

# 編み物方式3Dプリンタの開発を通じたものづくりの離散化 —もののアップデートを可能にする機械—

## 1. 背景

この10年ほどで3Dプリンタやレーザー加工機、CNC切削機といった工作機械が普及し、これらを用いたものづくりがデジタル・ファブリケーションという名称で呼ばれているが、これは本質的にデジタルなものづくりとは言えない。ここでいう本質的にデジタルなものづくりとは、単に加工機がデジタルに制御されているということではなく、造形された物体そのものがデジタルなものづくりのことである<sup>1</sup>。たとえばFFF方式（樹脂を糸状に溶かして積層する方式）の3Dプリンタであれば、3Dプリンタ自体はデジタルに制御されているが、そこから吐出される樹脂はアナログであり、当然のことながら造形物を元の状態に戻したり（undo）、そこからさらに更新したり（update）することはできない。電気や磁気の信号でデジタルに表された立体形状の「情報」は更新可能であるが、樹脂でアナログにつくられた造形物「そのもの」は更新できないのである。

しかし、この本質的にデジタルなものづくりというものは、編み物という方法で何百年も前に実現されていたのではないだろうか。編み物は糸に、編み目という構造を与えることで1目、2目と数えられるような状態に離散化しているからである。このことで編み物は、必要な目数だけほどいて元の状態に戻したり（undo）、そこからさらに編みなおしたり（update）することができる。また、編み図というビットマップ画像のような形式に抽象化することができ、その編み図を見れば別の人と同じものを再現することもできる（copy）。これらはまさしく、編み物の離散的な性質による特徴だと言える。編み物は1本の連続的な糸だが、編み目という統一された糸のつなぎ方をくりかえすことで、デジタルな性質を得ているのである。

## 2. 目的

前述のとおり、編み物はその構造によって本質的にデジタルだと呼べる性質を有している。しかし、その編み物によってつくることができるのは面で構成された形状のみであり、中実な（中身の詰まった）「かたいもの」は編成できない。

そこで「ソリッド編み」<sup>2</sup>という、編み地を1層としてこれを3Dプリンタのように

<sup>1</sup> Neil Gershenfeld. (2005). Fab: the coming revolution on your desktop--from personal computers to personal fabrication. Basic Books.(ニール・ガーシェンフェルド著, 田中浩也監修, 糸川洋訳(2012)『Fab —パーソナルコンピュータからパーソナル ファブリケーションへ』オライリー・ジャパン)

<sup>2</sup> 廣瀬悠一. 3次元編み機の開発 —ものづくりへの可逆性の付加—. <http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/report/mori/2013/c-022/>（「ソリッド編み」を考案した学生時代に、その内容をまとめたウェブサイト。このときは「3次元メリヤス編み」と呼称している）

積層させることで、中実な物体を編成する手法を考案した。これによって、「靴下をほどいてセーターに編みなおす」と同じように「椅子をほどいて机に編みなおす」ことが可能になる。これを「もののアップデート」と呼んでいる。(図1、2)



図1 ソリッド編み

(a) 3Dデータをボクセル化（直方体の集合に変換）し、(b) スライスされた各層の編み図を生成する。  
(c) その編み図に従ってソリッド編みを行うと元の3D形状を近似できる。

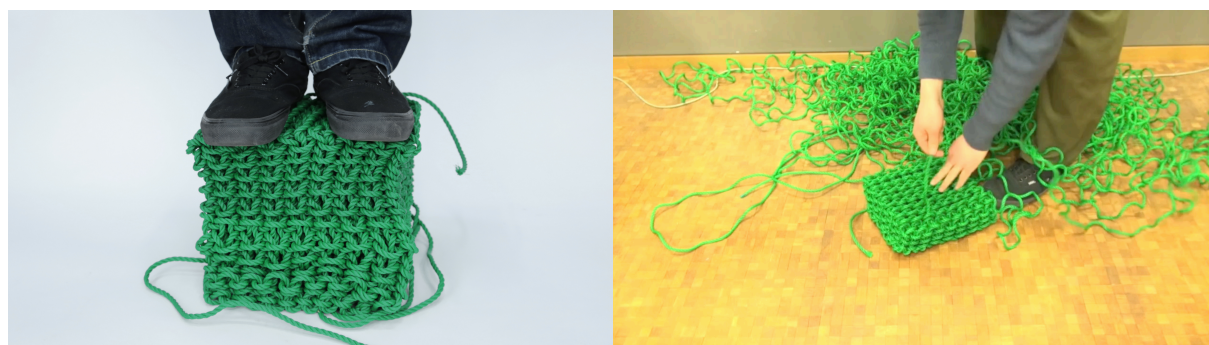


図2 (左)ソリッド編みサンプル (右)引っ張るだけで1本の糸に戻ることができる

ただしここで、手をつかって編むと「もったいなくてほだきたくなくなる」という問題が生じる。ソフトウェアのアップデートが気軽なのは、その作業をコンピュータがすべて行ってくれるからである。もののアップデートも実際には、機械に行わせることが可能にならないと実現したとは言えないだろう。

そこでソリッド編みを自動化する機械「ソリッド編み機」（編み物方式3Dプリンタ）の開発を行った。これによってもののアップデートを実現することが、本プロジェクトの目的である。

### 3. 製品・サービスの内容

未踏実施期間中は、直方体を編成できる試作機の開発を行った。通常の編み機

は、べら針という部品の往復運動によって編み地を編成している<sup>3</sup>。ソリッド編みの場合は、既成の編み地にさらに糸を通して編み地の（高さ方向の）上にさらに編み目を編成していく。（図3）このことから、ソリッド編み機を実現するためには通常のべら針に加えて、編成した編み目を保持しておく機構が必要となる。

そこで、ホルダという部品を開発し、これによって編み目を保持するようになった。またこのホルダとべら針とのあいだで編み目の受け渡しをする必要があるため、それを可能にする部品（ニードル）を既存のべら針を用いて開発した。（図4）

この機構を実現した試作機（図5）では直方体の編成ができ、またメカ・ソフトの微調整を行えば、原理的には角柱形状の編成も可能となる。

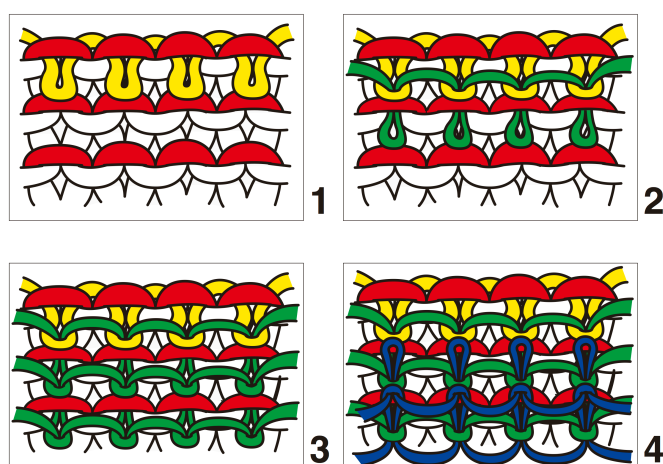


図3 ソリッド編みの構造

(1) 第1層（白・赤）にさらに糸（黄）を掛ける。（2）黄色の編み目と赤色の編み目を同時に編む。同じ層の前の段（黄）と前の層の同じ段（赤）を同時に編むことになる。（3）これをくりかえすと第2層ができる。（4）第3層以降も、第2層と同様に編み目を積層させていく。

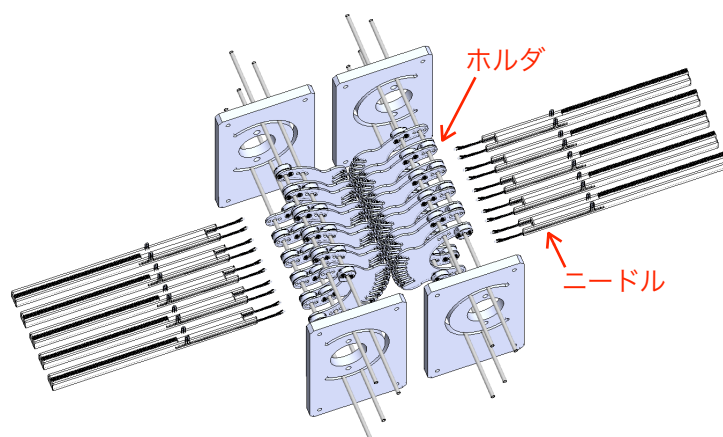


図4 ソリッド編み機の簡易図

<sup>3</sup> GROZ-BECKERT. Loop formation single jersey (animation). [https://d1cl0zbe41h31.cloudfront.net/web\\_video/ani\\_kn\\_01/ani\\_kn\\_01\\_EN/ani\\_kn\\_01\\_FullHD.mp4](https://d1cl0zbe41h31.cloudfront.net/web_video/ani_kn_01/ani_kn_01_EN/ani_kn_01_FullHD.mp4)

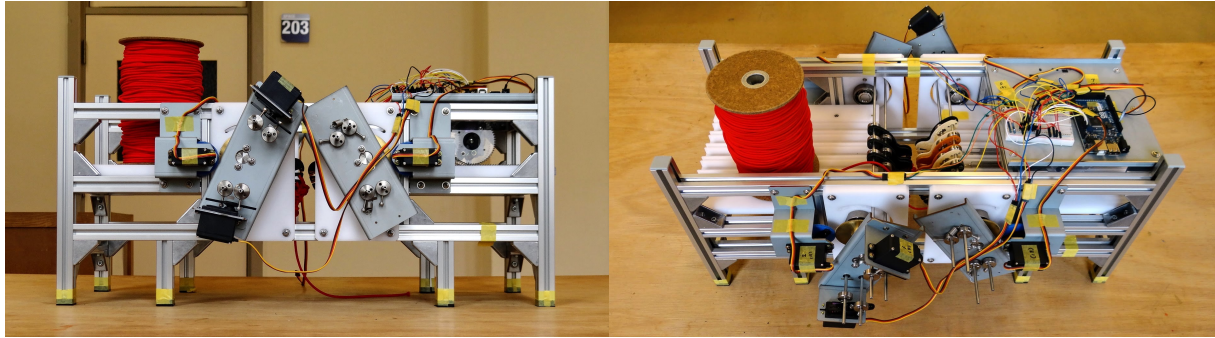


図5 ソリッド編み機の試作機

#### 4. 新規性・優位性

ソリッド編みという編み方の手法自体が筆者独自のものであるため、それを自動化したソリッド編み機は当然、世界で初めて考案および実現されたものである。これは世界初の、中身の詰まった編み物を編成する機械である。

ただし物体を離散化することで本質的にデジタルなものづくりを実現するという発想は、デジタル・マテリアルやプログラマブル・マターと呼ばれる分野の研究にもあった。レゴブロックのように接続したり取り外したりできるモジュールを開発し、その組み合わせで全体の形状をつくろうというものである。

ただしこうした研究で開発されているモジュールは、磁力や摩擦力によって互いを接続しており、当然その力以上の負荷がかかった場合は外れてしまうという根本的な問題を有している。編み物はこうした物理的な方法ではなく、編み目のなかにさらに糸を通して編み目をつくるという幾何学的方法によって形状を構成しているため、ほどこうとしない限りほどけることがない。それにもかかわらず、ほどこうとすると容易にほどけるといいうすばらしい特徴を持つのが編み物という手法である。

さらには専用のモジュールをつくるよりも糸を用いたほうが明らか安価であるし、高解像度な造形を可能にしようとした場合、モジュールを小型化するよりも糸を細くするほうが明らかに容易である。

#### 5. 事業普及（または活用）の見通し

ソリッド編み機を実際に使用できる水準にするためには、細い糸を用いてFFF方式3Dプリンタと同等な解像度・寸法精度を持つ造形物を編成できるようにするか、太い糸を用いて家具などの大きな造形物を短時間で編成できるようにするかのどちらかを達成する必要があると考えている。これらは一人でつくることができる範囲を超えており、企業や組織からの技術的および金銭的支援が必要となる。

そこで未踏アドバンス実施期間中には、PCT国際特許出願を行った。これによって開発した技術内容を問題なく公知させることが可能になったため、今後、企業や



組織にこの技術を売り込む。機械の改良の方向は上記の細い糸による高解像度化か太い糸による大型化か、もしくはまた別のものなのかは、その営業活動のなかで提携先とすりあわせを行う。当然、提携先がどこになるかによってその内容は変わることになるので、その内容の実現可能性も考慮して提携先を決定する。

このライセンス料と共同研究の委託を受けることによる報酬によって、本技術の収益化をめざす。なお法人化に関しては、提携先との契約内容を考慮して決定する（現在は法人化はしておらず、個人事業主として活動している）。

また未踏アドバンス実施期間中には、松田優デザイン事務所<sup>4</sup>と共同でソリッド編みの応用例を考え、最終的にサンダルのデザイン・制作を行った。（図6）これは、上記のライセンス以外にも事業化方法の案を考えるために進めたことだったが、前述の営業活動における広報用素材としても使用していく。

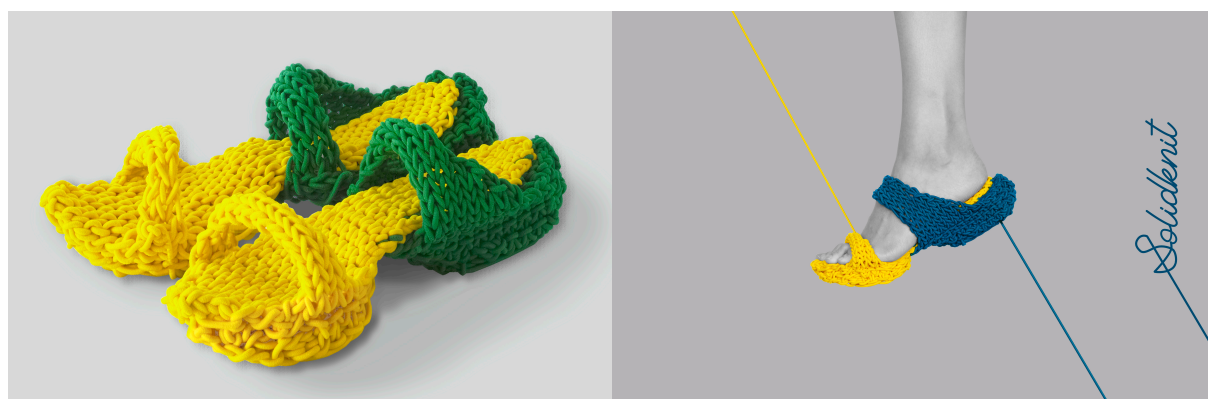


図6 (左) 実制作したサンダル (右) 松田優デザイン事務所作成のキービジュアル

## 6. 期待される波及効果

FFF方式3Dプリンタは、大企業が有していた特許権の存続期間が2009年に終了したところから、オープンソース化やスタートアップ企業の参入、大学での研究などが盛んになり、多様な製品・ソフトウェア・使用方法が誕生し、その分野自体が発展した。これと同様にソリッド編み機も、オープンソース化などの方法によって世界中に共同研究者や仲間、ファンを増やすことができないかと考えている。機械の開発に関しても技術の応用に関しても、参与する人数が増えたほうが多様なアイデアが生まれるはずである。それによって「このために自分はソリッド編み機をつくってきたのか」と思えるような応用例に出会える日が来ることを期待している。

## 7. イノベータ名（所属）

廣瀬 悠一（フリーランス）

<sup>4</sup> 松田優デザイン事務所. <http://www.yumatsuda.com/>