

# ゲルプリンティングにおける熟練者技能の継承に向けたアイトラッキング 動画解析

Eye tracking video analysis for inheriting expert skills in gel printing

落合 俊樹<sup>1</sup>, 渡邊 洋輔<sup>2</sup>, 小川 純<sup>2</sup>, 川上 勝<sup>2</sup>,

エムディナヒン イスラム シブリ<sup>2</sup>, アジット コースラ<sup>2</sup>, 古川 英光<sup>2</sup>

Toshiki OCHIAI<sup>1</sup>, Yosuke WATANABE<sup>2</sup>, Jun OGAWA<sup>2</sup>, Masaru KAWAKAMI<sup>2</sup>,

MD Nahin Islam SHIBLEE<sup>2</sup>, Ajit KHOSLA<sup>2</sup>, Hidemitsu FURUKAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山形大学工学部, <sup>2</sup>山形大学大学院理工学研究科

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Yamagata University

<sup>2</sup>Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

## 【要約】

我々が先導する3Dゲルプリンター「GelPiPer」の開発プロジェクトでは、ゲル造形熟練者の技能を読み解いてマニュアル化し、初心者にマニュアルを提示することでゲルプリンターの導入ハードルを下げる狙いがある。本研究は、複合現実スマートグラス HoloLens2 に搭載されているアイトラッキング機能を用いて、初心者と熟練者が「GelPiPer」を操作するとき、どこを注視しているのか、主観映像から抽出する。造形の際、熟練者から聞き取りした操作方法のフローチャートマニュアルと、熟練者の造形の様子を主観視点および客観視点から撮影した動画を、操作マニュアルとして提示する。被験者の造形物の精度の違い、視点、操作時間、アンケート結果から共通項、相違点を解析した結果を分析したところ、熟練者と初心者の中で特に重視する作業工程に違いがあることがわかった。

キーワード: 3D, 3Dゲルプリンター, アイトラッキング, フローチャート

## 【Abstract】

Our research team is developing a 3D printer "GelPiPer". This task aims to lower the hurdles for introducing gel printers by presenting the skills of gel modeling experts in a manual. Therefore, in this research, we use the eye tracking installed in HoloLens 2 to extract where the beginners and experts of GelPiPer operation are watching when operating "GelPiPer". Make a flow chart manual of the operation method that you heard. Similarly, show the subjective and objective operation videos of the expert. Find common items and differences from the difference in accuracy, viewpoint, operation time, questionnaire result of the subject's modeled object. In result, common items and differences were found. Based on the analysis results of the experiment, a better manual will be created.

Keywords: 3D, 3D printer, eye tracking, flow chart

## 1. 序論

我々は2011年頃から3Dゲルプリンターの開発を進め[1][2]、現在はより多くの人にゲルの三次元造形に触れてことを目的として、卓上型の3DゲルプリンターであるGelPiPerを複数台組み立てている。GelPiPerの開発プロジェクトでは、ゲルを扱ったことのない研究機関に対してゲルの造形技能を提供することで技術イノベーションの創造や技術応用を誘発させ、ゲルの3Dプリンターという概念を産業界に普及するという理念を掲げている。しかし、ゲルの3Dプリントにはゲル特有の柔らかさを考慮した材料の選定や装置の造形パラメータの調整、造形データの修正などが必要で、操作を行う者には経験と知識を要する。現状のGelPiPerにはゲル造形に関する重要な操作やパラメータが明確にされておらず、ゲル造形の熟練者技能は暗黙知となっている。

一方で、スポーツや建設業務の分野では、熟練者の

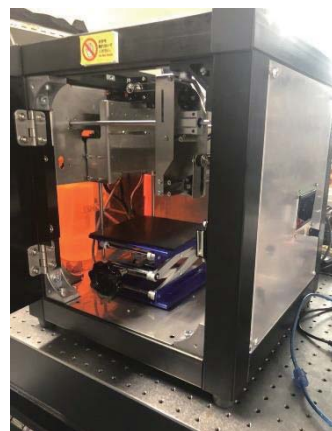


図1. 3Dゲルプリンター「Gel Piper」の外観

視点や時間から行動の情報を抽出することで、暗黙知を明確化できることが報告されている[3][4]GelPiPerも同様に暗黙知を文章化し、マニュアルがあれば、初心

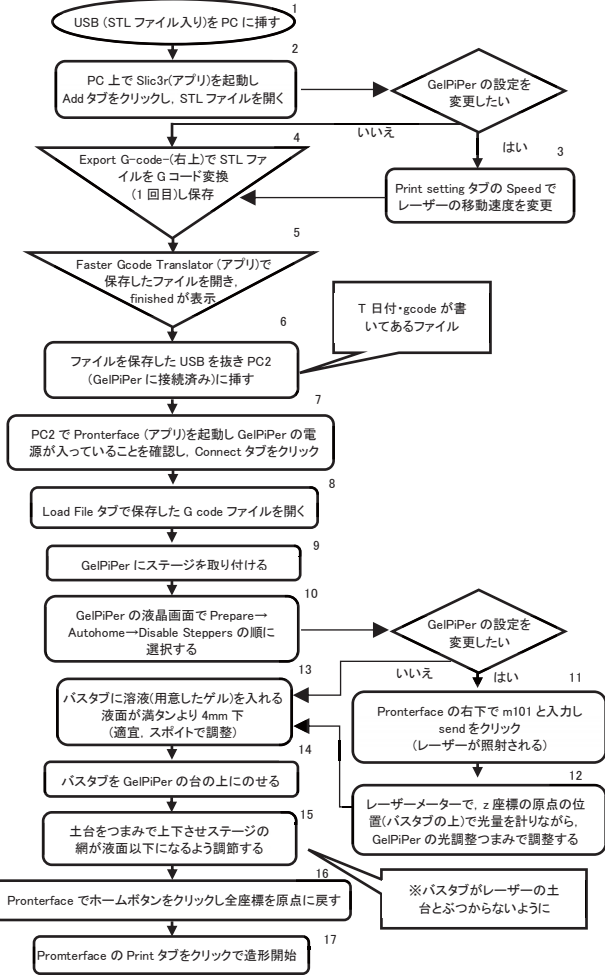


図2 Gel Piper の操作手順を示したフローチャート

者にとって扱いやすい装置となり社会実装が進むと考えた. そこで本研究では, 初心者と熟練者の GelPiPer 操作時の視点動作をアイトラッキングし, その動画を解析した. そして初心者と熟練者および造形精度の違いと操作視点に関連性があるか検証する. 加えて, 実験後にマニュアルについてのアンケートとフローチャートの操作工程ごとの重要度をスコア化し, 定量的評価と動画解析の結果に基づいて, 熟練者の重視する工程と初心者が陥りやすいミスについて明らかにする.

2. 実験

2.1 アイトラッキング装置

今回アイトラッキングに使用する装置は HoloLens2 である. HoloLens2には, 被験者がどこを見ているのかを認知し, 映像に注視している点が赤点で表示されるプログラムを構築した. 注視点は被験者の視野内で, 0.4 秒に 1 回表示される.

2.2 被験者

被験者は GelPiPer の操作期間 1 週間未満の初心

表 1. 被験者の映像と STL データの組み合わせ

	映像	STL データ
初心者 1	主観	空中立方体
初心者 2	主観	円錐
初心者 3	客観	空中立方体
初心者 4	客観	円錐
熟練者 5		空中立方体
熟練者 6		円錐

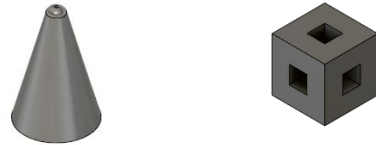


図 3. 造形物の STL データ

者 4 名と操作期間 2 か月以上の熟練者 2 名を対象とした.

2.3 実験準備

初心者には GelPiPer 操作のための映像のマニュアルと紙面上のフローチャートのマニュアルを提示した. 図 2 にフローチャートマニュアルを示す. フローチャートの工程は, CAD で作成した STL ファイルが入った USB を PC に挿し, GelPiPer で造形を開始するまでとした. 各工程に上から順に 1~17 の番号をふる. 本実験では, 図 2 中の右側に記載している 3・11・12 の工程は事前に設定しており, 被験者が行うことはない.

映像マニュアルは熟練者が HoloLens2 を装着して撮影した主観映像と, 一眼カメラで撮影した客観映像を用意した. 被験者に造形してもらう形は中空構造の立方体と円柱で, 「Fusion360」で作成した. 作成した STL データを図 3 に示す.

初心者と熟練者には 2 つの STL データと 2 つのマニュアル動画をランダムに見せた. 今回の実験において, 被験者に渡したデータと, 見せた映像の組み合わせの表を表 1 に示す.

2.4 実験手順

初心者には, 最初に映像マニュアルとフローチャートを同時に提示した. この際, 映像は繰り返し見てもよいこととした. 一通りの動作を理解したあとは, フローチャートが手元にある状態で造形開始までの工程を行った. 工程に取り掛かる前に, HoloLens2 を装着し, 視点調整, 動画撮影開始, アプリ起動を行った. また, 初心者

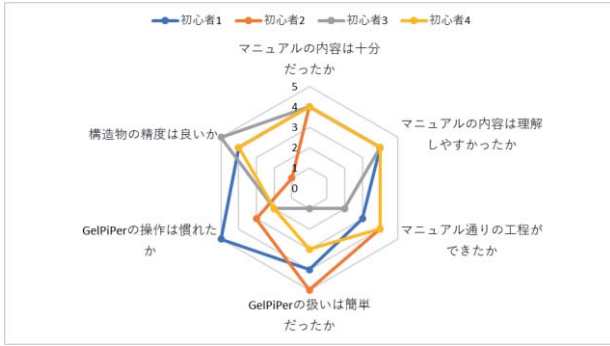


図 4. アンケート結果グラフ

表 2. 各工程の所要時間(s)

被験者 \ 工程番号	2	4	5	6	7	8	9	10	13	14	15
初心者 1	60	20	70	18	15	20	19	28	138	76	110
初心者 2	38	30	118	10	16	14	20	23	48	20	30
初心者 3	178	25	175	8	20	25	39	55	65	29	62
初心者 4	60	178	60	18	20	18	19	58	82	10	125
熟練者 1	15	20	10	8	14	9	25	18	50	10	55
熟練者 2	22	15	10	8	8	16	9	28	26	10	68

は、操作がわからない工程があれば質問をしてもよいこととした。すべての工程が終わり、造形が終了後にアンケートを実施した。アンケートはマニュアル、GelPiPer に関する 6 項目の質問である。

また、熟練者はフローチャートを見てもらい、HoloLens 2を装着して、造形を行った。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 アンケート結果

アンケート結果を図 4 に示す。5 段階評価で実施し、評価項目は左から「マニュアルの内容は十分だったか」、「マニュアルの内容は理解しやすかったか」、「マニュアル通りの工程ができたか」、「GelPiPer の扱いは簡単だったか」、「GelPiPer の操作は慣れたか」である。

#### 3.2 各工程の所要時間の算出

HoloLens2で撮影した動画を見て、被験者ごとの各工程にかかった時間を算出した。今回は時間に違いがでた工程 2~15 の 11 工程を用いる。3, 11, 12 は除く。被験者ごとの各工程の所要時間のデータを表 2 に示す。50 秒以上かかった工程は数値を赤字にて記載している。

#### 3.3 各工程の所要時間のベクトル差

被験者の表 4 にある各工程の時間をベクトルの要素とし、被験者ごとの 11 次元ベクトルで被験者同士のコサイン類似度を求めた。コサイン類似度は 2 本のベクトルがどれくらい同じ向きを向いているのかを示す指標であり-1 から+1 の値を取りうる。求め方を式(1)に示す。

表 3. 各工程の時間と要素の数値の関係

時間の範囲(s)	0~10以下	10~20以下	20~30以下	30~40以下	40~
要素の数値	-2	-1	0	1	2

表 4. 被験者ごとのコサイン類似度

	初心者 1	初心者 2	初心者 3	初心者 4	熟練者 1	熟練者 2
初心者 1		0.63	0.71	0.49	0.15	0.16
初心者 2			0.67	0.73	0.37	0.33
初心者 3				0.76	0.19	0.15
初心者 4					0.23	0.31
熟練者 1						0.78
熟練者 2						

表 5. バスタブとレーザーの台の視点の数

被験者	1	2	4	5	6
視点の数(個)	110	50	120	90	100

$$\cos(\vec{A}, \vec{B}) = \left( \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|} \right) \quad (1)$$

$$\vec{A} = (x_1 + x_2 + \dots + x_{11})$$

$$\vec{B} = (y_1 + y_2 + \dots + y_{11})$$

A, B は比較する 2 人の被験者とする。x, y に関して、秒数の間隔で要素の数値を決める。各工程のかかった時間と要素の数値の関係を表 3 に示す。表 2, 表 3, 式(1)より、各被験者のコサイン類似度を求める。求めた結果を表 4 にまとめた。

表 4 より、熟練者同士の組み合わせはコサイン類似度が 0.78、初心者同士の組み合わせの平均は 0.67、熟練者と初心者の組み合わせの平均は 0.24 となった。11 次元ベクトルにおいて初心者と熟練者の組み合わせは、熟練者同士と初心者同士に比べてコサイン類似度が小さくなった。よって、初心者と熟練者には各工程にかかった時間が初心者同士、熟練者同士と比べて違うことがわかる。

#### 3.4. 視点情報

3.2 節よりバスタブとレーザーの台の調整の工程に熟練者が時間をかけていることがわかった。そこで工程 15 での、アイトラッキングによって得られた視点情報を解析した。初心者 2 と熟練者 1 から得られた視点情報を図 6 に示す。初心者 2 は構造物の造形精度が悪かったこと、熟練者 1 とのコサイン類似度が高かったため、この組み合わせを比較対象として採用した。図 5 はある工程における視覚情報を示したものである。バスタブとレーザーヘッドにおける視点(図 5 中の赤い点)の数を表 5 に示す。

#### 3.5 考察

初心者のアンケート結果より、マニュアルに関する項目のスコアが高いため、マニュアル自体に問題はない。



初心者2

ゲルを入れるバスタブ



熟練者1

図5. アイトラッキングによって得られた視点情報

一方で、被験者の中で初心者2のみ造形に失敗しているため、造形失敗の原因は初心者2の視覚情報から類推できると考え、視覚情報の確認を行った。すると、GelPiPer 操作において、3.2 節と 3.3 節により初心者と熟練者では時間をかける工程が違うことが分かった。熟練者は 13, 15 の工程に特に時間をかけている。この工程の視覚情報を確認すると、熟練者はゲルの入ったバスタブ、レーザーの台をよく注視している。バスタブを置いた台とレーザーの台の調整が重要な操作であることがわかる。

#### 4. 結論

GelPiPer の操作にて、初心者と熟練者の操作工程の時間の抽出、アイトラッキングによる視点情報の抽出をし分析したことで、GelPiPer のバスタブの液面の調整、バスタブとレーザーの台の調整が重要ということが分かった。本実験では、上記の工程にかけた時間が長く、視点の数がバスタブとレーザーの台に集中している人の造形はうまくいった。熟練者は上記の工程に特に時間をかけていた。本結果より、今後、GelPiPer のみならず、他の機械、また別分野にても熟練者の技能の抽出を検討したい。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01224、JP18H05471、JP19H01122、JST COI JPMJCE1314、JST OPERA JPMJOP1844、JST OPERA JPMJOP1614、ムーンショット農林水産研究開発事業 (MS508、

JPJ009237)、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期/フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」(管理法人:NEDO)によって支援を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] 日出間るり, 杉田恵一, 古川英光. (2011). 「レーザー走査照射による高強度ゲルの3次元光造形」、日本機械学会論文集 A 編、77(778), 1002-1006
- [2] Hisato Muroi, Ruri Hidema, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa. (2013). 「Development of optical 3D gel printer for fabricating free-form soft & wet industrial materials and evaluation of printed double-network gels」, Journal of solid mechanics and materials engineering, 7 (2), 163-168.
- [3] 森田順也, 藤本奈央, & 柳田克巳. (2018). 視線データを活用した建設現場の品質管理技能伝承への取り組み. In 人工知能学会全国大会論文集 第32回全国大会 (2018) (pp. 1M202-1M202). 一般社団法人人工知能学会.
- [4] 村田厚生, & 森若誠. (2010). 危険予知課題における運転者の視覚情報処理特性-運転初心者と運転熟練者の比較. 人間工学, 46 (6), 393-397.