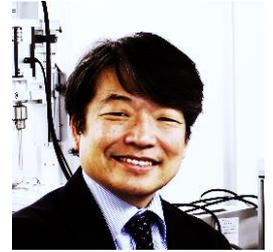


3Dゲルプリンティングで やわらかものづくり革命を！

古川 英光 [山形大学 教授, 理博(東工大96)]

Twitter: @gelmitsu



ソフト&ウェットマター工学研究室
研究室代表
(2009～)



やまがたメイカーズネットワーク
設立発起人・理事
(2014～)



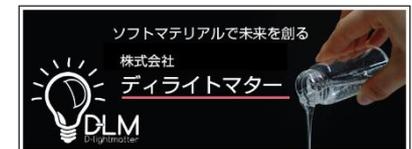
OPERAソフトマターロボティクスコンソーシアム
代表
(2016～)



山形大学 ライフ・3Dプリンタ創成センター
センター長
(2013～)



米沢駅2F 駅ファブ
運営責任者
(2014～)



株式会社ディライトマター
共同創業者・特別技術顧問
(2016～)



ファブ地球社会創造拠点

COIファブ地球社会創造拠点
デジタルマテリアル&システムグループ リーダー
(2013～)



高分子未来塾
塾長
(2015～)



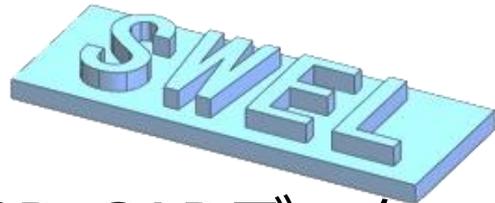
YAWARAKA 3D

Soft 3D Co-Creation Consortium

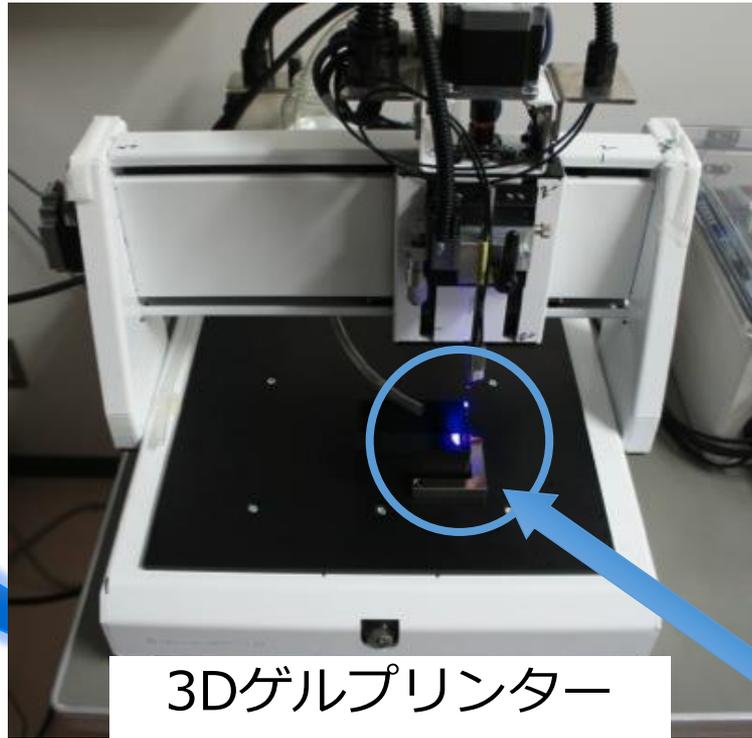
やわらか3D共創コンソーシアム
代表発起人・会長
(2018～)

古川のミッション：ソフトマター（高分子ゲル・食品）やハイブリッド材料の3Dデジタル製造を強化する研究、3Dプリンターを教育1に活かす研究、先端技術を社会実装する研究で、高付加価値の創造を地方からグローバルに展開します。

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

ゲル専用 3Dプリンタ(バスタブ型)

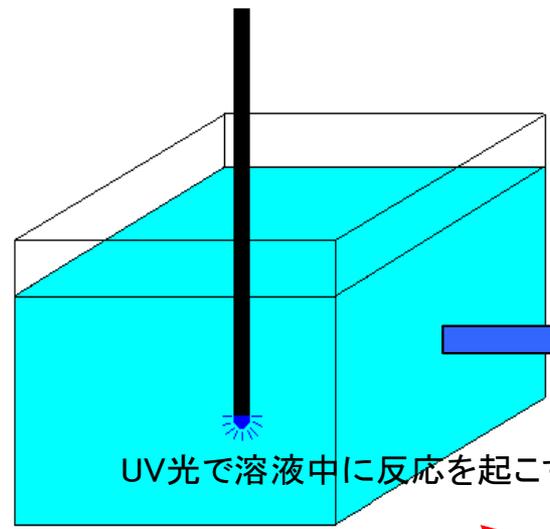
高強度ゲルの原料□



水中で膨らむと硬くて脆くなる吸水性ゲルの乾燥粉末□

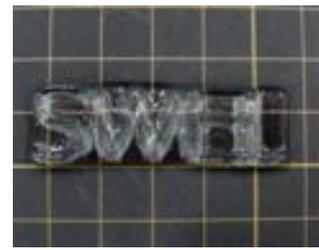


水溶性アクリルモノマー、架橋剤、UV重合開始剤の入った水溶液。この水溶液にUV照射すると延性に富むゲルができる。□



UV光で溶液中に反応を起こす□

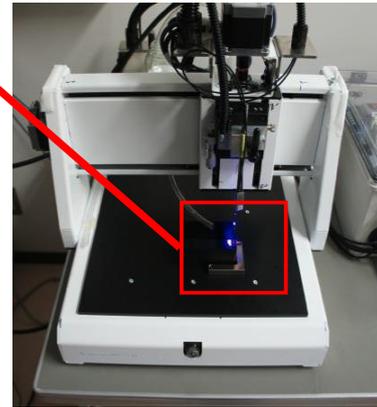
3Dゲルプリンター内部の反応槽「バスタブ」□



3Dデジタルデータから造形された高強度ゲル□



3D-CADで描いた、3Dデジタルデータ□



3Dゲルプリンター□

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

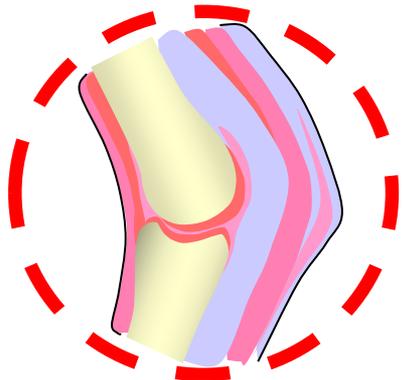


ゲル摺動シール

- 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 ~ 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



革新的設計生産技術

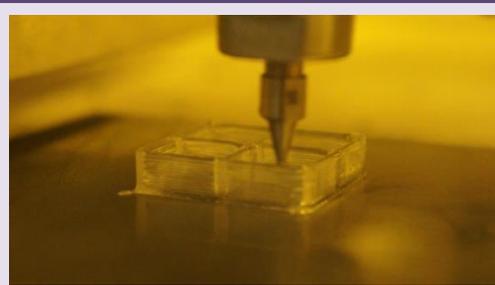
デザイナブルゲルの
革新的3Dプリンティングシステムによる
新分野の進展支援と新市場創出

発表者: 古川 英光 (山形大学)

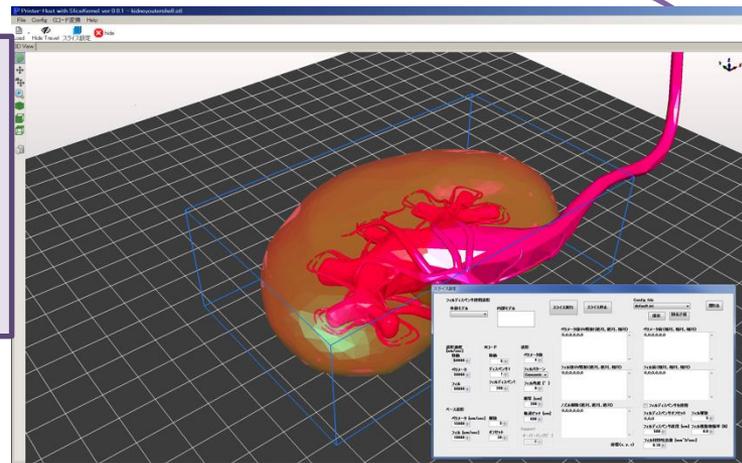
研究テーマ責任者: 川上 勝 (山形大学)

**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**

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



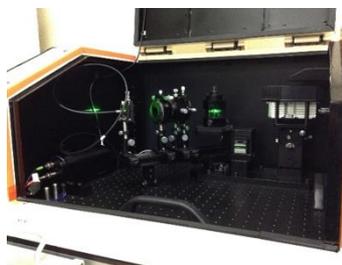
デザイナブルゲル
造形用ソフトウェアの開発



3Dゲルプリンタ
専用ゲルインク

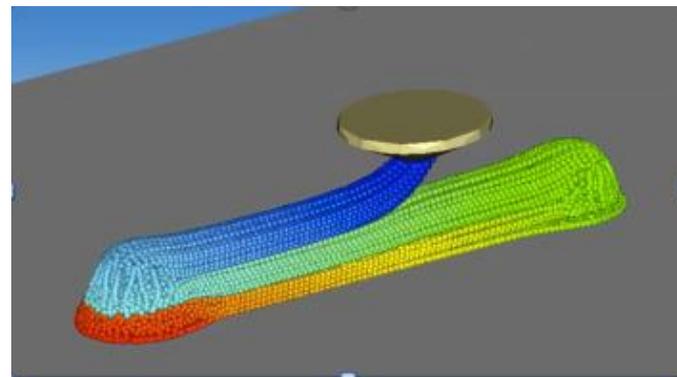


バスタブ式
3Dゲルプリンタ
プロトタイプ機



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

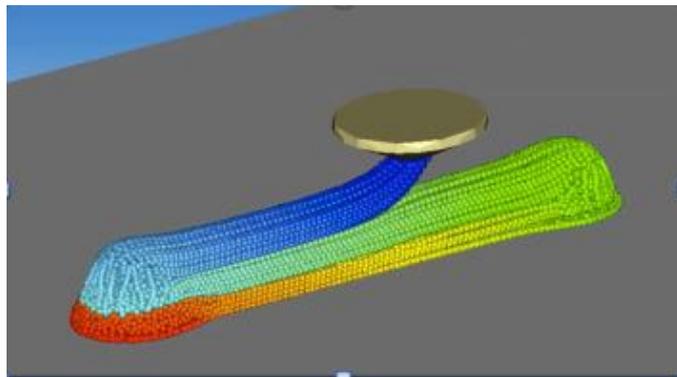
モデル形状

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

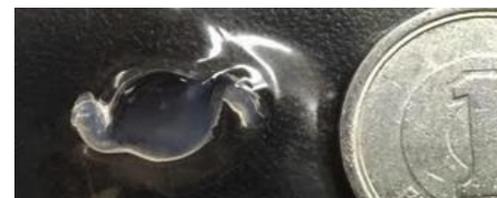
先進的ゲル材料で開発した3D造形物



骨入り指モデル

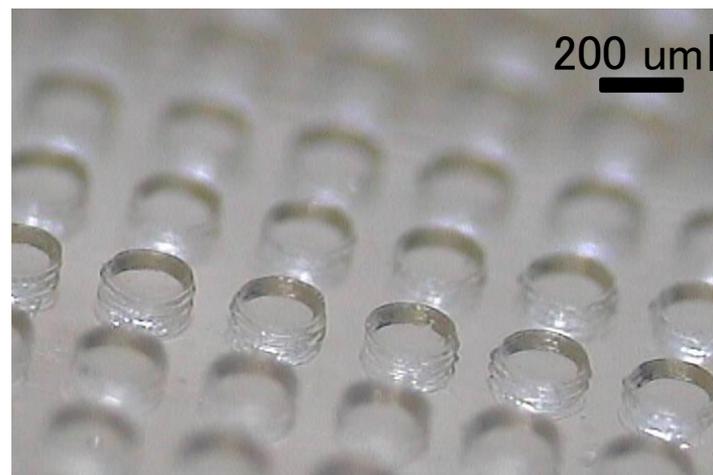


高精細なゲルの3D造形物



3Dゲル眼内レンズ

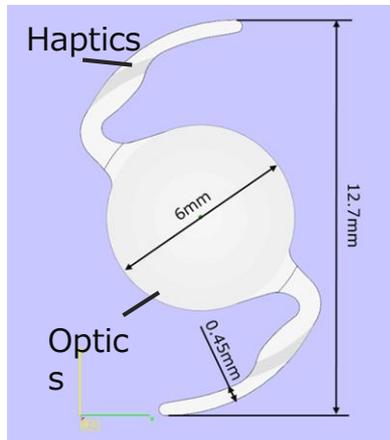
高透明で柔軟なゲルの3次元自由造形



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

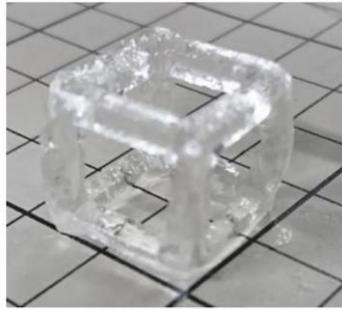
UV absorber suppress both scattering light and white turbidity

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

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

背景： 広がる3Dゲルの適用範囲

ヘルスケア産業への貢献

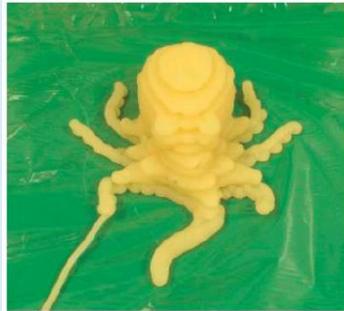


3Dゲルプリンターにより、三次元細胞培養のための足場を造形。

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

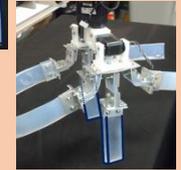


形状変形



フォーク形状

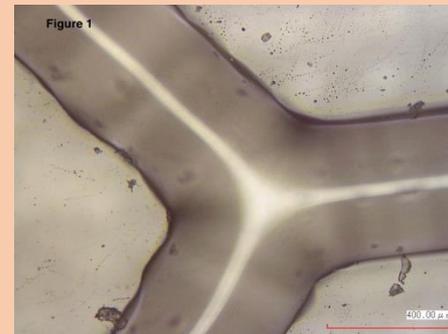
スプーン形状



箸形状

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)

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

デザインブルゲル ロードマップ

2000

2012

2017

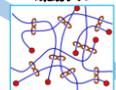
2022

2027

1cm

高強度ゲルの開発

2001 2002 2003



Okumura and Ito



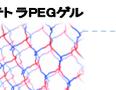
Haraguchi



Kurokawa, Gong, et al.

1mm

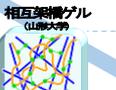
2008 2010 2011 2012



Sakai, et al.



Aida, et al.



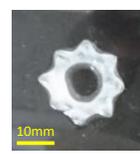
Takada, Furukawa, et al.



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

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

ディスペンサ方式 (2015年開発完了→ベンチャーへ)



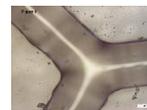
対象製品分野：ヘルスケア、医食
必要造形精度：～1mm

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

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

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

ゲル造形精度

100μm

10μm

1μm

実用化ライン

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

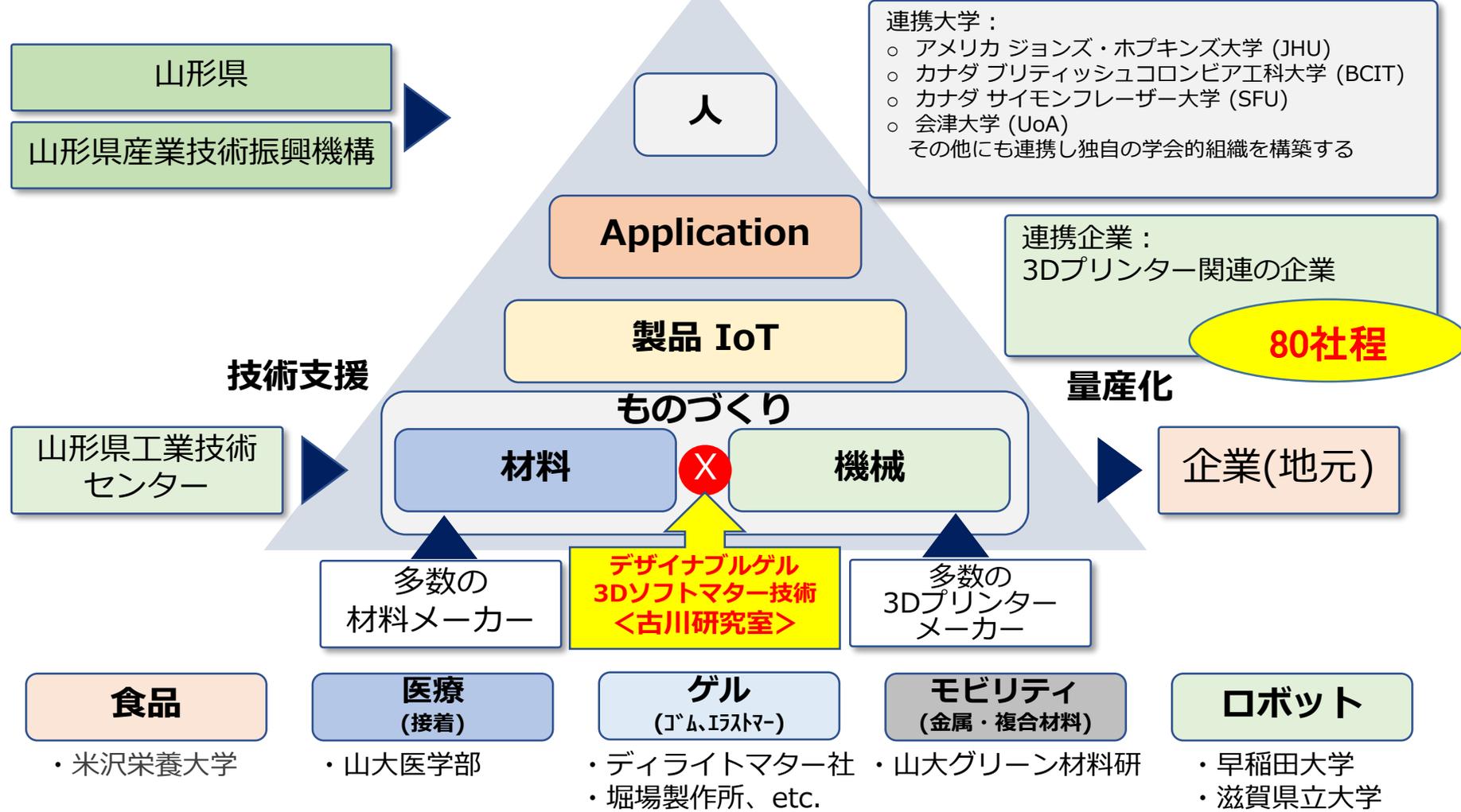


やわらか3D共創コンソーシアム
キックオフシンポジウム(4月6日東京)

SIP終了後に向けた戦略、推進体制（案）

やわらか3D共創コンソーシアム概念(案)

Soft 3D Co-creation Consortium



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・標準化

ものづくり

材料

機械

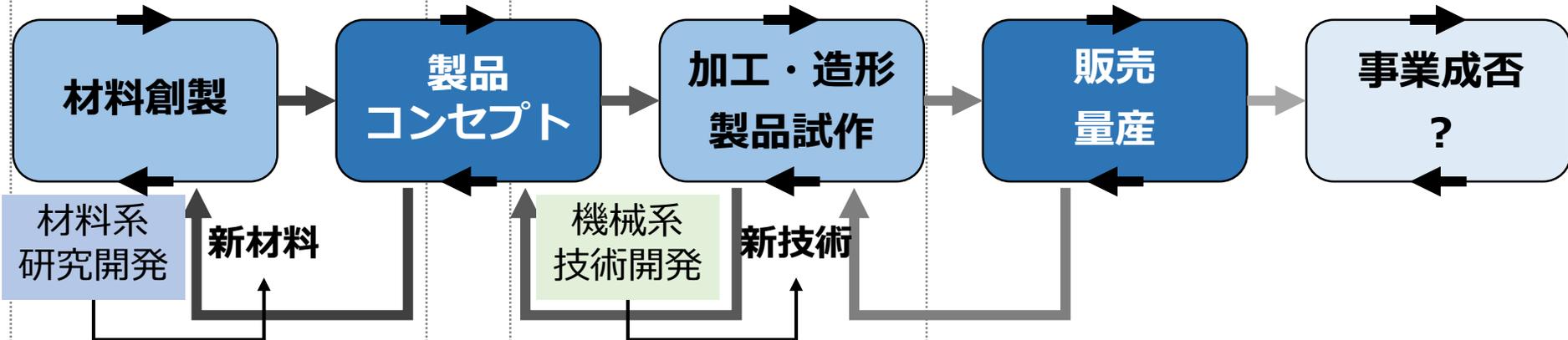
最終製品メーカー
テストユーザー

新しい材料 使い道は？

作り方は？ 自由な形を
扱い方は？ 作り出す技術

実用化開発
導入検討

本当に欲しい？
本当に使える？
本当に売れる？



分業によって開発・情報が分断され、実用化に多大な時間・コストを要する

材料30年から材料3カ月へ(プラットフォーム構築)

デジタルファブリケーション

ものづくり

材料



機械

コンソーシアムでの共創

材料系メーカー

機械・装置系メーカー



古川研究室

最終製品メーカー
テストユーザー

シームレス

オープンイノベーション/共創

デザイナブルゲル/3Dプリンター

新材料ラピッドプロトタイピング

テストユーザーインタビュー

材料創製

製品
コンセプト

加工・造形
製品試作

検証

販売

マスプロダクション &
マスカスタマイゼーション

材料系
研究開発

新材料

機械系
技術開発

新技術

顧客開発モデル

設計データ、試作データ、評価検証データ、顧客データなどを蓄積・連携・活用することで、加速度的・相乗的に製品を革新できる



SIP H30年度実施データベース化(専用DBの開発)が大活躍する未来!

ものづくりをおもしろく

面白工場

機械系ファブレスメーカーを顧客とする3Dプリンター・ロボット・AI活用の製品組み立て実験工場

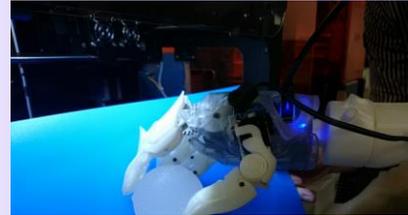
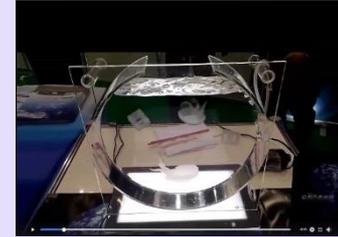


第一次産業革命（蒸気機関車・手作業の機械化）

第二次産業革命（大量生産技術）

第三次産業革命（電子システムとコンピュータ技術による生産自動化）

第四次産業革命（何も指示を与えなくても自分で作業する）
キーワード：IoT、Industry4.0



目的	名称	主体者	対象となる分野	将来的な効果
サービス業のロボット革命	例) 変なホテル	H.I.S.	旅行、テーマパーク、ホテル、ロボット、エネルギー、植物工場	<ul style="list-style-type: none"> ・人件費の削減 ・生産性の向上 ・データの蓄積、分析による改善 ・競争力の強化
ものづくり産業のロボット革命	面白工場 (FanFab “ファンファブ”)	山形大学事業創出センター × やわらか3D共創コンソーシアム連携)、国、山形県、米沢市、山形県工業技術センター	モビリティやエレクトロニクス最終製品の組立、設計や開発および生産（製造）、ロボット、3Dプリンター、組み立てライン、実験場、IoT、ビッグデータ、AI	<ul style="list-style-type: none"> ・工場の生産性を高める。ロボットによる自動化 ・在庫を減らす。3Dプリンターで在庫不要に ・製造とサプライチェーンのコストを削減 ・自立的に動作するインテリジェントな生産システムの構築に寄与。AI活用で匠の技を継承 ・収益の増加