

KSK-GH29-1

平成 29 年度

「安全・安心」及び「生活の質の向上」に資する技術革新

3Dプリント作業の参画者拡大を 目指した技術開発補助事業

平成 30 年 3 月

一般財団法人 機械振興協会 技術研究所



競輪の補助事業 この事業は競輪の補助により実施しました。

<http://hojo.keirin-autorace.or.jp>

3Dプリント作業の参画者拡大を目指した技術開発

— 目 次 —

1. はじめに	1
2. これまでの取り組み	1
2.1 専門委員会	1
2.2 関連調査	2
2.3 簡易式 3D プリンタによる実習	2
2.4 ビジネスモデルの構築	2
2.5 3D プリント出力作業の試行実験	3
2.6 3D プリント造形物の高付加価値化	4
2.7 障害者福祉事業所による 3D プリント事業の実績	5
2.7.1 3D プリント事業	5
2.7.2 3D プリント事業の実績	5
3. 参画者拡大を目指した技術開発	6
3.1 見える化	6
3.1.1 見える化とは	6
3.1.2 見える化実現にむけた検討	7
3.1.3 見える化環境の構築	8
3.1.4 データの加工と表示	8
3.1.5 「見える化」試行実験	10
3.2 容易化	14
3.2.1 洗浄工程とは	14
3.2.2 洗浄工程への参画者を拡大させる方策	14
3.2.3 洗浄方法	15
3.2.4 洗浄装置	16
3.2.5 「容易化」試行実験	19
3.2.6 まとめ	24
3.2.7 参考文献	24
3.3 簡素化	25
3.3.1 磨き工程とは	25
3.3.2 磨き工程への参画者を拡大させる方策	25
3.3.3 ブラスト装置とは	26
3.3.4 投射材とは	27
3.3.5 ブラスト研磨とは	27

3.3.6 「簡素化」試行実験	28
3.3.7 まとめ	33
3.3.8 参考文献	33
4. おわりに.....	34
謝辞	34

<研究>

3Dプリント作業の参画者拡大を目指した技術開発

藤塚 将行^{*1}, 保戸塚 久善^{*1}, 飯塚 保^{*1}, 木村 利明^{*2}, 松丸 誠一^{*3}, 坂本 将也^{*2}

Development of Technology that Enables More People to Work in 3D printing

Masayuki FUJITSUKA, Hisayoshi HOTOZUKA, Tamotsu IIZUKA,
Toshiaki KIMURA, Seiichi MATSUMARU & Masaya SAKAMOTO

1. はじめに

当技術研究所は、日本のモノづくりへの支援を使命として、多くの分野の課題に解決策を提供する事業を行っている。本事業は、当所が地域行政からの「モノづくり技術で障害者の就労支援が出来ないか」との要望を受け、機械産業が社会的存在として寄与するために開始したものである。そこで、安全で高付加価値就労である3Dプリンタに着目し、技術開発による課題解決によって障害者の作業を可能とした。これにより、障害者の「生活の質の向上」だけでなく、今まで事例の少なかった機械工業に職種を広げることで「機械工業の振興」にも寄与できることを確認してきた。

本報告の構成は以下の通りである。2章ではこれまでの調査検討結果及びビジネスモデル化に関する取り組みと障害者による試行実験、さらには昨年度実施した商用ビジネス化と造形物の高付加価値化についてまとめて紹介を行う。3章では3Dプリンタ作業で活躍できる方の拡大を目指して開発、導入された技術についての詳細に述べた後、実際の作業に組み込んだ際の様子および感想などをまとめ、その結果から考察を行う。最後に4章で本報告書を総括する。

2. これまでの取り組み

本事業では、障害者の高付加価値就労として3Dプリントサービスビジネスの実現を支援し、「障害のある人が幸せに暮らせる社会創造」を行うことを目的としている。その実現のため平成26年度には実現可能なビジネスモデル（マーケット、人、設備）を創出することを目的として様々な検討を行った。また平成27年度は立案した3Dプリントサービスのビジネスモデルが事業として成立するかを判断する大きなポイントとして障害者による実作業の試行実験とその評価を行い、持続的な事業化に向けた検証を行った。本章ではこれまでの調査研究で取り組んできた内容を紹介する。

2.1 専門委員会

障害者就労の領域、3Dプリンタの領域は共にこれまで技術研究所が培ってきた技術や経験が活かせる領域とは大きく異なる領域であるため、外部有識者の意見を集約する場が必要となった。そこで本事業を円滑に実施展開させるための発案・提言を行うことを目的として、学術・福祉・企業・行政関係者で構成する専門委員会を設置した。平成26年度においては委員からの話題提供や障害者就労の現状報告、今後の進め方などについて全9回の委員会活動で議題としてとりあげ、障害者による3Dプリントサービスのビジネスモデル構築に向けた活

*1 技術開発センター *2 企画管理室

*3 産学官連携センター（東久留米）

発な議論が行われた。平成27年度においては障害者が安全かつ快適に作業できる環境整備に関する議論や就労支援作業所に勤務される委員の方々の仕上げ作業の試行実験に関する調整や試行後の結果の報告などが平成28年度においては造形物の強度評価状況の共有や実際のビジネスとしての受発注に関する議論が行われた。今年度は開発導入される技術に関する議論とそれらを用いた試行実験に関する情報共有の場として29年度も継続設置される。以下にこの専門委員会の構成を示す。なお、当協会の委員は本報告書の筆者6名である。

障害者の就労に資する3Dプリンタ技術普及専門委員会
委員長：

館野 寿丈

明治大学 理工学部 機械情報工学科 教授

委員：

上村 勇夫

日本社会事業大学 社会福祉学部 講師

矢口 雄大

玉川大学 工学部 非常勤講師

高原 聡

特定非営利活動法人 武蔵野の里 所長

時田 良枝

特定非営利活動法人 コイノニア コイノニア
ホーム 世話人

熊谷 大

社会福祉法人 椎の木会 ベーカリーショッ
プ どんぐり 施設長

渡邊 大知 (代理 高岡 弘)

株式会社 JMC 代表取締役 CEO

飯島 一憲

東久留米市立 さいわい 福祉センター 所長

後藤 寿之

東久留米市 福祉保健部 障害福祉課 課長

井出 義博

東久留米市 福祉保健部 障害福祉課 地域支
援係長

2.2 関連調査

本事業の目的は3Dプリンタを活用した高付加価値な障害者就労を持続的なビジネスとして実現することである。そのため事業の成否に関するポイントはビジネスだけでも障害者就労だけでなく、様々な視点に立った動向調査が不可欠であった。調査を行った主な視点としては障害者就労の現場から見たマーケットの調査と3Dプリンタの設備・技術に関する調査である。特に障害者の方々が日々活躍される特例子会社の現場は種類やレベルが様々な障害者が活躍するために蓄積されたノウハウの宝庫であり、規模も業種も様々な6事業所について調査を行った。また3Dプリンタの設備・技術の視点では3Dプリンタ製造メーカーや実際に3Dプリントサービスを行う会社などを訪問調査し造形後の後処理体験を行うなど、障害者が活躍しやすい造形方法や受注につながる機器選定などについての知見を得ることができた。

2.3 簡易式3Dプリンタによる実習

障害のある方々が元気に生き生きとやりがいを感じながら3Dプリント作業に取り組むことを念頭に置いた時、大きな課題となるのが障害の種類・レベルと作業内容とのマッチングである。この点を検討するため、就労支援事業所の指導者、行政向けに3Dプリンタの実習セミナーを関連調査と並行して合計5回開催し、参加した専門家の意見を汲み上げ、障害者の3Dプリント出力サービスへの適用性を検証した。日ごろから障害者の就労に関わる指導者の方々からのコメントには現場ならではの意見が多く、作業内容、作業時の接し方だけでなく機器選定にも必要な情報を得ることができた。

2.4 ビジネスモデルの構築

障害者の高付加価値就労として3Dプリントサービスのビジネスモデルを立案し、マーケットの視点、障害のある人との作業とのマッチングの視点、3Dプリンタの設備・技術の視点から、その実現性を検証した。

これらの事業実施において、機械振興協会の技術・ノウハウを活用し技術的課題の解決をはかった。

立案したビジネスモデルを図2.4.1に示し、以下に説明する。法人、コンシューマ等の顧客は3Dプリントサービス企業に3Dプリントを発注する。通常、3Dプリントサービス企業は顧客から3Dデータを受け取り、所有する3Dプリンタで3Dプリントを行って、納品/請求を行う流れとなる。

3Dプリントは一般的に時間がかかり（数時間～数十時間）、繁忙期等は仕事が溢れ、外注を求めるケースも多いと言われている。本事業で目指すビジネスモデルは、福祉事業所やそれらを取りまとめるNPO法人が3Dプリント出力を3Dプリントサービス企業から下請けとして請け、障害者が作業を行うモデルである。3Dプリントサービス企業との受発注の窓口や管理は、障害者就労のためのNPO等の団体が行うことを想定している。機械振興協会は、商用3Dプリンタを導入してその団体への貸出しと技術支援、および作業スペースの貸出しを行う。これらの活動が円滑に進められるよう、近隣自治体とも協調していく。

なおビジネスモデル検証のために設定した3つの視点では事業化を進める際にさらに詳細な検討が必要である。具体的には安定的な受注、障害の特性や幅広い個人差にあった作業工程・方法の選択などの配慮、選定・導入される3Dプリンタの造形手法や機種に依存する部分の安全性確保などは昨年度から継続的に設置される専門委員会と3Dプリントサービスの試行実験を通じて検討を行っていく予定である。

2.5 3Dプリント出力作業の試行実験

障害者の高付加価値就労として立案した3Dプリントサービスのビジネスモデルが成り立つかを検証する際に不可欠なのは、就労する障害者と作業内容とが円滑かつ持続的にマッチングするかという点である。この点を検証する取り組みとして3Dプリント出力事業が可能な

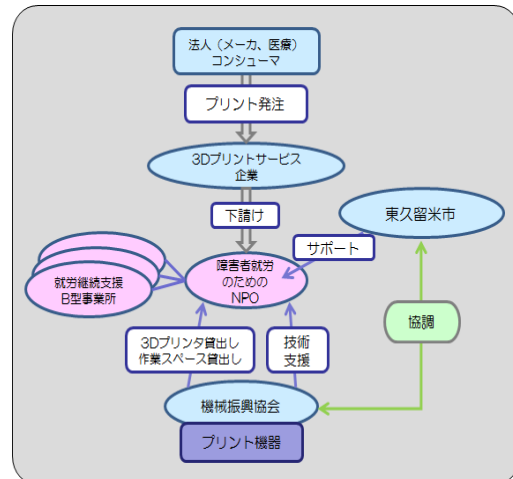


図 2.4.1 障害者による 3D プリント サービスのビジネスモデル案

作業環境を商用の3Dプリンタの導入や作業の安全性を十分に考慮して構築し、ビジネスモデルの中から3Dプリントサービスの後処理工程の内容を図2.5.1に示した(1)～(6)までに分割して切り出し、本事業に参画している就労支援団体の協力により、障害者の方々に試行していただいた。

試行実験の実施概要は以下の通りである。

参加人数：障害者5名以内程度、指導員1名以上

団体毎の試行回数：4回（週1回ペースを基本）

試行スケジュール：11月1団体、12月1団体

1月3団体

試行で用いる造形物：4種類（(株)JMCから提供）

一日の作業時間：10～16時（12～13時は昼休憩）

施行後の評価：アンケートによる意見集約と(株)JMCの

協力のもと機械振興協会技術研究所が実施

試行実施日のスケジュールとして一般的なものは次の通りである。朝10時に技術研究所に集合し、はじめに当日作業のレクチャーを行う。作業に取り掛かる準備として保護具等を装着ののち3Dプリンタから造形物を取り外す。サポート外しと一次洗浄を行い、二次洗浄終了時またはUV硬化の前前で昼休憩となる。午後は主に磨きとアルコール洗浄の作業が中心であり、最後に総評

とアンケートをとって解散となる。造形するモデルは図 2.5.2 に示す1回目から徐々に難易度が高くなるように用意したモデルについて仕上げ作業に取り組み、障害者就労として妥当であるかを検証するだけでなく、作業者の技能の向上やノウハウの蓄積についても確認を行った。高難易度の造形物の仕上げ作業では断念する場合も予想されたが、回を経るごとに習熟が進み、すべての参加者が最後まで取り組むことができた。それだけでなく習熟が進み創意工夫を繰り返すことでやりがいを感じる方が多く、参加した障害者の95%が今後も関わりたい要望があり、十分な仕事量の確保と得手不得手のある作

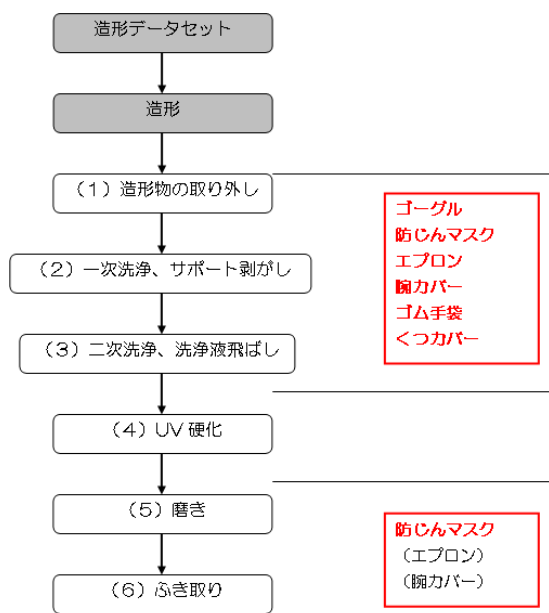


図 2.5.1 3D プリント作業における試行内容



図 2.5.2 試行で仕上げた造形物 (2回目は非公開)

業に関する分業化を検討する必要があることがわかった。

2.6 3D プリント造形物の高付加価値化

これまで 3D プリント出力製品の主な用途は試作品や形状確認、宝飾やホビー用途としての模型や歯科における利用が中心であり、その他は流路の検証やロストワックス鑄造用のモデルなどである。これらのほとんどの用途で製品に強度等の信頼性が求められてこなかった。しかし金属材料による造形が可能な 3D プリンタへのニーズでもわかる通り、これからの 3D プリント出力製品には実使用部品として利用したいというニーズも多く予想されており、信頼性評価が不可欠である。そこで高付加価値な 3D プリント出力製品に望まれる機能として造形物の高信頼性に着目し、材料の機械的特性の評価検証を行なった。検証方法としては造形手法と造形方向の異なる複数の試験片を用意し、それぞれについて引張試験、圧縮試験、曲げ試験、疲労耐久試験、硬さ試験といった複数の材料試験法による強度評価を行った。またその結果を用いて図 2.6.1 に示すような有限要素法によるシミュレーション解析を実施し、さらなる検討を行った。その結果、造形手法、造形方向による機械的特性に優位な違いが確認され、解析前のデータ取得が不可欠ではあるが形状の異なる造形物においてもシミュレーション解析で異方性等のパラメータを反映させ機械的特性の傾向を取得することが可能であることがわかった。

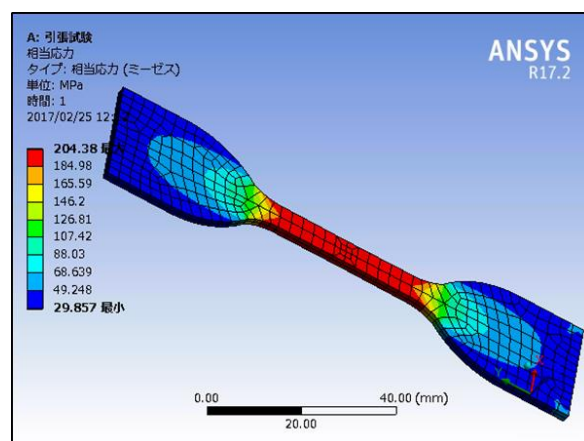


図 2.6.1 引張試験の解析例 (ミーゼス相当応力)

2.7 障害者福祉事業所による3Dプリント事業の実績

2.7.1 3Dプリント事業

平成27年度事業において、障害者による3Dプリント事業の有効性を確認した。同事業において、障害者による3Dプリント品の仕上げ作業の品質は、市場競争力を満たしていると3Dプリント企業(株式会社JMC, 以下JMC)から承認されている。そこで、平成28年以降は、障害者福祉事業所の実事業として、3Dプリント事業の実施を開始する運びとなった。ただし、平成27年度の試行実験に参加した福祉事業所は5団体であったが、先行事例として1団体を選出することとした。その結果、作業者や打合せ時の移動距離等を考慮し、NPO法人コイノニア(以下コイノニア)を対象とした。本事業の開始をする際、コイノニアとJMCは事業化に際して必要となる契約を締結している。

本3Dプリント事業を図2.7.1に示す。JMCは自社設備の稼働状況などを考慮し、受注した案件の一部を経営判断によって外注となるコイノニアに依頼する。コイノニアは受注によって得た収益の中から、作業者(障害者)には報酬を、機械振興協会には必要経費(材料費など)を支払う。

2.7.2 3Dプリント事業の実績

実際の3Dプリント事業では、図2.7.2のような作業の流れとなる。まず、JMCからコイノニアに発注の打診がある。コイノニアはJMCからの発注条件(納期、個数、価格)から、作業が可能な作業者(障害者)の確認と共に、機械振興協会へ3Dプリンタの使用が可能な確認を行う。作業が可能と判断されれば、JMCからの打診を受注する。受注後、機械振興協会はJMCから3Dプリントモデルのデータを受領し、造形を開始する。造形終了後、コイノニアの作業者は機械振興協会の設備を使用し、一連の作業を行う。図2.7.2に示す黄色の部分コイノニアの作業内容であり、水色は機械振興協会の作業内容を示す。

本3Dプリント事業は、2016年に3回、2017年には3回、2018年には1回行われている。それぞれの作業期間を以下に示す。

- ・2016/11/11(金)～11/15(火)
- ・2016/12/1(木)～12/8(木)
- ・2016/12/13(火)～12/16(金)
- ・2017/1/13(火)～2/16(金)
- ・2017/5/22(月)～5/26(金)
- ・2017/11/24(金)～11/27(月)
- ・2018/1/5(金)～1/15(月)

上記受託事業の中で、3Dプリントを行った造形品の大半は、ロストワックス式鋳造部品の型である。この中で1件のみ、家電製品の試作部品があった。これは、顧客がJMCへ発注したが、納期等の条件が合わなかった案件である。そのため、コイノニアへ顧客が直接発注した。

以上より、コイノニアの主力事業となるには件数が少ないが、3Dプリント業務は着実に社会福祉法人の活動に貢献できる事業となっている。

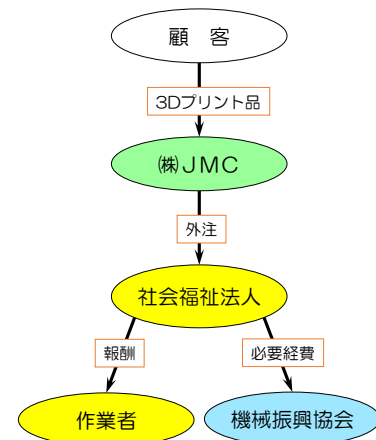


図2.7.1 3Dプリント事業

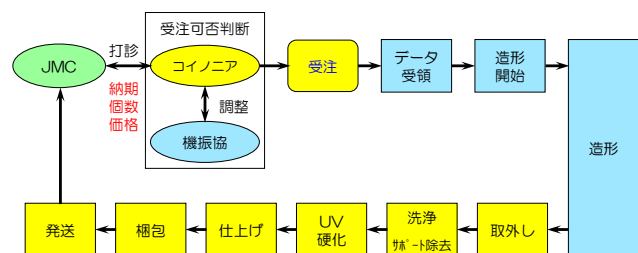


図2.7.2 3Dプリント事業の流れ

3. 参画者拡大を目指した技術開発

障害者の高付加価値就労として3Dプリンタによる出力サービスの実現を支援し、「障害のある人が幸せに暮らせる社会創造」を行うことを本事業の大目的として検討してきた。これまでの取り組みでは3Dプリントサービスを障害者の就労事業として実現するためのビジネスモデルの構築や障害者の方が実作業に持続的に取り組んでいけるかという検証と環境整備、さらには3Dプリント造形物の高付加価値化を主なポイントとして検討してきた。これらにより技術研究所を中心とした連携体制において障害者による3Dプリント出力サービスが実現可能であることが確認できた。そこで本事業のさらなる展開を考えた時、本事業をモデルとした他地域への展開と参画可能な方の拡大および確保が必要であると考えられる。他地域への展開については公設試をはじめとした企業支援機関との連携関係を構築中であり、今年度の事業としては参画者拡大を目指した技術の開発導入とその検証を実施した。具体的には、これまで検証してきた3Dプリント出力サービスの仕上げ作業の試行実験において障害者の方々から回答いただいたアンケート結果を基に課題を設定し、詳細についてはそれぞれ項目で紹介するが「見える化」、「容易化」、「簡素化」の大きく三つについて解決を目指した。見える化では、受注から納品までが非常に短い3Dプリント出力事業において、仕上げ箇所を目視確認できるソフトウェアの導入を検討し、試行実験の際にあらかじめ造形し色塗りをしていた仕上げ箇所の指示モデルと同様の効果を狙って技術開発をおこなった。容易化では、造形物取り外し後の一次洗浄作業にエタコールを吹き付けて洗浄する装置を開発導入することで作業効率の向上を目指した。さらに簡素化ではサポート痕を除去するために行う磨き作業をブラスト装置という細かな研磨剤を機械的にぶつける機械を導入することで研磨作業を簡便かつ迅速にする検討をおこなった。各項目について実際の作業への導入を想定し、試行作業で使用してもらい仕上がり状況と感想をまとめた。

3.1 見える化

3Dプリンタによる出力サービスを障害者の高付加価値就労として持続的な事業として実現するために、これまでも様々な検討をおこなってきた。その中でも平成27年度に取り組んだ3Dプリント出力作業の試行実験は難易度の異なる四種類の造形物について実際の作業内容と同様の工程を多くの福祉団体、参加者の協力により実施し、事業化に向けた課題や改善点が得られた。その大きな課題の一つが仕上げ箇所の見える化である。

3.1.1 見える化とは

3Dプリンタによる出力サービスの仕上げ工程における主な作業内容は、造形物を3Dプリンタから取り出し、一次と二次の二度の洗浄をし、紫外線で硬化させた後、裏面に残るサポート痕を磨いて仕上げるといった工程から成り立つ。3Dプリンタによる造形物の用途は前述してきた通り、製品開発における形状確認などの試作が多く、また3Dプリンタで用いられる積層造形法特有の欠点でもあるが造形時間に時間がかかる点から量産に向かないロット生産となるため、一点もののような少量多品種である場合が大半である。そこで課題となるのが、付着箇所の把握が困難なサポート痕をいかにわかりやすく作業者に確認してもらおうかという見える化の問題である。サポート付着箇所はザラザラとしており、指で確認できる広い面である場合は問題ないが、造形物の形状によっては小さなサポート痕が一行に並ぶような仕上げ箇所もあり、仕上げ箇所を指でなぞるだけで把握するのは困難なケースも少なくない。平成27年度に実施した障害者による試行実験においても造形物の形状によっては仕上げ箇所の特定が困難で見落とすケースがあったが、当時は仕上げ箇所の把握よりも実際の作業が実施できるかを中心に検証しており、その際には予め造形しておいた造形物の仕上げ箇所に彩色を施すことで仕上げ箇所を分かりやすく確認できるような仕上げ見本を図3.1.1のように作成し、指導者の指示のもと、作業者がその見本を確認しながら作業を進めてきた。

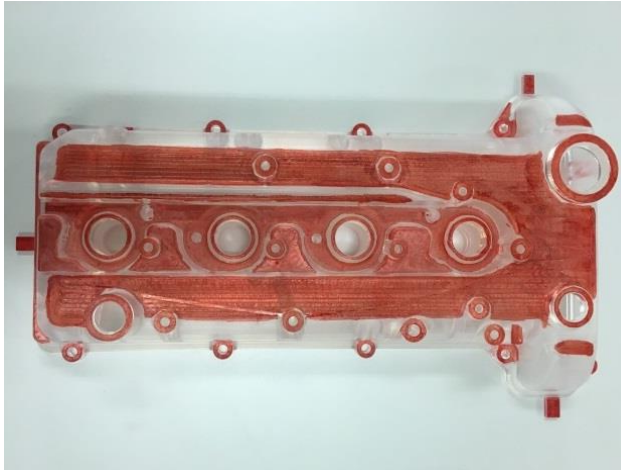


図3.1.1 エンジンヘッドカバーの作業見本

試行実験では手元に見本があったことから、仕上げ箇所の見落としは少なく、作業内容を完遂できるかを判定するという当初の目的は達成されたが、実ビジネスとして事業を運営することを考えた時、造形モデルを予め造形しておき見本を作成するという手法は短納期が求められがちな3Dプリント出力サービスでは現実的ではない。そこで本研究では3Dプリント出力サービスの納期を遅延させることなく、作業者に仕上げ箇所が明確に把握できる技術の開発導入を本事業に「見える化」と定義し種々の検討をおこなった。

3.1.2 見える化実現にむけた検討

これまで検討してきた3Dプリント出力事業において、納期を遅延させることなく作業箇所見える化を実現するための準備時間として想定されるのは、福祉団体が作業を受注した後、造形データを入手してから造形が終了し、3Dプリンタから造形物を取り出すまでの時間である。その間に用意できる準備として当初考えられたのは3Dデータを印刷して従来同様に彩色を施した指示書を作成する、もしくは粗い精度であっても造形速度の速い3Dプリンタを用いて本事業で使用する光造形機よりも速くサンプルを造形、彩色し、試行実験時と同様の仕上げ見本を用意することであった。しかし三次元の造形物の仕上げに二次元の指示書では作業箇所の確認がしづらく、また様々な角度から拡大縮小した指示が必要と

なるため手間がかかる。また簡易的な造形と彩色による仕上げ見本による指示は、仕上げ見本の作成にコストがかかって割高になるだけでなく、粗い造形精度により仕上げ箇所の図示が不十分な状況になってしまうという課題があり、現実的とはいえなかった。そこで本事業における見える化技術として3Dプリンタにおける造形データの利活用を検討し、そのデータの加工と手元表示装置の導入により実現することにした。この手法であれば3Dプリンタで造形している間に表示用のデータ加工も可能な上、ビューソフトと手元表示装置の用意があれば受注ごとの追加コストもかからない。これまで3Dプリンタの造形データは造形機に読み込ませる直前のデータを協力会社に送付してもらい造形していたが、そのデータでは仕上げ見本用のデータに加工ができないため、加工が可能な前工程のデータを利用することにした。具体的には造形したいモデルのデータにサポートを生成する時のデータである。本事業ではmaterialise社のMagicsというソフトを使用しており、光造形向けに販売されているe-stageというパッケージによる優れたサポート自動生成機能を利用している。このパッケージは光造形機でビジネス展開する上では3Dプリンタ業界でも標準的なソフトであるため事業に関連する企業や事業所が増えた際にも共通化しやすい環境といえる。このソフトは障害者就労による3Dプリントビジネスの円滑な事業展開を実現する意味においても重要な技術であり、造形物の形状に最適化されたサポート生成をすることでサポート量を大幅に減らすことができるため、仕上げ作業を容易かつ迅速にすることができる利点を持ち合わせている。このMagicsというソフトには形状確認やコメント入力可能なMini Magicsという無償のビューアや造形データに寸法入力ができるMini Magics Proという有償のビューソフトが販売されている。これらを利用してMagics上で仕上げ箇所を図示させるよう加工したデータを用いることにより、マシンパワーが低い簡易的なタブレットまたはタブレットPCで仕上げ見本を手元表示させることが可能であることが事前の調査検討により確認できた。

3.1.3 見える化環境の構築

前項で検証した通り本事業ではmaterialise社のサポート自動生成ソフトMagicsでデータ加工を行い、ビューアソフトであるMini MagicsまたはMini Magics ProでタブレットまたはタブレットPCに手元表示させることで見える化環境を構築する。ビューアソフトについては本事業を実施前から必要な機能と技術的課題についてmaterialise社と打ち合わせを重ね、仕上げ箇所が表示が可能であることを確認することができた。また今後のビューアソフトのバージョンアップの際には必要に応じ同様の機能を盛り込むような改修についても協議をおこなった。それらの打合せの結果、有償と無償の二種類があるビューアソフトについては有償のMini Magics Proを今年度は利用することとした。またを手元表示装置としてはソフトウェアがPC環境でないと動作しないためタッチパネルで操作が可能なWindows10をOSとしたタブレットPCを採用した。

3.1.4 データの加工と表示

本事業で使用する見える化用のデータはサポート自動生成機能を有するMagics上で行う。ソフトウェアの一般的な使用方法としては造形したい3Dモデルを読み込み、サポートを自動生成させ、造形機用のデータを作成する。サポートの自動生成までは従来と変わらない操作であるため、サポート生成後に画面に表示されている様子を**図 3.1.2**に示す。造形物であるエンジンヘッドカバーの下部に自動生成されたサポートが赤で表示されていることが確認できる。このサポートは、造形テーブルに造形物を支える台座となる**図 3.1.3**と、台座と造形物の間に位置し、造形物を均等に支える**図 3.1.4**の2種類の構造物で構成されている。今回利用するのはこの造形物を均等に支えるサポートと造形物間で生じる造形物の干渉をチェックする機能である。造形物とその直下のサポートの関係は**図 3.1.4**の通りであり、造形物にサポートが刺さるような状況になっている。サポートの付着状況をわかりやすく見えるものが**図 3.1.5**である。

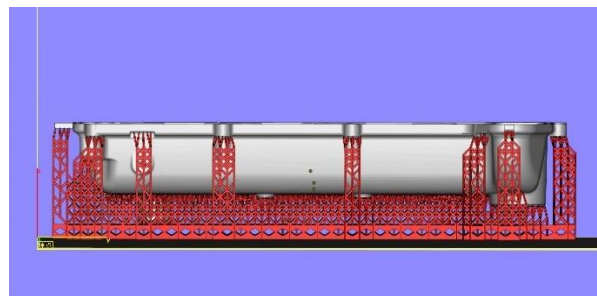


図 3.1.2 サポートを含む造形物全体の側面図

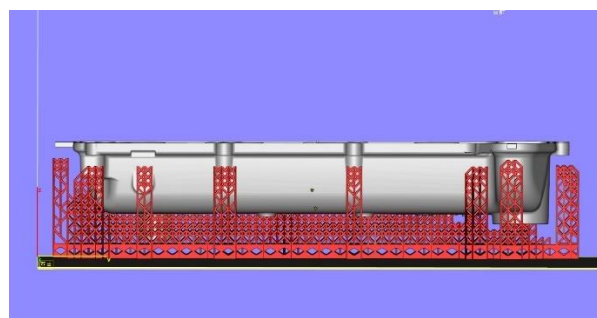


図 3.1.3 土台となるサポートと造形物の側面図

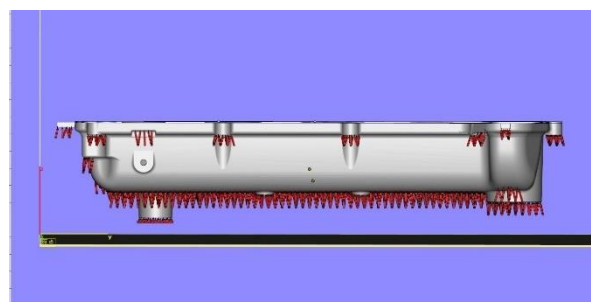


図 3.1.4 造形物を支えるサポートと造形物の側面図

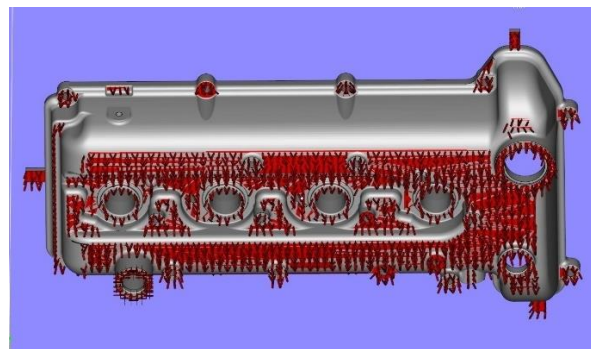


図 3.1.5 造形物下部に生成されたサポート

造形時には造形物とサポートは一体として造形されるため見落としがちであるが、図からも確認できる通り造形物とサポートはそれぞれ別の構造物である。3D プリントングにおいては造形テーブル内に隙間なく造形物を並べることで造形の効率化を図ることが一般的であるが、効率化を追求するあまり造形物同士がぶつかってしまうケースもある。この際に利用される機能が造形物同士のぶつかりを確認する干渉チェックである。先に述べた通り造形物とサポートは別の構造物であるため、造形物に刺さるように均等に支えるサポートと造形物は干渉しているといえ、この干渉チェックの機能を用いることでサポートが刺さっている箇所に色付けをしてわかりやすく表示させることができる。干渉チェックした後、サポートを取り除き仕上げ箇所がわかりやすくなった状態をタブレットPCで動作する Mini Magics Pro 上に表示させたものを図3.1.6に示す。なお、サポートの付着を示す干渉の赤い彩色は造形データ通りに表示させるとそれぞれの干渉箇所が極小の点となってしまっただけで判別しづらいため、複数の点を結び合わせた面で表示させた。ビューアソフトということユーザーインターフェイスは非常にシンプルであり、操作は左画面左

側に位置する二種類のボタンで完結する。先に述べた通りタッチパネルによる操作も可能であるが、windows のタッチ機能は現状ではスマートフォンのような直感的な操作には至っておらず、モデルの移動や回転にスワイプが使用可能である一方、モデルの拡大縮小にピンチインピンチアウトが利用できない等、ユーザビリティに課題が残る状況が確認された。3D プリンタで造形された製品を商品として出荷するような場面を考えれば、品質管理の側面から3Dモデルを確認しながら造形物の仕上がりチェックをすることも考えられるため、本事業のような使い方に限らず、タッチパネルによる直感的な操作感は基本機能として必要とされる部分である。また、本来造形モデルを大画面ディスプレイで表示させることを意図して作られているソフトであるため、画面のサイドに位置するボタン群も手元表示をさせるような画面サイズのディスプレイに表示させると極端に小さいサイズとなってしまう視認性、操作性ともに乏しい状況が確認された。これらのボタンについてはサイズや位置がユーザ設定により変更できるよう改善が必要であるように感じた。

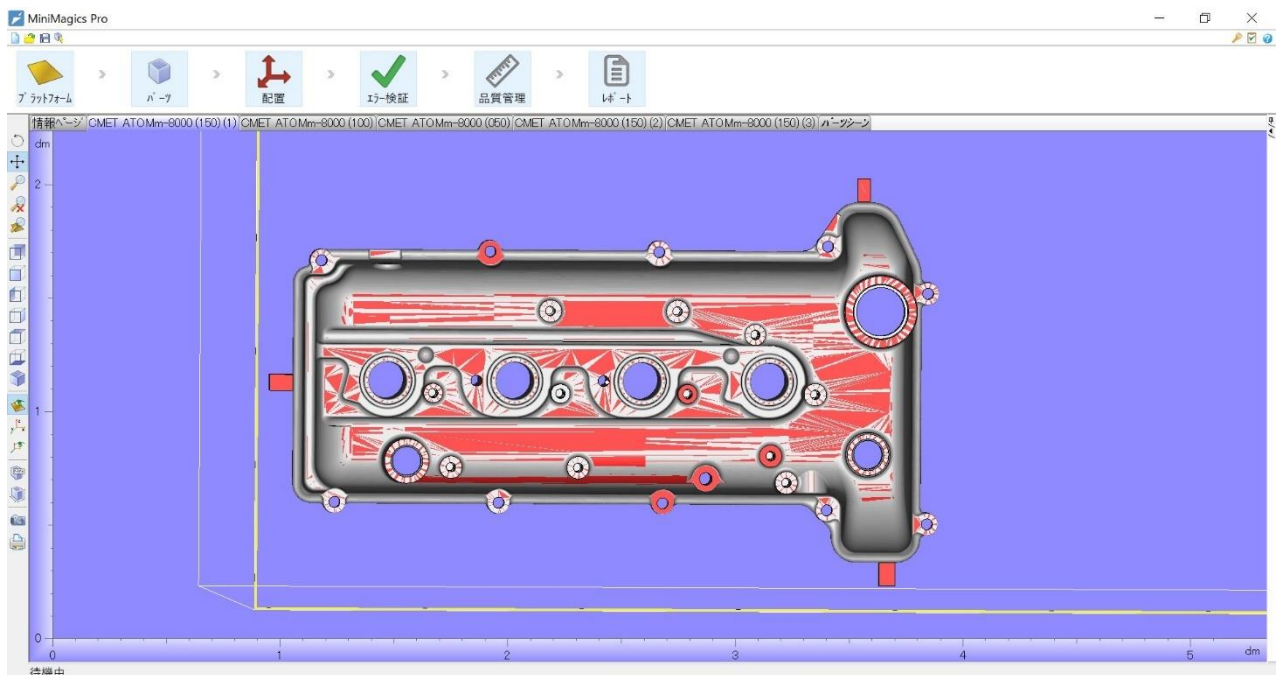


図3.1.6 データ加工による仕上げ箇所の表示

3.1.5 「見える化」 試行実験

これまで導入を検討してきた「見える化」技術について、実際に作業で利用すること想定した試行実験を福祉作業所と指導員、利用者の方々の協力によりおこなった。試行実験は後述する「簡素化」「容易化」とあわせて計画され、3法人から4名程度の利用者の方が各項目につき二日間の試行実験に参加いただいた。過去の検討結果より障害の種類は精神の方を中心に2級と3級の方が参加者の大半を占める人数構成となっている。検証した内容は造形物（エンジンヘッドカバー）の磨き工程について初日は見える化装置導入前として従来のやり方で仕上げ、二日目は見える化装置を使用して仕上げてもらった。それぞれ作業終了後にアンケートによる調査を実施するだけでなく、作業中に雑談を通じた簡単なヒアリングをおこなった。アンケート内容には一般的な作業に関する内容も含まれているため、見える化技術の導入による影響があるものについて特に抜粋してまとめ、それぞれに関する考察をおこなった。図3.1.7に初日と二日目の試行の様子を示す。

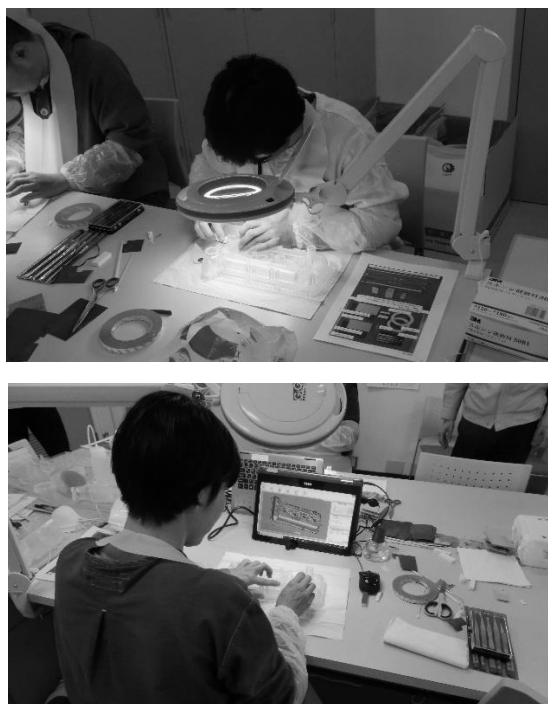


図3.1.7 試行実験の様子（上：初日 下：二日目）

この技術開発で最も影響が出やすいと思われるのが磨き箇所の特定についてである。図3.1.8と図3.1.9に見える化装置の導入前後の磨き箇所の特定についての比較を示す。導入前の結果では「大変難しい」と「難しい」という回答が合わせて55%を占めていたのに対し、難しさを感じる人が27%と半減させることができていた。また利用者からのコメントも磨き箇所を見つけるのが大変だったというコメントがあった導入前に対して、導入後では作業箇所がわかりやすいことによる心理的な余裕が感じられたせいかな楽しんで作業ができたという感想が目立った。

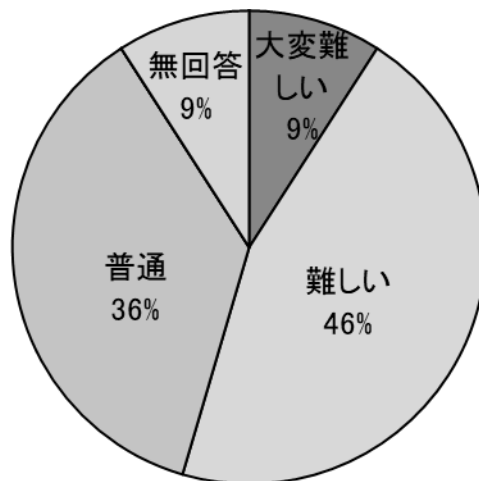


図2.1.8 磨き箇所の特定（導入前）

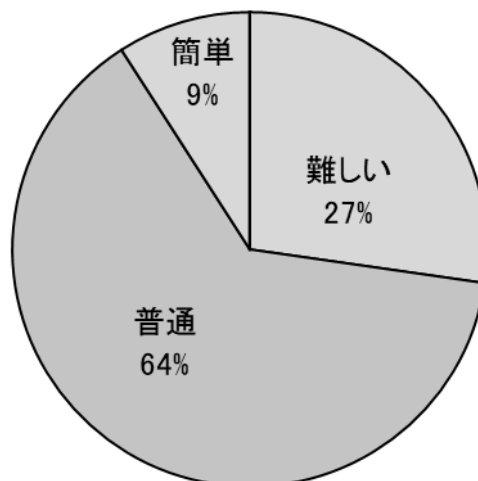


図3.1.9 磨き箇所の特定（導入後）

図3.1.10には見える化装置の操作についての結果を示す。普段の活動や個人的な趣味等でコンピュータを使用しているかによっても回答が異なる傾向にあり、磨き作業が簡単になった一方で装置の操作が難しいようでは本末転倒になってしまう。この部分の検証は今後の技術の開発導入に重要な知見となるため、もう一つの設問と組み合わせることで、さらに掘り下げた検証を行なうこととした。図3.1.11に見える化装置に表示されたモデルの操作についての結果を示す。当初は操作に使用するボタンのサイズや拡大縮小などの操作性が懸念され、スムーズな操作が難しいのではとの結果が予想されたが、6割以上は使いにくさを感じることなく使用できていることがわかる。また見える化装置に表示された仕上げ箇所についても図3.1.12に示す通り全参加者がわかりやすいと回答する結果が得られた。これらの結果を総合的に判断すると普段使いなれないコンピュータによる作業であったため、その操作に難しさを感じながらも装置に表示されているモデルの操作などに限って使用する場合はそれほど困難を感じることなく使用でき、仕上げ箇所もわかりやすかったのではないかと考えられる。コメントからもこの考察を裏付けるように普段あまり使わないパソコンの操作に関しては難しくて慣れが必要である旨のコメントが多く見られ、操作さえできれば面白そうという前向きな感想もあり、導入に否定的な感想は見られなかった。

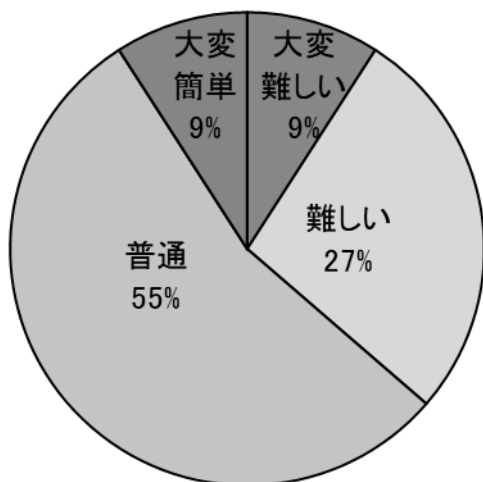


図3.1.10 見える化装置の操作

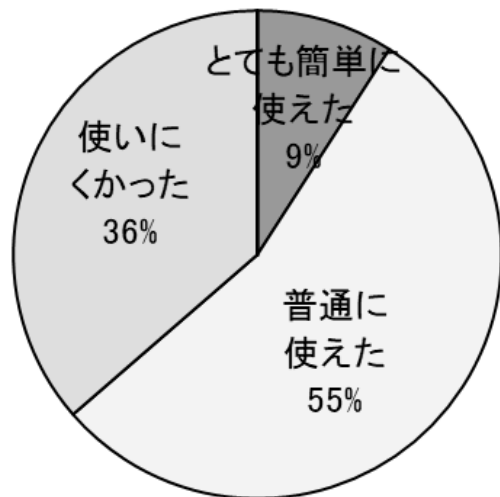


図3.1.11 磨き箇所の特定（導入前）

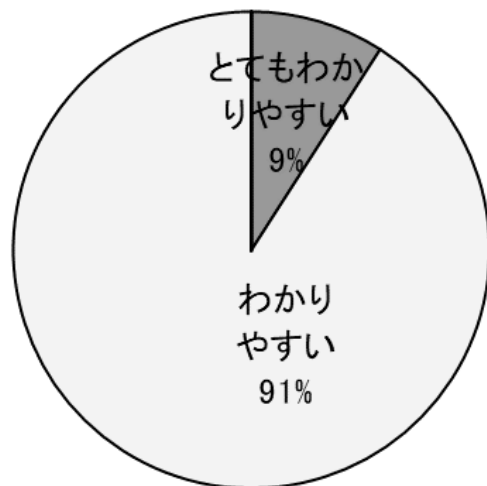


図3.1.12 磨き箇所の特定（導入後）

また普段からパソコン作業をする機会がある作業所の利用者からはモデルの平行移動に比べて回転が難しいことなどの詳細な感想が述べられており、materialise社との協業により、ビューアソフトのブラッシュアップなどをすすめる際にはユーザビリティの指針となるようなコメントも多く見られた。現在の3Dプリンタ出力事業では造形後の仕上げ工程のみを就労事業として想定しているが、立体画像が画面上で拡大縮小できるのが面白いといったコメントを見る限り、個人の作業への適性の問題はあがあるが、3Dモデルを取り扱うような内容へも十分に展開できる可能性があることを確認できた。

これまでの検証は見える化装置を導入することで直接的に影響を受ける内容についてであった。次に示すアンケート結果は見える化装置を使うことで磨き作業の工程に対する印象がどのように変化したかを示した結果である。図3.1.13に導入前の図3.1.14に導入後の磨き作業の難しさについてのアンケート結果を示す。導入後に難しいという回答が増加している点はコンピュータの操作が難しかったことによる影響であると考えられるが、導入前は2割近くもあった大変難しいと回答した層がなくなっていることは非常に興味深い結果である。これまでの試行実験においても難しさがあるレベル

を超えると、作業者によっては集中力が続かなかつたり、作業自体を嫌ってしまったりするケースも確認されたため、作業への適性を考慮する必要が生じていた。しかし今回得られた結果から、見える化装置の導入によってほとんどの方の作業難易度を低下させることが実現できたため、作業に関わる方の範囲を拡大させる目的を達成できていると考えることができる。また同様の傾向は図3.1.15と図3.1.16に示す導入前後の作業の面白さの移り変わりにも見える化装置による効果が確認できる。大変面白いと回答した層はいずれも9%で変化はなかったが、面白いと感じる層が大幅に増えただけでなく、

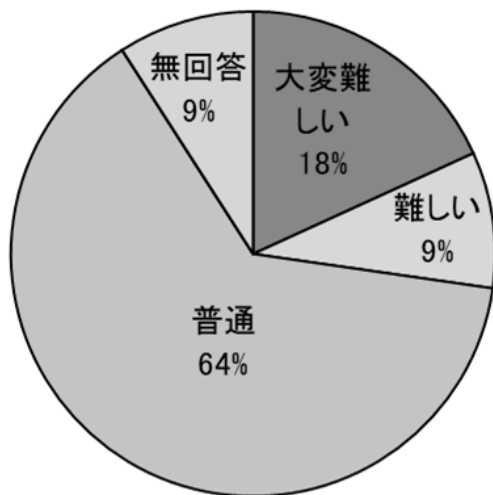


図3.1.13 作業の難しさ (導入前)

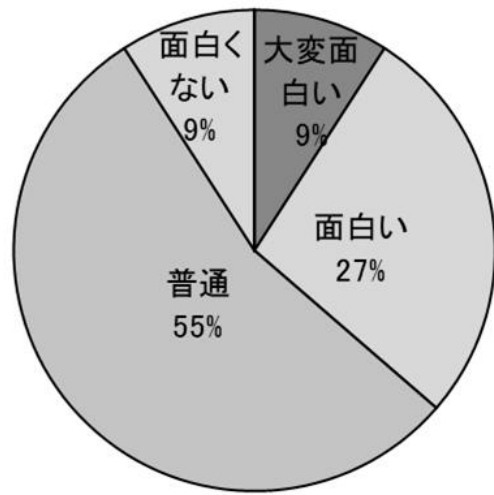


図3.1.15 作業の面白さ (導入前)

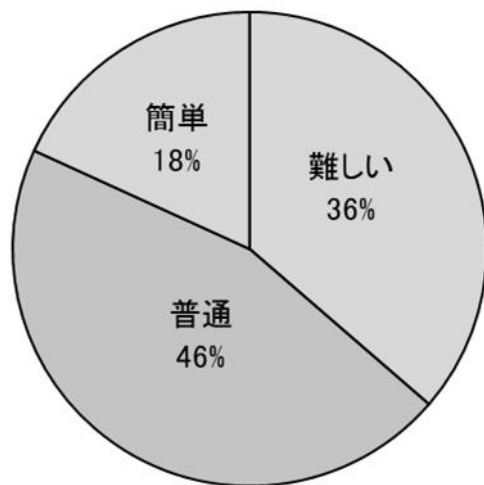


図3.1.14 作業の難しさ (導入後)

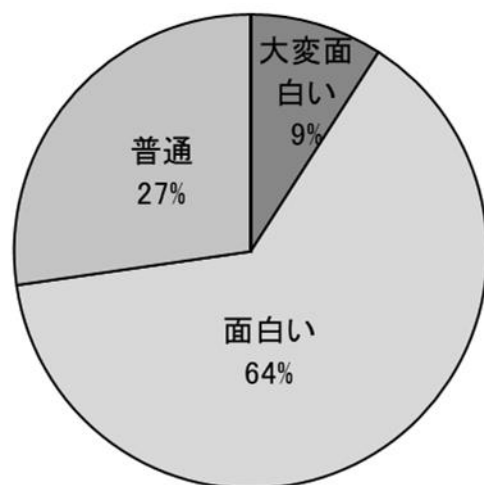


図3.1.16 作業の面白さ (導入後)

面白くないという回答をなくすことができている。就労事業の円滑な事業展開を考えると作業自体に面白さややりがいを感じる事が極めて重要であり、作業をつまらないと思ったり、苦手意識を感じたりしないような作業内容であることが望ましいため、その意味においても見える化装置の導入は有効であったと考えられる。二日間全体の試行実験を通して見える化装置が有用であったかどうかを質問した結果を図3.1.17に示す。8割以上の回答が見える化装置があった方がよいとの回答であり、装置があることで作業の邪魔になる、気が散るといような無い方がよいという回答がなかったため、今後の3Dプリント出力サービスでは見える化装置を活用していく方向性が得られたと考えられる。作業からのコメントでは「あってもできますが、なくてもできそう」、「なくても覚えてしまえば大丈夫」といったものもあった。これは試行実験の二日間において仕上げる造形物の難易度の差による影響を除外するため、両日ともにエンジンヘッドカバーを用いたことに由来するコメントであると考えられる。見える化装置導入を検討する実験の意図をくみ取ったコメントとして「初めて見るものだとどこかがわかれば生産的に楽」、「細かい箇所まで見ることができるので、あった方がよい」というものもあった。どのコメントからも装置については非常に前向きなものが多く、新しい技術に対する期待が感じられ

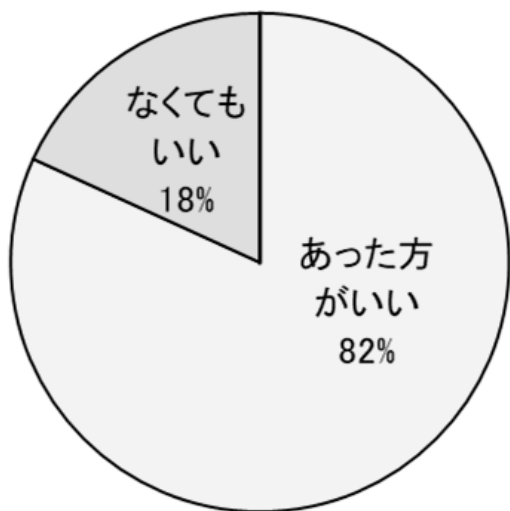


図3.1.17 作業時に見える化装置は必要ですか？

る実験結果だったように思う。その一方で作業で使用したことで感じられた装置としての不十分な点に対するリクエストは詳細でかなり具体的な意見が得られているので、実用的に見える化装置実現のため、その内容についてはさらに検討をすすめたい。主な要望は「平行移動に比べて回転移動にくせがあり、やりづらさを感じる。」「作業箇所が見える化装置によってわかりやすくなって作業がやりやすくなっている、仕上げた個所にチェックを入れる機能や磨いた箇所の色が消せる機能があるとよい。」などであり、どの内容も装置の作りこみが十分ではない現状では仕方ないと見過ごしがちだが、検討するに値する価値ある要望であるといえる。見える化の検討内容で得られた知見は3Dプリンタを用いた障害者就労事業に特化した内容ではなく3Dプリンタで出力後の仕上げ作業においては基盤技術として必要とされる機能であると考えられる。本試行実験では指導員の方も利用者の方を指導されながらご自身も試験的に作業に参加されたケースもあり、参考意見としてアンケートの回答やコメントをいただいた。その結果は利用者の方々同様に良好な回答が得られており、「装置のおかげでスムーズにできました。毎回見える化装置を使用したい」とのコメントからも本技術開発が障害者にとって有用な技術開発であることを確認することができた。なお、本項で開発した見える化装置により、作業箇所の確認がしやすくなることを確認されたため、「簡素化」においても本装置を使用した仕上げ箇所の確認を行うこととした。詳細については「簡素化」の項目で紹介するが、ブラスト装置内では厚手の保護手袋を装着するためサポート付着の状況が指先では確認しづらいため、見える化装置による仕上げ箇所の確認は大変有効であると期待される。

3.2 容易化

今年度事業「3D プリント作業の参画者拡大を目指した技術開発補助事業」において、「容易化」は3Dプリント作業中の洗浄工程に適用する技術開発である。

3.2.1 洗浄工程とは

平成27年度事業における、3Dプリンタによる造形作業の工程は前述の図2.5.1の通りである。今年度事業における洗浄工程の容易化では、同図の(2)及び(3)の工程が対象となる。本技術開発では、洗浄工程における参画者の拡大を目的としている。

洗浄工程の必要性について、以下に記す。光造形法3Dプリンタにおいては、造形物は紫外線レーザーによって液体の紫外線硬化樹脂が固体化されたものである。3Dプリンタから取り出された造形品の表面には、未固化の液体樹脂が付着している。未固化樹脂の存在は、造形品に要求される機能阻害及び外観の品質低下の要因となる。造形品に部品固定または通気等に使用する穴やスリット等が存在する場合、未固化樹脂がそれらに充填・残留することがある。付着している未固化樹脂は、次工程(4)のUV硬化において固体化される。そのため、造形物の穴やスリットは固化した残留樹脂に塞がれ、その機能は失われてしまう。その結果、造形品は不良品と化す。また、本事業で用いる紫外線硬化樹脂(TSR-883)の粘度は、製造元のCMET社データシートによれば、400mPasである。この粘度は、身近な食品を例にとると、とんかつソース(551mPas)と中濃ソース(202mPas)のほぼ中間である^{3.2.1)}。このため、液体樹脂が付着した状態の造形品を不用意に手で持つと、表面には明確な指紋等の痕跡が付着する。これにより、造形品の商品価値は低下し、指紋の付着部位によっては不良品となる。以上より、洗浄工程は3D造形物製造において必要不可欠であり、重要な工程であることがわかる。

従来の洗浄作業では、図2.2に示すように一次洗浄(2)と二次洗浄(3)の二工程に別れる。一次洗浄では、容



図3.2.1 ハケによる洗浄作業

量20リットル程度の液槽内に有機溶剤(エタコール7)を半分ほど入れ、その中に造形品を浸漬させながら洗浄作業とサポート材の除去を行う。洗浄作業では、図3.2.1に示すように造形品の表面をハケや筆で用いて液体樹脂を除去する。一次洗浄では、造形物とサポート材には未硬化樹脂が多量に付着しているため、洗浄液の液体樹脂含有量は容易に増加する。汚濁した洗浄液では、洗浄効果が低下するため、清浄な洗浄液による二次洗浄を行って洗浄作業の仕上げとする。これらの作業は排気設備であるドラフトチャンバー内で行うが、溶剤蒸気の吸引は避けられない。そのため、平成27年度事業でのアンケート^{3.2.2)}では「あらいのときにちょっとにおいがしたのでとてもいやになりました。」「洗浄液の臭いが少し、頭が痛くなった。」というコメントがあり、作業者にとって心身共に負担となる工程である。

3.2.2 洗浄工程への参画者を拡大させる方策

洗浄工程は、図3.2.1に示すように作業者による手作業で行われる。そのため、作業者個人の資質・技能は作業自体に大きな影響を与え、造形品の仕上がり(美観)で顕在化する。典型的な事例として、ハケを手荒く扱うと造形品表面に傷が付き、二次洗浄後の「洗浄液飛ばし」が不足すると洗浄液の痕跡が残る、などである。そのため、造形品の品質・美観には、作業者に依存する差異・バラツキが生じてしまう。

平成27年度の事業を通じ、洗浄工程の作業内容を分析した。その結果、洗浄工程は、以下の方々の参画を阻むハードルとなっていることが明らかになった。

- 1) 洗浄工程は両手を同時に使う必要がある立ち仕事であるため、腕や脚の動作に制限がある方々。
- 2) 有機溶剤を用いる作業であり、臭いに敏感でアルコール臭を不快と感じる方々。
- 3) 造形品の美観に対する重要性や使用目的等が理解できない方々

以上より、3Dプリント作業における洗浄工程へ参画者を拡大するためには、洗浄工程への洗浄装置の導入が有効な手段であると判断した。洗浄装置は適用可能な市販品が見当たらないため、開発が必要となる。洗浄装置の開発に際し、要求される構造・機能を列挙する。

- ・両手で同時に行う洗浄作業の代替機能
- ・洗浄作業中は密閉状態で有機溶剤の臭気を防ぐ構造
- ・3D造形品の表面に傷をつけない洗浄方法
- ・操作が直感的に理解可能で単純な構造

上記の要求を満たすためには、下記の三点を開発指針とした。

- 1) 技能が不要な洗浄作業
- 2) 臭いがしない洗浄作業
- 3) 装置までの移動が不要で片手で出来る洗浄作業

以上より、洗浄工程への参画者を拡大させる方策として、洗浄装置を開発・導入することにした。

3.2.3 洗浄方法

洗浄装置の開発指針をまとめた後、洗浄方法について検討を行った。一般に機械部品等で用いられる洗浄装置は、超音波洗浄装置が多い。超音波洗浄の原理は、洗浄槽内の液体中に超音波振動を与えることで洗浄槽内において圧力差による微小な気泡（キャビテーション）を発生させ、その気泡がはじける際の衝撃波を利用して洗浄対象物の表面に付着した細かな汚れや異物の剥離を行うと、超音波洗浄装置メーカーでは説明している^{3.2.3}。

そのため、超音波洗浄の検討を開始するにあたり、JMCへ意見を伺った。すると、超音波洗浄は同社で実験したが、造形品の洗浄には適さないとの返答であった。

次なる洗浄装置としては、食器洗い機の流用が候補として挙げられた。食器洗い機の洗浄方法は、加温して洗剤を混入させた水道水を食器に噴射し、食器に付着した汚れを物理的・化学的に除去する。そのため、食器洗い機は給排水の機能を有している。食器洗い機への給水は台所用の配管を分岐して接続し、洗浄後の排水は流し台へホースを通じて放水する。このため、洗浄に用いる水道水は循環せず、使い捨てとなる。食器洗浄機を3D造形品の洗浄に用いる場合、給排水はポンプとタンクを用いれば可能と考える。しかし、食器洗浄機に用いられている部品・配管類の有機溶剤に対する耐久性は不明である。そのため、食器洗浄機を3D造形品の洗浄装置への利用は見送った。

3D造形品の洗浄工程における二次洗浄では、前年度に導入したTRUSCO製エアブラストガン(MAB-11-6)を用いた洗浄液の噴射が未硬化樹脂の除去に有効であった。エアブラストガンとは、圧縮空気と共に液体や粉体を噴射し、塗料皮膜・サビ落としなどの表面処理に用いられる機器である。3Dプリント作業における二次洗浄では、洗浄液をブラストガンにて噴射し、3D造形品表面の未硬化樹脂の除去に用いている。そのため、食器洗い機やブラストガンと同様な洗浄液の噴射は、3D造形品の洗浄に有効であると考えた。そこで、食器洗い機の構造を参考にした装置の開発を試みた。洗浄液の噴射には、スプリンクラーを用いることにする。有機溶剤を用いるため、樹脂製ではなく金属製のものを選定することにした。また、洗浄装置内部の雰囲気には、有機溶剤の蒸気が高濃度で含まれる可能性が高い。そのため、スプリンクラーへ洗浄液を圧送するポンプには、モータが外気に触れない密閉構造が望ましい。工業用ポンプには様々な種類があるが、本体を水中に沈めて使用する水中ポンプというものがある。これらは、インペラ・モータを含めた本体は水中での使用が前提となっているため、完全な防水構造である。そのため、水中ポンプであれば防防爆構造と

同様の密閉性が期待でき、洗浄装置に用いることにした。また、ハケなどを使用しない洗浄液の噴射であれば、洗浄時に3D造形品表面に傷をつけないと考えた。

以上より、スプリンクラーと水中ポンプを利用する洗浄装置であれば、3.3.2に記述した洗浄装置に必要な機能である「両手で同時に行う洗浄作業の代替機能」と「3D造形品の表面に傷をつけない洗浄方法」の双方を同時に満たすことができる。

3.2.4 洗浄装置

洗浄装置の洗浄方法は、スプリンクラーと水中ポンプによる洗浄液の噴射と決定した。次に満たす必要がある機能としては「洗浄作業中は密閉状態で有機溶剤の臭気を防ぐ構造」である。スプリンクラーによって噴射された洗浄液の流出や漏出が防止可能であれば、臭気も同時に密閉可能と考える。そこで、洗浄装置の本体には、3D造形品の1次洗浄で用いている衣装ケースの利用を検討することにした。本品はポリプロピレン製の半透明なケースであり、重ねて使用することが可能である。ポリプロピレンは、エチルアルコールやイソプロピルアルコールに対する耐性も有している。また、衣装ケースなのでフタがあり、本体にはフタの止め具も付いている。さらに、樹脂製で加工が容易であり、安価で入手が容易なために用いることにした。

この衣装ケースのフタには、洗浄液の流出を防止するための対策を施した。衣装ケースのためか、フタには通気用の溝が全周についている。対策前のフタの写真を図3.2.2に示す。衣装ケースに付属しているフタは、スプリンクラーから噴射される洗浄液がフタと本体の隙間から流出する。洗浄液流出防止の対策として、アルミニウムのアングル材を取り付けた。対策後のフタの写真を図3.2.3と図3.2.4に示す。この対策により、洗浄液の流出を防止した。

洗浄装置内の3D造形品には、スプリンクラーから噴出した洗浄液が効率良く届くように支持する必要がある。そのため、洗浄装置内部に配置する3D造形品を支



図3.2.2 対策前のフタ



図3.2.3 対策後のフタ(部分)



図3.2.4 対策後のフタ(全体)

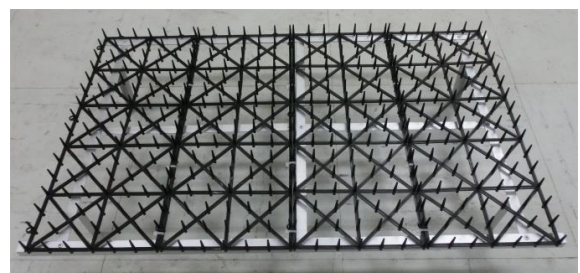


図3.2.5 造形品の支持用架台

持する架台を製作した。この架台は、スプリンクラーの回転アームに干渉せず、3D造形品を支持する必要がある。そのため、アルミフレームと樹脂製部材を組み合わせた。外観を図3.2.5に示す。支持架台上に3D造形品を配置した状態を図3.2.6に示す。樹脂部材は「猫よけマット」として安価に市販されている樹脂製品を使用した。表面に高さ20mm程度のトゲが並んでいる商品である。支持架台状の3D造形品は、このトゲ先端で支持されるために接触面積が少なく、洗浄液への干渉も少ない。

洗浄液噴射には、ガーデニング用のスプリンクラーを使用する。通常、ガーデニング用スプリンクラーは広範囲に水を散布するため、回転するアームの端面に水の噴射孔がある。しかし、本洗浄装置ではスプリンクラーは3D造形品の下に設置されるため、アーム上方に洗浄液を噴射させる対策が必要である。そのため、アーム上方に直径1mmのドリル加工を施し、洗浄液噴射孔を設けた。図3.2.7にスプリンクラーアームの外観を示す。左図は対策前であり、右図が対策を施して洗浄液噴射孔が追加されているアームである。この追加加工により、洗浄液は3D造形品に直接噴射され、未硬化樹脂を効率的に洗い流すことが可能となった。図3.2.8に洗浄装置内でのスプリンクラー配置を示す。図示のように、同型のを2個配置した。

洗浄装置には、洗浄時間を設定するためにタイマーを取り付けた。このタイマーには、動作時間の設定用と動作開始用等に4つのボタンがある。洗浄作業に必要なボタンは、2つである。タイマーの動作を開始させるスタートボタンは右端で多少大きい程度である。また、スタートボタンを押す前に、左から3番目の動作時間設定ボタンを押す必要がある。洗浄装置の動作開始にはこのような手順が必要であり、容易に理解可能にする必要がある。そのため、赤と緑のシリコン樹脂をタイマーのボタンに取り付けた。洗浄装置の動作開始には、赤→緑の順序でボタンを押せば、設定した時間でポンプが作動する。タイマーの設定を事前におけば、個人差がない洗浄作業が可能となる。対策前(左)と対策後(右)のタイマー外観を図3.2.9に示す。

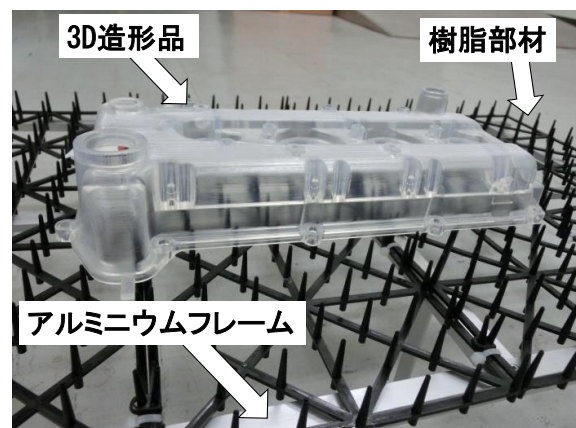


図3.2.6 3D造形品と支持用架台



図3.2.7 スプリンクラーアーム

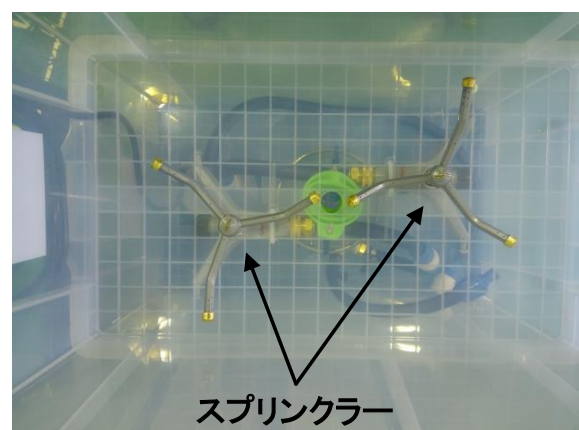


図3.2.8 スプリンクラー配置

本洗浄装置の主要な構成部品は、躯体となる衣装ボックス、洗浄液噴射にはガーデニング用スプリンクラー(2台)、洗浄液を送るには水中ポンプ、造形品の支持架台である。主要部品(市販品)は以下である。

- ・躯体：アステージNCボックス#50(2台)
アステージNFボックス#50(1台)
- ・スプリンクラー：エスコ EA124KS-8(2台)
- ・ポンプ：寺田ポンプ CSL-100L
- ・配管類：タカギ ホース φ15mm×φ20mm
タカギ ホースジョイント G039FJ

完成した洗浄装置の外観を図3.2.10と図3.2.11に示す。洗浄装置は、3段の衣装ボックスで構成される。上段では、3D造形品を入れて洗浄を行う洗浄槽である。図3.2.12に上段の洗浄槽へ3D造形品が置かれた様子を示す。中段は配管の取回しに用いる。下段はポンプが配置され、洗浄液を蓄える液槽である。本装置は手押しの台車に搭載し、移動が容易に行えるように配慮した。

本装置の操作は、以下の順序で行う。本委託事業では、タイマーの時間は1分間に設定した。また、3D造形品の表裏を反転させ、本動作を4回繰り返した。

1. フタを外し、3D造形品を架台上に置く。
2. フタを取り付け、フタのロックを閉める。
3. タイマースイッチの赤ボタンを押す。
4. タイマースイッチの緑ボタンを押す。
5. 洗浄動作が開始(スプリンクラー作動)する。
6. 洗浄動作終了後、フタを外して3D造形物を出す。



図3.2.9 洗浄時間設定用タイマー



図3.2.10 洗浄装置外観(1)



図3.2.11 洗浄装置外観(2)



図3.2.12 洗浄槽内の3D造形品

本装置は「フタを外してモノを入れる」「ボタンを押して装置の動作を開始させる」「動作終了後にフタを外してモノを取り出す」という単純な行動で洗浄作業が行える。このような一連の動作は、直感的な理解が容易であると考えられる。洗浄室内のドラフトチャンバーの高さは開口部が810mmであり、チャンバー内部に置かれた洗浄槽上端までは110mmである。洗浄装置の洗浄槽上端は高さ930mmであり、洗浄槽内部の課題上端までは750mmである。ドラフトチャンバーと洗浄装置の高さの差は少なく作業性も高い。図3.2.13はドラフトチャンバーと洗浄装置の外観である。以上より、3.2.2に記述した装置の開発指針が満たし、洗浄作業の参画者拡大が可能となる洗浄装置を開発した。



図3.2.13 ドラフトチャンバーと洗浄装置

3.2.5 「容易化」 試行実験

洗浄装置の試作品完成により、「容易化」の有効性を確認するための作業を行う。東久留米市内の社会福祉事業所に委託し、障害をお持ちの方々(以降、参加者と呼ぶ)に洗浄工程の作業を依頼する。作業内容は、従来の洗浄工程による作業と、洗浄装置を導入した洗浄作業の比較である。これにより、洗浄装置の有効性について調査を行う。調査方法は、アンケート形式による報告書と雑談を通じた聞き取りである。また、本装置の使用状況により、今後の改善への活用も目的とする。

本委託事業に協力いただいた社会福祉法人と、作業日程を以下に記す。

- ・特定非営利活動法人 コイノニア
平成29年12月4日, 6日
参加者4名, 指導員1名
- ・社会福祉法人 椎の木会
平成29年12月7日, 11日
参加者4名, 指導員1名
- ・特定非営利活動法人 武蔵野の里
平成29年12月11日, 12日
参加者4名, 指導員1名



図3.2.14 エンジンヘッドカバー

各事業所共に二日間の日程である。各日程、一日に二個の3D造形品へ洗浄作業を施す。初日には、従来方式と洗浄機を導入した方式の洗浄作業を各一個行い、UV硬化も施す。二日目には、洗浄機を導入した作業で二個の3D造形品に洗浄作業を施し、UV硬化を行う。「3Dプリント作業の参画者拡大を目指した技術開発補助事業」における、「見える化」「容易化」「簡素化」では、共通の3D造形品を使用する。この「容易化」では、「見える化」と「簡素化」に用いる3D造形品に対しても、洗浄・UV硬化作業を施す。本事業に用いる3D造形品は、図3.2.14に示すエンジンヘッドカバーである。本造形品は、平成27年度事業^{3.2.2)}において用いた3Dデータを使用し、新たに造形したものである。同事業に用いた4種類の3D造形品では、仕上げ作業の難易度は中程度のものである。

- 従来方式の洗浄作業では、以下の2工程が存在する。
- (1)一次洗浄, サポートはがし
 - (2)二次洗浄, 洗浄液飛ばし

一次洗浄の工程では、洗浄作業の前にサポート材の除去を行う。サポート材の除去では、初めに3D造形品を洗浄液の中に五分間浸漬させる。洗浄液により、サポート材の柔軟性が増した後、サポート材の除去を行う。図3.2.15にサポート材の除去を行っている様子を示す。サポート材の確認には、目視と手袋をつけた指先の感触で行う。サポート材の除去後には、ハケを用いて3D造形物表面の未硬化樹脂を洗浄する。図3.2.16にハケによる洗浄作業の様子を示す。この一次洗浄の作業では、10リットル程度の洗浄液を蓄えた衣装ケースを洗浄槽として使用する。一次洗浄では、手袋をつけた指先の感触で作業の状況を判断する。「ぬるぬる感が無くなるまで」が一次洗浄終了の目安であり、個人差の排除は不可能である。



図3.2.15 サポート材の除去作業

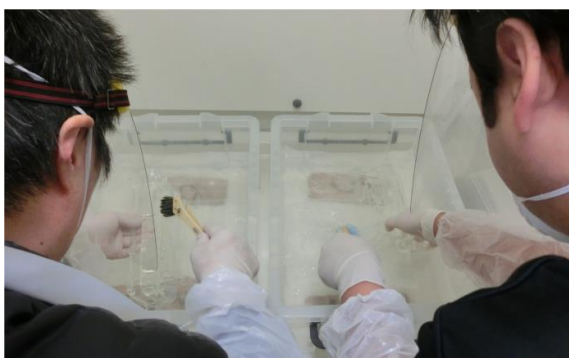


図3.2.16 ハケによる洗浄作業

二次洗浄では、図3.2.17に示すように未使用の洗浄液をブラストガン(ブラストに用いないため、以降は噴射ガンと呼ぶ)によって3D造形品に噴射し、表面を洗い流す。次に、図3.2.18に示すようにエアガンに持ち替えて圧縮空気を3D造形品に噴射し、表面に付着している洗浄液を飛ばす(乾燥させる)。五分経過後、サポート材の除去を行う。サポート材の除去後は、ハケによる手洗いではなく、洗浄装置を使用する。



図3.2.17 噴射ガンによる二次洗浄作業

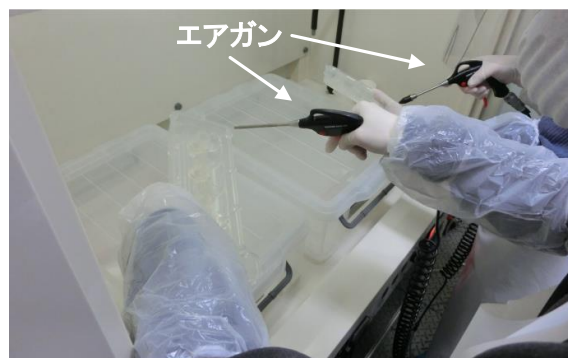


図3.2.18 エアガンによる洗浄液飛ばし



図3.2.19 洗浄装置による一次洗浄

洗浄装置の使用方法は、3.2.4に記述した方法を用いる。図3.2.19には洗浄装置の架台に3D造形品を乗せている様子、図3.2.20には洗浄装置のタイマーのスイッチを押している様子を示す。次の二次洗浄は従来方式と同一で、噴射ガン、エアガンを使用する。

二日間の作業後に洗浄装置の有効性について行ったアンケートの結果を示す。図3.2.21～図3.2.23は「難しさ」について、それぞれの操作に関する質問である。アンケートには、以下に示す5つの選択肢を提示した。

1. 大変難しい。
2. 難しい
3. 普通
4. 簡単
5. 大変簡単

図3.2.21は洗浄装置への造形物の出し入れについての回答であり、難しいと感じた参加者はいなかった。図3.2.22より、洗浄装置は9割以上の参加者が簡単に操作できることがわかった。一方、噴射ガンとエアガンの操作は2割弱の参加者が難しいと感じており、改善の余地がある。

このアンケートにはコメント欄を設けており、得られたコメントを原文のままで紹介する。洗浄装置関連に関する以下のコメントより、3D造形品の手洗い作業では充実感を得ている一方、難しさを感じている様子がうかがえる。

- ・手でやったほうがよかった。
- ・考えてやるのでいい。
- ・ハケ加減がむづかしい。

また、機械操作を苦手とする参加者の意見も得られた。

- ・段取りはきちんと覚えられる。機械操作をちゃんと覚えられるといい。

洗浄作業全般についての感想もある。

- ・はじめての道具ばかりでした。だれでも使えると思います。

洗浄液に対しては以下のコメントがあり、配慮の必要性を感じる。

- ・強烈ではないが少し臭いが強かったです。

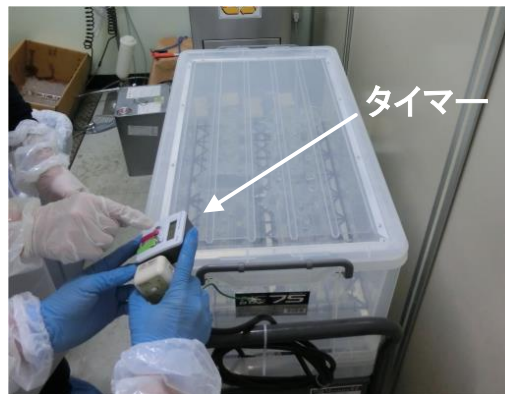


図3.2.20 洗浄装置の動作開始

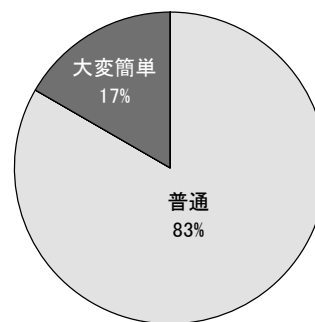


図3.2.21 造形物の出し入れ

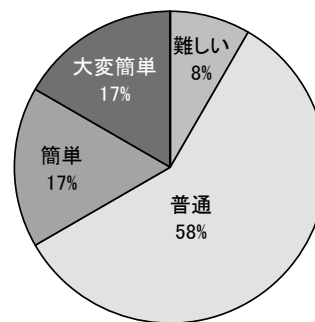


図3.2.22 洗浄装置の操作

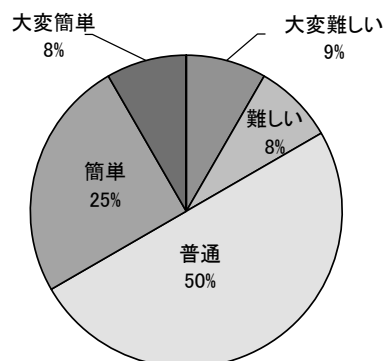


図3.2.23 噴射ガンの操作

- ・アルコールのにおいがきつかった。
- 下記のコメントより、委託事業(洗浄作業)に対する配慮が感じられる。
- ・エアガンをふきつけるとき、はしを持つのに気を使った。

図3.2.25は「面白さ」に対する問いであり、以下に示す5つの選択肢を提示した。

1. 大変面白い
2. 面白い
3. 普通
4. 面白くない
5. 全く面白くない

得られた結果より、洗浄作業に過半数の参加者が面白みを感じていることが確認できる。以下に得られたコメントを記す。

- ・サポートはがしがおもしろかった。
- ・作業が最先たんで興味深い。
- ・造形品のかたちが、なににつかうか、わからなかったが、作業はおもしろいです。
- ・あまり上手いかなかった。
- ・人が少ないので作業がしやすかったです。

図3.2.26～図3.2.28は、汚れ、臭い、音についての問いであり、以下に示す4つの選択肢を提示した。

1. 全く気にならない
2. 気にならない
3. やや嫌だ
4. 嫌だ

得られた結果より、洗浄作業では汚れ、臭い、音に問題があることが分かる。噴射ガンやエアガンが発する洗浄液の噴霧や噴射音に対策が必要である。二次洗浄にも装置の導入が望ましい。以下に、得られたコメントを記す。洗浄剤には拒絶感が強く、安全性の高いものであるという説明が不足していた。

- ・アルコールがいやだった、多少。
- ・健康面が、気になる。

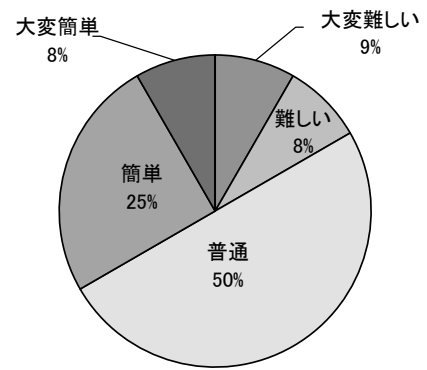


図3.2.24 エアガンの操作

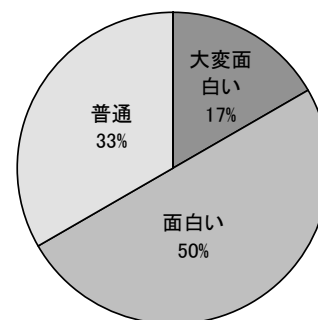


図3.2.25 面白さ

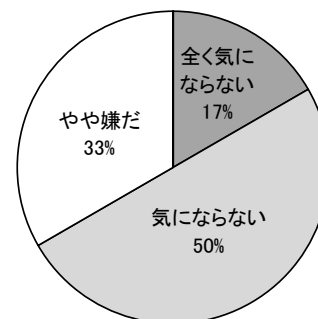


図3.2.26 汚れについて

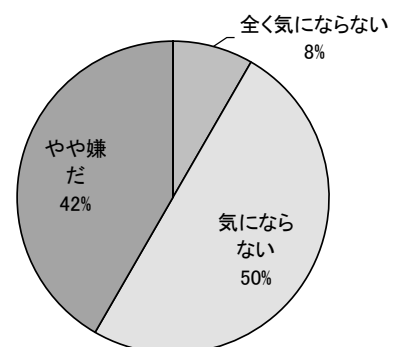


図3.2.27 臭いについて

- ・やや目まいがする。
 - ・なれてくれば、なんとかなると思いました。
- 音に関しては、両極端なコメントを得ている。
- ・多少うるさかった。
 - ・音があったほうが、使用してるのが、わかりやすいと思いた(思った)。

図3.2.29は、洗浄装置の操作についての設問であり、以下に示す3つの選択肢を提示した。

1. 全く問題なく使えた
2. 普通に使えた
3. 使えなかった

得られた結果より、全員が洗浄装置を使えているが、難しいと感じている参加者(図3.2.22参照)もいる。以下に、得られたコメントを記す。

- ・あまりむずかしくなかったのでやりやすかったです。
- ・ちゃんと、しっかり覚えたい。

図3.2.30～図3.2.32は、洗浄装置と手洗いの比較である。それぞれ、以下に示す3つの選択肢を提示した。

1. 洗浄装置
2. 変わらない
3. 手洗い

得られた結果より、洗浄装置なので簡単で作業したいと思う半面、面白くないという結果が得られた。以下に、「どちらの作業が簡単か」の設問で洗浄装置を選択した参加者によるコメントを記す。

- ・手洗いの汚れを洗うのがどこまで洗えばいいかわからない。

このコメントより、タイマーで終了する洗浄装置は、参加者による状況判断に伴う精神・知的な負担が不要であることがわかる。

しかし、以下のようなコメントも得られた。

- ・楽だから。
- ・見てるだけだから。
- ・効率がいい

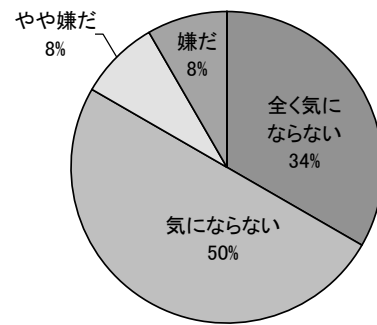


図3.2.28 音について

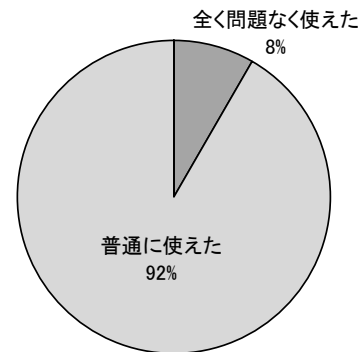


図3.2.29 洗浄装置について

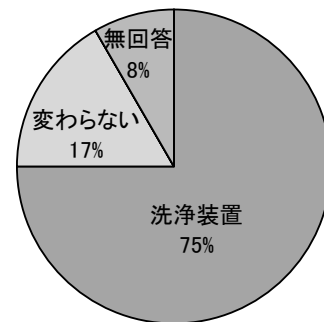


図3.2.30 洗浄装置と手洗い、どちらの操作が簡単か

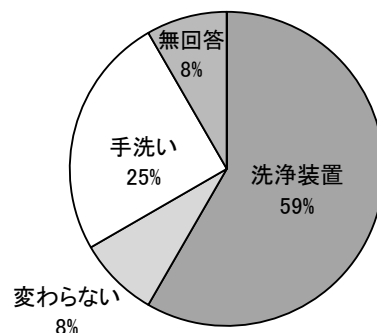


図3.2.31 洗浄装置と手洗い、どちらで作業したいか

また、「手洗い」を選択した参加者からは、以下のコメントが得られた。

- ・手洗いのほうが作業した感じがした。
- ・手洗いが長く作業できていい。
- ・手洗いの方が、自分でやった感じがします。
- ・ハケはやりがしがあるが、キズが気になる。
- ・洗浄装置のほうが簡単ですが、手洗いの方がやりやすかったです。

図3.2.33は保護具についての設問であり、以下に示す3つの選択肢を提示した。

1. 全く問題なく使えた
2. 普通に使えた
3. 使えなかった

「使えなかった」の回答者からのコメントを以下に示す。

- ・わずらわしかった

しかし、以下のようなコメントも得ている。

- ・使わせて頂けて、たすかりました。手が小さいので、小さいサイズありがとうございました。

保護具の使用は、個人の判断を受け入れると作業時の負担軽減につながると考える。

3.2.6 まとめ

今年度事業「3D プリント作業の参画者拡大を目指した技術開発補助事業」において、「容易化」では洗浄工程に導入する洗浄装置の開発を行った。

開発した洗浄装置は、参加者から「問題なく使える」「簡単に作業できる」「作業したい」という回答を得た。これにより、参画者の拡大に寄与できる装置であると考えられる。しかし、洗浄作業の「面白さ」は、手洗いに劣る結果となった。

洗浄工程には有機溶剤の使用が避けられない。そのため、二次洗浄や洗浄液飛ばし（乾燥）工程も装置化し、参加者への負担を減らす必要がある。

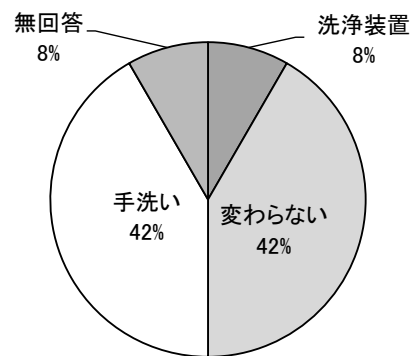


図3.2.32 洗浄装置と手洗い、どちらの作業が面白い

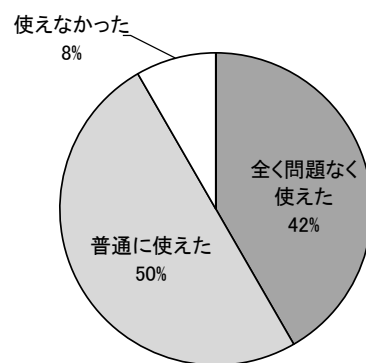


図3.2.33 保護具について

参考文献

- 3.2.1) 株式会社 エー・アンド・デイ ホームページ：
https://www.aandd.co.jp/adhome/pdf/tech_doc/analytical/sv_eiyoukaizengakai2014.pdf
- 3.2.2) 藤塚将行ら，3D プリンタによる障害のある人の就労支援補助事業，平成27年度「安心・安全」及び「生活の質の向上」に資する技術革新，KSK-GH27-2，一般財団法人 機械振興協会 技術研究所，(2016)
- 3.2.3) 日本エマソン株式会社 ブランソン事業本部 ホームページ：
http://www.branson-jp.com/support/videos/ultrasonic_cleaner/

4. おわりに

本事業では、障害者の高付加価値就労として事業化を目指して立案した3Dプリントサービスのビジネスモデルが持続的な事業として成立するため、3Dプリント出力サービスに参画できる作業者の拡大を目的としている。これまで検討してきた障害者による試行実験の結果から3Dプリント出力サービスにおける課題を「見える化」「容易化」「簡素化」として設定し、それぞれについて技術の開発導入による解決を目指して、以下のような検証をおこなった。

(1) 「見える化」では3Dプリントに用いる造形物の3Dデータをmaterialise社のデータ加工ソフトであるMagicsで編集し、タブレットPC上のビューアソフトMini Magics Proに仕上げ箇所を表示させることのできる見える化装置の開発導入をおこなった。これにより磨き箇所の特定を容易にし、その結果作業全体の難易度を低減、作業の面白さを増大させることに成功した。従来の仕上げ見本や指示書と比較しても、低コストかつ三次元でわかりやすい表示ができるため、本事業における有用性が確認できた。また本技術は障害者就労だけでなく仕上げ作業が必要な3Dプリント全般で有効な基盤的技術開発となりうることを確認した。

(2) 「容易化」では、洗浄工程に導入する洗浄装置の開発を行った。開発した洗浄装置は、試行実験の参加者から「問題なく使える」「簡単に作業できる」「作業したい」という回答を得た。これにより、参画者の拡大に寄与できる装置であると考えられる。しかし、洗浄作業の「面白さ」は、手洗いに劣る結果となった。また本洗浄装置は、障害者就労だけでなく洗浄作業が必要な3Dプリント全般で有効な基盤的技術開発となりうることを確認した。

(3) 「簡素化」では、磨き工程にブラスト装置の導入を行った。導入したブラスト装置について、磨き作業に対する「簡素化」としてのアンケート調査を行った。

得られた回答、コメントより、ブラスト装置は操作に慣れてしまえば効率の高い作業が可能になると考える。また、今回の作業において、「磨き過ぎ」は皆無であった。これは、特筆すべき結果であると考えられる。また本ブラスト装置は、障害者就労だけでなく磨き作業が必要な3Dプリント全般で有効な基盤的技術開発となりうることを確認した。

以上の検証から、これまで作業者の多くが困難を感じてきた内容について作業の見える化、容易化、簡素化を技術的アプローチによって解決し、参画可能な障害者の範囲を拡大に寄与できることが分かった。その結果、多くの障害者が参加できる高付加価値化就労の実現することで、障害のある方たちにとって賃金・工賃の向上だけでなく、社会参加ができてい・社会の役に立っているというモチベーションの向上につなげることで「障害のある人が幸せに暮らせる社会創造」の実現に寄与していきたい。

謝辞

最後に本事業を実施するにあたりご協力、ご助言いただいた近隣の自治体、福祉団体、障害者のみなさん、学術関係者、民間企業の方々に心より感謝申し上げます。

なお本事業は、公益財団法人JKAの競輪補助金(補助事業番号2017M-002)を受けて実施しました。ご支援いただいた関係各位に深く感謝の意を表します。