

即興的モノづくりのための インタラクティブなファブリケーション技術

寛 康明

1. オンサイトでオンデマンドな即興的モノづくり

デジタルファブリケーションと呼ばれる、モノづくりの新しい道具や環境およびコミュニティの創世が注目されて久しい^[1]。3Dプリンタやレーザーカッターなど工作機械を介してデジタルデータを実体化し、逆に実体の形状等をデジタルデータとしてコンピュータに取り込むなど、デジタルとフィジカルの環境を行き来するのがデジタルファブリケーションの醍醐味である。

この中で、これからのモノづくりは大量生産大量消費のモデルから、ニーズを多様に反映する多品種少量生産へと向かうと言われる^[1]。そこでは、事前に大量に製造されたものから気に入ったものを選び手に入れるという従来の流通形態から、個々の状況やニーズに基づいて必要なものを必要なだけ（オンデマンドで）作るという方向へとシフトする。さらに、その状況

やニーズ自体が刻々と変化することを踏まえると、今・その場で作るという、より即興的なオンサイトファブリケーションの重要性が高まると考える。HCI（Human Computer Interaction）の領域では、従来のデジタルファブリケーション装置に加えて、現場の空間や既存のオブジェクトに合わせてモノを作るためのツールや持ち運べる工作装置など^{[2][3][4]}が提案されている。建築分野でも、吉村がポストファブリケーションという言葉で、プレファブリケーションとの対比の中でオンサイトでのモノづくりの重要性を説いている^[5]。

これらの背景の上で、本稿では、状況やニーズに合わせてその場でものを作るというオンサイトでオンデマンドなモノづくりを「即興的モノづくり」と呼び、これを推し進めるためのファブリケーション技術のあり方を考える。

2. 即興的モノづくりを可能にするための技術

2.1 造形プロセスの時間短縮

現場で即興的にモノをつくるという中で、まず造形プロセスにかかる時間短縮は欠かせない。例えばデジタルファブリケーションの代表

的工作機械である3Dプリンタは、一般的なものであれば手のひらサイズの物体を出力するのに未だ数～十数時間の時間を要する。これを短

縮できれば現場の限られた時間の中で試行錯誤の回数を増やすことが可能になる。

HCI 分野における先駆的な取り組みとして、Mueller らは Low-Fi Fab と称して、この問題に取り組んでいる。これは文字どおり粗く作る部分と丁寧に作る部分を切り分けながらプロトタイプする手法である。具体的には、手作業によるブロックで構成されるパーツと 3D プリンタで出力されるパーツを組み合わせる^[6]、3D プリントにおいてワイヤフレームのみで出力する部分ときちんと面や中身まで出力する部分を切り分ける^[7]などの手法が代表的である。

上記の取り組みは既存の 3D プリンタの出力時間を短縮するための工夫である。もちろん 3D プリンタ自体の機材としての性能改良の試みも続いており、数十分というオーダーで高速に物体が出力できるものも出てきている。その上で、筆者らのグループでは、既存の 3D プリンティングの方法にとらわれず、ディスプレイ

に映像を表示するように、物体を瞬時に出力できるようにする未来を見据え、新たなモノづくり手法やモノとの関わり方を思索したいと考えている。そして、それをプロトタイプするために我々のグループでは独自のアプローチで造形時間の短いファブリケーション手段の提案を行ってきた。

その中の例としてまず、山岡と開発した ProtoMold^[8](図 1) は、バキュームフォーム(真空成型)という造形手法に注目し、コンピュータ的に形状制御されるピンアレイを型(モールド)として用いる。従来の真空成型は型自体を造形するのに 3D プリントと同様の時間がかかるため、多様な形状を試作するという用途にはあまり適していない。しかし、本システムでは動的なピンアレイと組み合わせることで形状を即座に変更し、かつ真空成型の特徴を活かし数秒でプラスチック板に 2.5 次元の形状を刻むことができる。



図 1. ProtoMold

鈴木らを中心に研究を進める立体造形装置 Dynablock^[9] は、物理的で離散的な多数のボクセルを用いて、それらの結合・非結合を制御することで大きなオブジェクトを構成するという手法を用いる(図 2)。同様のアプローチを

取る先行研究も存在するが^([10] [11] など)、本システムはブロック自体に機械的・電氣的な仕掛けが要らない点、装置がスケラブルに構成できる点、造形が数十秒程度から可能であるという点が特徴として挙げられる。ブロック同士は各

面に取り付けられた磁石を利用して接合し、ステージ内部に多数配されたピンにより個々のブロックを押し出し、組み立てていく。さらに、

一度組み立てたオブジェクトを再度切り離してステージ内部のブロック群へと戻すこともできる。詳細については文献^[9]を参照されたい。

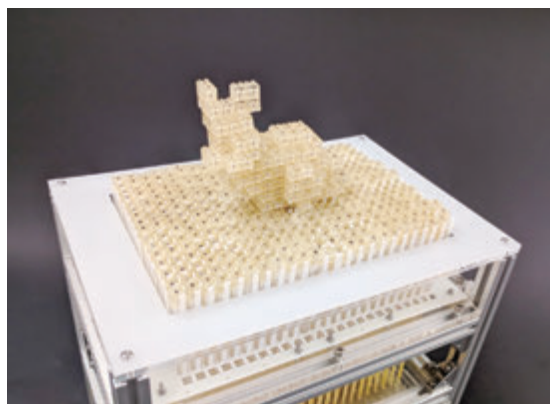


図 2. Dynablock

2.2 インタラクティブ設計と素材循環

上で紹介した装置は、ピンアレイの解像度やブロックの数などその精細さという点では未だ改良の余地を残しているが、数秒～数十秒程度の時間で実際に立体的なモノが出来上がるという体験は新鮮であり、これらの装置の応用の可能性は広いと考えている。一方で、即興的なモノづくりを展開するには、造形のみならず設計や材料の手配などにかかる手間や時間も減らし、またオンサイトならではの空間性や身体性、素材、時にはユーザーの手作業などもうまく設計の過程で活かすような工夫が必要になる。

設計に関しては、既存のCADの多くはGUIベースで、設計は画面の中、造形は機械の中というように空間的にも時間的にも工程が分かれることが多い。これに対し、WillisらのInteractive Fabrication^[12]は工作機械と直接的にインタラクションし、設計と造形のプロセス

を重ねる手段を提案し、HCI分野に多くのインスピレーションを与えた。上述した筆者らの研究でも直接的なインタラクションを考慮に入れた設計をしており、例えばProtoMoldでは既存のオブジェクトやジェスチャなどを用いた身体的・物理的なインタラクションを通じた設計が可能である。特に、今後造形装置のさらなる高速化が進むことで、ユーザと機械のみならず、ユーザと素材とのリアルタイムで直接的なインタラクションの設計も興味深い研究対象となる。

また、即興的なモノづくりにおいて高速なプロトタイピングを展開するにあたり、材料の廃棄を減らし、再利用を可能にする素材循環の設計も重要な課題である。Dynablockではブロックという分解回収可能な機構を採り、ProtoMoldでは材料自体の熱可塑性を用いて一度成型した

プロダクトを平らなシートの状態に戻すことができる。これらによってプロダクトとマテリアルの間は可逆的になり、必要な時に必要な形を

作り、その後また戻すというサイクルが促進される。

3. まとめと今後の展望

本稿では、デジタルファブリケーションの隆盛と共にその場で即興的に作るモノづくりの必要性の高まりを論じ、それを支える、高速な造形、直接的インタラクション、そして素材循環性を持つファブリケーション技術について筆者の研究室のプロジェクトを例に議論した。

この数年新たに注目を集めるのが、プログラマブルマター (Programmable Matter)、あるいはアクティブマター (Active Matter) と呼ばれる領域である。これらは、形態や機能をプログラム可能な方法で意図的に変えることができる物質、およびそれに関連する科学・工学・デザインを中心とした研究領域である^[13]。本稿でテーマにした、即興的なモノづくりも、突

き詰めていけば新しい素材としてのプログラマブルマターの実現形態・応用領域の一つだと位置付けられる。今回は形状の即興的な変更についての議論が主であったが、筆者らのグループでは他にも、動的に色や硬さ、形を変化させる素材の研究を進めている。機械・ソフトウェア・材料・デザインなどそれぞれのアプローチでの検討を学際的にうまく取り込みながら研究を進めることで、モノの多様な要素を動的に変化させ、さらには新しい作り方・使い方・表現を含めたモノの価値やそれにまつわる新たな体験価値を開拓する取り組みへとつなげていきたいと考えている。

謝辞

本稿で紹介した筆者の関わる研究プロジェクトは JST ERATO 川原万有情報網プロジェクトの支援を受けたものである。山岡潤一氏、鈴木遼氏などをはじめ、共同研究者に感謝する。

参考文献

- [1] Neil Gershenfeld. 2007. Fab : The Coming Revolution on Your Desktop--From Personal Computers to Personal Fabrication. Basic Books, Inc., New York, NY, USA.
- [2] Harshit Agrawal, Udayan Umapathi, Robert Kovacs, Johannes Frohnhofen, Hsiang-Ting Chen, Stefanie Mueller, and Patrick Baudisch. 2015. Protopiper : Physically Sketching Room-Sized Objects at Actual Scale. In Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology (UIST '15) . ACM, 427-436. DOI : <https://doi.org/10.1145/2807442.2807505>
- [3] Huaishu Peng, Amit Zoran, and François V. Guimbretière. 2015. D-Coil : A Hands-on Approach to Digital 3D Models Design. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15) . ACM, 1807-1815. DOI : <https://doi.org/10.1145/2702123.2702381>
- [4] Thijs Roumen, Bastian Kruck, Tobias Dürschmid, Tobias Nack, and Patrick Baudisch. 2016. Mobile Fabrication. In Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '16) . ACM, 3-14. DOI : <https://doi.org/10.1145/2807442.2807505>

org/10.1145/2984511.2984586

- [5] 吉村靖孝, 林厚見: 「ポストファブ리케이션」とそのデザイン, <http://10plus1.jp/monthly/2017/05/issue-01.php> (2019年1月31日確認)
- [6] Stefanie Mueller, Tobias Mohr, Kerstin Guenther, Johannes Frohnhofen, and Patrick Baudisch. 2014. faBrickation: fast 3D printing of functional objects by integrating construction kit building blocks. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, 3827-3834. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557005>
- [7] Stefanie Mueller, Sangha Im, Serafima Gurevich, Alexander Teibrich, Lisa Pfisterer, François Guimbretière, and Patrick Baudisch. 2014. WirePrint: 3D printed previews for fast prototyping. In Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '14). ACM, 273-280. DOI: <https://doi.org/10.1145/2642918.2647359>
- [8] Junichi Yamaoka and Yasuaki Kakehi. 2017. ProtoMold: An Interactive Vacuum Forming System for Rapid Prototyping. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17). ACM, 2106-2115. DOI: <https://doi.org/10.1145/3025453.3025498>
- [9] Ryo Suzuki, Junichi Yamaoka, Daniel Leithinger, Tom Yeh, Mark D. Gross, Yoshihiro Kawahara, and Yasuaki Kakehi. 2018. Dynablock: Dynamic 3D Printing for Instant and Reconstructable Shape Formation. In Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '18). ACM, 99-111. DOI: <https://doi.org/10.1145/3242587.3242659>
- [10] 関島 慶太, 増田 恒夫, 田中 浩也. 2015. デジタル・マテリアルを用いた分解組立可能な立体形状試作システム, 日本VR学会論文誌, 20巻, 2号, p. 97-105. DOI: https://doi.org/10.18974/tvrsj.20.2_97
- [11] J. W. Romanishin, K. Gilpin, S. Claici and D. Rus. 2015. 3D M-Blocks: Self-reconfiguring robots capable of locomotion via pivoting in three dimensions, 2015 *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 1925-1932. doi: 10.1109/ICRA.2015.7139450
- [12] Karl D.D. Willis, Cheng Xu, Kuan-Ju Wu, Golan Levin, and Mark D. Gross. 2010. Interactive fabrication: new interfaces for digital fabrication. In Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction (TEI '11). ACM, 69-72. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1935701.1935716>
- [13] Thomas A. Campbell, Skylar Tibbits, Banning Garrett. 2014. The Next Wave: 4D Printing - Programming the Material World, Brent Scowcroft Center on International Security, Atlantic Council, http://www.atlanticcouncil.org/images/publications/The_Next_Wave_4D_Printing_Programming_the_Material_World.pdf



寛 康明 (かけひ・やすあき)

[生年月] 1979年10月5日

[専攻領域] コンピュータ・ヒューマン・インタラクション、現実拡張、メディアアート

[主たる著書・論文]

仲谷 正史, 寛 康明, 三原 聡一郎, 南澤 孝太: “触楽入門 - はじめて世界に触れるときのよう”, 朝日出版社, (2016)

J. Yamaoka, R. Niiyama, and Y. Kakehi. 2017. BlowFab: Rapid Prototyping for Rigid and Reusable Objects using Inflation of Laser-cut Surfaces. In Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '17). ACM, 461-469.

V. Kan, E. Vargo, N. Machover, H. Ishii, S. Pan, W. Chen and Y. Kakehi. 2017. Organic Primitives: Synthesis and Design of pH-Reactive Materials using Molecular I/O for Sensing, Actuation, and Interaction. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17). ACM, 989-1000.

[所属] 情報学環 先端表現情報学コース / 文化人間情報学コース 准教授

[所属学会] ACM、日本バーチャルリアリティ学会、ヒューマンインタフェース学会