

- ・平成27年度採択事業
- ・受付番号2731306061

平成29年度戦略的基盤技術高度化 支援事業 事業成果報告

「事業名：工業製品製造に適した革新的な多次元
制御方式による3Dプリンタの技術開発」

- ・事業管理者 タマティーエルオー(株)
- ・総括研究代表者 田中豊(法政大学)
- ・副総括研究代表者 當間隆司(武藤工(株))
- ・説明者 當間隆司

1. プロジェクトの概要(1)

1.1 3Dプリンターへのユーザーニーズの把握

- インクジェット方式3Dプリンタは造形の寸法精度が良く、光造形や粉末硬化方式より廃棄物が少なく使い易いとの事でシェアを伸ばしている。しかし、実際に導入したユーザーからは以下の改善や要望が強く、これはこのプロジェクトの開発する技術で実現できると考えて本PJTに取り組んだ。
- **【具体的な市場要求事項】**
 - 1)サポート材を含めた材料費の低減
 - 2)サポート材除去を含めた造形時間の低減
 - 3)高温耐性の実現(～120℃)
 - 4)既存造形体に後から追加の造形を行う方法の実現
 - 5)カラー化が可能な造形

1. プロジェクトの概要(2)

1.2 ユーザニーズを実現するための課題

1) サポートレス造形の実現

- ・造形物の傾きを自由に制御できる多自由度ステージの実現
- ・インクの積層制御を実現するインクヘッドの使いこなし技術の開発

2) 高温耐性(120°Cまで)の実現

- ・新硬化システムを採用したエポキシ系UV硬化インクの開発

3) 既存構造体に後から追加の造形を行う方法の実現

- ・既存構造体の表面に倣った軌跡を実現する多自由度ステージの実現
- ・他の材料との接合性を持ったエポキシUV硬化インクの開発

4) カラー化が可能な造形

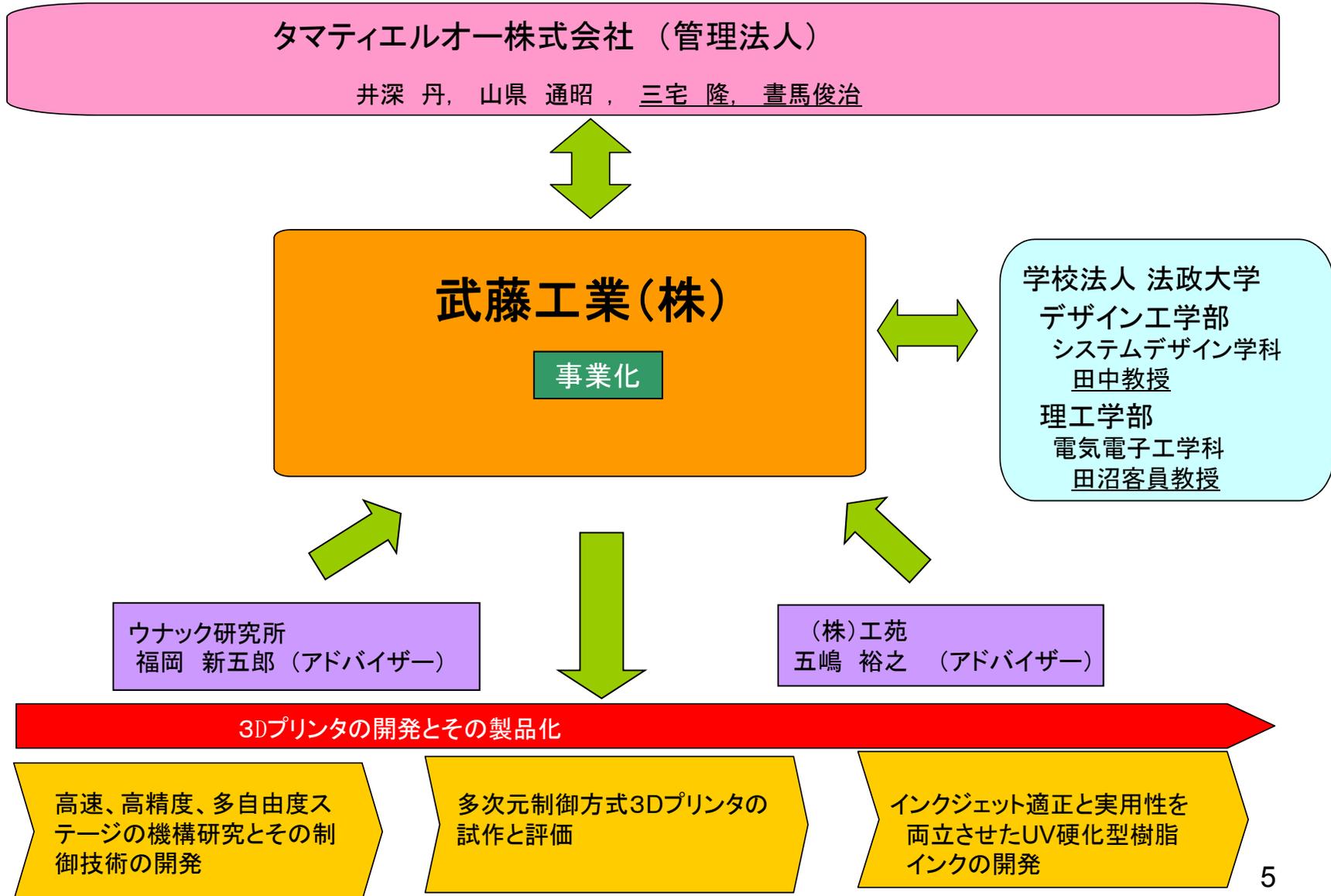
- ・色材を入れても硬化可能な新硬化システムを使ったエポキシUV硬化インク
の開発

1. プロジェクトの概要(3)

1.3 技術課題と目標

項目	目標値
(1) 高速、高精度、多自由度ステージの機構研究と制御技術の開発	最大造形物: 210 × 297 × 150(mm) 垂直耐荷重: 10kg 繰り返し位置決め精度: 10μm 最大移動速度: 200mm/s以上 X-Y-Z軸周りの回転
(2) インクジェット適正と造形物としての実用性を両立させた新規なUV硬化型樹脂インクの開発	硬化エネルギー: 500mJ/cm ² 以下 硬化物硬度: 鉛筆硬度3H以上 粘度: 20mPa・S以下 表面張力: 30 ± 3N/m
(3) 上記インクに適したインクジェットヘッドの開発	高粘度インク対応: 20mPa・S以上 ノズル密度: 150n/inch以上
(4) 多次元制御方式3Dプリンタの試作と評価	工業製品製造に適した3Dプリンタの試作品の完成

2. プロジェクトの実施体制

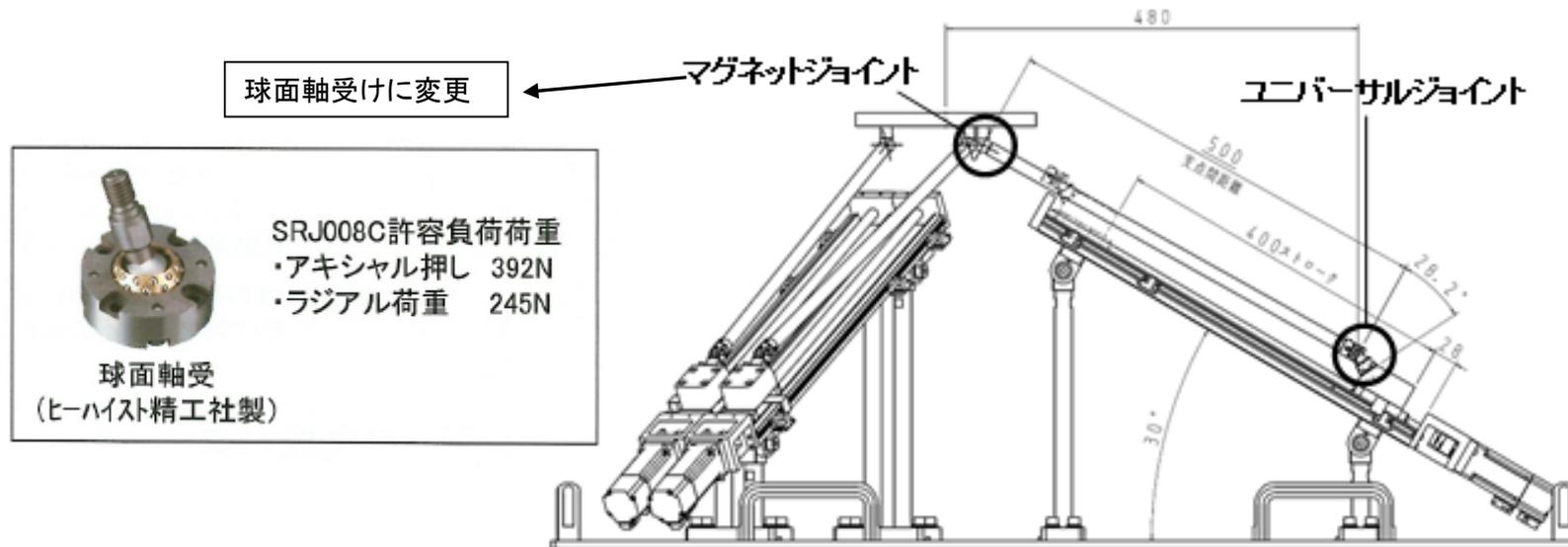


3. 本年度の研究開発報告(1)

3.1 高速, 高精度, 多自由度ステージの機構と制御技術の開発

1) 高速、高精度、多自由度ステージの試作評価と改良

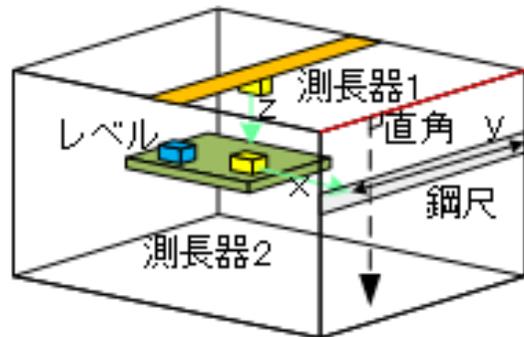
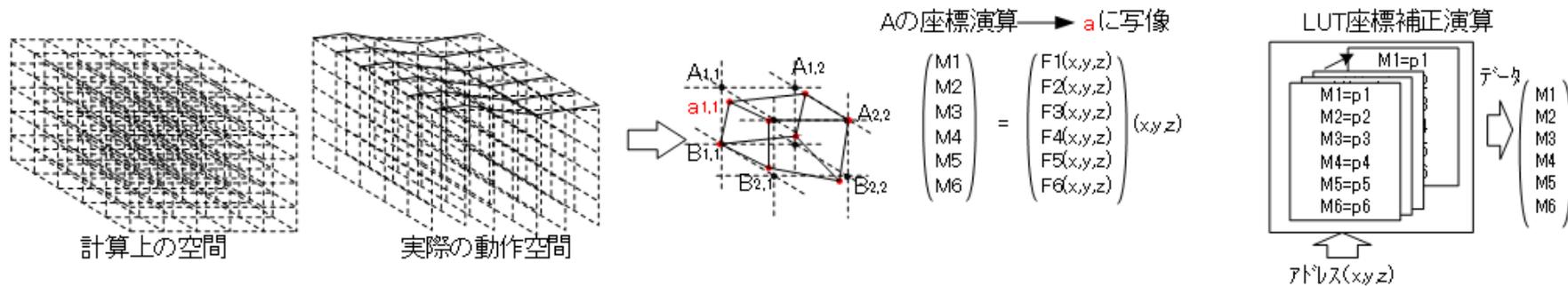
- ①ステージと駆動軸の継手はマグネットジョイントを使用したかったが、耐久性が無く表面のメッキが剥がれ、規定位置に入らない事が判り、球面軸受に変更。(可動範囲を有効に使う為、offset角付き台座追加)
- ②駆動軸とアクチュエータ(単軸ロボット)の連結部分はガタツキ分を吸収する為、嵌め合い精度をH7に変更した。



3. 本年度の研究開発報告(2)

3.1 高速, 高精度, 多自由度ステージの機構と制御技術の開発 2) 精度の検証方法の検討と試行

造形用のデータはX,Y,Zの直交座標系で生成される為、6軸メカは直交座標系を正しく位置をトレースする必要がある。しかし、自由度が増え誤差要因が増えたことで実空間は歪んでいる事が判った。この為、位置の補正を行う為、LUTで座標補正を行う事とし、以下の様な測定系をまとめ、補正を実現した。



6軸メカは基準面が無い為、ヘッド位置を基準として左図の様な測定系を組んだ。色々文献等を調査した結果、6軸メカを実現する際、最も重要な技術は測定系である事が判った。

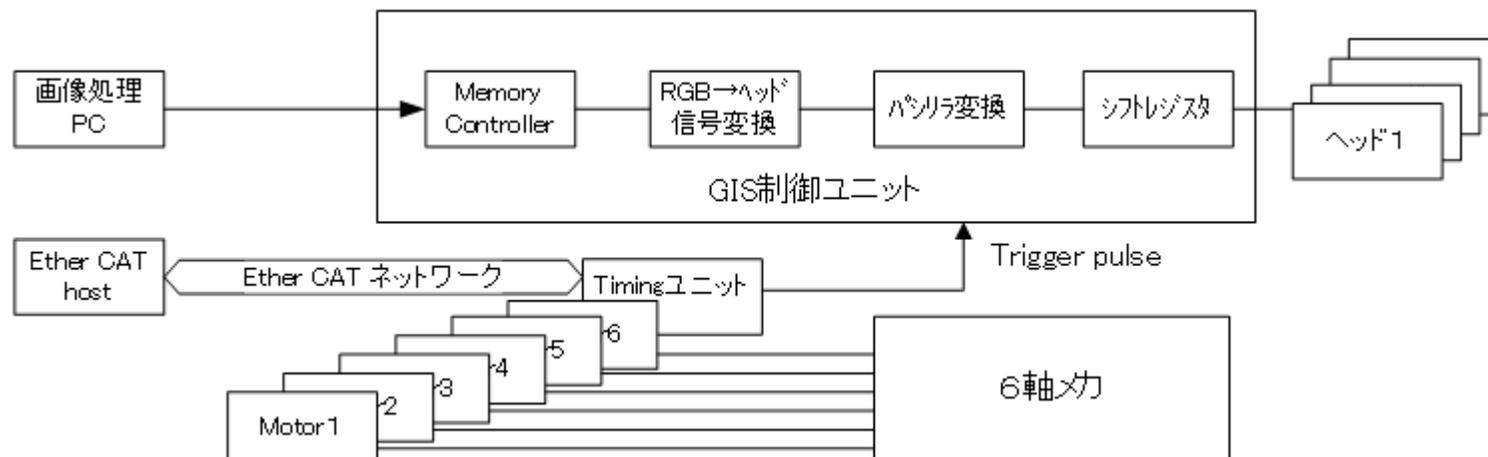
3. 本年度の研究開発報告(3)

3.1 高速, 高精度, 多自由度ステージの機構と制御技術の開発

3) システムの制御性の実証

・制御方式

制御はアプリケーション側の処理(形状から造形ポイントの座標や必要なステージの傾きを演算する機能)はOff Lineで行い、プリンター側は単純に指令された座標、傾きとタイミングで造形動作を行うだけ的方式とする。画像処理の部分は今回のテーマでは対象外とし、造形実験のプログラム(画像とメカシーケンス)は全て手動で行う事とした。メカの制御性は球面軸受に変更した事で、繰り返し再現性が良化した。



3. 本年度の研究開発報告(4)

3.2 新規な3Dプリンターに適したUV硬化型樹脂インク開発

1) モノマーの開発インク組成の確認(平成27年度実施)

主成分としてカチオン重合モノマーを選択し、インクジェット特性や安定性や安全性に配慮したインクの開発を行った。(メーカーとの共同開発)

2) インクジェット特性の改善

開発された樹脂及びインクジェット用インクの特性を外部機関も含めて多面的に評価し、特性の改善を行った。インク液滴の吐出性能、駆動波形の最適化については武藤工業が実施、表面張力、粘度、硬化特性、硬化物の物性値などは法政大学および外部機関で測定・評価。

3) インク硬化特性の改善

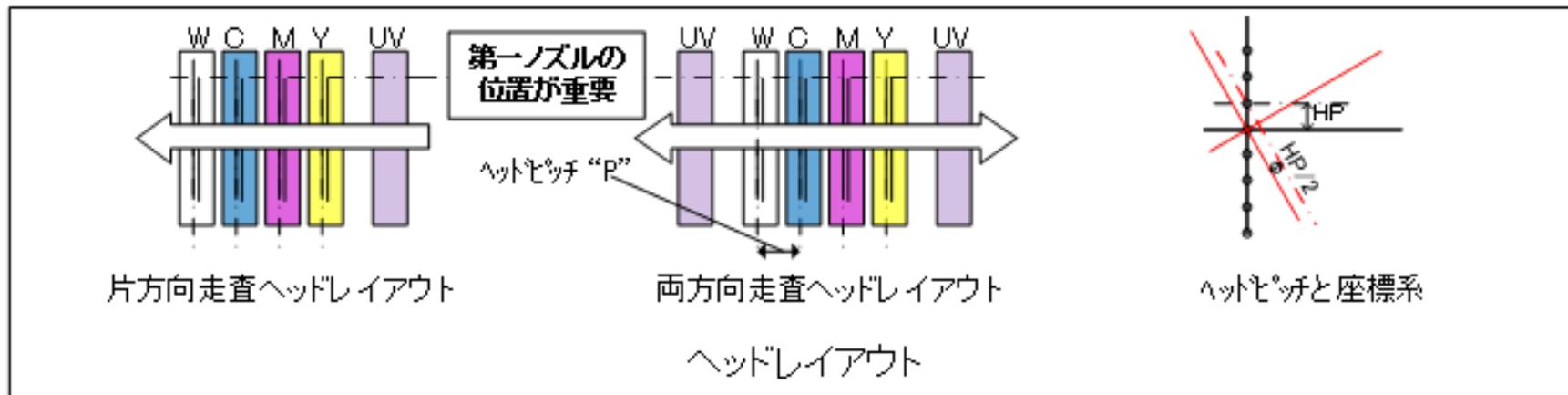
カチオン重合型樹脂は、UV光により発生した酸が拡散して重合する。この反応をより低照度の光源で、効率的に行うために増感剤の配合が必要であるが、暗反応の原因にもなるため材料配合のバランスが課題になる。インク硬化特性は法政大学が硬化特性および硬化物の物性の測定評価を実施し、現状問題ないレベルにあることを確認した。

3. 本年度の研究開発報告(5)

3.3 UV硬化型樹脂に適したインクジェットシステムの開発

1) ヘッド基本構成の確定と設計

インクジェットヘッド適性を持たせる様にUV硬化インクのチューニングと、高出力が得られるUV-LEDユニットを開発した。又、ヘッドノズルを詰まらせない様なヘッドとUV光源のレイアウトを決定した。今回は150dpiのヘッドを使用しているが、これを使っても微細化が可能な方法も併せて考案した。更に、ヘッド取り付けの位置精度を担保する為、フリクションを持たせたヘッドホルダーも新規設計した。



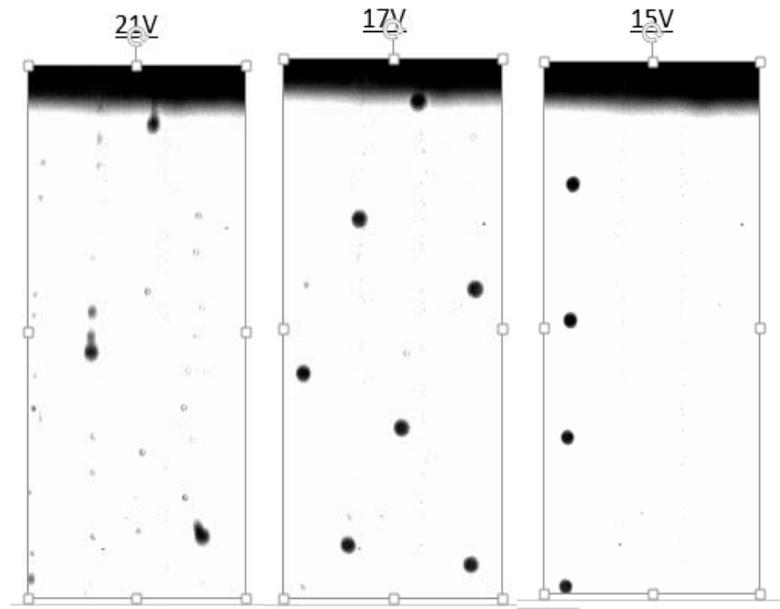
3. 本年度の研究開発報告(6)

2) インクジェットヘッドおよび駆動回路選定

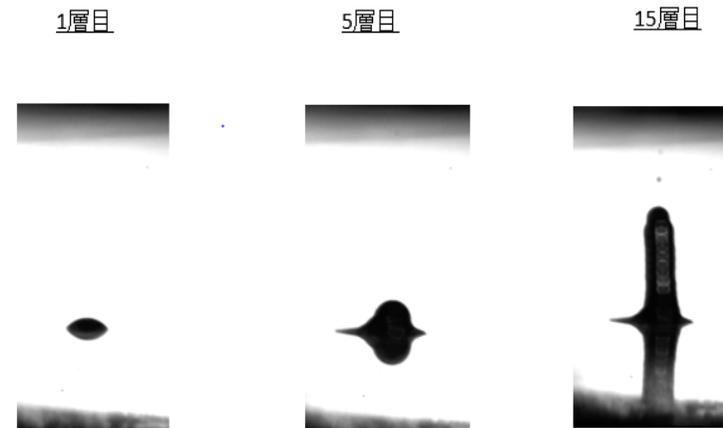
RICOH製ヘッドと東芝テック製ヘッドを比較検討し、当面安定性が優れていた東芝テック製の物で進めることを決定した。

3) インクジェット特性の確定

ノズルからのインクの吐出状況および硬化の状況を高速度カメラで動画観察し、ドライバー電圧(ピエゾ素子に加える電圧)の最適値や、造形に必要な露光周期を確定した。



吐出電圧による吐出される液滴の状態確認



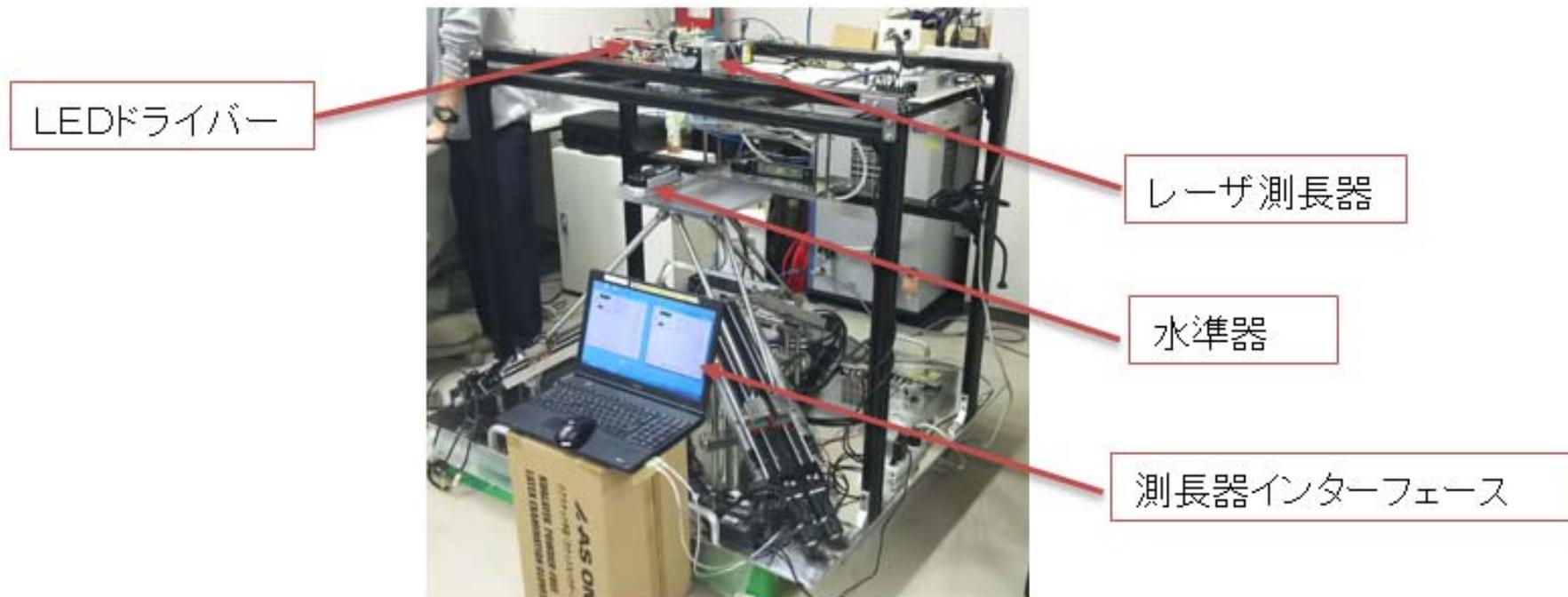
液滴の基板への積層状況(一層あたり100滴、一層毎に露光を1回行った)

3. 本年度の研究開発報告(7)

3.4 多次元制御方式3Dプリンタの試作と評価

1) 3Dプリンタの試作

今回改造した多自由度ステージ機構に東芝テック製ヘッド,ドライバー回路,露光用LED,LED用ドライバー,インク供給システム(加温装置も含む)等を取付けて3Dプリンターを試作した。

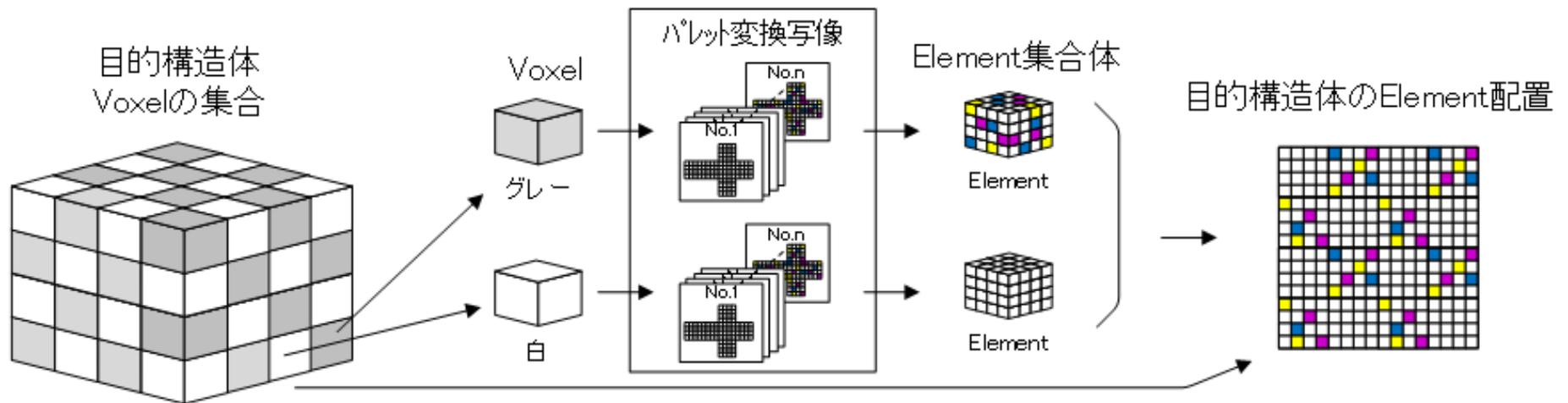


3. 本年度の研究開発報告(8)

3.4 多次元制御方式3Dプリンタの試作と評価

2) 造形用データの検討

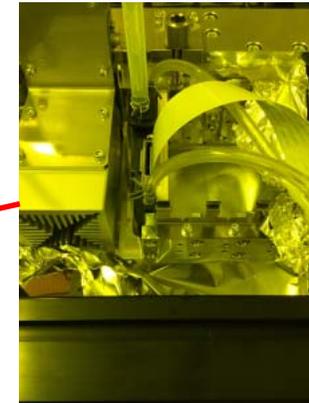
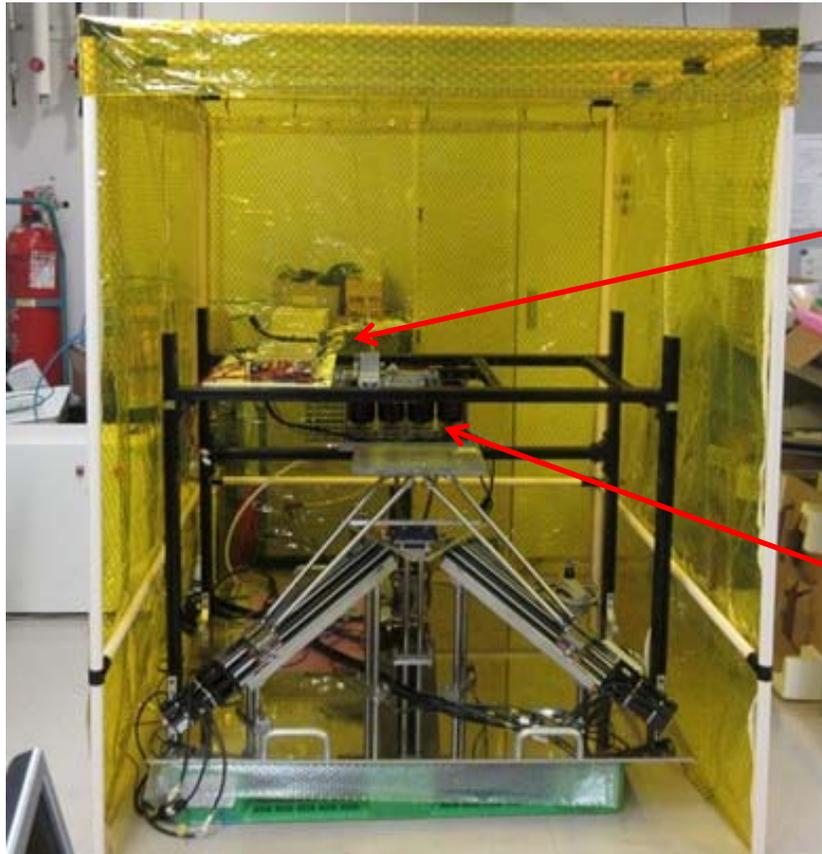
インクジェット方式はインクを吐出するが1回の吐出は数十plと非常に小さい為、構造体を作る場合は同一箇所にも複数滴吐出する必要がある。1ヘッドであると、インクの消費量が多い事から4ヘッドで造形を行う事を考えている。更に4ヘッドならW,Y,M,Cの4色を使えばカラー化できると考え、以下の変換系を考えた。検証用のデータを生成するに当たり以下の変換系を考え、特許申請を行った。



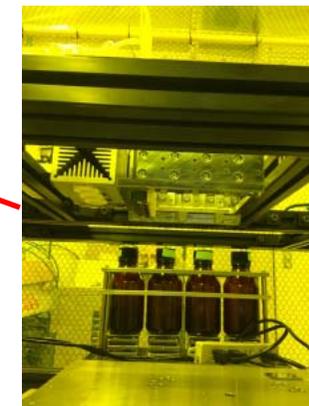
3. 本年度の研究開発報告(9)

3.4 多次元制御方式3Dプリンタの試作と評価

3) 造形実験



インクヘッド



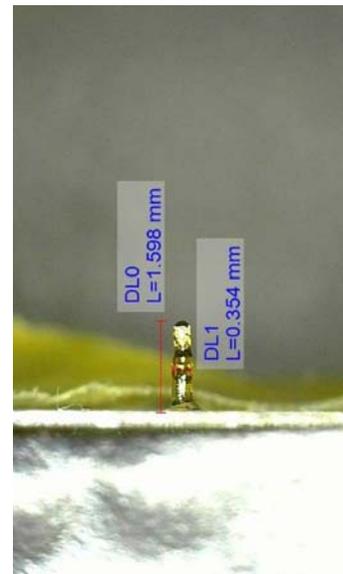
インクボトル

UV硬化型インクによる円柱の形成

3Dプリンタ(パラメカ)を用いて初めて円柱の形成に成功した



3600pL × 70層



600pL × 70層

2017/12/26

4. 事業化の状況

1) 特許の出願状況

フルカラー造形に関する特許を国際出願済(PCT/JAP2017/007407)
国内移行、及び米国移行し、登録は2017/3末までには完了予定。

2) 事業化の検討状況(又は実施状況)

実験機を会長、社長に確認頂き、自社製品への展開を提案。まず、早期事業化が可能な3次元構造体表面に印刷を行うカスタム対応用途に
パラレルリンクを活用する事を検討中。併せて、金属板への3D付加造
形についてもアプリケーションの検討を進めている。

並行して、研究を進め、3Dプリンタによるフル造形化を進める。

3) その他成果(雇用に与える影響など)

特許出願した内容が、フルカラー3D造形のベース特許になる可能性が
出てきており、特許ビジネスにつながる可能性が出てきた。