

# 外形形状と局所物性を自由に制御可能な、 3D 設計・造形一貫型システムの開発

Development of an Integrated 3D Design and Fabrication System that can Flexibly Control  
the External Geometry and Local Properties

森田 淳<sup>1</sup>, 中村 和洋<sup>1</sup>, 上田 雄一<sup>2</sup>

Jun MORITA<sup>1</sup>, Kazuhiro NAKAMURA<sup>1</sup>, Yuichi UEDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JSR 株式会社 エッジコンピューティング研究所, <sup>2</sup>JSR 株式会社 イノベーション推進部

<sup>1</sup>JSR Corporation, Edge Computing Research Lab., <sup>2</sup>JSR Corporation, Innovation Acceleration Dept.

## 【要約】

近年, 3D プリントは個別化製造に向けた自由形状の造形のみならず, 構造由来の特異な特性を発現する Architected Material の実現手法としても報告されている. 一方, 利用者が実用上の形状に対して Architected Material を直接設計することは, 非常に煩雑な設計プロセスを必要としている. 本研究では, ユーザーがデザインした外形形状と局所物性に対し, マイクロラティスのパラメータをシステム側で割り当て, 光造形型 3D プリントと連携させることで, 「形」と「特性」を 3 次元的にデザイン・出力可能な 3D 設計・造形一貫型システムを開発した. 「形」と同時に「特性」を自由に 3D デザインするシステムは, 医療インソールをはじめとして, 個別化製造の加速に貢献するものと考えられる. キーワード: 3D, アーキテクトドマテリアル, メタマテリアル, 設計システム, 個別化製造

## 【Abstract】

In this study, we investigated a method for assigning parameters of microlattice to the external geometry and local properties designed, and linking the system to a stereolithographic 3D printer. As a result, we developed a 3D design/fabrication system that can design shapes and properties. This system is expected to accelerate the individualized manufacturing by 3D-designing both shapes and properties.

Keywords: 3D, Architected Material, Metamaterials, Design system, Personal Fabrication

## 1. 序論

3D プリントを用いたデジタル設計・製造は, 設計・製造の分散化が可能[1]であり, ファブラボなどを活用した設計の個別化といった既存ニーズ[2]に加え, ウィズ/アフターコロナの環境下における遠隔設計・製造プロセスへの展開が期待される. 特に, 医療分野は 3D プリントを用いることで, 個人ニーズに合わせた装具製造が可能になる[3]など, 個別化製造のニーズを強く抱えており, 成形外科分野などで伝統的な石膏型を用いたプロセスに対し, 3D デジタル設計・製造による高速製造が注目を集めている[4].

しかし, 3D プリントで造形するためのデータは, 3D-CAD で一から設計するか, 三次元測定データを元に 3D-CAD で修正する必要がある. 実測のデータを 3D プリント向けに前処理修正するには大きな労力と手間が必要であることが課題である[5]. 特に, 矯正用などに用いる医療インソールの 3D 製造については, 専用ツールがないので 3DCAD を用いた非常に煩雑な設計手法が報告されている[6][7]. というのも, 従来医療インソールは, 硬さなどの特性の異なる材料の配置組み合わせ[8]によって特性の制御を行ってきたためである.

以上から利用者が実用上の形状に対して, 場所ごとに局所的に性質を変え構造を直接設計することは, 非

常に煩雑な設計プロセスを必要としており, 現実的でない. そのため, ユーザーが「形」と「特性」を 3 次元的にデザイン・出力可能なシステムが個別化製造実現の加速に求められているものと考えられる.

近年では 3D プリントは自由形状の造形のみならず, 負のポアソン比や軸異方性の物理特性など, 構造由来の特異な特性を発現する Architected Material を実現する手法としても報告されている. 筆者らは, 慶應義塾大学 SFC 研究所との共同研究によって, 3D プリントを用いた設計製造システムの開発と社会実装に取り組みを重ねており, 弾性エラストマーのマイクロラティスの構造パラメータと物理特性の関係[9]に関する知見を蓄積の上, 三次元形状の測定データを元に, Architected Material を用い, インソール形状の内部に対して, 要求した硬さの微細周期格子構造(マイクロラティス)を部分的に割り当てるアルゴリズムを開発することで, ユーザーの従来の設計感覚を生かしながら「形状」と「特性」をコントロールしたインソールを製造可能な技術確立してきた[10]. 前記技術をもとにした 3D 設計・造形一貫型システムについて報告を行う.

## 2. コンセプト①: システム全体フロー

インソールを例に, 3D 設計・製造をするためのワー

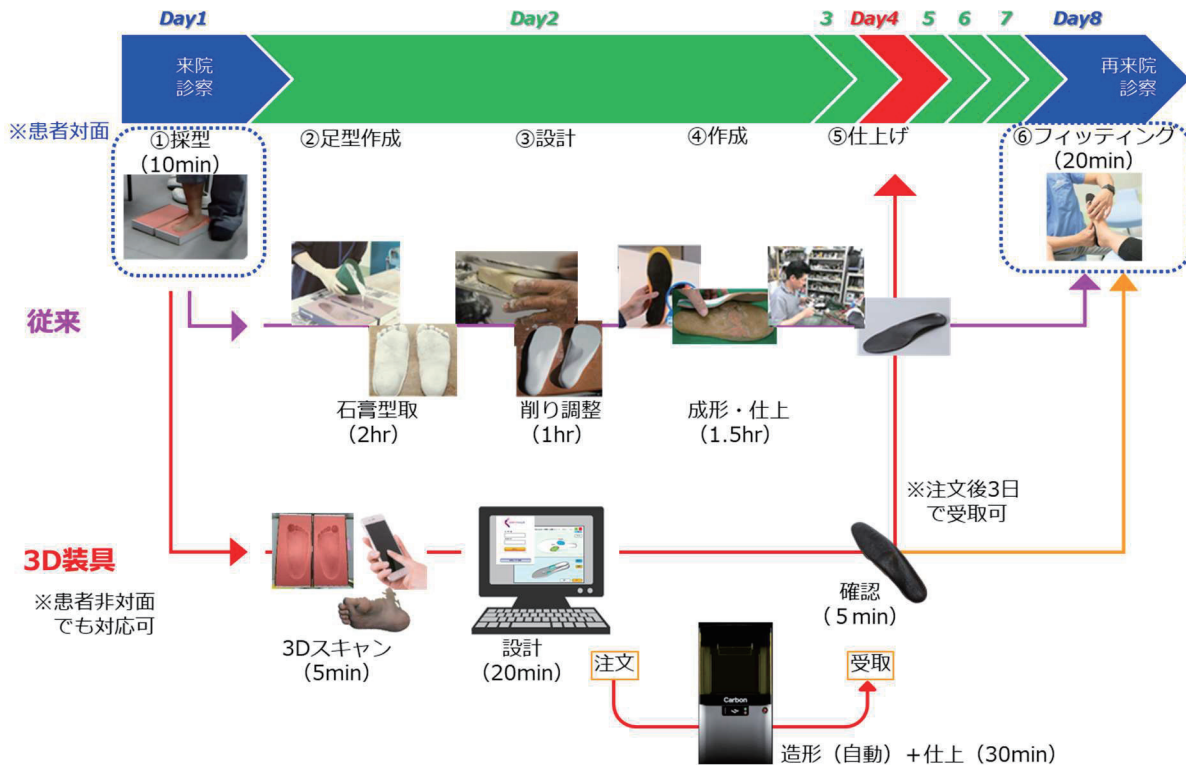


図 1. 従来インソール設計プロセスと 3D 設計による設計プロセス

クフローを図 1 に示す。従来、装具の設計は対面での足形採型ののち、石膏を用いて型取を行ってから複数の材料を組み合わせて手作りで造形を行うという煩雑なプロセスを必要としており、一人あたりの設計・製造可能な数量は限定されたものであった。

そこで、本システム内においては、図 1 中の①に示す「採型」におけるトリッシュャム（柔軟なスポンジフォーム）型を用いて、設計者スマートフォンの 3D スキャン機能を用いて 3D データを作製し、この 3D データを用いて web アプリ上でインソールの設計を行い、設計データを集中サーバ上で 3D プリントに合わせた形に変換することで遠隔で設計したデータをもとに自動でインソールの造形が可能となるシステムとして設計した。このシステムにおける技術的な課題は、「医療装具として」、「形」と「特性」を自由に設計できること」と「3D 設計に不慣れなユーザーが遠隔で設計可能であること」の 2 点であり、この 2 点に関するアプローチについて後述する。

### 3. コンセプト②:「特性」の自由度実現

単一材料を用いた一体造形物に対して、部分的な硬さを自由に付与する手法として、Architected Materialに着目した。柔軟なエラストマーを用いた微細周期格子構造(マイクロラティス)の荷重変位曲線は柱太さなどの格子設計パラメータによってコントロールを行うことが可能である。一方で、直接的にラティスによるマクロなインソール形状を設計することは煩雑であり、作業難易度が高い。また、インソールサイズの3D データをラティスで作成しようとした場合、表面積が膨大となるため、数百MB以上の容量が必要となる。よって、3次元データ編集と可視化をエッジ端末で直接行うことは現実的ではない。そこで、図2に示すように、最小面積でデザインしたラティスの格子データを準備しておき、設計者がエッジ側で概形でデザインした形状に合わせ、サーバ側で切り出し箇所とラティスの柱太さを変えることで、比較的軽量にエッジ側の処理を行うことが可能なプロセスを設定した。

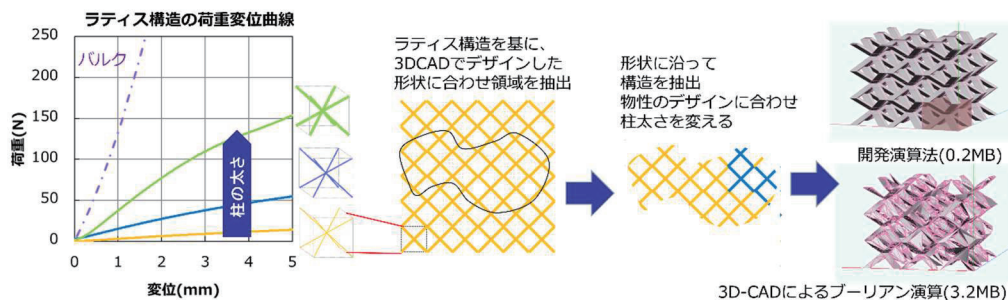


図 2. マイクロラティス割り当てによる特性付与[10]

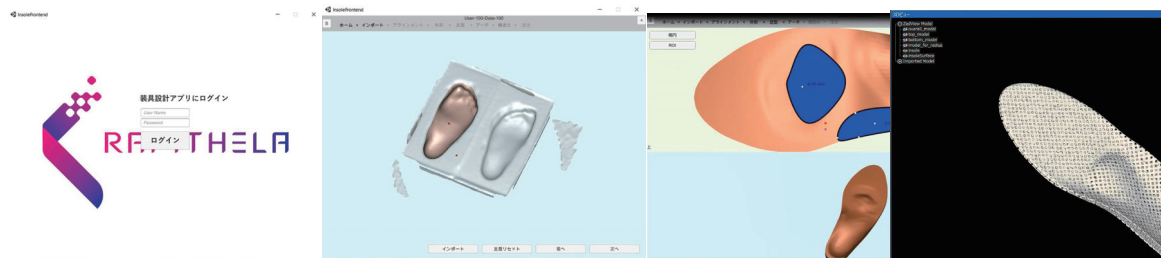


図 3. インソール設計 web アプリ「eLabo™」操作画面

### 3. コンセプト③: 形と特性を設計するユーザーUI

前章で述べたように、概形形状をもとにラティスの柱太さを部分的に変えることで、三次元形状の接続を損なう(造形上の欠陥発生)なく、マイクロラティスによるマクロ形状を生成可能である。3D 設計に不慣れな一般設計者向けの UI として、採型を行った足形をもとに、2D 制御で表面位置のコントロールと「硬さ」を変量する領域を UI 上で指定でき、サーバ上で 3D マイクロラティスによるインソール形状と局所的な硬さをコントロール可能な設計アプリケーションを開発した(図 3)。「eLabo™」で作製したデータをサーバ上で造形スライスデータに変換して 3D プリンタへ送信することで、エッジ端末で 3D デザインしたインソールをリモートで製造可能となる。

### 4. 一貫システムを用いた造形テストと作業性

これらコンセプトをまとめた一貫型システム「eLabo™」を用い、硬さをシームレスに変量してインソールを作製した結果を図 4 に示す。同一のウレタンエラストマーから形成した一体インソールの各部位ごとに、設計に従って異なる硬さを付与できていることが確認できた。

また「eLabo™」を用いた際の作業性改善効果を評価した結果を表 1 に示す。各手法において 4 個のインソールを設計した際の各工程作業時間を評価した。従来の医療インソール設計手法に対して、非対面で製品製造が可能かつ大幅に設計者の作業時間を短縮できた。また、「eLabo™」は 3D-CAD の経験がない作業者が作業を行っても作業時間の変化は見られなかった。その

ため、専用の設計ツールを用いた一貫型造形システムを用いることで、既存 3D-CAD を用いた設計手法に比べ、非熟練者でも簡易かつ短時間で設計作業を行うことができると確認できた。

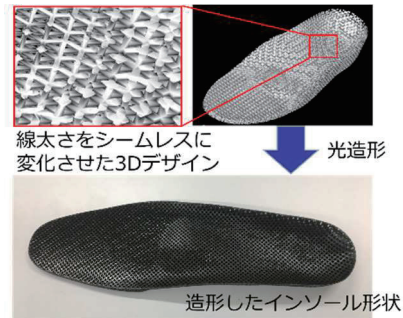


図 3. インソール形状の造形結果[10]

### 5. 結論

足形の三次元データをもとに、設計者が web アプリ上で形状と特性を 2D ベースでデザインした結果を、サーバ上で 3D プリンタ造形用に Architected Material のデータへ変換することで、形状と特性をコントロールした医療インソールの設計・造形が可能な一貫型システム「eLabo™」を開発した。従来の設計手法に対して、「形状」と「特性」を簡易かつ短時間で設計作業を行うことができた。また、非対面で製品製造が可能であることから、ウィズ/アフターコロナの社会環境における遠隔・個別化製造の加速に貢献できるものと考えられる。

表 1. インソール形状の造形結果

工程	従来	3D-CAD/CAM	eLabo
①採型 (10min)	トリッシャム	トリッシャム または 足裏スキャン	トリッシャム
②足型作成	石膏型取り (2hr)	3Dスキャン (5min)	3Dスキャン (5min)
③設計	削り調整 (1hr)	CAD/CAM (30min※熟練者) 設計+データ読込	eLaboアプリ (20min) 設計+データ読込
④作成	成形 (1hr) 貼合+切削	切削または造形 (自動)	※委託 造形 (3Dプリンタ)
⑤仕上げ	表面材貼合、研磨 (30min)	表面材貼合、研磨 (30min)	※委託 研磨 (30min)
⑥フィッティング (20min)	フィッティング (再仕上)	フィッティング	フィッティング
実質作業時間 (採型、フィッティング除く)	4時間30分	1時間	30分

## 参考文献

1. 館野寿丈, “アディティブマニュファクチュアリングによる複雑部品の製作と設計製造の分散化”, システム/制御/情報, 61(3), 2015, pp.95-100
2. 田中浩也, “ファブラボからみる「ソーシャル・ファブリケーション」の可能性”, サービスロジック, 4(1), 2017, pp24-31
3. 浅見豊子, “義肢装具における 3D プリンターの活用” *The Journal of Rehabilitation Medicine*, 54(5), pp392-393, 2017
4. Jorge Barrios-Muriel, Francisco Romero-Sánchez, Francisco Javier Alonso-SánchezD and David Rodríguez Salgado, *Materials*, 13(2), 295, 2020
5. 田中真美, “3D プリンター用のデータ作成”, *日本義肢装具学会誌*, 32(3), pp172-176, 2016
6. Miguel Davia-Aracil, Juan José Hinojo-Pérez, Antonio Jimeno-Morenilla and Higinio Mora-Mora, “3D printing of functional anatomical insoles”, *Computers in Industry*, 95, pp38-53, 2018
7. Zheng Ma, Jiacheng Lin, Xiaoyue Xu, Ziwei Ma, Lei Tang, Changning Sun, Dichen Li, Chaozong Liu, Yongming Zhong and Ling Wang, “Design and 3D printing of adjustable modulus porous structures for customized diabetic foot insole”, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 2(1), pp57-63, 2019
8. 田中正一, 蜂須賀研二, 緒方甫, 大峯三郎, 舌間秀雄, “中敷材・踵材の衝撃緩衝効果” *リハビリテーション医学*, 31(8), pp543-550, 1994
9. 森田淳, 光部貴士, 小松敏, 川瀬領治, 仲谷正史, 田中浩也, “弾性ポリマー材料を用いたラティス構造の力学物性と構造パラメータの関係”, 第28回ポリマー材料フォーラム, 2PD36, 2019
10. 森田淳, 小松敏, 光部貴士, 中村和洋, 川瀬領治, 仲谷正史, 田中浩也, “Architected Materialを用いた感性ベースの構造デザイン手法 -カスタムインソールの3D デジタル設計に向けて-”, *デジタルプラクティス*, 11(2), pp.434-455, 2020