

研究成果報告[3]：革新的生産・製造技術

デザイナブルゲルの 革新的3Dプリンティング技術による 新市場創出

研究開発責任者：古川 英光（山形大学）

実施機関：山形大学、JSR株式会社、サンアロー株式会社

SIP革新的設計生産技術公開シンポジウム2016

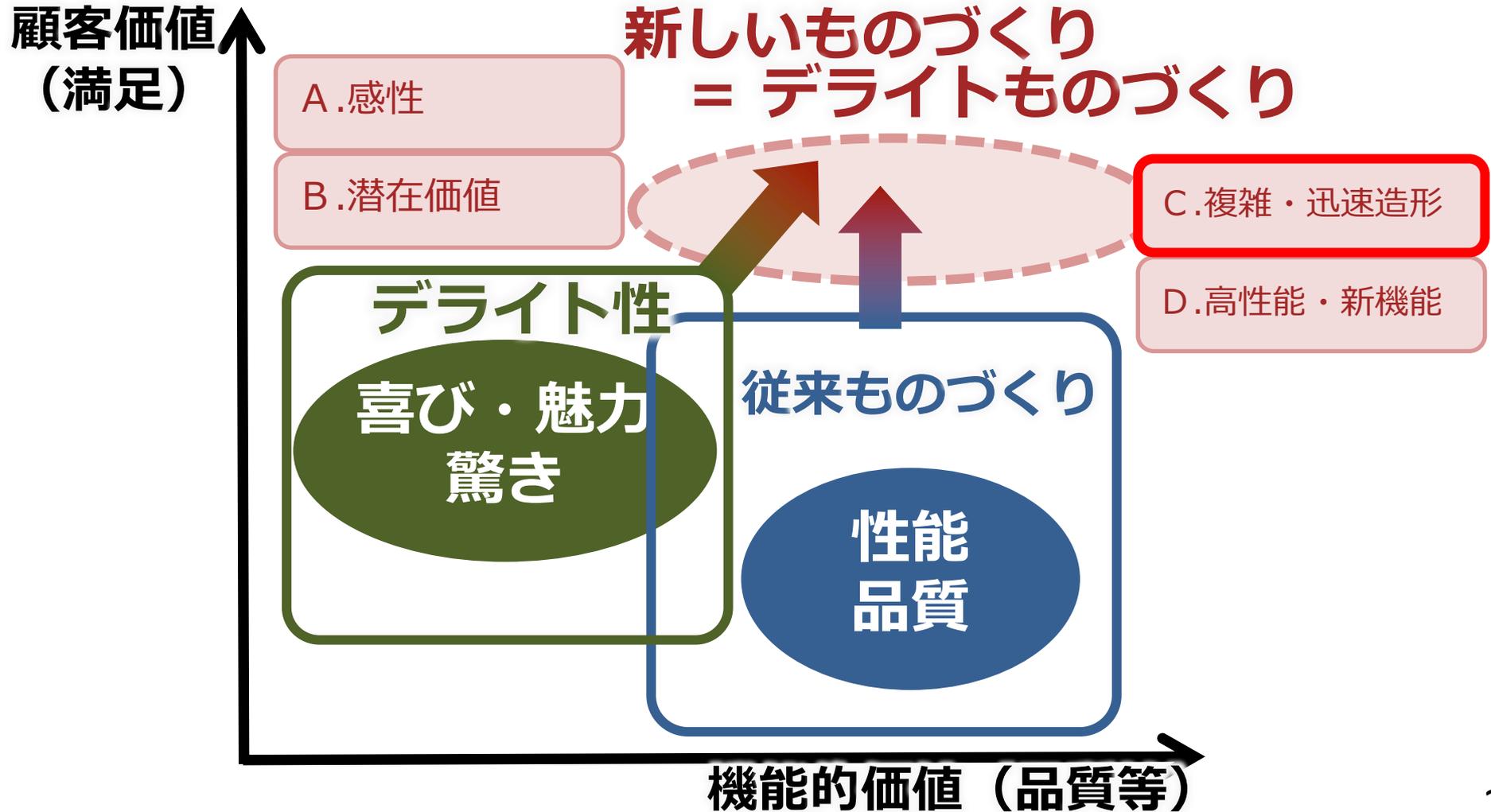
日時：2016年11月14日（月）

場所：ヒューリックホール

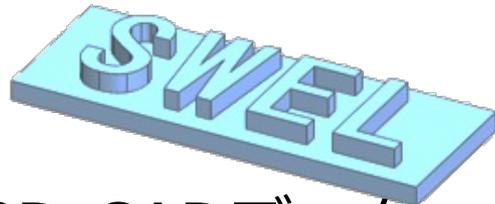


SIP革新的設計生産技術が実現するデライトものづくり

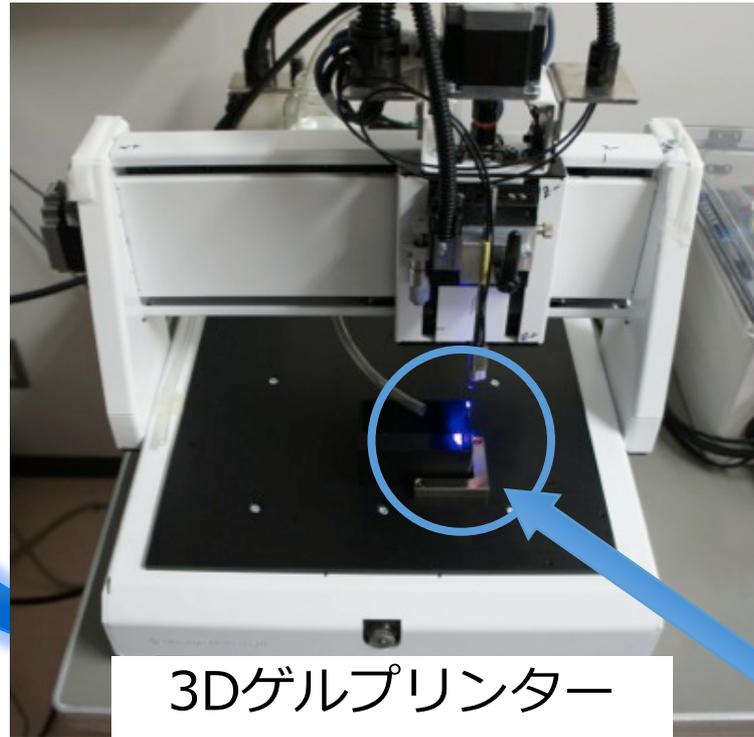
SIP革新的設計生産技術ではデライトものづくりの中で
A.感性 B.潜在価値 C.複雑・迅速造形 D.高性能・新機能
に集中的に取り組む



世界初! 3Dゲルプリンター



3D-CADデータ



3Dゲルプリンター



高強度ゲル

先進的ゲル材料の
自由造形が可能な
世界初の3Dプリンター

革新的ブレークスルー技術!

UV照射部分のみゲル化!

- 造形モデルは3D-CADソフトで作製
- 型では作れない複雑・中空構造を迅速造形
- 山形大学で開発された先進的ゲル材料の3D自由造形が可能

化学×機械

なぜ、ゲル？

生体組織は、骨格（骨、歯等）を除いて、
すべて**軟組織**から構成されている



軟組織の例：
血管、筋肉
軟骨、腱、靭帯

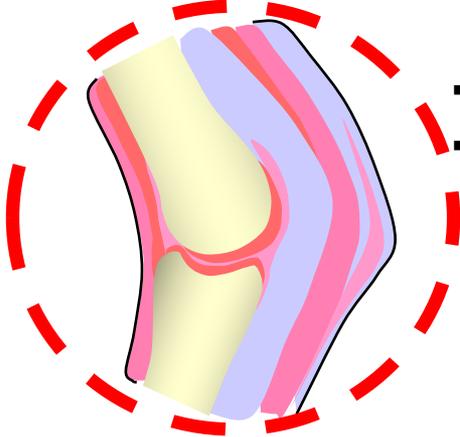
生体軟組織は、水分を**50~80%**も含んでいる

ゲル・・・つまり

**ヒューマンフレンドリーデバイスとして、
ゲルは必須**

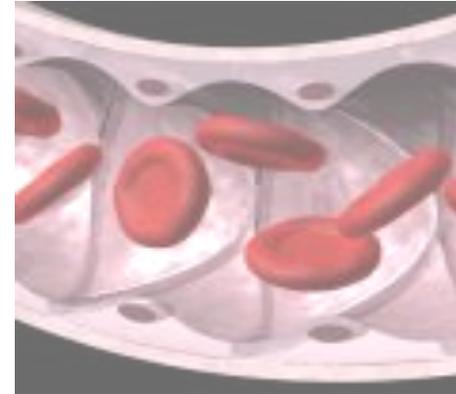
生体軟組織固有の機能

関節軟骨



- ・衝撃吸収性 ○
 - ・潤滑性 ○
 - 低摩擦係数 ~ 0.001
- ⇒滑らかな運動の確保

血管



- ・物質透過性 ○
 - ・潤滑性 ○
- ⇒血管内外との物質のやり取り

しかし、これまでの生体代替物は **Hard & Dry材料** のみでできているため、これらの機能を有しない。ゴムでも実現できない。

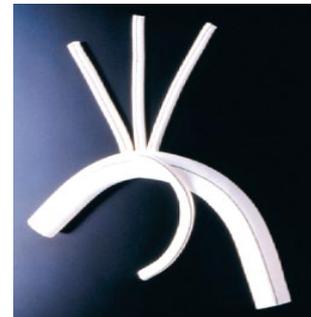
人工関節



- ・衝撃吸収 ×
- ・潤滑性 △

⇒運動の厳しい制限

人工血



- ・物質透過性 ×
- ・潤滑性 △

⇒血栓形成

コンタクトレンズは1990年代にハードからソフトに急激に代わり今では90%以上がソフトに代わった。ゲルによる酸素透過性、フィット感の向上が鍵。ゲルの特性が破壊的イノベーションを起こす！

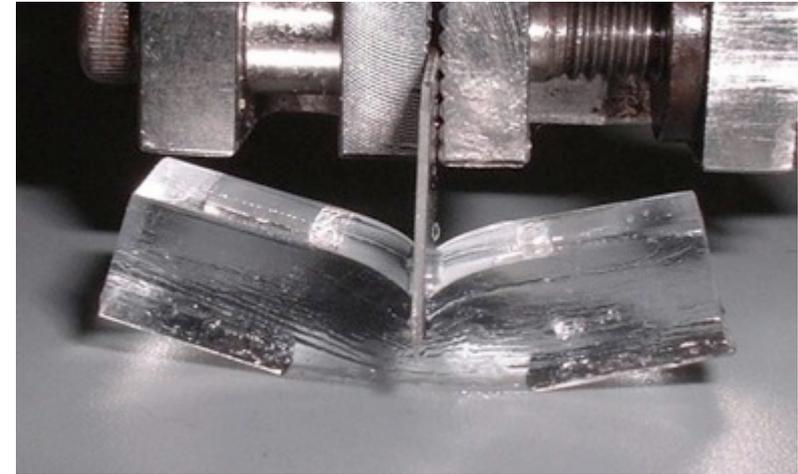
高強度ゲル

従来のゲル



含水率:90-95%
破断応力:0.1-1MPa

ダブルネットワークゲル (DNゲル)



含水率:90%
破断応力:10-40MPa

大量の溶媒を含みながらもゴムや生体軟骨に匹敵する強度をもつゲルの創製に初めて成功！

今、高強度ゲルを活かした、新しい機能性材料の研究がブームになりつつある。

Gong, J. P.; Katsuyama, Y.; Kurokawa, T.; Osada, Y. *Adv. Mater.* 2003, 15, 1155.

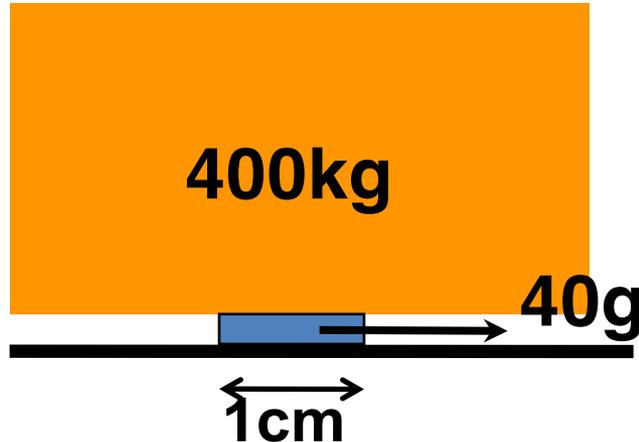
高強度ゲルは低摩擦！

高強度・低摩擦を兼ね備えると？

耐荷重性
摩擦係数

400kgf/cm²

$\mu \doteq 10^{-4}$ ということは…



面積1cm²のゲルシートに、
400kgの荷物を乗せても壊れず、
この荷物は**40g**の力で動かせる！

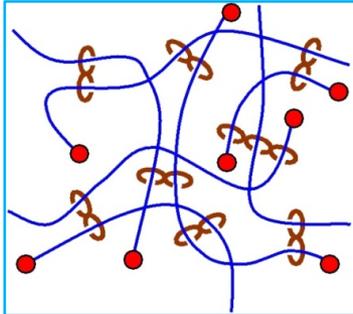
ひざ関節の軟骨の機能に匹敵

生体適合性もある！

日本発! さまざまな革新的高強度ゲル

2001

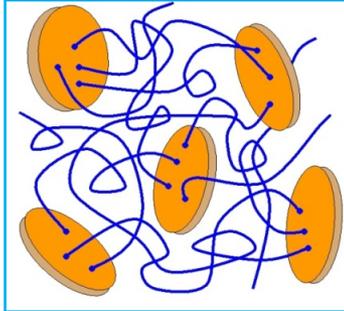
環動ゲル



Okumura and Ito

2002

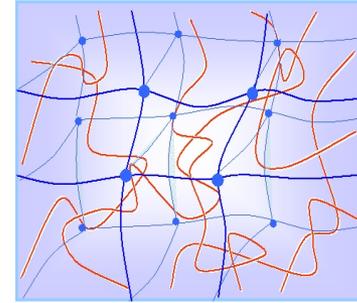
ナノコンポジットゲル



Haraguchi

2003

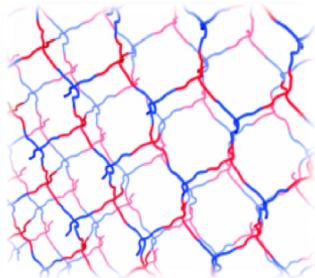
ダブルネットワークゲル



Kurokawa, Gong, et al.

2008

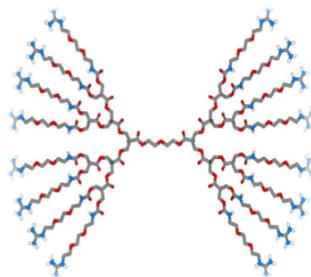
テトラPEGゲル



Sakai, et al.

2010

アクアマテリアル



Aida, et al.

2011

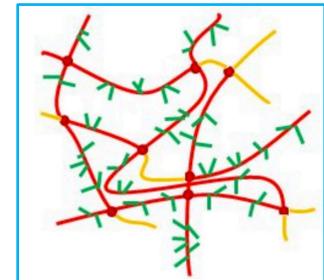
相互架橋ゲル
(山形大学)



Takada, Furukawa, et al.

2012

透明形状記憶ゲル
(山形大学)



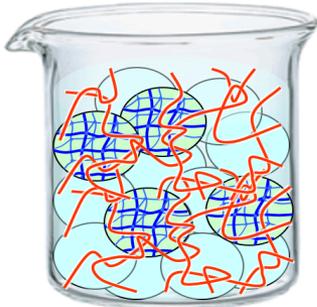
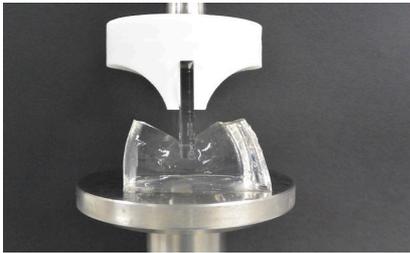
Yokoo, Furukawa, et al.

高強度ゲル研究は日本が世界を圧倒的にリード

山形大学発 3Dプリンタブルな先進ゲル

P-DNゲル

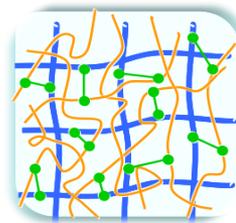
(パーティクル
ダブルネットワークゲル)



ゲル粒子を高分子で
つないで高強度化

ICNゲル

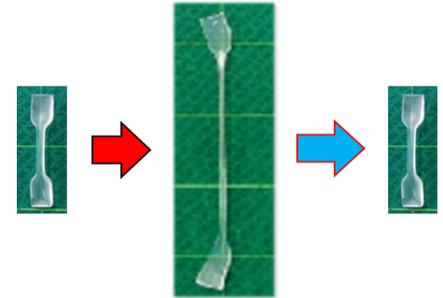
(相互架橋網目ゲル)



二種の相互架橋で
高延性・高含水率

SMG

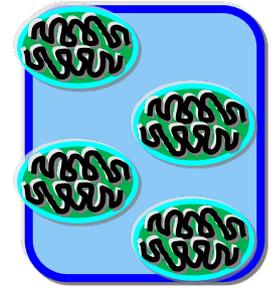
(形状記憶ゲル)



結晶



ゲル



室温で塑性変形し
加熱で元に戻る

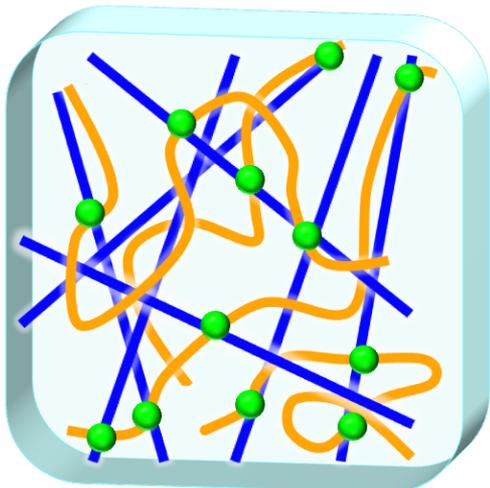
【P-DN Gel】 Junji Saito, Hidemitsu Furukawa, Jian Ping Gong, *et al.*, "Robust bonding and one-step facile synthesis of tough hydrogels with desirable shape by virtue of the double network structure", *Polym. Chem.*, **2**, 575-585 (2010)

【ICN Gel】 Go Takada, Ruri Hidema, Hidemitsu Furukawa, "Ultra-high Ductile Gels Developed by Inter Cross-linking Network (ICN)", *J. Solid Mech. Mater. Eng.*, **6**, 169 (2012)

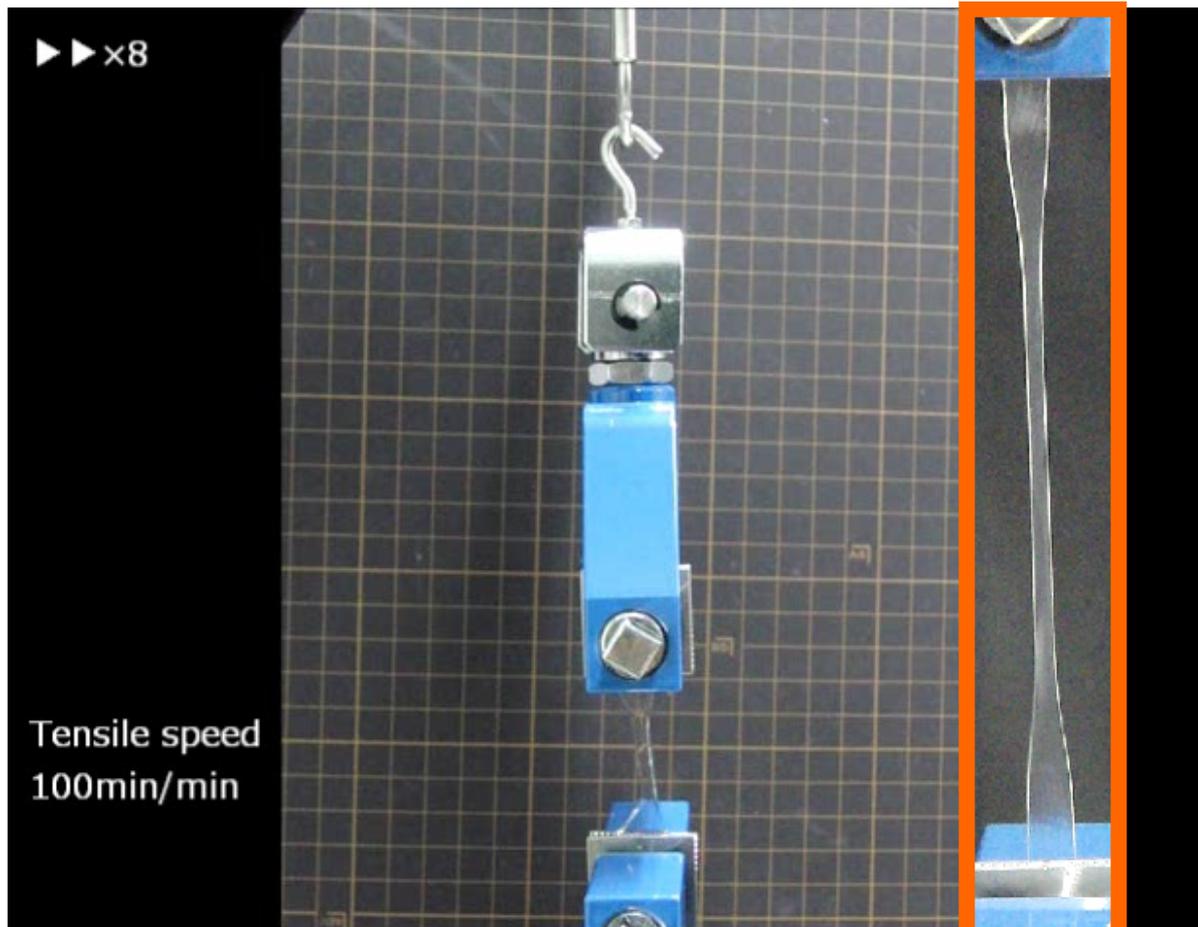
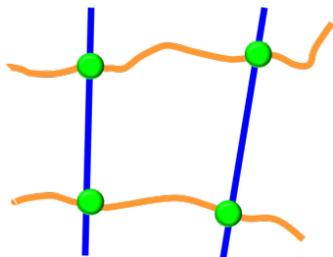
【SMG】 日出間るり, 吉沢泰介, カイリビンナサルディン, 古川英光, "形状記憶ゲルの繊維強化による自己修復材料の創製", 日本機械学会論文集A編, **77**, 764 - 768, (2011)

先進的ゲル材料(1) 相互架橋網目ゲル

ICN Gel



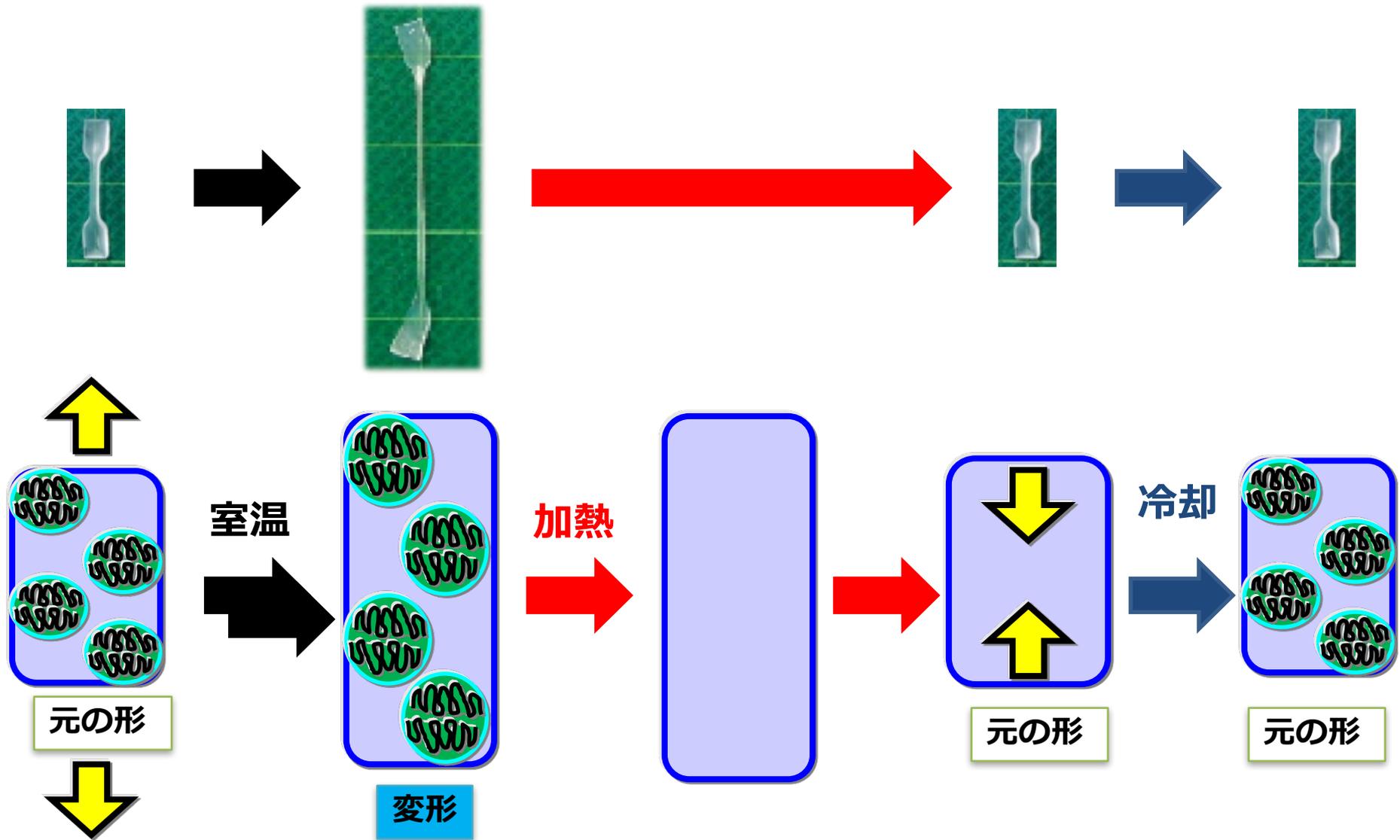
二種類の異なる高分子間の相互架橋で高強度化



含水率96%でありながら破断伸び600%の高延性

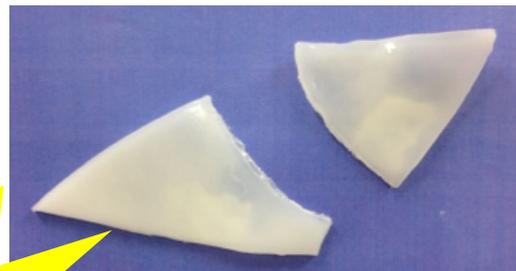
Go Takada, Ruri Hidema, Hidemitsu Furukawa, "Ultrahigh Ductile Gels Developed by Inter Cross-linking Network (ICN)", *J. Solid Mech. Mater. Eng.*, **6**, 169 (2012)

先進的ゲル材料(2) 透明形状記憶ゲル



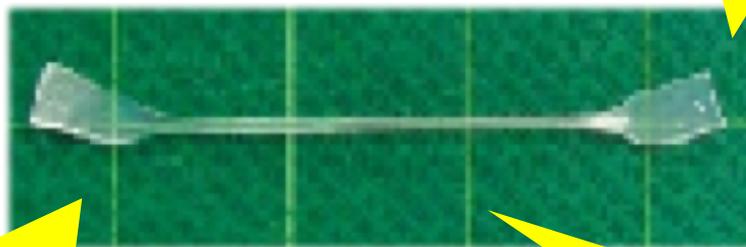
日出間るり, 吉沢泰介, カイリビンナサルディン, 古川英光, “形状記憶ゲルの繊維強化による自己修復材料の創製”, 日本機械学会論文集A編, **77**, 764 - 768, (2011)

しかし、従来の工法では、加工は難しい

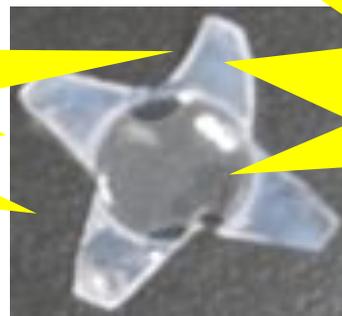


割れる

切削が難しい



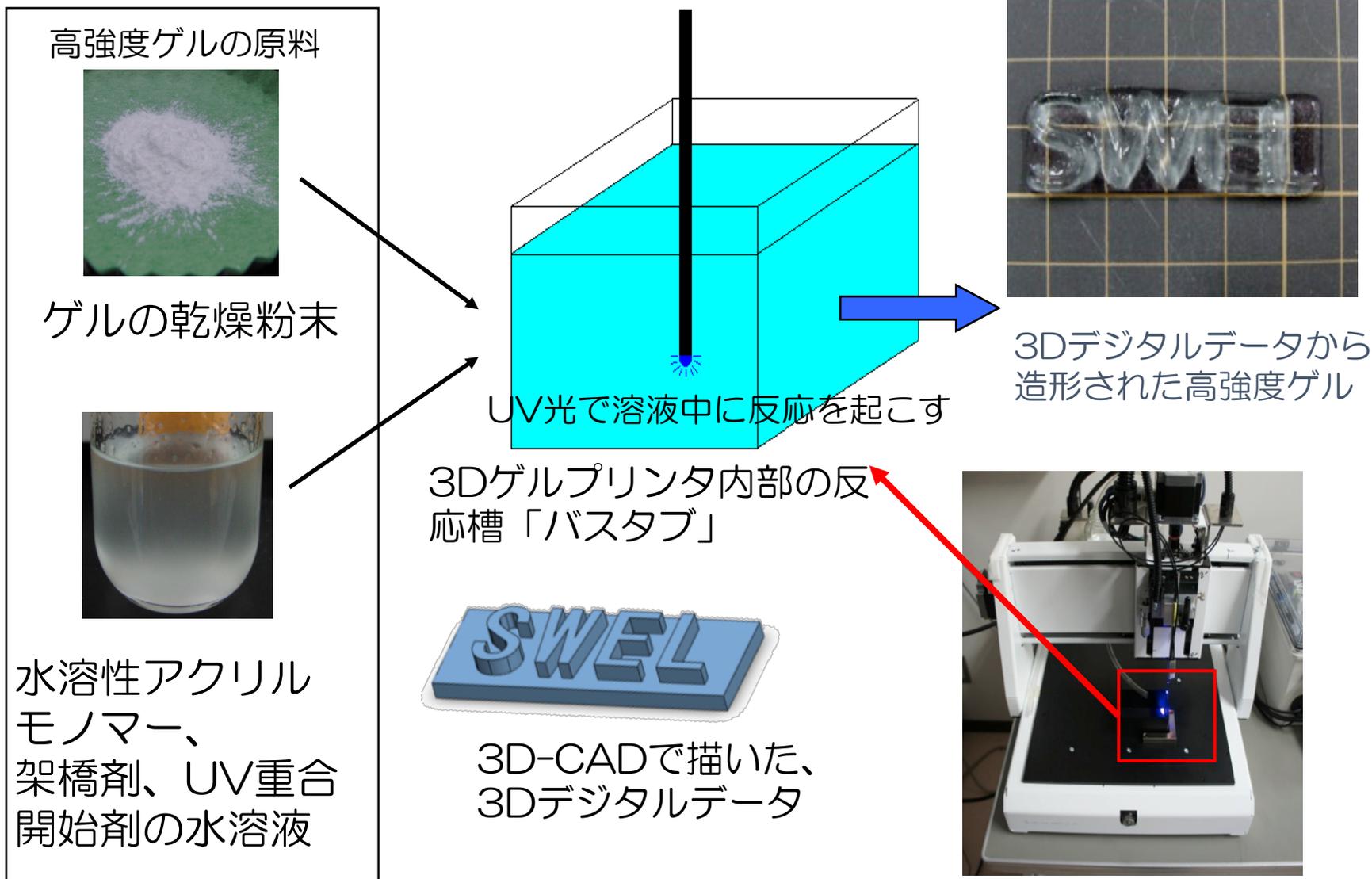
柔らかすぎて
離型できない



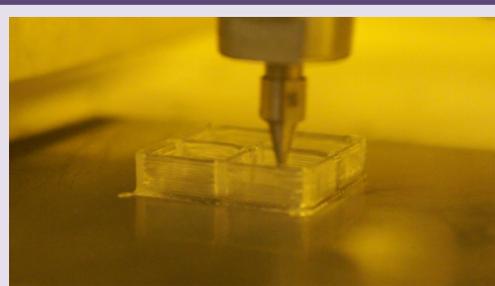
形状が
変わりやすい

従来の切削加工・注型加工が適用できない！

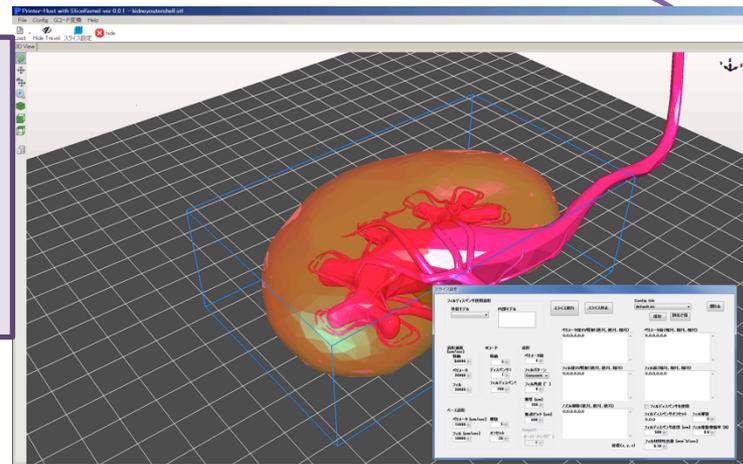
ゲルを三次元直接造形する「バスタブ」方式プリンタ



先進的ゲル材料の自由造形を可能にする3Dプリンティング技術



ディスペンサ式
3Dゲルプリンター
テストユース機



デザイナブルゲル
造形用ソフトウェアの開発



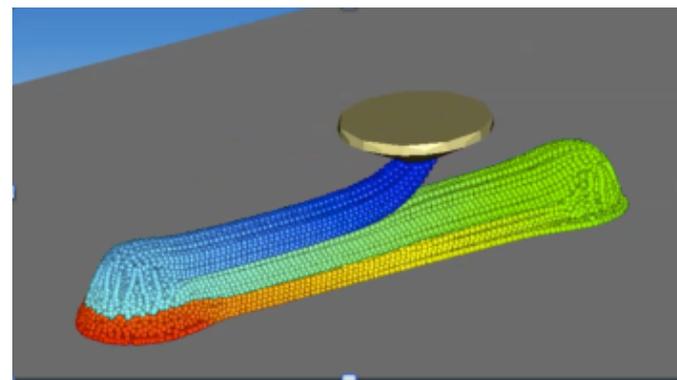
3Dゲルプリンター
専用ゲルインク



バスタブ式
3Dゲルプリンター
プロトタイプ機

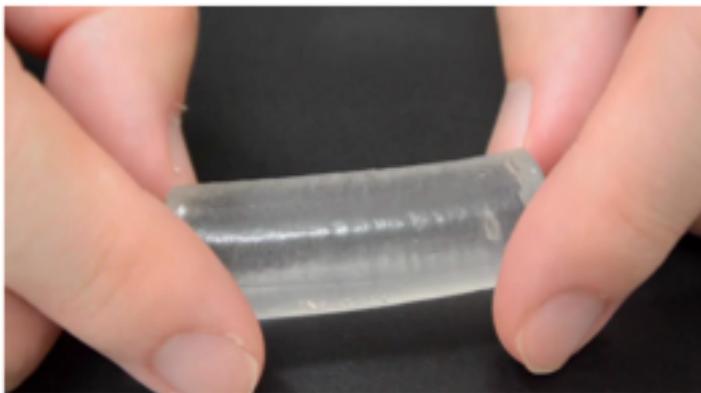


3Dゲルスキャナー
技術実証機



ゲル積層シミュレーション（粒子法）

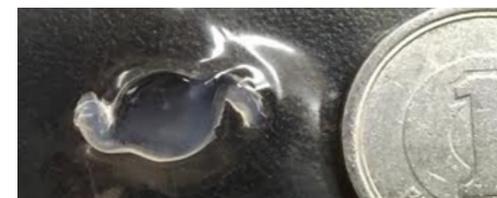
先進的ゲル材料で開発した3D造形物



骨入り指モデル

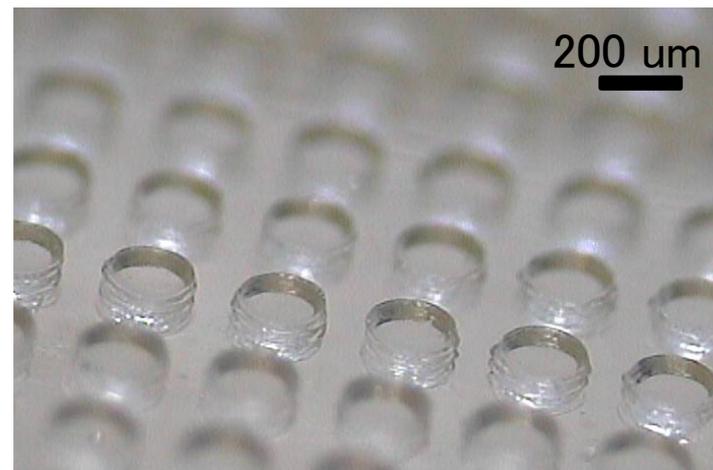


高精細なゲルの3D造形物



3Dゲル眼内レンズ

高透明で柔軟なゲルの3次元自由造形



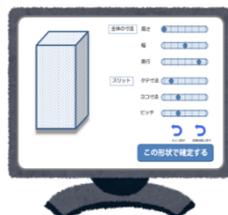
直径 $200\ \mu\text{m}$ ・高さ $200\ \mu\text{m}$ の円柱パターン

革新的設計生産技術の実用化

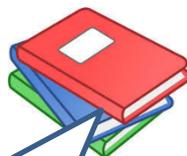
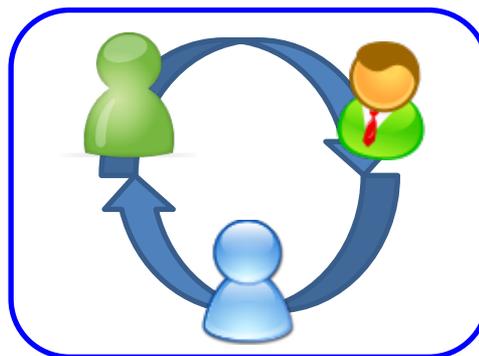
- ・ 研究成果のツール化【ソフトウェア（プログラム等）、ハードウェア（装置等）】
- ・ 開発した技術等を拠点に設置し、活用事例の作成を中心に研究成果の実用化を進めていく



【ハードウェア】
新機能・複雑造形等



【ソフトウェア】
感性、潜在価値等

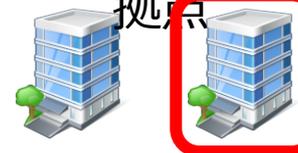


【イノベーションスタイル】
研究開発成果を使用した企業
や個人ユーザの意見を得て新
たな問題点を洗い出し、研究
開発に迅速にフィードバック
する、一連の試行錯誤を繰り
返す仕組み

ハブ拠点



サテライト
拠点



情報共有



【仕組の構築】
拠点による成果普及

市場創出を可能にする “デザイナブルゲル”プラットフォームの構築

必要な要素技術

1. 3Dゲルプリンティングシステム普及機
ディスペンサ式システム（精度500 μ m（2016年計画、前倒し実現））
2. 3Dゲルプリンティングシステム特殊機
バスタブ式システム（精度50 μ m（2019年計画））
3. 3Dゲルスキャン技術の開発
走査型顕微光散乱（造形物内部構造の精度保証、アドイン化によるリアルタイム造形精度確認）

テストユース

ユーザニーズの掘り起こし、ユーザに合わせた要素技術開発

デバイス、サービスを提供することで、
新分野（医療、ロボット等）の進展に貢献し、同分野
での新たな市場、ビジネスロールモデルを創出する

2016年11月1日 ベンチャー企業設立！

世界初！ 3Dゲルプリンティング技術の大学発ベンチャー

株式会社ディライトマター

本日11月14日 午前10時に記者会見・プレスリリース



info@d-lightmatter.com

デザイナブルゲルの
革新的3Dプリンティングシステムによる
新分野の進展支援と新市場創出

研究開発責任者：古川英光（山形大学）
実施機関：山形大学、JSR株式会社、サンアロー株式会社

オーダーメイド・カスタムメイド
ロボット・人工臓器の開発を
革新する3D製造技術の実現

2003～2009年

高強度ゲル



2014～2015年



iPS細胞3D培地



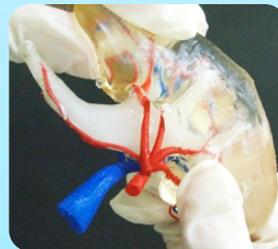
人工軟骨

2016～2018年



ロボット指先

3Dゲルプリンタ



ソフト臓器モデル



3Dゲルプリンタ



ゲルスキャナ



ディライト

新市場創出
経済・雇用・医療・福祉

ユーザとの共創



大学発
ベンチャー企業

はかる！

つくる！

山形発 地域イノベーション