

PPC (Post Process Customization)により 強度の部分的調節を可能とする 3D プリント簡易サポータ

3D Printed Simple Supporters with Partial Strength Adjustment
by PPC (Post Process Customization)

林 園子¹, 田中 浩也², 濱中 直樹³, 井上 由貴⁴, 中谷 雄俊⁵

Sonoko HAYASHI¹, Hiroya TANAKA², Naoki HAMANAKA³, Yuki INOUE⁴, Takatoshi NAKATANI⁵

¹慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科, ²慶應義塾大学 環境情報学部,

³合同会社ハマナカデザインスタジオ, ⁴横浜労災病院, ⁵ユニチカ株式会社

¹Graduate School of Media and Governance, Keio University,

²Faculty of Environment and Information Studies, Keio University,

³hamanakadesignstudio LLC, ⁴Yokohama Rosai Hospital, ⁵Unitika Ltd

【要約】

本研究では、部分的な強度調節が可能な手関節固定用の簡易サポータを、FDM 方式の3D プリンタを用いて製作した。後加工を前提に、面状にデザインと出力を行い、事後的に個別の身体形状に合わせて加工する製作方法 (PPC: Post Process Customization) で行った。フィラメントはユニチカ株式会社製の 45℃の加温で変形加工できる特殊ポリエステル樹脂を採用した。この方法は、患者の手の3D スキャンによる工法では実現できなかった個別化した製作を可能にする。今回製作した簡易サポータは、アルミ板と布製のサポータと同程度の手関節の固定力が測定できた。製作と評価を通して明らかになった PPC の留意点と、今後の課題を整理しまとめた。

キーワード: 3D Printing, サポータ, (PPC)Post Process Customization, Thermo Reactive Filament, Orthosis

【Abstract】

In this study, a simple orthosis for a partially strength-adjustable wrist joint immobilization was fabricated using an FDM 3D printer. It was designed and printed for Post Process Customization (PPC) method to fit each individual body shape. We used a special polyester resin manufactured by Unitika Ltd. This method allows for personalized manufacturing, which could not be achieved with the 3D scanning method. In this study, the simple orthosis produced by PPC were measured to have the same level of immobilization of the wrist joint as the orthosis made by aluminum plate and fabrics. We summarized the points and issues of the PPC for our future challenges.

1. はじめに

医療やスポーツなどの分野で用いる、身体の一部に沿った形状で装着する用具に、3D プリント技術を用いる研究が増えている^{1-7,9)}。一人一人異なる身体曲線に合わせて用具を製作する上で、1つから樹脂で製作できる3D プリント技術が注目されている。身体の一部の3D スキャンデータを活用し、3D プリントする研究が多い¹⁻⁵⁾。しかしこの方法では、3D スキャンをした時点での用具の使用者の身体形状と、保持できる肢位に仕上がりが限定される。例えば骨折後に浮腫が生じた状態で3D スキャンしたデータは、浮腫の消失後は活用が難しいことがある。

本研究では、45℃の加温で変形加工することができるフィラメントを用いて、3D プリントにより部分的な強度の調節や通気性保持ができる手関節の簡易サポータを作製した。3D プリントした後に、ドライヤーなどの熱で簡易に使用者の身体曲線に合わせて変形加工することができる。今回の研究で製作したサポータは、市販されているアルミ板と布製の固定用サポータと同程度の固定力

があることが確認できた。本研究では、このような一連の加工を PPC (Post Process Customization) と称し、製作を通して確認した留意ポイントについて述べていく。

2. PPC とは

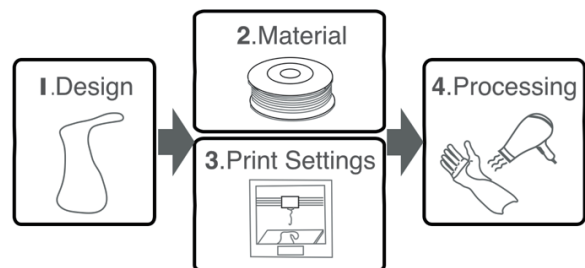


Fig.1 4 Elements of PPC

本研究では PPC (Post Process Customization) は、PPC 用にデザインされ3D プリントした用具を、個別の身体形状に合わせて、温熱などで変形加工することを指す。PPC は、「デザイン」と「素材」、「3D プリント」と「加工」が一体であり、最適に組み合わせられた際に最も効果が高

くなる。

今回、以下の後処理などは PPC に含めない。

- ・温熱や薬品、やすりがけなどで表面を滑らかにする加工
- ・個別の身体形状に合わせる目的ではなく、機能的な目的で行う加工。例えば、細長い板状の素材を曲げてフックにするなど。

3. 目的

手関節橈骨遠位端骨折ギプス固定終了直後の装着を目的とした簡易サポータを、PPC により作製する。PPC により、個別の身体形状に合わせた加工が可能で、3D プリントならではの通気性を保持したサポータが、従来の同じ目的の市販品と比較し、同程度の固定力を備えているか検証する。製作を通して、PPC の留意ポイントを確認する。

4. 製作方法

4-1 デザイン

PPC を前提とし、筆者らが 2019 年に脳血管障害で上肢に麻痺がある患者用に 3D プリンタを用いて製作した研究⁸⁾と同様のデザイン法を採用する。概要は以下である。

1. 使用者の手を紙にトレースする
2. トレースした手の形状を参考に、サポータのデザインを同じ紙面上に描く
3. 2. を下絵として CAD に取り込む
4. 下絵を参考にスプラインでスケッチをし、押し出して厚みを付け、STL を作成する
5. 固定力が必要なエリアは、市販のアルミ板と布製のサポータのアルミ板の大きさと位置を参考にし、同様に STL を作成する

4-2 素材

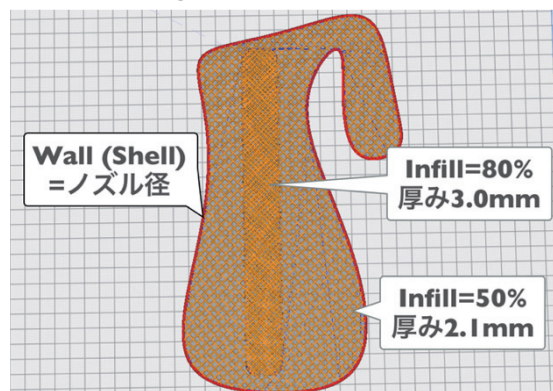
PPC を前提とし、今回は、ヘアドライヤーなどの簡易な加温方法で加工できるユニチカ株式会社製の TRF (Thermo Reactive Filament) に TPE が配合されたものを使用した。TRF は 45℃ の加温で変形する特殊ポリエステル製フィラメントであるが、今回使用したフィラメントは、TRF と比べて加工の際の伸びが良く、温熱加工後に割れにくい特徴がある。

4-3 3D プリント

スライスには Ultimaker 社の CURA を使用した。PPC を前提に、3D プリントする内部構造には Grid を採用した。上下左右方向に引き伸ばしながら、個々の身体のラインに沿った加工が行えるように設定した。実用性を考慮し、1 時間未満でプリントできるよう、ノズル径は 1.0mm を採用した。固定力が必要なエリアは Infill = 80%、厚みを 3.0mm とし、固定力はそれほど必要なく、通気性をもたせたいエリアは Infill=50%、厚みを 2.1mm とした。引き伸ばしながらの加工が可能な限り制限されないよう、周囲の

Shell はノズル径と同様とした (1.0mm)。

Fig.2 3D プリント設定



4-4 加工

ヘアドライヤーを用いて加温し、変形加工を行った。充填率を高めたエリアおよび周囲の Shell 部分が軟化しにくいため、長めに温熱を加えた。手関節は機能的な 20 度背屈位を目指して加工し、関節突起部は圧迫しないよう加工した。MP 関節など、手指の関節の可動性を妨げないよう配置し、曲げ加工を行った。

5. 固定力の測定

5-1 測定内容

PPC により製作した手関節固定用簡易サポータが、従来の同じ目的の市販品と比較し、同程度の手関節固定力を備えているか測定する。

5-2 測定方法

TPU を使用し 3D プリントした、手関節部分に可動性のある前腕のモデルを用いた。下記の 2 種類のサポータを装着し、MP 関節(中手指節関節)部上方から段階的に荷重をかけ、変位を測定し、固定力の比較を行った。

1. 前述 4 の製作方法で製作した手関節固定用簡易サポータ
2. アルミ板と布製のサポータ(市販品: Monomylth 手首固定 サポーター 手首用 保護具)



Fig.3 (左)
PPC で製作
した手関節
固定用サポ
ータ

Fig.4 (右)
アルミ板の入
った布製サ
ポータ

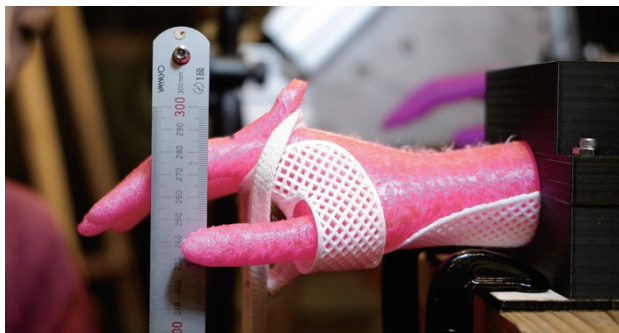


Fig.5 測定セッティング(PPC サポート)



Fig.6 測定セッティング(アルミ板と布製のサポータ)

5-3 結果

測定の結果は, “Table1”, “Fig.7”の通りである.非装着時に比べて明らかな手関節の固定が 1.2 のサポータともに可能で,固定力は同程度であることが確認できた.

荷重(g)	スタート	500	1000	1500	2000	2500	3000
PPCサポータ変位平均 (mm)	3	5	7	9.5	11.5	13.5	16
アルミと布製変位平均 (mm)	3	5	7	9	12	15	18
装着なし変位平均 (mm)	3.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	33.5

Table1 荷重段階ごとの変位

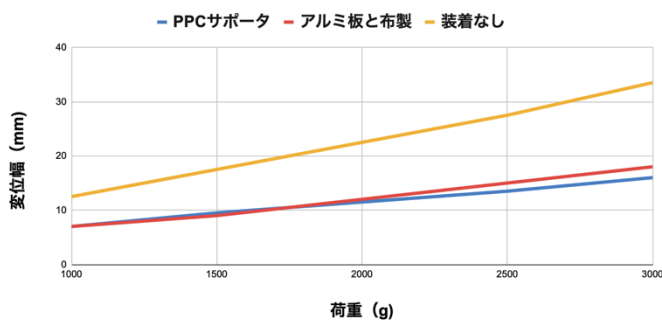


Fig.7 荷重段階ごとの変位比較グラフ

6 PPC の留意ポイント

以下,本研究を通して明らかになった製作のポイントをまとめる.

6-1 3D プリント時のポイント

1. 伸縮しやすい内部構造を採用する.
(Gyroid,Honeycomb,Grid など)
2. 充填率を高くしすぎない.
(上限は Gyroid は 30%,Grid は 70%)
隣接する造形と密着しすぎると,加工時の伸びを含めた自由度が低下するため.
3. モデルのアウトラインの Shell は,1層とする.
(今回は,1.0mm のノズルを採用したため,アウトラインの Shell は 1.0mm とした.)
アウトラインの Shell の厚みにより,伸びが制限されるため,最小限にする.

6-2 加工時のポイント(温熱による加工の場合)

1. 中心部に比べ,アウトラインが軟化しにくいいため,全体を加工する際はアウトラインに集中して温風を当てると加工しやすい.

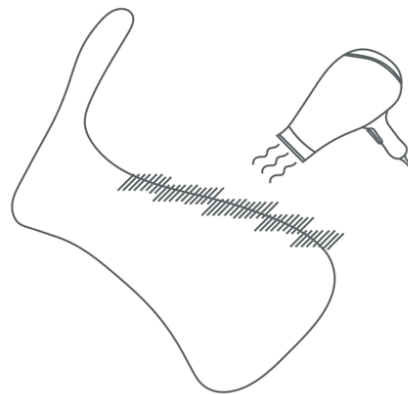


Fig.8 アウトラインに集中して温風を当てる

2. 引き伸ばしながらフィッティングすることで,より肌の曲面に沿った加工ができる.

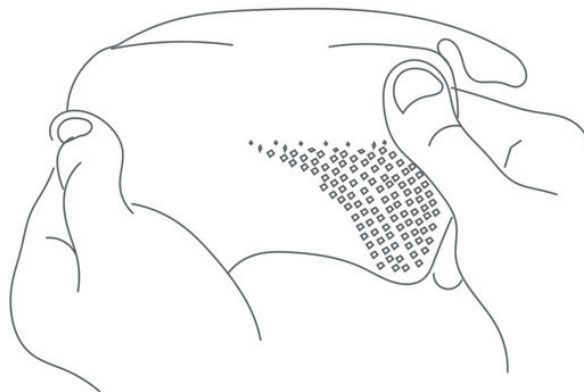


Fig.9 引き伸ばしながらのフィッティング

3. 断端を外側に向けて丸めるように加工すると、肌触りがソフトになる。

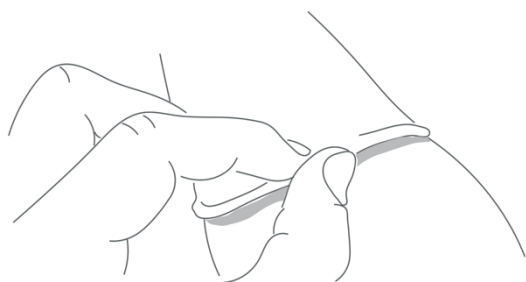


Fig.10 断端を丸める

4. 関節突起部は当たらないようにしっかり避ける

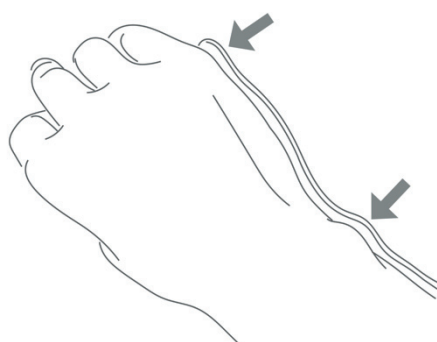


Fig.11 関節突起部を避ける

5. 関節運動を阻害しないように位置決め・加工をする

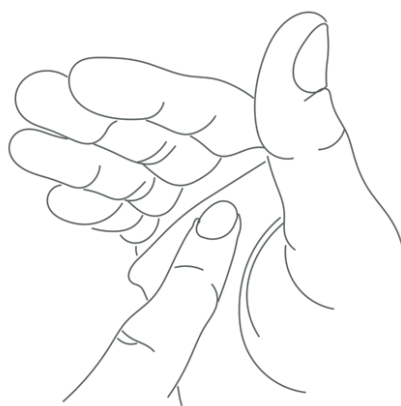


Fig.12 関節運動を阻害しない

7. まとめ

本研究では、手関節固定用の簡易サポータの製作を通して確認された、PPC における3D プリント時のポイントと、温熱加工時のポイントをまとめた。今回は実用性を考慮して 1.0mm のノズルを採用したこともあり、周囲部分の加工しにくさが課題として残った。この課題をデザインや3D プリント設定で解決できれば、より使いやすい PPC パッケージになると考える。デザインは、ソフトの開発などで数値入力だけで設定できるパラメトリックデザインが実装できれば、CAD の操作が難しい方にも活用してもら

いやすくなると考える。

今回、PPC で製作した手関節固定用簡易サポータは、測定の結果より、アルミ板と布製の製品と比較して同等の手関節固定力が確認できた。固定エリアの充填率や厚みの調整により、固定力がより高いサポータを製作できる可能性が高い。引き続き製作と検証およびユーザー評価も実施し、PPC サポータの有効性を確認していきたい。

参考文献

1. J. Li and H. Tanaka, "Feasibility study applying a parametric model as the design generator for 3D-printed orthosis for fracture immobilization," 3D Printing in Medicine, 4, 1(2018),
2. F. Górski, W. Kuczko, W. Weiss, R. Wichniarek, and M. ukowska, "Prototyping of an individualized multi-material wrist orthosis using fused deposition modelling," Advances in Science and Technology Research Journal, 13(4), pp. 39-47 (2019)
3. C.P. Agudelo-Ardila, G.C. Prada-Botai, and P.H. Rodrigues G., "Orthotic prototype for upper limb printed in 3D : A efficient solution," Journal of Physics : Conference Series, 1388, 012016 (2019)
4. F. Górski, P. Zawadzki, R. Wichniarek, W. Kuczko, M. ukowska, I. Wesolowska, and N. Wierzbička, "Automated Design of Customized 3D-Printed Wrist Orthoses on the Basis of 3D Scanning," Proceedings of ICCES2019(Computational and Experimental Simulations in Engineering), pp. 1133-1143(2020)
5. R. Saito, A. Komatsu, S. Chida, T. Iwami, and Y. Shimada, "Optimization design by the finite-element analysis of the wrist hartness which can be manufactured by 3D printer," Japanese Journal of Clinical Biomechanics, 40, pp.7-11 (2019)
6. M. Yoshikawa, "Gishu Kaihatsu ni okeru 3D Printa no Kanosei [Potential of 3D Printed Prosthetic Hands]," Sogo Rehabilitation, 47(10), pp. 947-953(2019)
7. D. Borstell, N. Walker, and S. Kurz, "Methodical design of a 3D-printable orthosis for the left hand to support double bass perceptual training," Proceedings of the 30th Annual International Solid Freedom Fabrication Symposium-An Additive Manufacturing Conference(SFF Symposium), The Minerals, Metals & Materials Society(2019), pp. 2090-2103.
8. S. Hayashi, H. Tanaka, N. Hamanaka, W. Nakamura, T. Nakatani, "Testing the Usefulness of Post-customizable 3D Printed Splints Using Thermo Reactive Filament "The Journal of 4D and Functional Fabrication No.1(2020)
9. D. Popescu, A. Zapciu, C. Tarba, and D. Laptoiu, "Fast production of customized three-dimensional-printed hand splints," Rapid Prototyping Journal, 26 (1), pp. 134-144 (2020)