



# 革新的設計生産技術

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

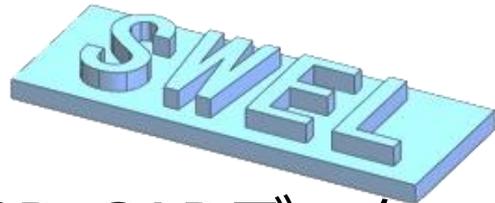
---

**発表者: 古川 英光 (山形大学)**

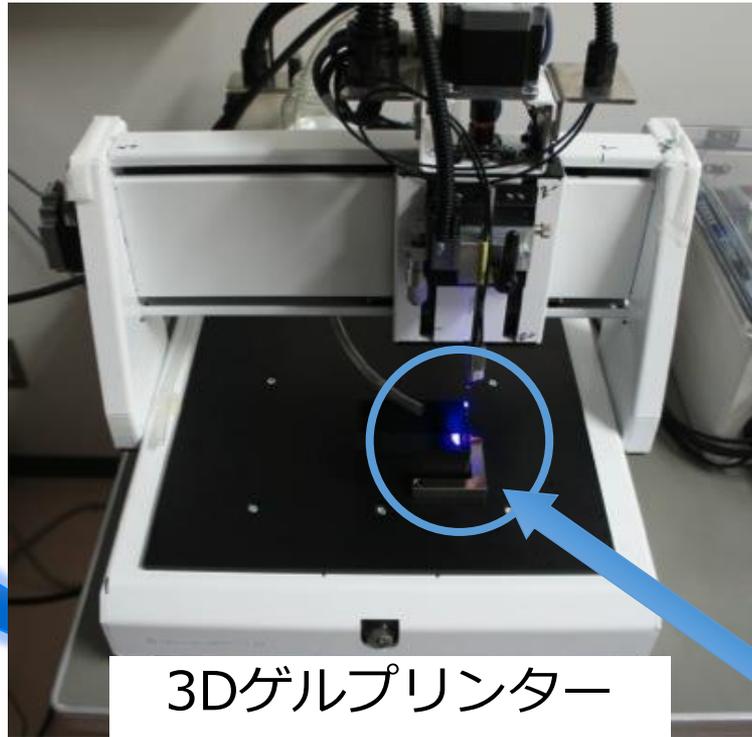
**研究テーマ責任者: 川上 勝 (山形大学)**

**参画機関: 山形大学, JSR株式会社,  
サンアロー株式会社, 株式会社ディライトマター**

# 背景：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**

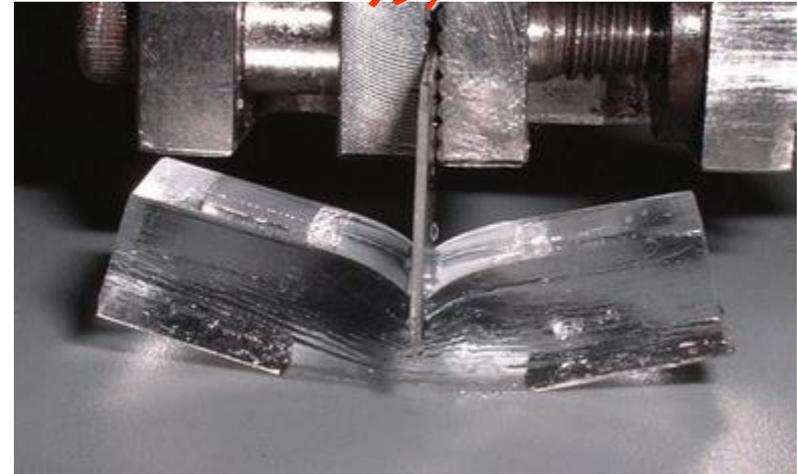
# 背景：高強度ゲル

## 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

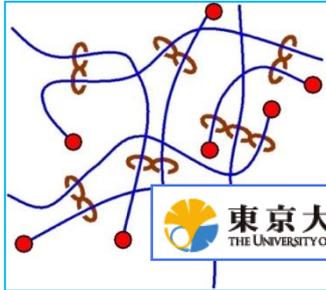
**大量の溶媒を含みながらもゴムや生体軟骨に匹敵する強度をもつゲルの創製に初めて成功！**

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。

# 背景：日本が圧倒的にリードする革新的高強度ゲル研究

2001

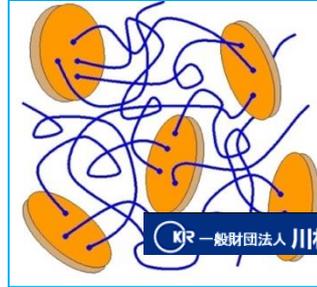
環動ゲル



Okumura and Ito  
伊藤耕三先生(内閣府ImPACT)

2002

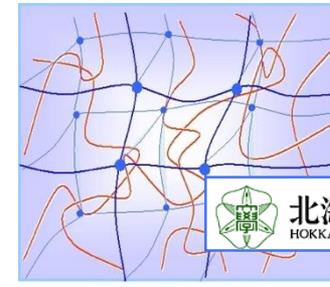
ナノコンポジットゲル



Haraguchi  
原口和敏教授

2003

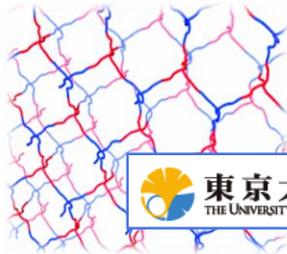
ダブルネットワークゲル



Kurokawa, Gong, et al.  
グン教授, 長田義仁教授

2008

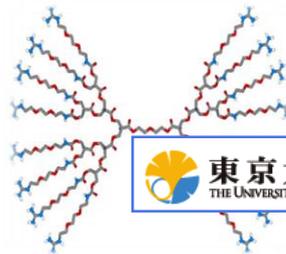
テトラPEGゲル



Sakai, et al.  
酒井崇匡准教授

2010

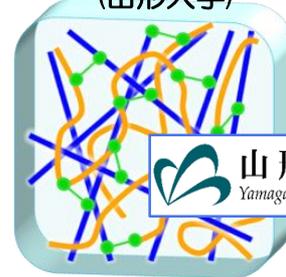
アクアマテリアル



Aida, et al.  
相田卓三教授

2011

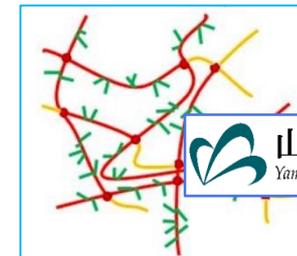
相互架橋ゲル  
(山形大学)



Takada, Furukawa, et al.  
古川英光

2012

透明形状記憶ゲル  
(山形大学)



Yokoo, Furukawa, et al.  
古川英光

ソフトマター・ゲルのノーベル賞を日本から出す。キーは実用化！

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**

# “3Dプリンタブルな柔らかくて強い滑るゲル”の “市場”と“価値”

## 水晶体・角膜



ゲル眼内レンズ

- 酸素透過性 ○
- フィット感 ○

## ソフトロボティクス

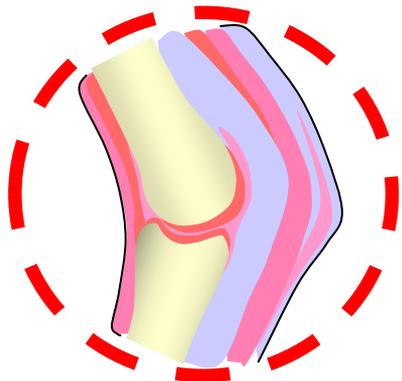


ゲル摺動シール

- 省エネ ○
- メンテフリー ○

**静音・低摩擦・  
環境に優しい**

## 関節軟骨



- 衝撃吸収性 ○
- 潤滑性 ○  
低摩擦係数  $\sim 0.001$

⇒滑らかな運動の確保

## 血管

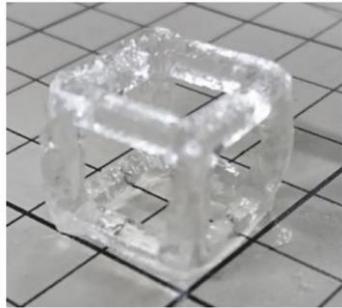


- 物質透過性 ○
- 潤滑性 ○

⇒血管内外との物質  
のやり取り

# 背景： 広がる3Dゲルの適用範囲

## ヘルスケア産業への貢献



3Dゲルプリンターにより、三次元細胞培養のための足場を造形。

田勢他, 日本機械学会論文集, (2017) より.

人工臓器作製へ貢献  
→再生医療分野に貢献

3D食品プリンターにより、見た目にも楽しい嚥下食を。



Kodama et al., "Future Foods", Chap. 9 (2017) より.

介護・看護分野に貢献

## 先端産業（自動車等）への貢献



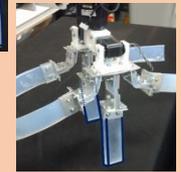
ゲル材料のロボットハンドへの応用  
(滋賀県立大学山野准教授らと共同研究)

形状変形



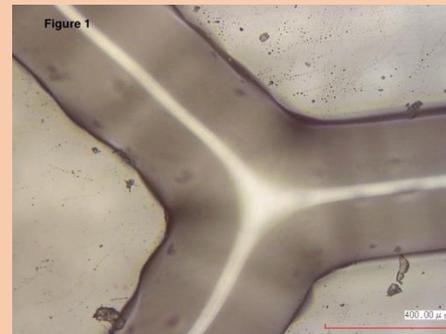
フォーク形状

スプーン形状



箸形状

ロボット開発分野に貢献



Takamatsu et al., 232nd ECS meeting. M01 No. 2113 (2017) より.

マイクロ流路の3Dプリント

MEMS分野に貢献

# 目 標

## 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

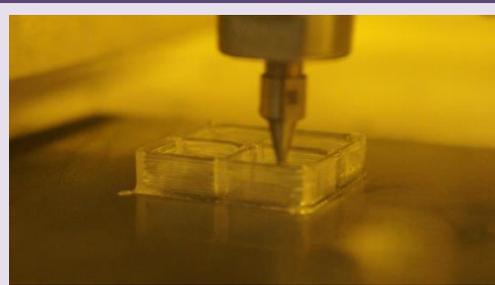
1. 3Dゲルプリンティングシステム普及機  
ディスペンサ式システム（精度500 $\mu$ m（2016年計画、前倒し実現））
2. 3Dゲルプリンティングシステム特殊機  
バスタブ式システム（精度5 $\mu$ m（2017年より新規着手、2019年計画））
3. 3Dゲルスキャン技術の開発  
走査型顕微光散乱（造形物内部構造の精度保証、アドイン化によるリアルタイム造形精度確認）

### テストユース

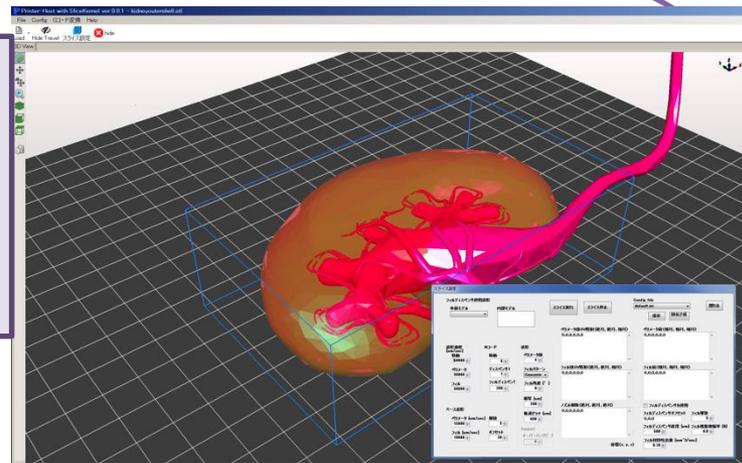
ユーザニーズの掘り起こし、ユーザに合わせた要素技術開発

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

# 研究開発成果：デザイナブルゲル ツール群



ディスペンサ式  
3Dゲルプリンタ  
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  
専用ゲルインク

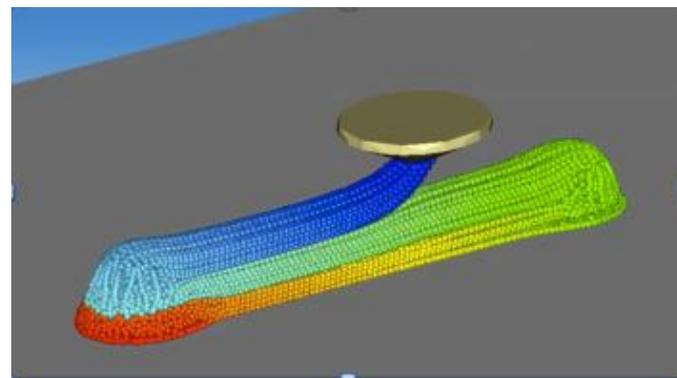


バスタブ式  
3Dゲルプリンタ  
プロトタイプ機



3Dゲルスキャナ  
技術実証機

ゲル積層シミュレーション（粒子法）



SPH法：Smoothed Particle Hydrodynamics  
(平滑化粒子流体力学)

# 研究開発成果：ゲル積層シミュレーション

入力パラメータ

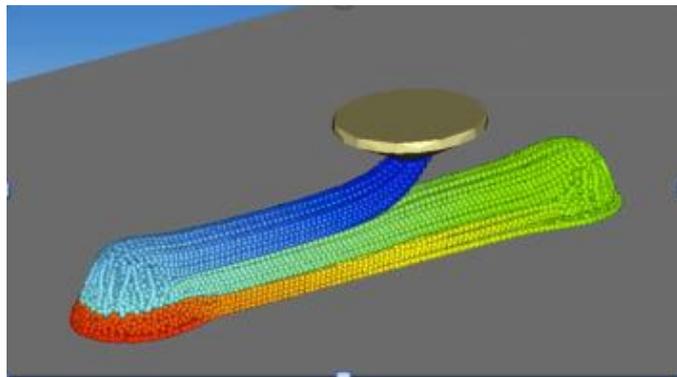
モデル形状

解析時間

初期配置

解析領域

境界条件



ソフトウェア特徴

- ◇ 3Dビューアーを持ったUI
- ◇ 長さの単位選択可能
- ◇ 境界条件付与のためのGUIによる任意の境界面選択
- ◇ 結果のアニメーション表示、動画作成

出力パラメータ

粒子位置

圧力

流速

せん断速度

温度

粘度

滞留時間

密度

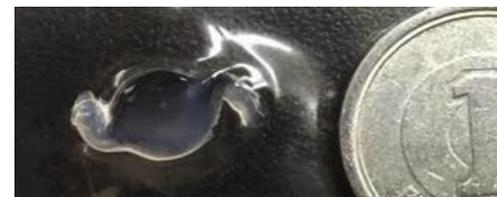
# 先進的ゲル材料で開発した3D造形物



骨入り指モデル

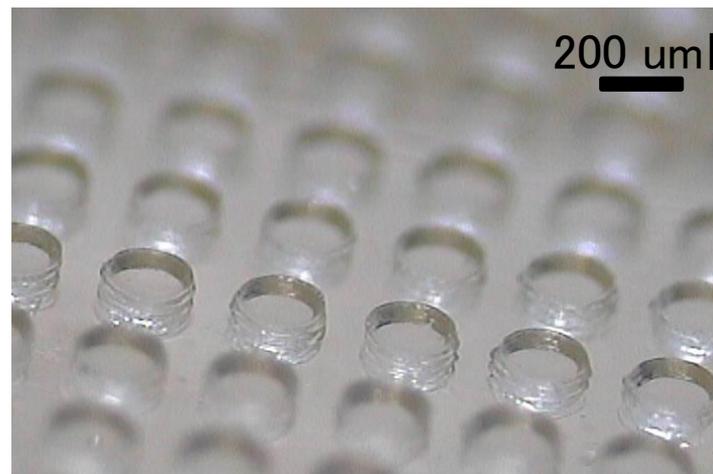


高精細なゲルの3D造形物



3Dゲル眼内レンズ

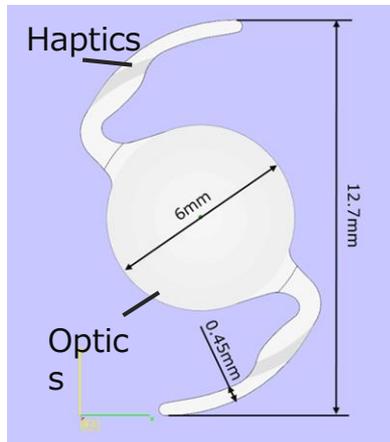
高透明で柔軟なゲルの3次元自由造形



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

# 研究開発成果：ゲル眼内レンズの3Dプリント

## 3D Printed Inter Ocular Lens (IOL)



One layer



Multi layer

(Left: UV absorber, Right: No UV absorber)

	Optics [mm]	Haptics [mm]
One layer	6.0	0.5
Multi layer	6.0	0.6

※Measured with calipers

• Suppress spread of gelation

• Transparent

**UV absorber suppress both scattering light and white turbidity**

Kumagai, H., Sakai, K., Kawakami, M. et al.

Microsyst Technol (2017). doi:10.1007/s00542-017-3386-9

# デザインブルゲル ロードマップ

2000

2012

2017

2022

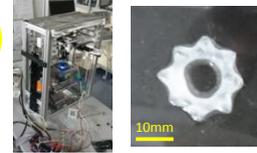
2027

1cm

高強度ゲルの開発

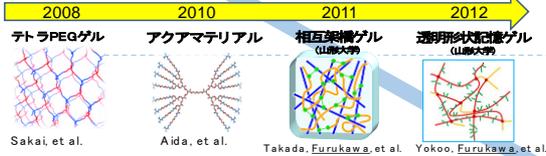


RepRap方式 (SIP外でオープンソースPJを並行実施中)



対象製品分野：一般ユーザー  
(教育, ホビーなど)  
造形精度よりも低コスト化が要求される

1mm



高強度ゲル研究は日本が世界を圧倒的にリード

ディスペンサ方式 (2015年開発完了→ベンチャーへ)



対象製品分野：ヘルスケア、医食  
必要造形精度：～1mm

ゲル造形精度

100μm

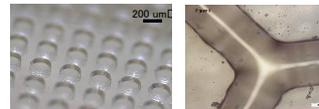
バスタブ・レーザー方式 (2016年技術実証完了)



対象製品分野：ロボット・アクチュエータ  
必要造形精度：～100μm

10μm

マイクロ光造形バスタブ方式 (2017年より開発着手)



対象製品分野：  
ポリマーMEMS, DDS  
必要造形精度：～10μm

1μm

ナノ光造形バスタブ方式 (次期ターゲット)

対象製品分野：再生医療, 分子デバイス  
必要造形精度：～100nm

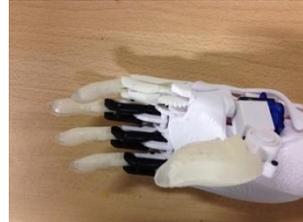
実用化ライン

# 今後のスケジュール

## 1. ディスペンサ式3Dゲルプリンタ目標値 : 0.5 mm

例1) ロボット用ゲル指先

例2) ゲル臓器モデル



ゲル指先を複合した義手



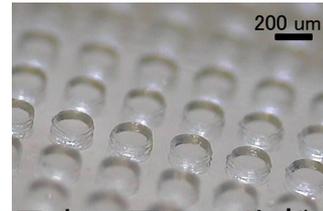
ゲル臓器モデル

## 2. バスタブ式3Dゲルプリンタ目標値 : 50 $\mu$ m

例1) ゲル摺動リング・ゲルシール

例2) 眼内レンズプロトタイプ

例3) スキャフォールド



スキャフォールド



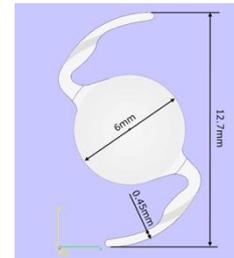
ゲル摺動リング(内径9.8mm)

## 3. マイクロ光造形式高精度3Dゲルプリンタ目標値 : 5 $\mu$ m

例1) ゲルMEMS

例2) 形状記憶ゲル眼内レンズ

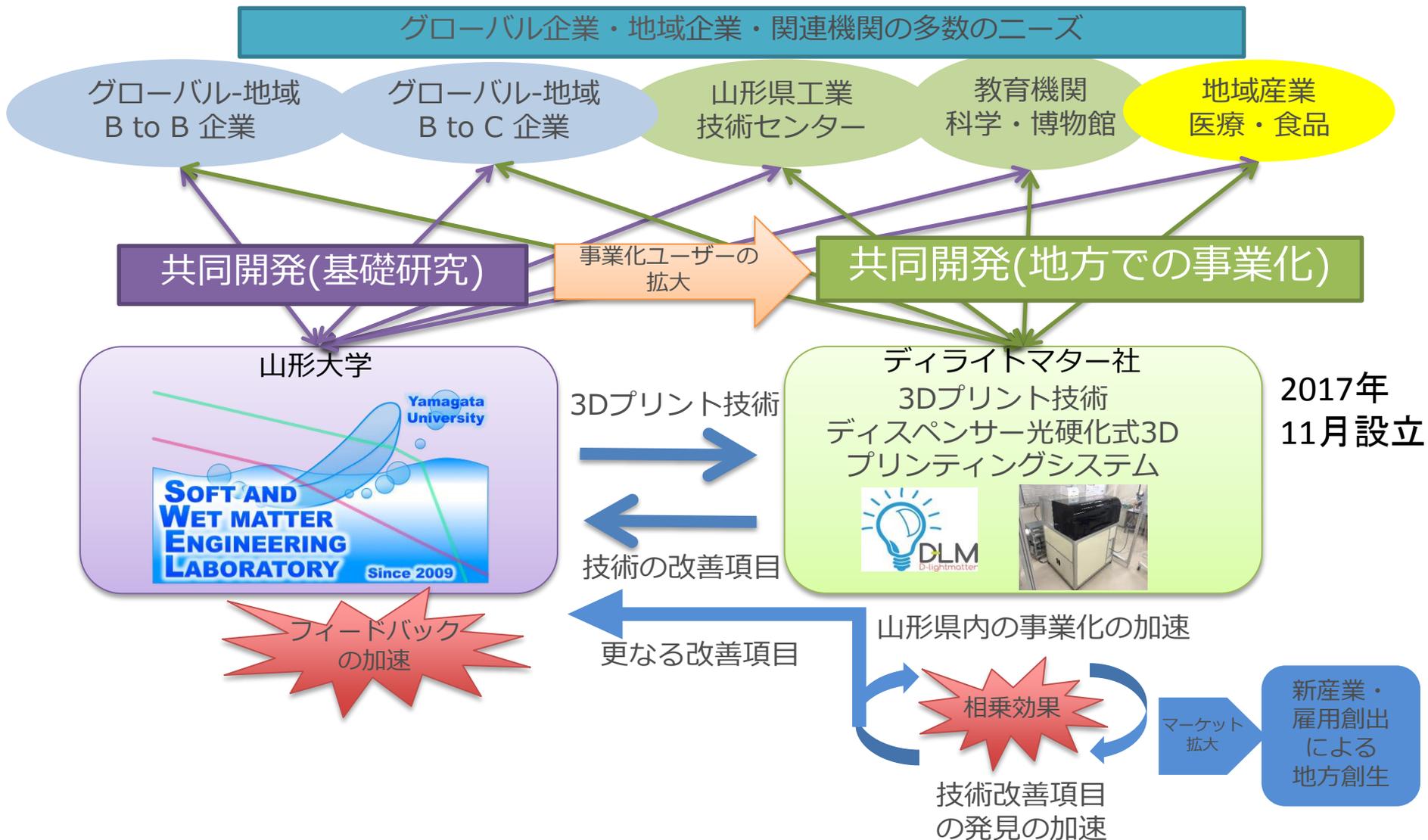
例3) マイクロパターンスキャフォールド



折りたたみ可能で動的にフィットする形状記憶ゲル製のスマート眼内レンズのモデル

今年度内に解像度5 $\mu$ mを実現可能な3Dゲルプリンタの装置開発を完了する。

# 社会実装に向けて：ベンチャー活用



3Dデザインブルゲルを強みにグローバルニッチトップを目指す

# 社会実装に向けて：ベンチャー活用

SIP発ベンチャー  
2017年11月1日 設立



Yamagata  
University



## ソフトマテリアルで未来を創る

革新的設計生産技術・プログラム名  
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

# 社会実装に向けて：ベンチャー活用



## テストユースラボ

ディライトマターではゲル材料の設計からデジタル加工、製品評価までを行う事が可能です。ソフトマテリアルに精通したスタッフがお客様のご要望を踏まえた確かな設計加工を行います。また企画段階からのご提案もできる為、製品の実現を目指し、入り口から出口までお客様をしっかりとサポートいたします。

ゲル材料の設計・製造



デジタルデータ作成



ロボット・ウェアラブル  
低摩擦ゲル軸受け  
表面コーティング剤  
吸収剤・緩衝材・防振材  
形状記憶ゲル  
生分解性ゲル  
臓器モデル  
人工血管・人工軟骨  
細胞培養スキャフォールド  
バイオチップ  
等



非破壊による製品評価



ハイドロゲルのデジタル加工

# 社会実装に向けて：ベンチャー活用

ユーザーと共にハイドロゲルによる新しい世界を創造したい

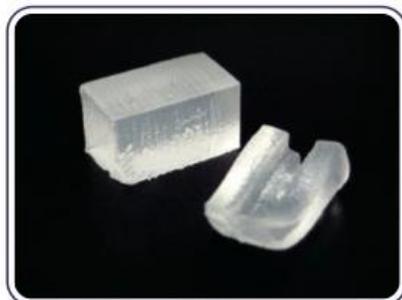
ディライトマターのテストユースラボは  
お客様のご要望を形にするLABです。  
是非一度、テストユースをお試ください。



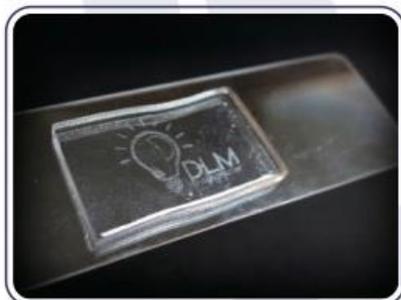
お客様のご要望

デジタル設計

デジタル加工



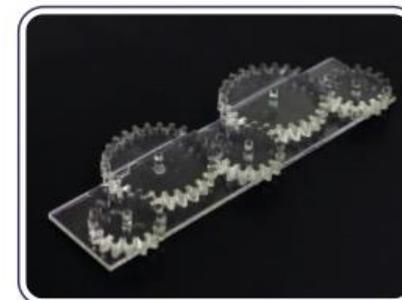
世界唯一のディスペンサー型ゲル3Dプリンターを使い、ハイドロゲルを自由な形に造形します。



ディライトマターではレーザー加工によりゲルに様々なデザインを彫り込むことが可能です。



注型加工によるゲルモデルの成形を行います。また、硬度の違うマルチマテリアル加工も可能です。



ゲルの物性を最適化することで、レーザー加工により、自由な形にカットする事ができます。



株式会社ディライトマター

無料テストユースへのお問合せ



info@d-lightmatter.com  
www.d-lightmatter.com

# HORIBA

Scientific

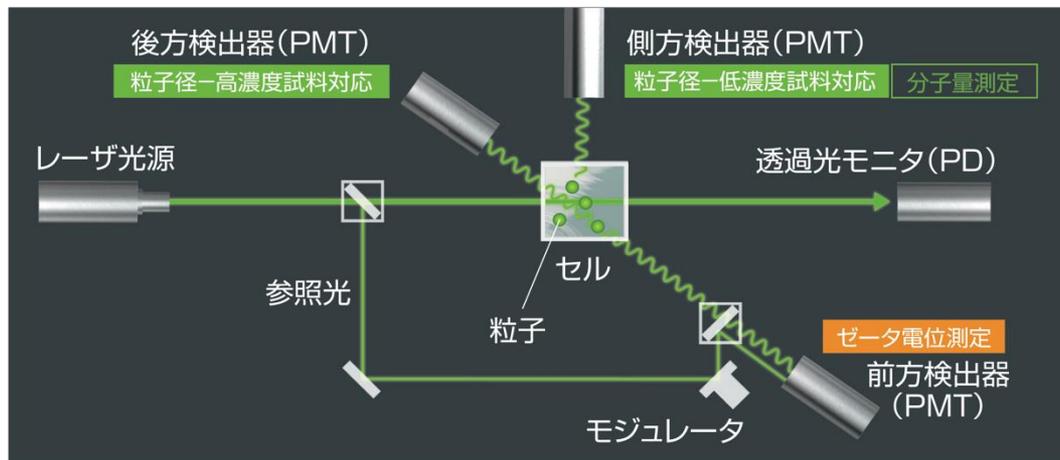
## ゲルソリューションモデル

# nano partica SZ-100

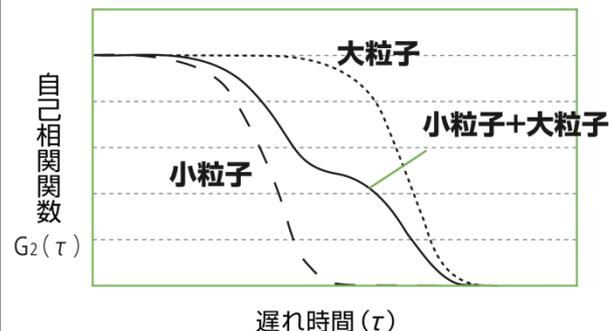
ナノ粒子解析装置

### ■ 粒子径：高濃度・低濃度試料に幅広く対応できる独自の光学系

～ NEDOの「ナノ粒子プロジェクト」で高精度・高速コリレータを共同開発 ～



● 自己相関関数と粒子径の関係

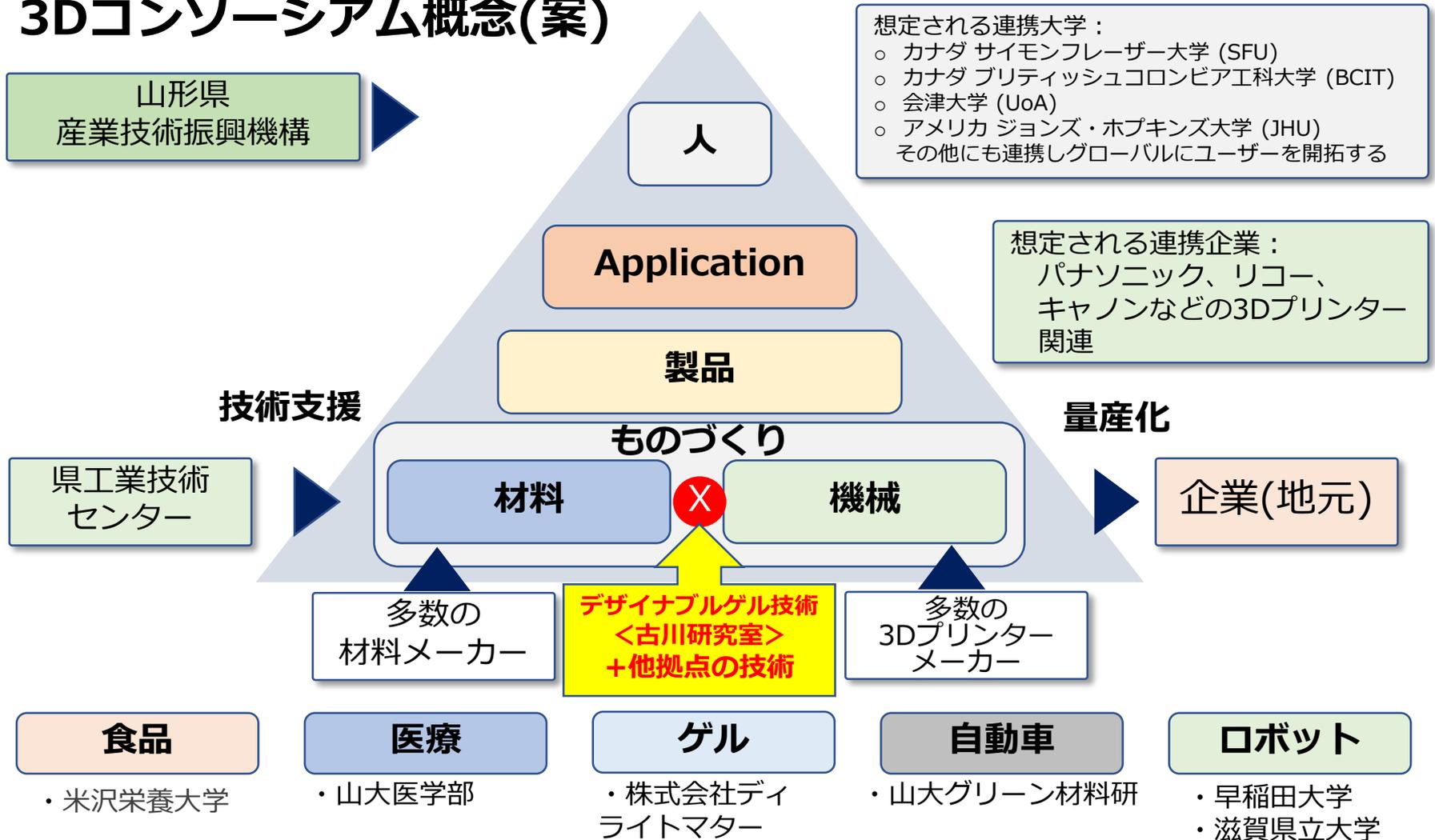


1 高感度光学部品の採用で、シングルナノ粒子の測定精度を向上

2 最適測定条件の自動選択機能により、測定濃度レンジを拡大

# 社会実装に向けて：コンソーシアム構築

## 3Dコンソーシアム概念(案)



中堅・中小企業が3Dゲル造形技術を活用できるオープンな場を構築

2018年4月6日 キックオフシンポジウム@東京を計画中！

# まとめ

## 実施内容

市場創出を可能にする“デザイナーズプラットフォーム”の構築  
→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

## S I P 終了時のアウトプット

ツール：ディスペンサ式(精度 $500\mu$ )、バスタブ式(精度 $50\mu$ )、マイクロ光造形式(精度 $5\mu$ )  
場の提供：ベンチャー企業

## 【目指す姿、社会的価値】

- ・ 大学発ベンチャー企業によるサービスビジネス立ち上げと地域創生
- ・ 3D試作サービス
- ・ 3Dプリンティング用材料開発支援
- ・ 生産技術への3D技術導入コンサルティング

コンソーシアム（案）で、企業が3D造形技術を活用できるオープンな場を構築し、社会実装を目指す！

## 目指す姿に至るシナリオ

テストユースプラットフォームとしてのベンチャー立ち上げ

平成28年度

テストユースの本格的始動とユーザーニーズを満たす技術の開発・知財の整備

平成29年度

本格的市場投入を目指した設計・製造システムの実用化

平成30年度