デジタルものづくりに関する調査研究

村木　智彦*　本田　崇**　中村　一夫*　山田　佳奈*　渋谷　恵太***　中部　昇*

Research on digital manufacturing

MURAKI Tomohiko*, HONDA Takashi**, NAKAMURA Kazuo*, YAMADA Kana*, SHIBUYA Keita***
and NAKABE Noboru*

1. 緒　　言

近年，医療分野における義肢装具において，複雑な形状の実現ならびに，低コスト化による競争力の確保を目的として，製造プロセスの効率化が求められている。このような背景のもと，3DCAD や 3D プリンタといったデジタルツールの適用による設計および製造の効率化が期待されている。

義肢装具製造の特長として，一般的な工業製品と違い，患者個々の身体形状に適合する形状作成の必要性が挙げられる。そのため，3DCAD を用いた義肢装具のモデル作成には多大な時間を要し，個々の身体形状が異なることから，作成したモデルを他の患者に流用することはできない。また，義肢装具は人体と直接接触するため，柔軟性を有する材料を適用する必要があるが，一般に柔軟な材料ほど 3D プリンタによる成形が困難である。そのため，国内の中小規模の医療機器製造業者においては，3DCAD や 3D プリンタなどのデジタルツールを効果的に連携させた製造プロセスの確立に至っていない。

そこで本研究では，デジタルツールを活用した義肢装具の効率的なモデル作成および製造方法の検討を行った。

* 下越技術支援センター
** 研究開発センター
*** 素材応用技術支援センター

2. デジタルツールの適用

2.1 研究対象

本研究の対象は，乳幼児の頭蓋変形を矯正するための医療用頭蓋形状矯正ヘルメット（以下，ヘルメット）である。治療を要する乳幼児がヘルメットを長時間かぶることで，正常な頭の形へと矯正される。ヘルメットの製品例を図 1 に示す。現状，このヘルメットはオーダメイドで，熟練した義肢装具士の手作業によって製造されている。ヘルメットは，2 層型の構造となっており，乳幼児の頭に触れるインナーとインナーを固定するアウターに構成されている。

本報告では，ヘルメットのインナーに限定して，ヘルメットのモデル作成および造形について述べる。

2.2 デジタルツールを活用した製造工程

デジタルツールを活用した新たな製造工程を図 2 に示す。従来の製造工程と異なり，本研究で検討する新工程では，モデル作成から造形までを 3DCAD や 3D プリンタなどのデジタルツールを連携させて製作する。

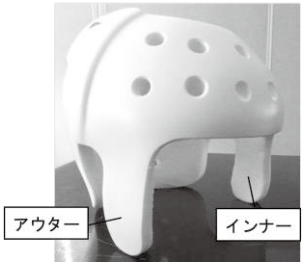

図 1　ヘルメット

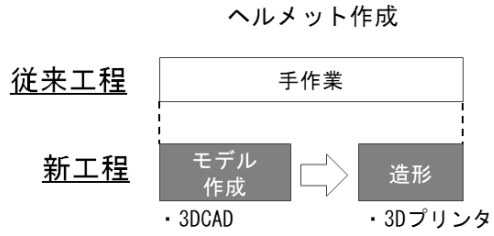

図 2　デジタルツールを活用した製造工程

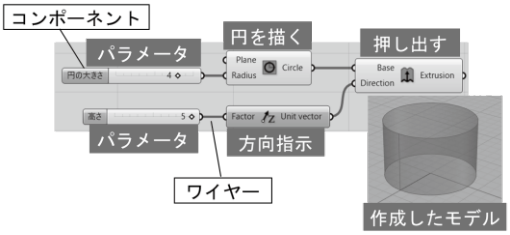

図 3　グラスホッパーの特徴

2.3　モデル作成

本研究では 3DCAD「Rhinoceros」の拡張機能である Grasshopper を用いたモデル作成を検討した。Grasshopper は，ビジュアルプログラミング環境下にて視覚的にモデリングのプロセスを構築できることが特徴である。コーディングの知識を必要とすることなく，提供されている様々な機能のコンポーネントをワイヤーで接続して組み合わせることで，複雑な処理であっても容易にモデリングプロセスを構築できる（図 3）。さらに，モデル変更・修正が生じた際には，コンポーネントの設定パラメータを変更するだけで，モデル全体を効率的に修正できるため，さまざまな形状パターンの生成を直感的かつ迅速に試行することが可能である。

Grasshopper では，一連の処理を一つのアルゴリズムとしてまとめることで，様々な入力条件に対して出力させることができる。Grasshopper で作成したインナーのモデリングのアルゴリズムを図 4 に示す。本アルゴリズムに，頭の形状データおよび耳の位置・形状を入力すると，耳が収まる形状に厚み付けされたヘルメットのインナー形状が自動的に生成される（図 5）。また，インナー作成アルゴリズムを開くと，モデル作成のプロセスを確認することができる（図 6）。図 6 に示すように，一連の処理はコンポーネントを順に組み合わせて構成されており，3DCAD の操作手順が視覚的に表現され，ユーザーが直感的に理解しやすいことがわかる。

以上の検討より，作成したアルゴリズムを用いることで，多様な頭部形状に対応したモデルの生成が可能であることが示された。

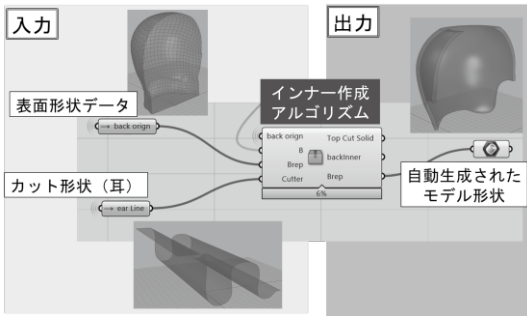

図 4　インナー作成アルゴリズム

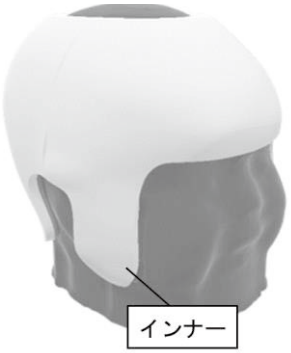

図 5　モデル化したインナー形状

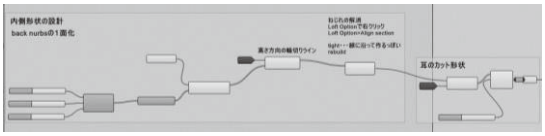

図 6　モデル作成のプロセス

2.4　3D プリンタによる造形

前節で Grasshopper にて作成したモデルデータをもとに，3D プリンタを用いて矯正ヘルメットのインナーを造形した。研究に用いた機器およびソフトウェア名を表 1 に示す。

表 1　研究で用いた機器およびソフトウェア

項目	機器および ソフトウェア名
3D プリンタ	Sermoon D3 Pro
造形ソフトウェア	CrealityPrint

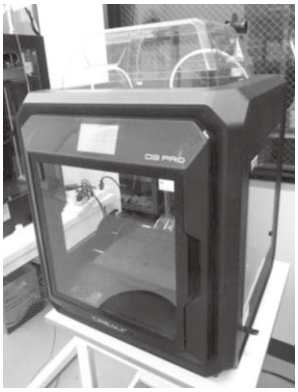

図 7　使用した 3D プリンタ

表 2　インナーの造形条件

項目	主材	サポート材
フィラメント	TPU95	BVOH
ノズル径(mm)	φ0.4	φ0.4
積層ピッチ(mm)	0.2	0.2
印刷速度(mm/s)	30	60
印刷温度(℃)	220	220
充填率(%)	100	20

本研究では，Creality 社製の熱溶解積層法の 3D プリンタ Sermoon D3 Pro を用いた（図 7）。

この 3D プリンタはデュアルノズルを搭載していることを特徴としており，異なる特性を持つ素材を組み合わせて造形できる。これにより，メインの素材をもう一方の素材でサポートしながら造形することが可能で，複雑な形状かつ柔軟性の高い材料であっても造形品の品質向上が期待できる。そこで，柔軟性を有する TPU95 をメインの素材とし，BVOH をサポート素材として用い，デュアルノズルでインナーの造形を行った。インナーの造形条件を表 2 に示す。

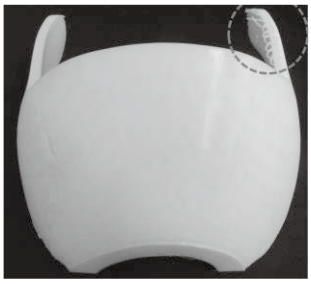

図 8　造形品

インナーの形状およびこの条件を造形ソフトウェアに入力することで 3D プリンタ用の G コードを作成し，全自動で造形可能である。

インナーの造形品を図 8 に示す。おおむね良好に造形することができたものの，造形時にノズルから押し出されたフィラメントが垂れて付着する，糸引きと呼ばれる不具合が発生した（図 8 丸）。一般的な糸引きの対策として，フィラメントの温度やリトラクション量（引き戻し量）の調整が有効といわれており，今後造形品の品質を向上するには，最適な造形条件の検討が必要である。

3.　結　　言

(1) Grasshopper はビジュアルプログラミング環境下で視覚的に表現されているため，ユーザーが 3DCAD の操作手順を直感的に理解しやすいことがわかった。

(2) Grasshopper で構築した形状作成のアルゴリズムに頭の形状を入力することで，厚み付けされたヘルメットの形状を自動生成できるようになった。これにより多様な頭部形状に対応したモデルの生成が可能であることが示された。

(3) Grasshopper で作成したデータに基づき，3D プリンタでおおむね良好に矯正ヘルメットのインナーを造形することができた。一方，造形品の品質に課題が生じることがあるため，安定した品質の向上には最適な造形条件の検討が必要である。