



ともに挑む。つぎを創る。

液滴操作が切り開く新しい ラボラトリーオートメーション技術

～ 微小流体チップ技術に基づく可搬型細胞培養モダリティの
産業への展開と宇宙への適用～

高田 尚樹

国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研）

エネルギー・環境領域 省エネルギー技術研究部門 熱流体システム研究グループ 研究グループ長

TAKADA, Naoki

Leader, Thermofluid System Research Group

Research Institute for Energy Efficient Technologies

Energy & Environment Department

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

2025年5月29日(木)

NEDO先導研究プログラムRFI提供者によるVIPワークショップ2025



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

TDU
TOKYO DENKI UNIVERSITY



DigitalBlast



Laboko..



AIST GROUP | 産総研グループ

目次

1. 概要	• • • P.3
2. 背景	• • • P.4
3. 技術開発の必要性	• • • P.5
4. 解決すべき技術課題	• • • P.6
5. 技術開発の概要（1）	• • • P.7
6. 優位なポイント	• • • P.8
7. 技術開発の概要（2）	• • • P.9
8. 技術開発の要点	• • • P.10～16
9. 波及効果、インパクトの試算	• • • P.17～19
10. 目指すべき社会像	• • • P.20
11. 取り組み	• • • P.21

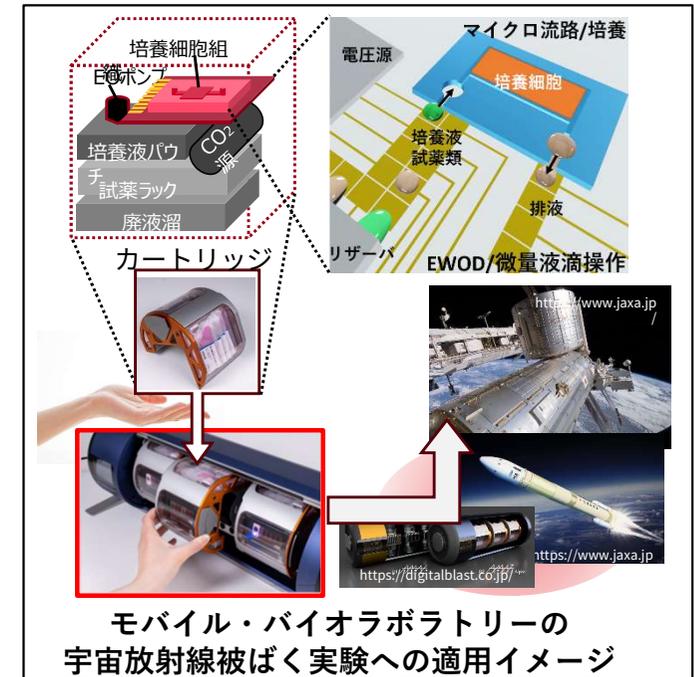
我々は、可搬型バイオ・生物学実験室

「**モバイル・バイオラトリー (MBL)**」

実現に向けて、微小な液滴を操作して効率的に細胞を培養する手法と小型自動実験装置の開発に取り組んでいる。

当該技術は、幅広い利用が期待でき、

- 医薬開発で期間短縮・コスト削減を実現し、バイオエコノミー分野に大きなインパクトを与える。
- 宇宙放射線細胞被ばく実験等へ適用
→宇宙科学・産業を変革する可能性も持つ。



- パンデミックへの対応（感染症拡大防止）
- QOL向上の要請（特に高齢者増による）
 - ユニバーサルメディカルアクセス：
誰・何時・何処でも適切な医薬・医療を提供
 - 医薬品・医療サービス増加
- 人口減少（国内労働者）
 - 人材不足による産業創出・拡大機会損失
- 新市場の拡大：宇宙利用の商業化（無人・有人宇宙活動）
 - 高付加価値モノ・サービス創出機会増加
 - 人体細胞組織への放射線の影響評価・予測

**社会課題「人口減少・高齢化社会への対応」解決&産業競争力強化
につながるバイオエコノミー分野の新規研究開発**

【関係する戦略】

- 産業技術ビジョン2020（令和2年5月29日経済産業省）
- バイオエコノミー戦略（令和6年6月3日統合イノベーション戦略推進会議決定）

3. 技術開発の必要性

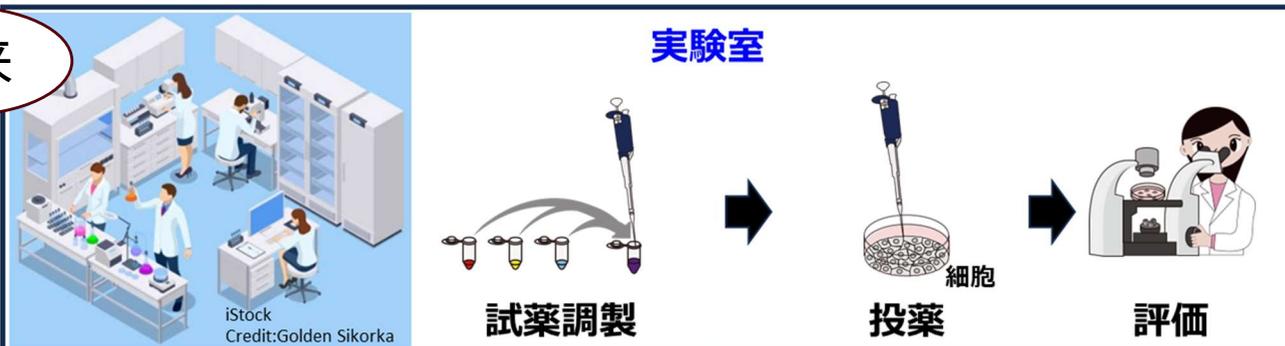
【必要性】

- 研究室レベルで恒常的に細胞培養可能な環境を提供して研究を効率化
- 放射線医薬品開発など危険性のある環境でも安全に細胞培養
- 宇宙環境で細胞レベルの放射線被ばく評価

【目指す装置】 様々な環境に適用・移動可能な小型バイオ・生物学実験室 「モバイル・バイオラトリー (MBL)」

例：創薬モダリティにおけるワークフロー（調製⇒投薬⇒評価）完全自動化

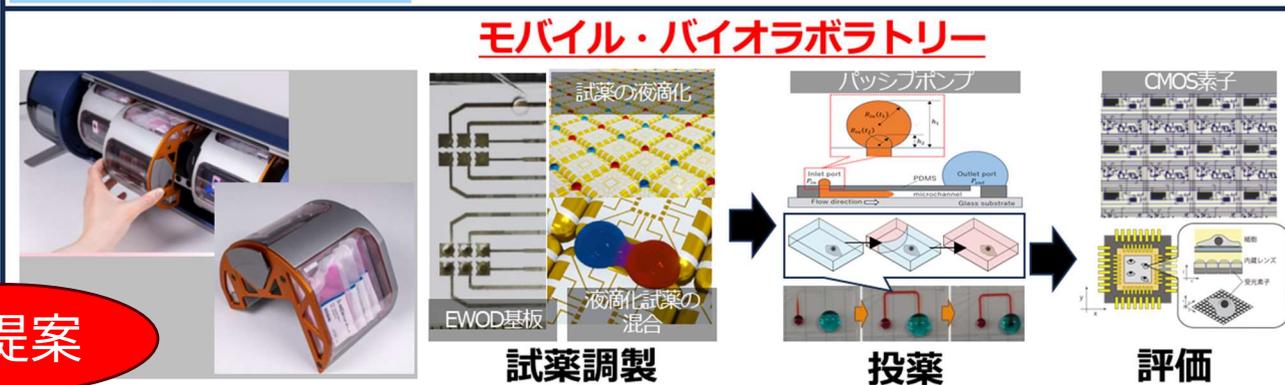
従来



放射線被ばくの検証実験



本提案



微小流体チップ技術を基盤にEWODによる液滴操作や液滴のパッシブポンプ効果を活用

宇宙環境下でのMBL活用

4. 解決すべき技術課題 (& 解決策)

【技術課題】 従来バイオ・生物学実験で困難な機能の実現

- ① 多用途・多目的・多条件並列処理 (→高い拡張・汎用性)
- ② 省人化 (→高速・高精度・均一化・信頼性向上)
- ③ 省エネ・低コスト・低環境負荷・省資源 (SDGs)
- ④ 極限対応 (放射線／極地／深海環境下で安全・安定実施)

【解決策】 重層的技術融合・実装：

- ① プラットフォーム化 (=共通基盤部+カスタム部、標準化)
 - ② 自動化 (自律化)
 - ③ 小型化 (可搬化)
 - ④ 遠隔操作化
- 微小流体現象利用 (表面張力・濡れ性)
 - 機械部低減 (メカレス・電気制御化)

デジタル流体制御 (Digital Fluidics) :

- 微小流体チップ (Micro-fluidic Chip)
- エレクトロウェットティング (EWOD)

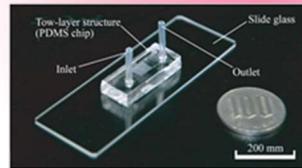
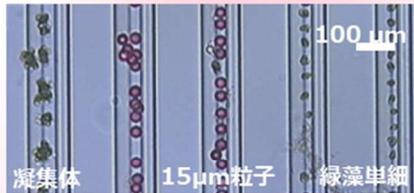
- プラットフォーム設計
- 精密微細加工
- 計算機シミュレーション解析

5. 技術開発の概要 (1)

可搬型バイオ・生物学実験室「モバイル・バイオラボラトリー (MBL)」

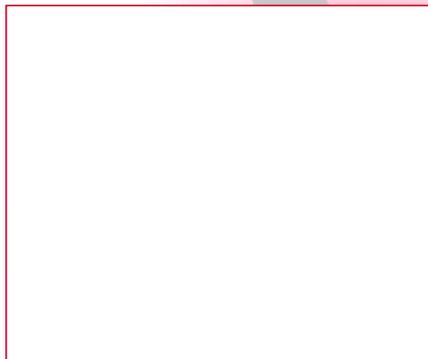
マイクロ流路による 粒子や細胞の整列固定

◎数 μm ~数十 μm の粒子に対応



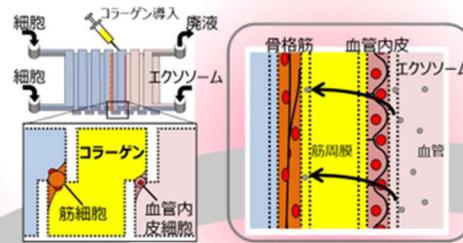
◎シングルセルアッセイ

Organ-on-a-chipの開発



◎生体模倣モダリティ

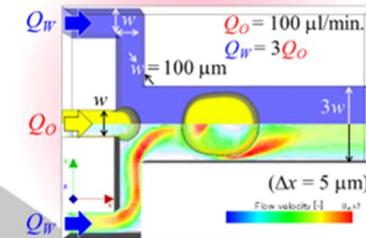
マイクロ流路による細胞培養



EWOD技術による細胞培養



数値流体力学(CFD)解析によるマイクロ液滴操作デバイスの設計・評価



多種細胞同時培養に利用

個別細胞の働き解明

流体デバイスの設計や製作に利用



モバイル・バイオラボラトリー

医薬品や化粧品の評価に利用

多品種-並列-小規模細胞培養モダリティ

自動遠隔操作

AMAZ Alpha



◎自動送液、自動固定、その場観察機能を搭載

各技術の連携の輪

微小流体チップを使ったサスティナブルでポータブルな細胞培養系の実現

柔軟性と機動性に優れる実験環境の提供

1. コンタミレス：

試料が交じり合わない（微小流体チップ内密封）

2. デスクトップ化：

小型・軽量・流体切替が自由

3. 標準化・品質管理：

高い再現性・安定・高品質な実験（個人スキルに依存しない）

4. サスティナブル：

省エネ化&ゴミ（排液等）大幅減

5. ポータブル：

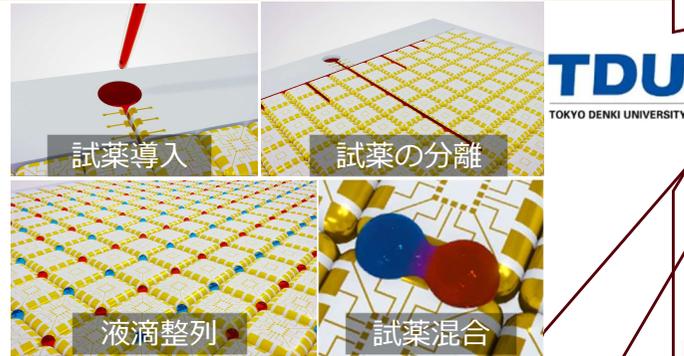
特定の場所に縛られず極地・深海・宇宙などへ運んで実験

6. 自動・遠隔操作：

レーバー／ヒューマンフリー

7. 技術開発の概要 (2)

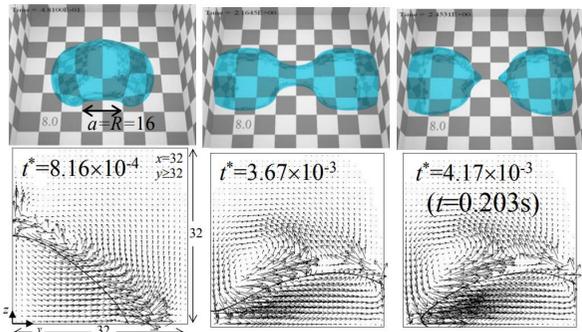
EWODによる微量液滴操作 (電機大)



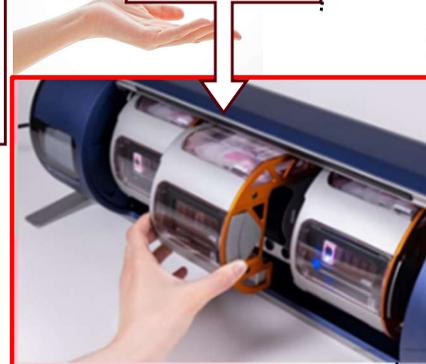
特許第7253845号、特許第6899588号

省エネ・省スペースの高度液滴操作：
ディンプル構造やページ見開き構造の電極基板上で機械式駆動不要で液滴分取や調合を実現

数値解析による微量液滴挙動予測 (産総研)



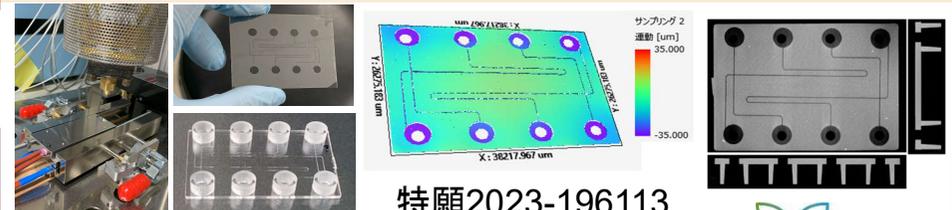
計算機シミュレーションに基づく微小流体チップ設計： 各種条件で培養液や試薬溶液の液滴の挙動を事前に解析、チップ設計・作製出戻り最小化



モバイル・バイオラボラトリー (MBL)

- 拡張性・汎用性の高い「バイオ実験室」：
- 省エネ・省スペース → 高い可用性・可搬性
 - 複数カートリッジ搭載・交換 → 各種環境を同一基盤で実現
 - 遠隔操作・自動・省人化 → 低コスト・高効率・高精度

微小流体チップの高精度・高効率作製 (Laboko)

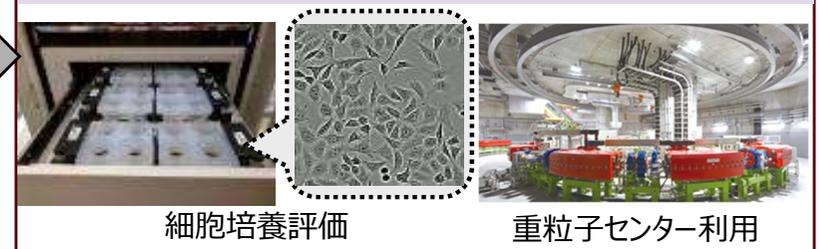


特願2023-196113

表面粗さ(Ra)4nm、表面うねり10μm

液滴操作のロバスト性向上： 低薬剤吸収・低水蒸気透過性の樹脂でチップを精密成形加工、液滴操作性能を維持・確立

放射線被ばくの検証実験 (京都大学)



宇宙環境での薬物動態実験運用 (Digital Blast)



バイオ・製薬・医療産業への適用

8. 技術開発の要点（1 / 7）全体まとめ

【従来】

精密装置（分注ワークステーション、リキッドハンドリングロボット）は
定期メンテ必須&小型化困難、人力による反復単純作業も多い
→ 導入・運用コスト大、スループット・可搬性低い

【本提案】

- 流体現象利用で従来よりもメカレス・小型化機器への置換・採用：
 - ① EWODデバイス（培養液等の液滴の操作）
 - ② 表面張力駆動パッシブポンプ（培養細胞への投薬操作）
 - ③ 微小流体チップ（使い捨て型）の採用
 - 小規模研究室同等のハイスループットアッセイの実現
 - 微量の培養液や試薬を長期間・高精度・自動・遠隔操作
- 液滴などの流体現象を計算機シミュレーションで予測
 - チップはじめ装置を効率的に最適設計 → 精密加工・製造
- ライフサイエンス系実験や創薬研究の省人化・人材不足解消につながる
- 将来的に宇宙環境実験プラットフォームも視野

新規技術要素①EWODによる微量液滴操作(電機大)

技術課題: 培養液・試薬を**長期間、自動、高精度で操作**しなければならない。

コンパクトな細胞培養技術：
マイクロ流路内での培養 (MPS*技術)

CN-Bio (英)



市販品： 操作が煩雑

Emulate (米)



* Micro-Physiological Systems (生体模倣システム)

AMED (日)



研究の段階

新送液
技術



特許第6899588号

15 μ Lの液滴の操作の例

マイクロ流路の根本的な技術課題

- ・ 小型化：送液ポンプ等の外部装置で**大型**
- ・ 運用：連続流体の送液を長期継続**できない**
- ・ 自動化：エラー対応(コンタミや液漏れ)**困難**
- ・ 精度：小型の機械式ポンプでは**不安定**

流路送液の小型自動化に最適

- 大型駆動源が不要
- 適量を長期間供給可能
- 流体を断続的に随時制御可能
- 液滴調整(調整)が可能

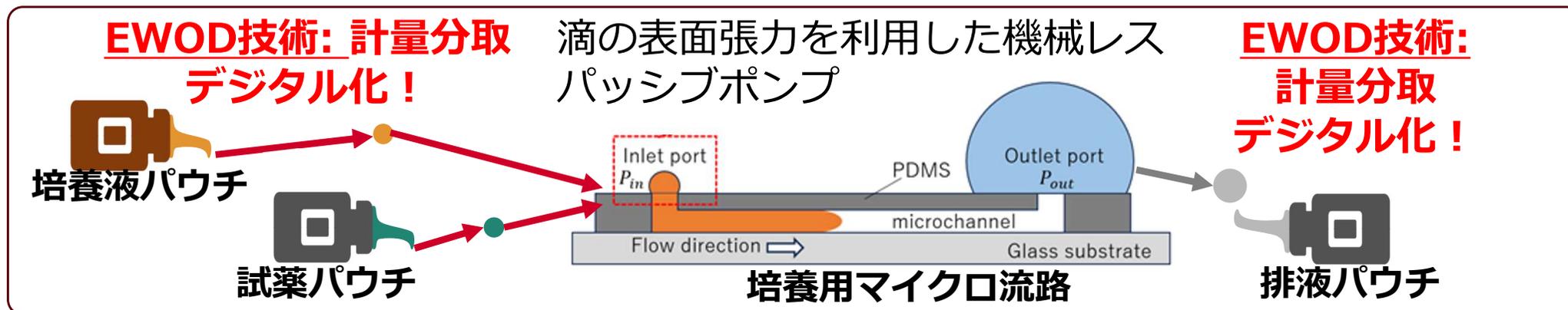
連続送液 ⇒ 断続的な液滴：EWODでデジタル送液制御

8. 技術開発の要点 (3 / 7)

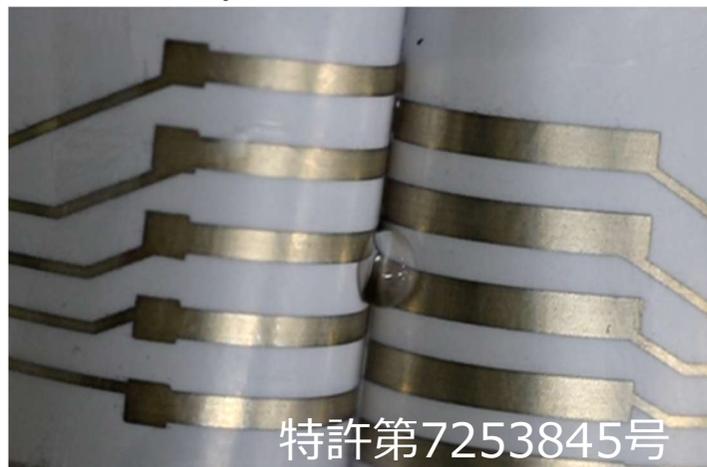
新規技術要素①EWODによる微量液滴操作(電機大)

達成方法：**EWOD技術を搭載した可搬型培養装置の開発**

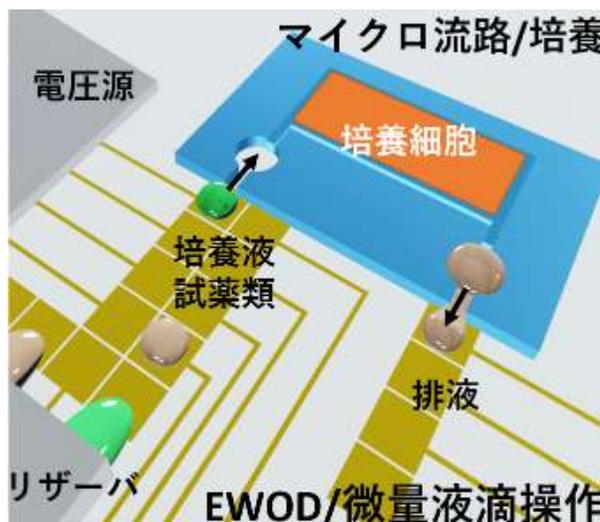
- ・消費電力3W以下で駆動する密閉型EWOD装置を開発。
- ・**5~10 μ Lの送液操作**での自動細胞培養。



達成状況：デジタル流体制御のため5-20 μ Lの液滴を計量分取



特許第7253845号
液滴の2分割の例



EWODの知財技術を利用して、ロバスト性のある可搬型筐体の開発

【具体的項目】

- ・制御基板の節電設計
- ・撥水薄膜材の選定実装
- ・培養流路とEWODの連結部の設計開発

⇒ 断続的な液滴：EWODでデジタル送液制御
自動化の障壁である連続流体の不安定な挙動を制御

8. 技術開発の要点 (4 / 7)

新規技術要素②微小流体チップの高精度・高効率作製 (Laboko)

技術課題: 環境条件や外部衝撃などに依存しない細胞培養(3~6週間)が必要

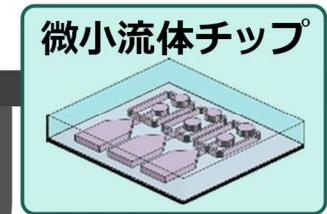
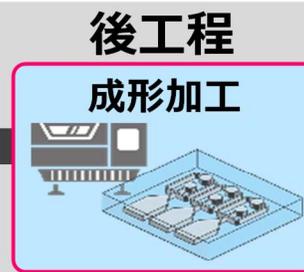
独自の精密射出成形技術により、加工困難なCOP樹脂の高品質な微細加工が可能

ライフサイエンス研究開発

検査/評価/実験

血液、細菌、
細胞、臓器、
水質 など

- ✓ 適していない材質
- ✓ 高コスト・時間がかかる
- ✓ 希望の形状ができない



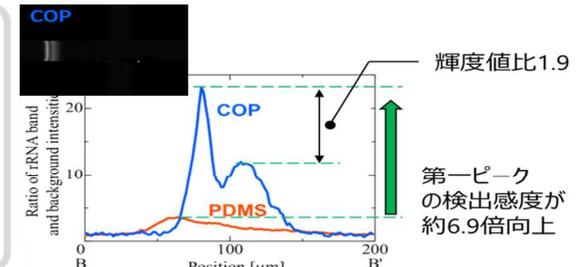
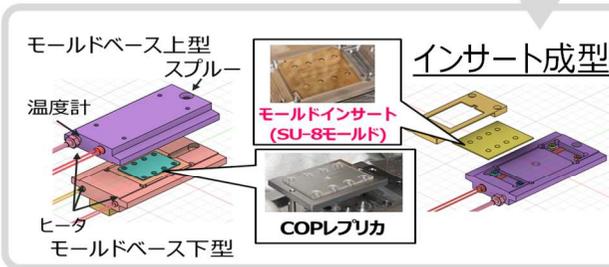
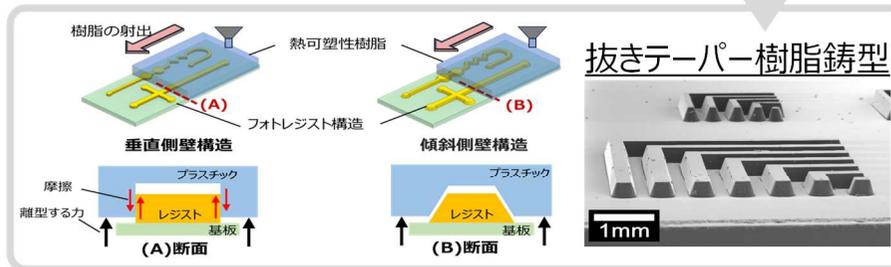
設計条件の最適化

作製条件の最適化

研究に適合した
オンデマンド生産
100~1000チップ

加工	鋳型	形状	期間	コスト
精密機械	金属	制限	数ヶ月	数百万円以上
リソグラフィ	樹脂	任意	1週間	50万円程度

加工	樹脂	コスト	時間	バイオ
加熱硬化	熱硬化	高価	2~3時間	低適合
射出成形	熱可塑	安価	2~3分間	高適合



特許: 3Dリソグラフィ ⇒ 抜きテーパ付き樹脂鋳型 ⇒ 標準化対応インサート成型 ⇒ 高強度・高性能樹脂を射出成形

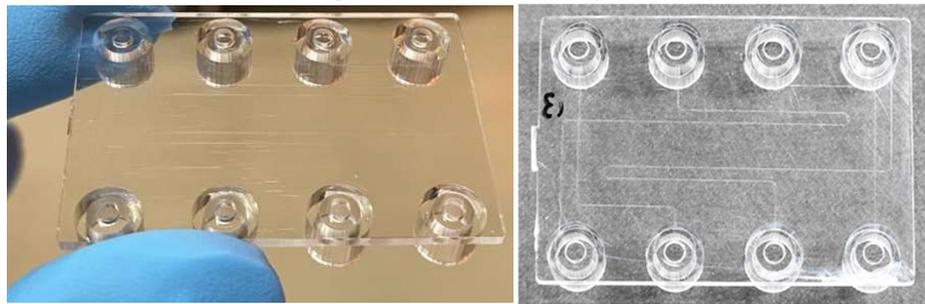
8. 技術開発の要点 (5 / 7)

新規技術要素②微小流体チップの高精度・高効率作製 (Laboko)

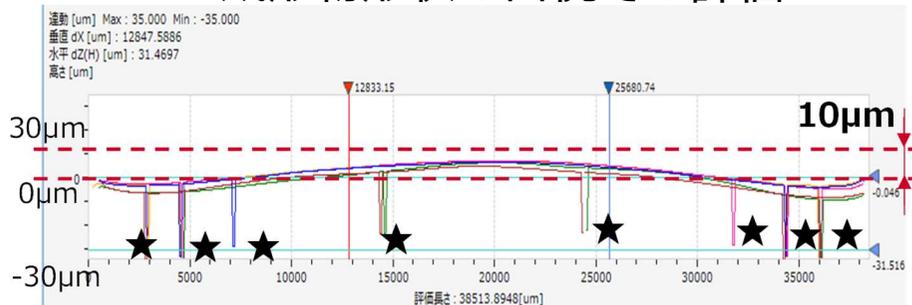
達成方法: 耐久性と堅牢性を持った **COP樹脂製の流路を重複実装し、冗長性を確保**

フォトリソグラフィーを用いた高精度/精密な樹脂型によりプラスチック製チップを射出成形できる技術を開発 ⇒ 微小流体チップを高精度で迅速に射出成形できる

◆ 射出成形数35ショット目のCOP成形物の形状測定



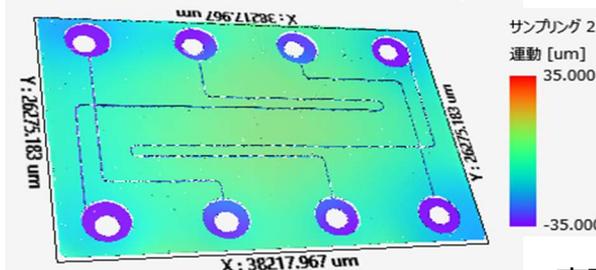
成形物形状の目視での評価



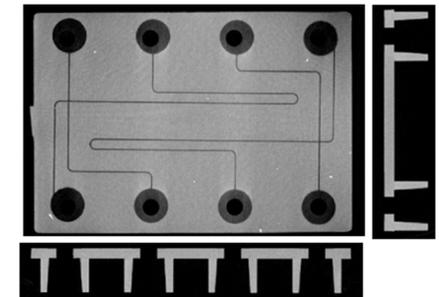
表面形状の詳細(★: 深さ40µmの流路)
 同一チップ内で10µmのうねりがあった

◆ 成形物の形状測定

※協力: 埼玉県産業技術センター(SAITEC)



非接触微細形状測定機で
 表面うねりの測定



X線CT3次元測定器で断層撮影

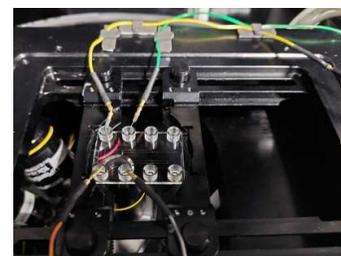
- ・表面粗さ(Ra): 4nm
 - ・表面うねり: 10µm
- ⇒ヒケやソリがない

**精密金型レベル
 の成形加工**

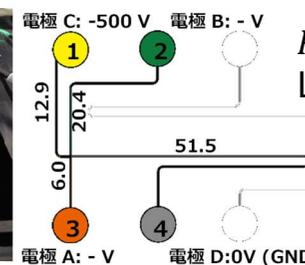
◆ 電気抵抗率の測定: 緩衝液の抵抗率と流路の実測値の一致

流路の抵抗値 $R = \rho(L/A)$

R : 抵抗値[Ω], ρ : 抵抗率[Ω・m],
 L : 長さ[m], A : 断面積[m²]



倒立顕微鏡ステージ上
 で電気泳動



流路の実測値	緩衝液の値
4.23	4.22

⇒流路形状が設計と一致

材料×技術⇒理想の実験を実現

新規技術要素③微量液滴シミュレーション設計(産総研)

技術課題: 本装置の運用は、実験環境によって変化

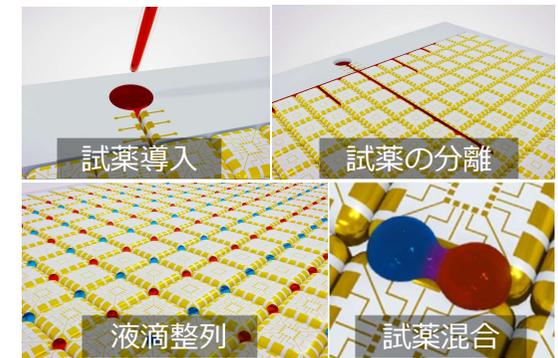
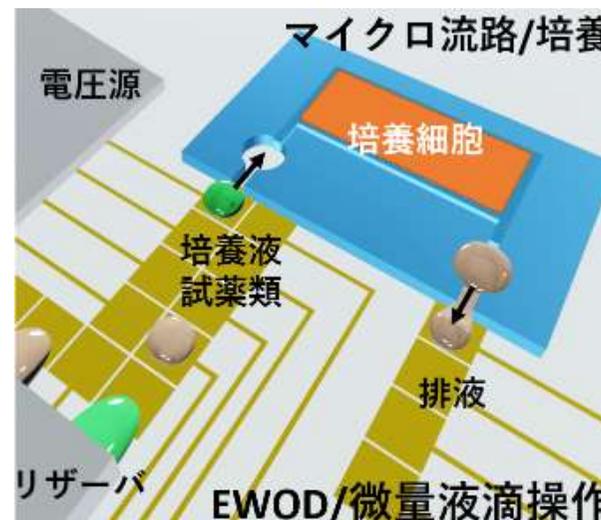
→実験前に**各環境下の培養液や試薬の挙動の把握が必須**

→将来の活用拡大（宇宙ステーション内の微小重力環境下の実験等）を想定し、様々な環境に適応する機能を先んじて搭載することで開発要素の出戻りを最小化するよう、**設計変数を適切な値に設定して装置を効率的に設計・製作することが必要。**

設計変数:

EWODによる微量液滴操作に用いる**培養液や試薬の送液・培養流路**の

- **形状**（幅、長さ、高さ）、
 - **濡れ性**（接触角）、
 - **表面微細構造**（凹凸の幅や高さ）
- 等。



EWODによる微量液滴操作（電機大）

新規技術要素③微量液滴シミュレーション設計(産総研)

技術課題 (つづき)

現状:

1G環境下の水や油の微量液滴

(直径約0.01~数mm) の挙動を

数値流体力学 (CFD) に基づくシミュレーションで

コンピュータ上に再現し、

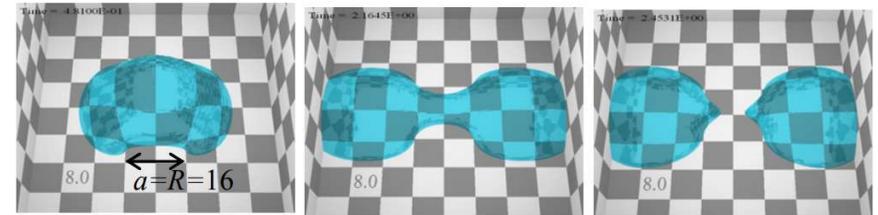
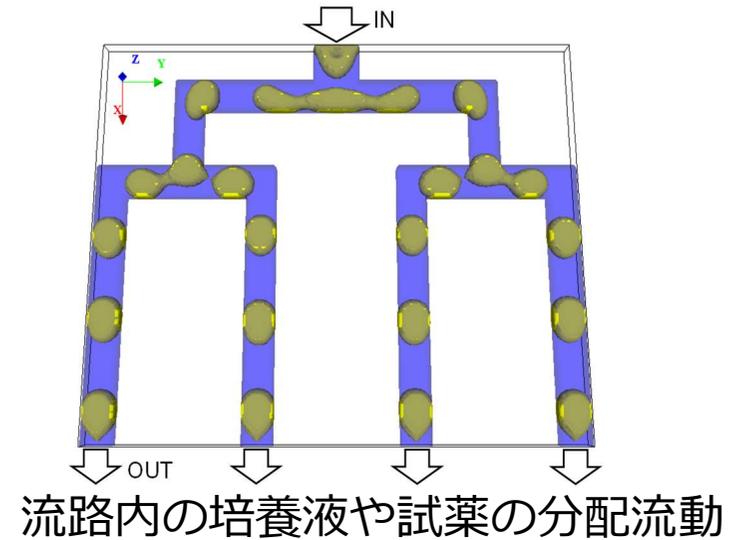
- 理論や実験との比較によるシミュレーションの方法と結果の妥当性の検証
- 濡れ性や表面構造による液滴挙動の変化の調査など、予備的検討を進めている (図A)。

達成方法:

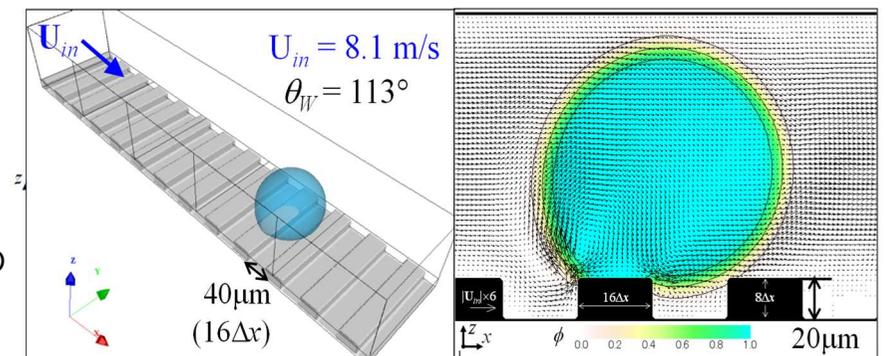
微小重力環境を含め様々な条件で培養液や試薬の微量液滴挙動のシミュレーションを実施して、その結果に基づき、設計変数(*)の値を設定する。

地上での微小重力実験(パラボリックフライト)でも検証する。

(*)培養液や試薬の送液・培養流路の形状(幅・長さ・高さ)、濡れ性(接触角)、表面微細構造(凹凸幅・高さ)、等



不均一な表面濡れ性による水滴の分裂



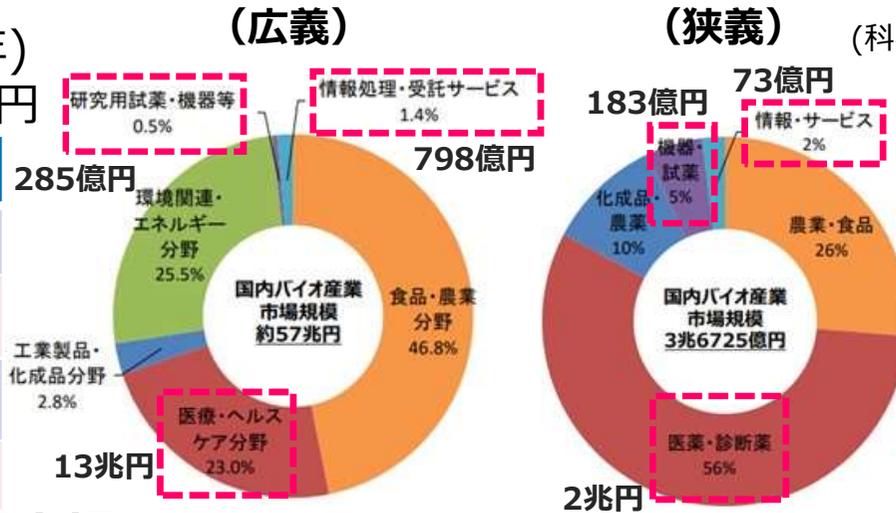
図A 液滴挙動のCFDシミュレーション

9. 波及効果、インパクトの試算 (1 / 3)

国内バイオ市場規模

- ◆全体 3.6~57兆円(2020年)
- ◆対象市場規模2.3~14.1兆円

番号	分野	広義	狭義
1	医療ヘルスケア	13兆	2兆
2	情報処理・受託サービス	798億	73億
3	研究用試薬・機器等	285億	183億
	合計	14.1兆	2.3兆



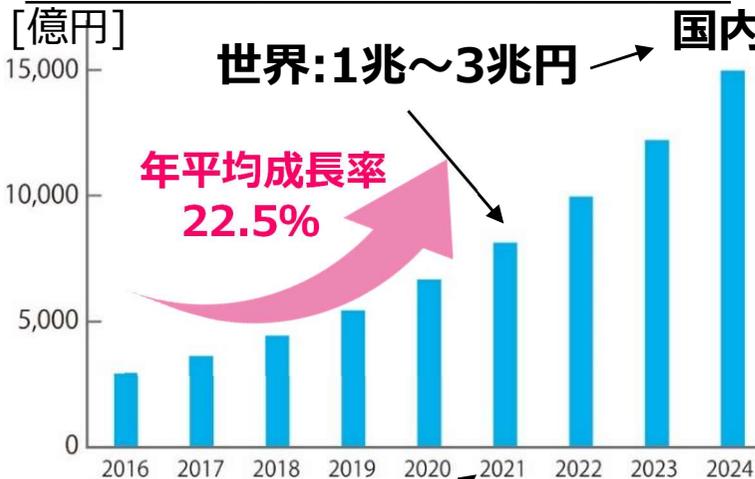
国内の科学技術研究費

(科学機器年鑑2014年度版,(株)アールアンドデイ)

- 全体 17兆3246億円
- ライサインス 2兆8732億円
- 情報通信 2兆4502億円
- 環境・エネルギー 2兆円
- ※約50%人件費、約30%装置・材料等
- ※企業52.8+大学35.7+非・公11.5(%)
- ※企業3219社(資本金1億円以上)、大学4247、非営利団体/公的機関1029

➔ **国内ライサインス研究の装置・材料費:1兆円**

マイクロ流体システムの世界市場



世界:1兆~3兆円

国内(世界の5%)=500億円
消耗品20%=100億円

市場分類(応用)

- ・ Point of Care(POC)
- ・ 臨床診断/獣医診断
- ・ 分析デバイス
- ・ ドラッグデリバリー
- ・ 製薬
- ・ 生命科学研究
- ・ 環境
- ・ 産業(医薬品,体外診断,医療機器)

日本のPOC市場は
2023年に約320億円→
'36年までに約860億円、
マイクロ流体工学の需要は
予測期間中に成長と予想。

国内マイクロ流体メーカーランキング

(2023年4月, ZAZA(株)調べ)

順位	会社名	売上高	事業形態	材質
1	ASICON	16.3	代理店	PMMA, PC, COP
2	Blacktrace Japan	14.3	代理店	PDMS
3	バイオストリーム	14.3	代理店	PDMS
4	米山金型製作所	14.3	製造	PMMA, PC
5	AGC	10.2	製造	ガラス
6	九州セミコンダクタ-KAG	8.2	製造	PDMS
7	パール光学工業	6.1	製造	PDMS
8	シーエステック	6.1	製造	複合(PDMS, PC)
9	マイクロTASING	6.1	製造	PDMS
10	協同インターナショナル	4.1	代理店	PDMS

PDMS:熱可塑性樹脂 = 63.3% : 36.7%
代理店:製造 = 49% : 51%

➔ **流体チップ:国内シェア10%
=10億円(海外3%=60億円)** 17

'21年に2兆8900億円、
'30年までの間で年平均成長率約16%の報告も有。

【引用】1) 経済産業省 第9回産業構造審議会
商務流通情報分科会バイオ小委員会(2020)

2) Kenneth Research社(2022)

3) EMERGEN RESEARCH社(2022)

4) SDKI社(2023)

9. 波及効果、インパクトの試算（2 / 3）

【バイオ×フロンティア領域：宇宙】

- **宇宙産業は急成長^(*)：**
世界市場2023年0.63兆\$→2035年1.8兆\$（252兆円、年率9%）予測
- (*) World Economic Forum, Space: The \$1.8 Trillion Opportunity for Global Economic Growth (April 2024),
参考：'23~'35年の世界名目GDP成長率5%
- **有人宇宙輸送も拡大が想定→宇宙放射線被ばく予測・評価が重要**
- **宇宙環境バイオ・生物学実験が地上の医薬・医療の高度化にも貢献**

【MBLの波及効果・インパクト】

- **放射線医学分野含め多種多様な実験の高効率化の実現**
→労働人口減・少子高齢化社会でQOL向上に資する医薬・医療事業創出
→日本の産業競争力強化も可能
- **微小流体チップ技術で従来に無い可搬型バイオ実験プラットフォーム**
→**宇宙利用の裾野を広げて大幅コスト低減にも貢献**
- **地上&宇宙で様々な基礎～応用研究開発への導入が国内外で期待**
→**産学官連携R&D加速が必要**

9. 波及効果、インパクトの試算 (3 / 3)

宇宙を利用するバイオものづくりの市場の高い成長性

地球低軌道 (LEO) 活用バイオものづくり収益 (2035年'26年比予測) :
細胞/組織培養ツール・診断分野で約5倍(年17%増) 5億\$ (700億円)、
再生治療分野で約7倍(年21%増) 14億\$ (1960億円)以上

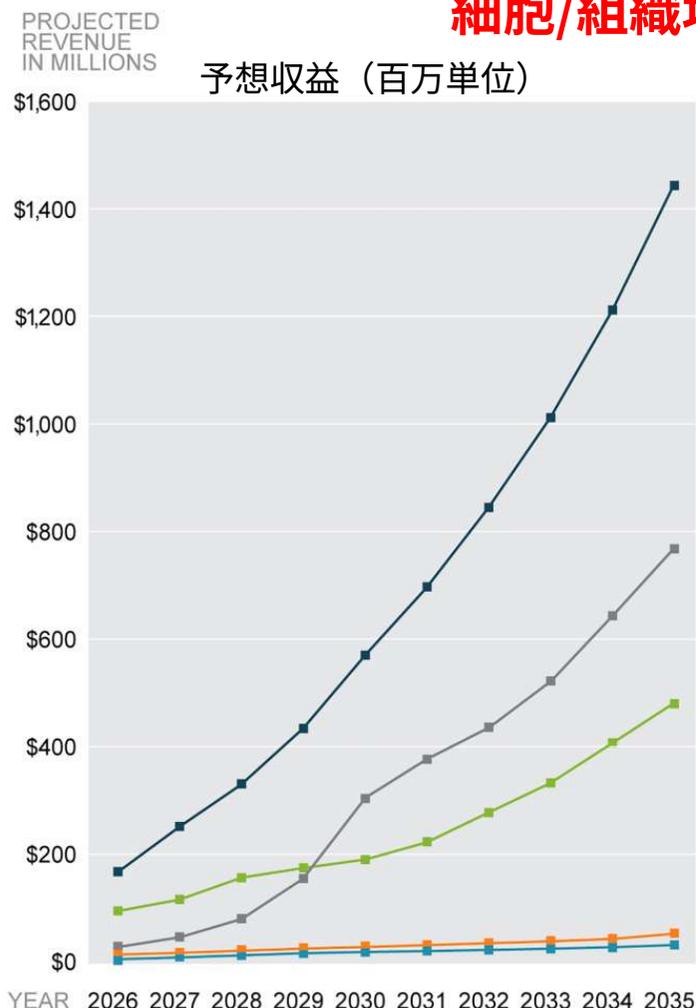


図5. LEO市場のサブセグメンテーションによる収益予測 (*)

(**)LEOバイオものづくり市場の5つの主要なサブセグメント:

- (1)細胞/組織培養ツールおよび診断(POCT) **3位** ('35年に26年比約5倍)
- (2)再生治療(細胞および組織) **1位** ('35年に26年比約7倍)
- (3)バイオプリンティング(3次元)
- (4)細胞製品ものづくり(治療用) **2位**
- (5)オルガノイド

(**)※(2)再生治療 (細胞および組織) 市場は以下の7つを含む:

- ①細胞株の作製、②細胞採取、③細胞増殖、④細胞/遺伝子治療ツール、
- ⑤癌細胞分析、⑥細胞生存率アッセイ、⑦in vitroアッセイ

(**)※(4)細胞製品ものづくり (治療用) 市場は以下の4つを含む:

- ①組織工学を用いた再生医療、②幹細胞を用いた再生医療、
- ③iPS細胞の製造、④細胞治療加工

(*)【引用文献】

Arun Sharma et al., Biomanufacturing in low Earth orbit for regenerative medicine. Stem Cell Reports 2022 Jan 11; **17(1)**:1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2021.12.001>

(**)(株)Labokoによる調査資料から転載。

【実装イメージ】

MBLを幅広い分野で基礎～応用研究・製品サービス開発・現場へ導入
(フィールドリサーチ、緊急対応、創薬、診断、教育・訓練)

【シナリオ】

- ①モデルケース (細胞放射線被ばく評価) でMBL開発・PoC試験適用
 - ②各種対象に各種分析手法・機器導入で開発期間短縮とコスト削減
 - ③フロンティア領域への応用 (宇宙バイオ実験プラットフォーム)
- バイオ・製薬・医療産業 & 宇宙産業の拡大

【目指したい社会】

MBLを通じた新たな研究開発環境構築により、バイオエコノミー分野を中核に横断的連携 (バイオ×宇宙×製造等) で高付加価値製品・サービス創出と国内外課題解決に取り組み、QOL向上 & 持続発展できる社会

DigitalBlast、産総研、金沢大学、東京電機大学、Labokoとともに
宇宙での細胞培養実験の自動化を目指した共同研究開始
～宇宙空間でのライフサイエンス実験の可能性を広げ、
「Space Biology研究プラットフォームの構築」を目指す～
(プレスリリース 2024年8月1日)



京都大学
KYOTO UNIVERSITY



小此木 孝仁(Laboko); 茂木 克維(東京電機大); 木村 寛之(京都大); 高田 尚樹(産総研); 松本 翔平(Digital Blast)

