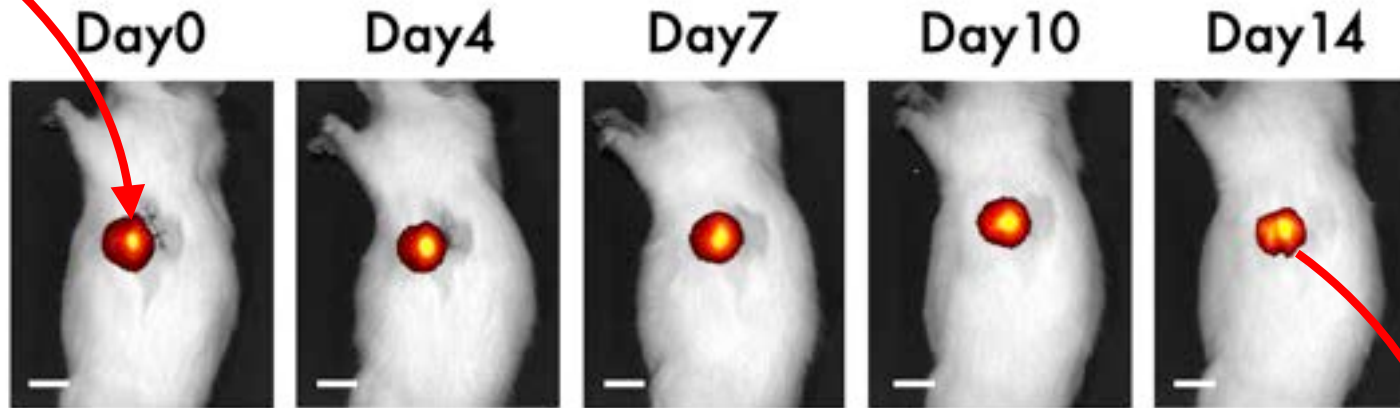
分子量3500 - 4000 (79≦n≦91)のポリエチレングリコールは、慢性**便秘**の**瀉下薬**として用いられる（日本での製品名はモビコールとして2018年上市された^[4]）。

PEGには、タンパク質も細胞も接着しない

PEG gel



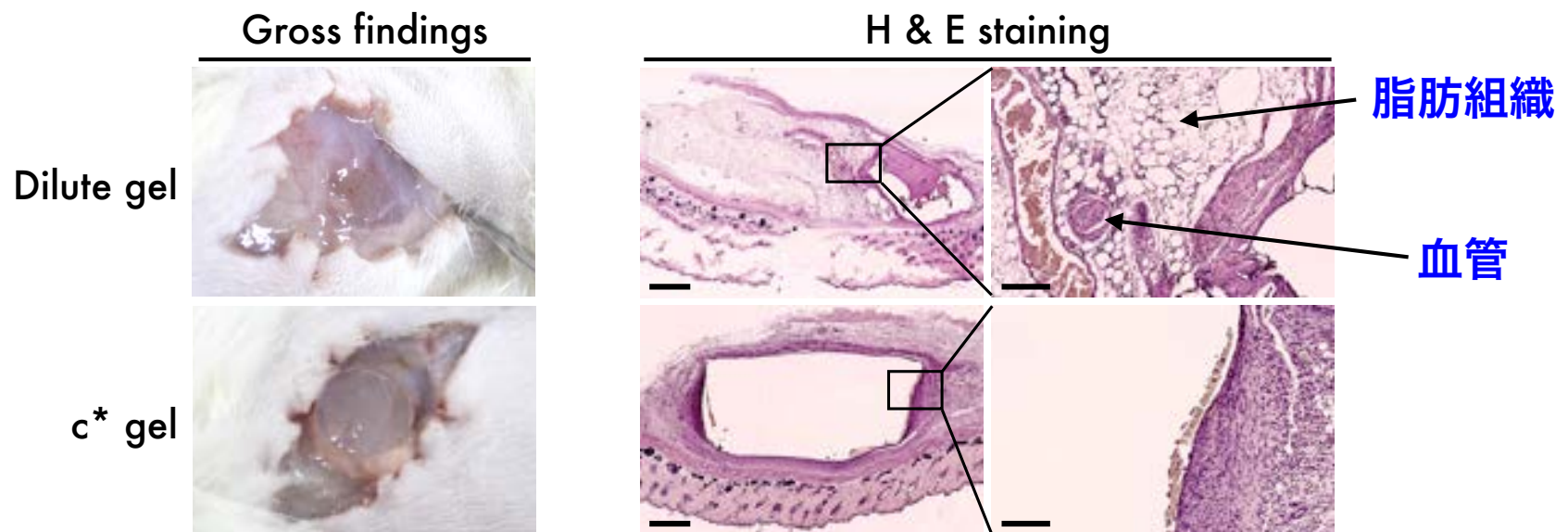
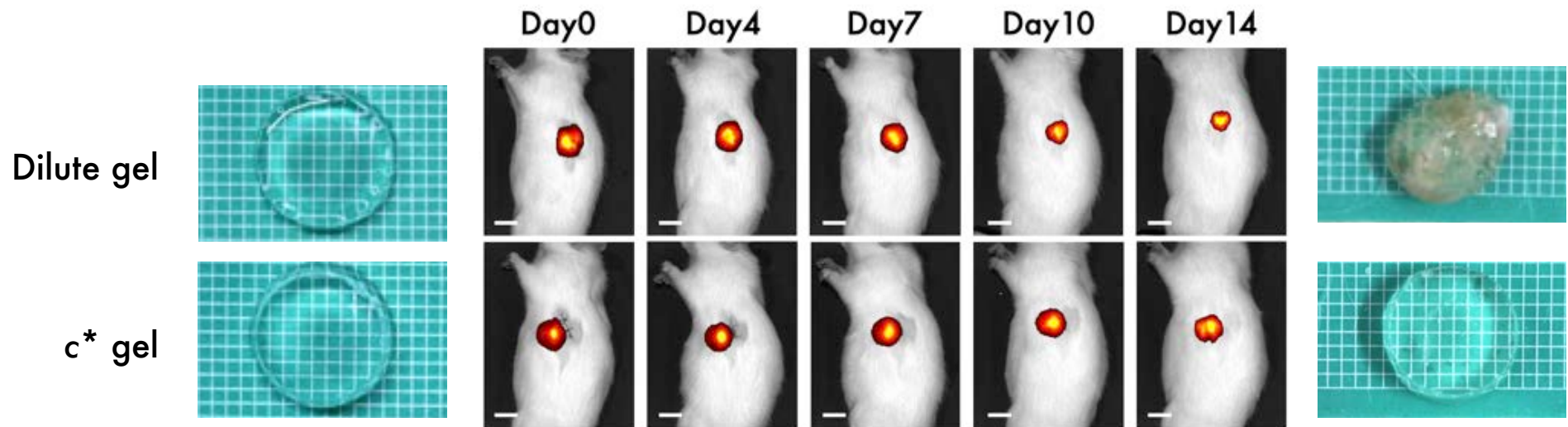
50万報を超えるPEGの論文において、
PEGに細胞やタンパク質が吸着した例は皆無



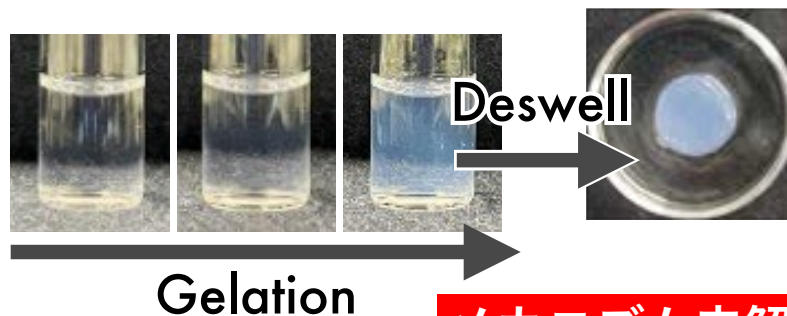
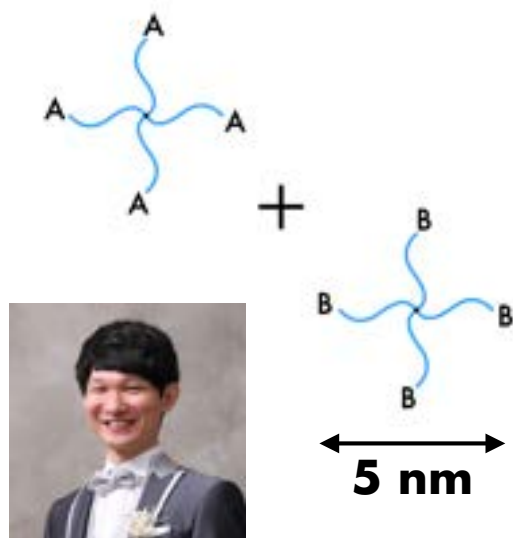
生体に対して不活性
足場としては不適切

ゲル化制御により細胞接着性**PEG**ゲルが作製可能

生体内で分解され、脂肪組織に置換される



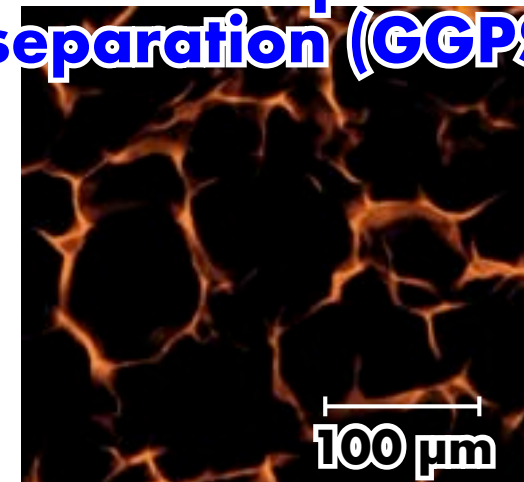
世界初：PEGのみからなる人工細胞外マトリックス



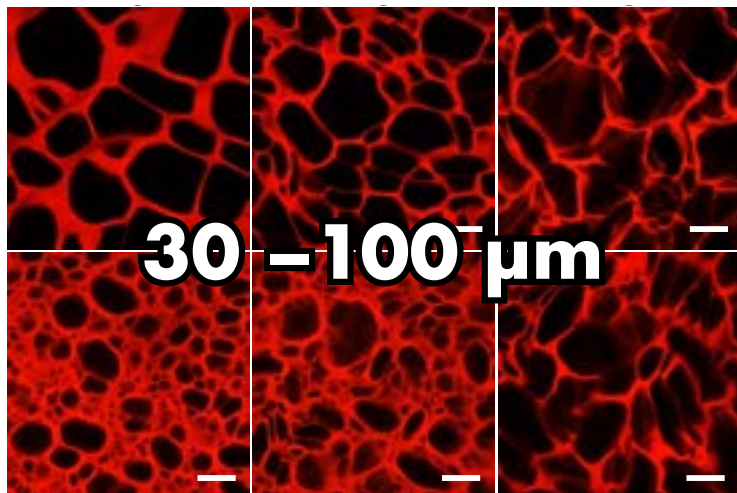
メカニズム未解明

Nature Materials 2023

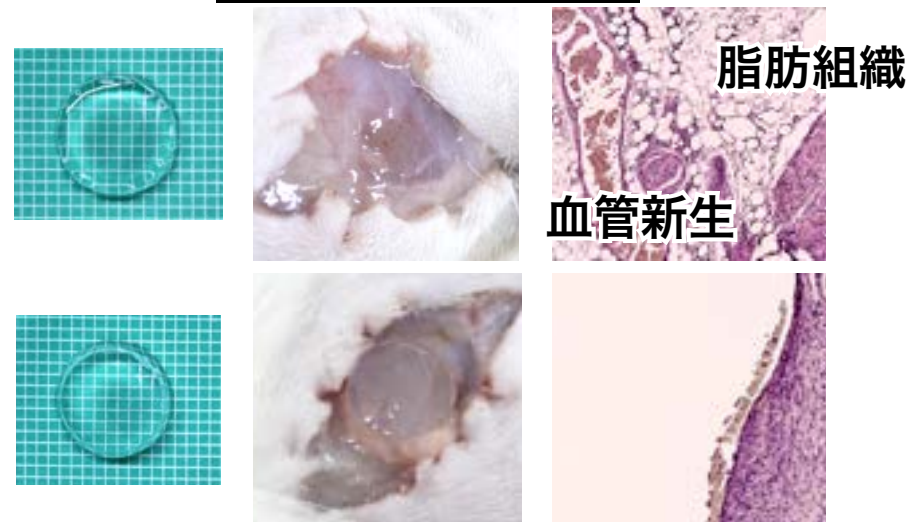
Gel-Gel phase separation (GGPS)



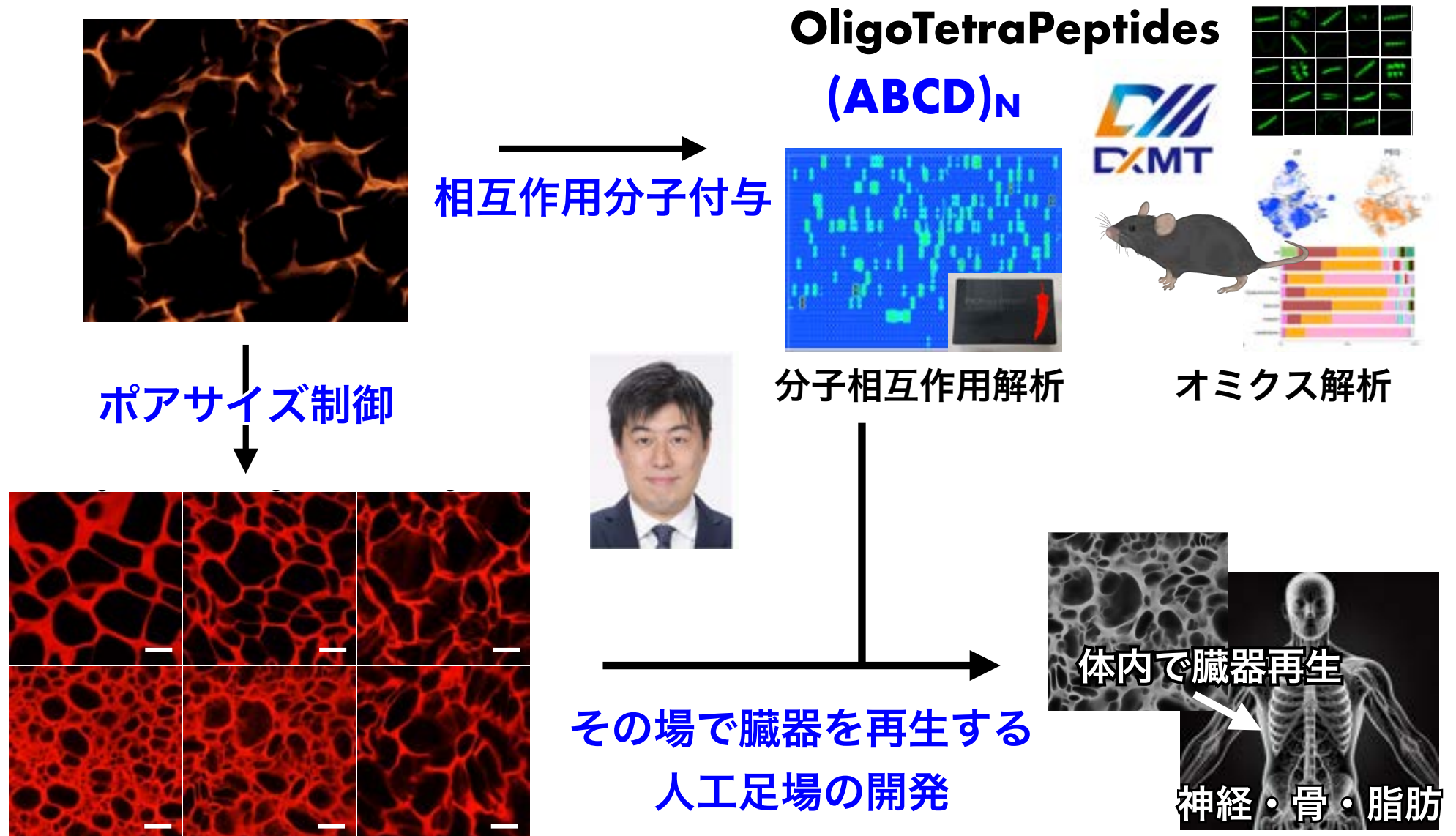
細胞と相互作用可能な孔を形成



組織親和性発現

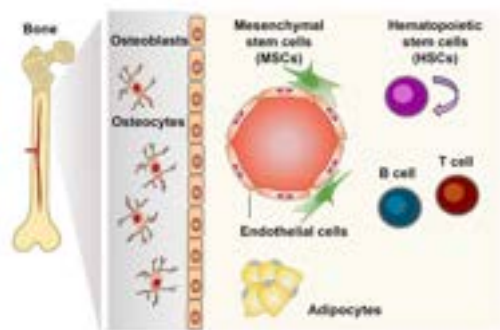


生体とゲルの相互作用制御による「その場臓器再生」

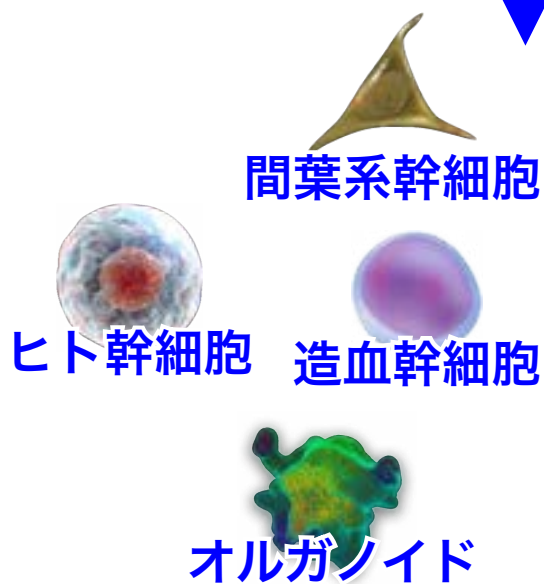


細胞微小環境を再現し「体外で」組織を造る

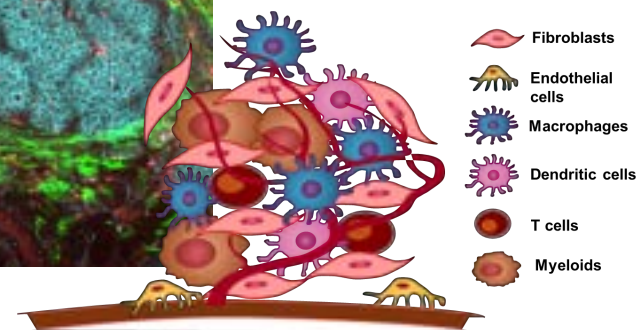
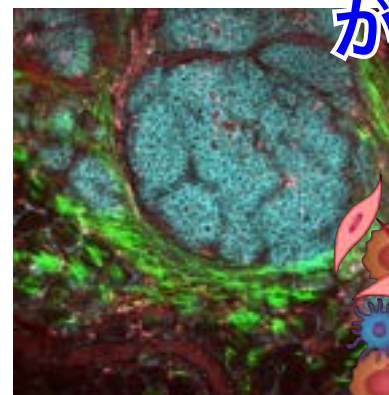
人工骨髄の創製



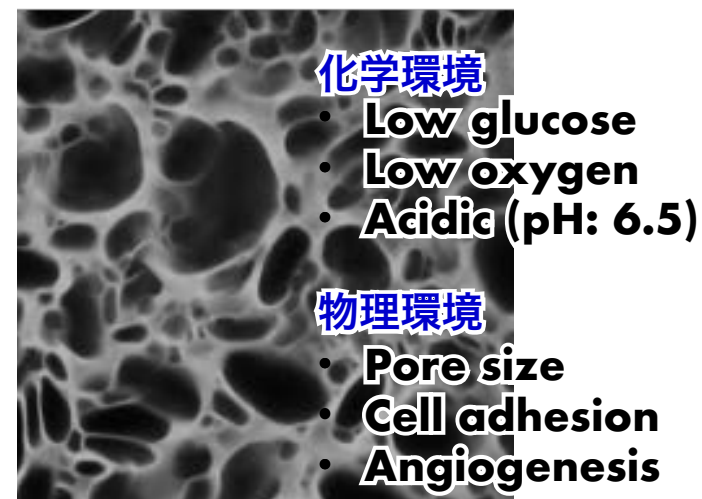
骨髄微小環境を再現



がん組織の創製

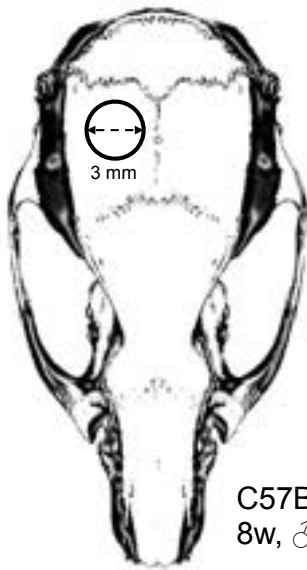


がん微小環境を再現

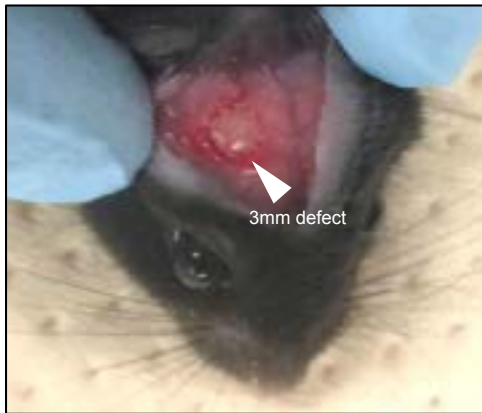


PEG gel can be scaffold for bone regeneration

Cranial bone defect



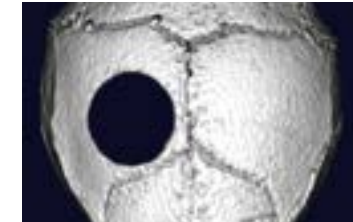
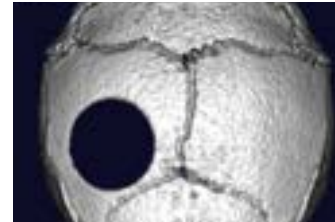
C57BL/6J
8w, ♂



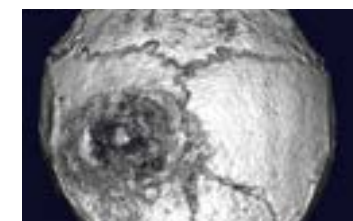
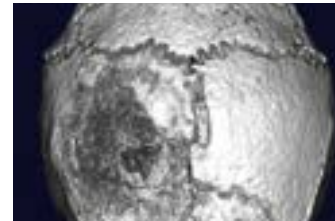
Collagen +BMP

GGPS gel +RGD+BMP

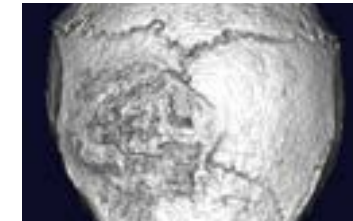
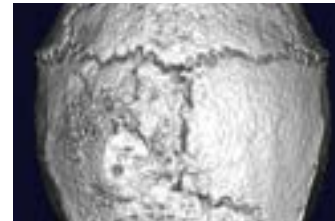
POD1



POD14



POD28



POD42



「しょうがない」をなくしたい

アンメットニーズを超える
アンノウニーズを探して

Find better QOL with hydrogels



ビジネスモデル

Unauthorised
redistribution
strictly prohibited

東京大学などのアカデミックセンターとの共同研究で生み出した成果・特許技術を顧客企業との共同開発を実施。顧客企業との共同開発により技術の社会実装を目指す。複数企業と同時に複数製品を開発できるビジネススキームを構築。

複数の製品を同時に開発できる仕組みを構築





