

解 説

4D and Functional Printing
—次元を超えた新しい価値の創造—

藤井 雅彦*

(2019.6.9 受理)

4D and Functional Printing
—The Creation of New Values beyond Dimensions—

Masahiko FUJII*

4DFF2018 (Conference on 4D and Functional Printing 2018) was held on October in 2018 and special interest group '4DFF Research Group' was established on this April. Both of the conference and the research group target 'Researches and Developments aiming to create new values beyond existing 3-dimensional fabricating or presenting technologies'.

In this paper, the definition of 4D 'Printing' strongly linking with the scope of the research group is considered. And policies or concepts involving activities of the research group are described.

Keywords: 4D Printing, Value creation, Biomimetics, Database of functions

「これまでの3D造形・再現技術を超えていく新しい価値創造を目指した研究・開発」をスコープとしたコンファレンス4DFF2018 (Conference on 4D and Functional Printing 2018) を昨年10月に開催し、この研究領域を継続的に支える4DFF (4D and Functional Fabrication) 研究会を今年4月に設立した。

本稿では4DFF研究会のスコープに関わる「4D Printing」や、今後の4DFF研究会の活動につながる筆者の考えを述べたい。

キーワード：4D Printing, 価値創出, 生体模倣, 機能データベース

1. はじめに

第3次3Dプリンタブームは去ったといわれる。ガートナーが毎年発表する新興技術 (Emerging Technologies) に関するHype Cycle¹⁾からも2016年に3Dプリンタは消えた (Fig. 1)。たしかに家庭用の3Dプリンタ (Consumer 3D Printing) は消える前年、幻滅期 (Trough of Disillusionment) に入っており、まさにブームが去ったという表現は間違いではない。それは消費者やマスメディアの不十分な理解に基づく“3Dプリンタは何でも作れる夢の装置”といった過度な期待と、材料範囲や造形コスト、(欲しい) 3Dデータの作成の困難さといった現実とのギャップが生み出した結末でもある。

一方、3Dプリンタ (Additive Manufacturing) のものづくりへの活用 (Enterprise 3D Printing) は、2015年には回復期 (Slope of Enlightenment) に入っており、ブームが去ったので

はなく、従来加工技術 (切削加工, 射出成形) より優れた特徴 (型不要=短納期/カスタマイズ容易, データによるデリバリー可など) を活かして、着実にものづくりに根付きつつある現状は、Hype (誇大広告) でないと解釈されたのだと考える。

こうした従来加工技術より優れた3Dプリンタの特徴だけで

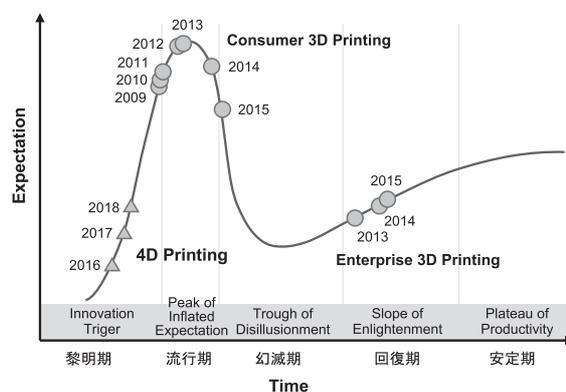


Fig. 1 The Positions of 3D/4D Printing in Hype Cycle for Emerging Technologies.¹⁾

* 富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部

〒220-8668 神奈川県横浜市西区みなとみらい6-1

* Research & Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

6-1, Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa 220-8668, Japan

なく、3Dプリンタでしか出来ない造形、例えば複雑な内部構造の実現や異なる材料の混ぜ合わせ、フルカラー化、さらにこれらの手法により立体物に機能を付加する研究領域が本来注目されるべきであり、今後3Dプリンタを活かす重要な研究領域と考えた。この研究領域の活性化と発表・議論の場の提供、研究者のネットワーク形成のため、2018年10月にConference on 4D and Functional Printing 2018 (4DFP2018)を開催した。ここでは基調講演のほか11件の研究テーマ、11件のショーケース(技術展示)が発表され、約150名の参加者があった。

4DFP2018の発表内容や議論から、改めてこの研究領域のスコopを「これまでの3D造形・再現技術を超えていく新しい価値創造を目指した研究・開発」と定めた。さらに、継続的にこの研究領域を支えるため、今年の4月に日本画像学会内に4DFF研究会(4D & Functional Fabrication 研究会)を設立した(代表：慶應義塾大学教授田中浩也、運営委員長：藤井雅彦)。

日本画像学会誌240号では、4DFP2018での発表や、4DFF研究会のスコopに関連するテーマについて7人の方に研究内容や関連技術を紹介していただく。これにより、学会員のみならずには新しい研究領域の内容や、この領域への日本画像学会の取り組みを知っていただき、今後の4DFF研究会の活動(コンファレンス、電子ジャーナル等)に積極的に参加していただきたいと考える。

具体的な取り組み(研究テーマ)例の紹介は7人の執筆者に任せ、本稿では4DFF研究会のスコopに関わる「4D Printing」に関する筆者の考えや、今後の4DFF研究会の活動内容を紹介する。

2. 4D Printing とは

定義があいまいではあったが「4D」あるいは「4Dプリンタ」という言葉は以前からあり、4番目の次元は「時間」という説明をどこかで聞いたこともあるだろう。2013年にMIT(Massachusetts Institute of Technology)のSkylar TibbittsがTED(Technology Entertainment Design)で、「The Emergence of “4D printing”」というテーマで登壇し、3次元形状の時間変化を意図してデザインするSelf-Assembly(自己構築)を提唱し²⁾、研究領域としての4D Printingを紹介した。国内では慶應義塾大学の田中浩也教授が、DfAM(Design for Additive Manufacturing)の探求や、その社会実装に取り組み、4D Printingに関する多くの提案と実践を行なってきた。また4DFP2018の他、4DMS(International Conference on 4D Materials and Systems)や4D Printing & Meta Materials Conferenceといった「4D」を名前に付けたコンファレンスも開催されるようになり、学術的にも注目されるようになってきている。

ここでの4D Printingの定義は必ずしも一致していないが、共通する解釈として、時間や物理・化学刺激(熱や、電磁気力など)により、変化する3D形状を作り出すこと、あるいは新規な物性を実現する3D形状を造形することである。

いかなる要因に拠ろうとも、3D形状を変化させる、あるいは新しい物性を作り出すことは、それらによりなんらかの機能

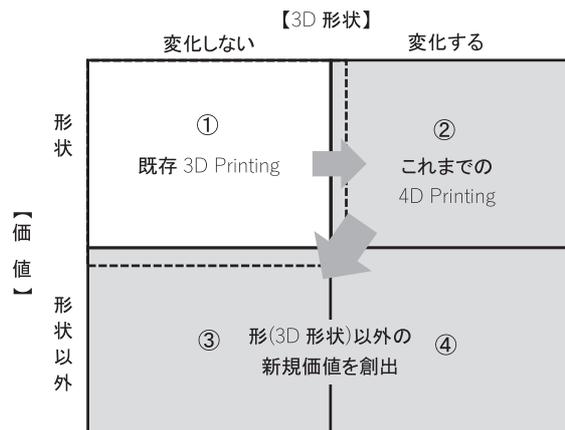


Fig. 2 The portfolio for the definition of 4D Printing.

を実現することを目指していると考えられる。さらに機能の実現は、定まった形状が提供する(形としての)価値とは異なる新規な価値を創出することを狙っているはずである。そこでこの新しい価値創出こそが4番の次元と考え、4DFF研究会のスコopに定めた。つまりFig. 2に示すように、従来の4D Printingとして(なんとなく)捉えられていた②の象限だけでなく、形状以外の価値創出が可能な③や④の象限まで4D Printingを広げ、定義した。本稿以降に記載される4D Printingのテーマや実例が、このポートフォリオのどこに位置しているのかも、併せて考えていただきたい。

3. 4D デザイン (モデリング) のための提案

立体物の3D構造だけでなく、所望の機能を実現させるための内部構造、材料配分、そこで期待する物理・化学反応を体系的にまとめ、効率的にモデリングを行なうことは、4D Printingにおいて重要な研究領域であり、今後の4D Printingの進展(価値の創出)に大きな寄与が期待できる。様々な機能の一部、例えばメタマテリアルとしての負のポアソン比を実現する構造を自動的に計算する手法を見つけ出し、実際に3Dプリンタで造形した研究例などはあるが³⁾、様々な要因、メカニズムが絡み合う複雑系の4Dデザインをまとめることは非常に難しい。

3Dプリンタの活用においても同様のモデリングの課題は存在している。現在多くの3Dデータは3D CADにより作成されているが、3D CADを使う設計者は機能を実現するための3D形状デザインを行なう際、最終的な製造手段(射出成形や切削加工)のデザインへの制約を当然考慮している(例えば型が抜けるか、切削の刃が届くかなど)。しかしこれらの制約を取り扱う3Dプリンタ、すなわち複雑な内部構造が実現でき、異種材料の混合も可能になった製造手段が登場した今、長年従来製造手段の制約の下でデザインを行なってきた設計者が、これら3Dプリンタの性能をフルに活用したデザインを行なう(考え方を交換する)ことは容易ではない。このためDfAM習得の必要性が広く認識され、初等教育から3D空間でのモデリングなどに触れるいわゆるSTEM教育(Science, Technology, Engineering and Mathematics教育)の導入が必要とされている。

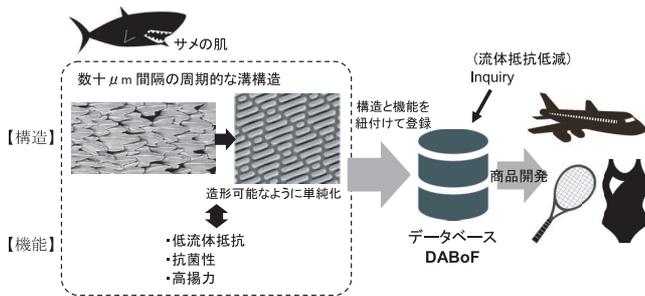


Fig. 3 Database of Functions linked with Structures [DABoF].

(An example of application for 3D Printing is shown here.)

3つの次元、すなわち 3D Printing でさえこのような状況であり、さらに多くの要因やメカニズムが加わる複雑系の 4D Printing のモデリングが効率よく進められる環境が整うのは、さらに時間がかかると予想される。

一方、自然界には比較的単純なメカニズムで、4D Printing のモデリングに適用できる複雑な課題を解くヒントを持つものが多い。例えば食虫植物であるハエトリグサの捕食動作（メカニズム）を解析し、マルチ材料が使える 3D プリンタでこれを再現した例がある⁴⁾。このように Biomimetics（生体模倣）を活用し、自然界で見られるユニークな機能とそれを実現する構造、材料、メカニズムを紐付け、データベース化し利用することを提案する。

Fig. 3 は利用シーンの 1 例を示している（この例は 3D Printing での活用を示している）。サメの表面（鱗）構造は、低流体抵抗や抗菌性を持つことが知られている。また、鱗形状が高い揚力を持つことも明らかになっている⁵⁾。これらサメの表面構造が持つ機能のうち、低流体抵抗という機能を商品開発に活用したい場合、このデータベースに登録されている各種機能に紐付けられた構造（造形可能な単純化された構造）を探し、使用することができる。4D Printing の場合には、機能に紐付けられるのは構造だけでなく、材料分布や物理・化学メカニズムなどが加わる。このデータベースを DABoF (Database of Function) と呼ぶ。多くの事例を集めるために、様々な領域の研究者、企業の参画によりこのデータベースをオープン化して構築すべきである。そして黎明期にある 4D Printing では、このようなデータベースをモデリングに利用し、様々な応用を広げ実績を積んでいくべきである (**Fig. 4**)。

構造データ（3D 形状データ）に、材料分布やメカニズムに関する 4D Printing に必要な情報を、1つのデータ形式として流通、活用するためには、これらの情報を保持できるデータ形式が必要である。主に外形に関する情報を保持するメッシュベースの既存の 3D データフォーマットではなく、形状以外に、材料情報、色情報、隣接ボクセルとの相互関係や、ユーザーが独自に定義できる属性など、多くの情報を保持できるボクセルベースのデータフォーマット FAV⁶⁾の利用が有効だと考える（FAV については、本稿の後の記事を参照していただきたい）。

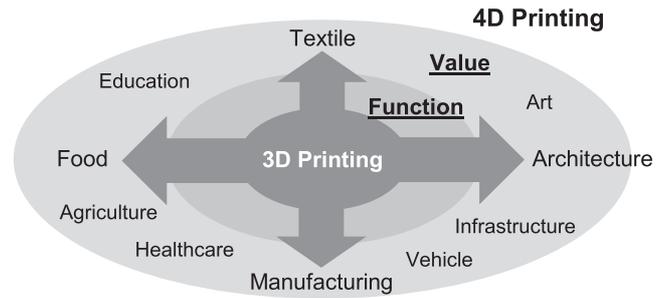


Fig. 4 Applications (value creations) of 4D Printings.

4. おわりに

我々の住む世界は 3D であり、この世界で定義した 4D Printing の事例の多くは 3D Printing 技術を用いて実現されている。4 番目の次元にこれまでの技術を超越した SF 的な夢を込めたい期待も理解できるし、黎明期にあるこの技術を次のステージに進めるために、この期待を利用するのも必要かもしれない。しかし、Consumer 3D Printer をもっと活用できるチャンスを得る間もなくブームとして扱われてしまったように、4D Printing への過度な誤った期待は有望な技術の着実な前進を阻害する危険性もある。

とはいえ 4D Printing は 3D Printing の単純な延長線上にあるものでもない。機能を発揮させるためのモデリング、そしてこれら機能による形状以外の新規価値創出は、これまでの 3D での思考からの大きなジャンプを必要とする。すなわち次元を超えた価値創出を行なうために、4DFF 研究会はこの領域に関する研究成果の発表・議論、知見共有の場を提供する役目を果たさなければならない。

4DFF 研究会は、第 2 回目となる研究発表の場であるコンファレンス 4DFF2019 を 10 月 10 日に東京で開催する。昨年と同様、口頭発表だけでなく、実物を展示して価値を訴求するショーケースも実施する。詳しくは 4DFF 研究会の WEB サイト (<https://sig4dff.org>) を参照していただきたい。また、より広く研究成果の価値を訴求し知見を共有するために、2020 年からは 4DFF のスコープについてのオープンアクセスの電子ジャーナルを発行する予定である。ぜひともこの新しい領域に期待をしていただくとともに、この活動に加わっていただきたいと考える。

参考文献

- 1) Gartner 2018 Press Release, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018>, (accessed 2019-06-10).
- 2) S. Tibbitts, "Self-Assembly Lab Experiments in Programming Matter," Taylor & Francis Group (2016), pp. 1-16.
- 3) D. Chen et al., "Computational discovery of extremal microstructure families," *Science Advances*, **4**, eaao7005 (2018).
- 4) Y. Jiang et al., "Bifurcation-based embodied logic and autonomous actuation," *Nature Communications* (2019).
- 5) A.D. Domel et al., "Shark skin-inspired designs that improve aerodynamic performance," *Journal of The Royal Society*

Interface, **15**, 20170828 (2018).

- 6) T. Takahashi, A. Masumori, M. Fujii, and H. Tanaka. "An Internal Structure Attributes Provided by Voxel-based 3D Data Format FAV (Fab-able Voxel)," Proceeding of Imaging Conference Japan 2016, 33 (2016) [in Japanese].



藤井 雅彦

1985年山口大学大学院理学研究科（応用物理）修了。1985年富士ゼロックス（株）に入社。同年から連続噴射型インクジェットプリンタのインク滴飛翔制御の研究。1989年より研究、技術開発、商品開発部門でサーマルインクジェットプリントヘッドの研究・開発に従事。現在、研究技術開発本部にて、インクジェットシステム技術の研究、3Dプリンタ含むインクジェット技術応用、3Dデータハンドリングに関する研究に従事。2016年に新しい3DデータフォーマットFAVを慶應義塾大学と共同で発表。2019年Johann Gutenberg Prize 受賞。日本画像学会理事、インクジェット技術部会主査、DF技術部会委員、国際交流委員会委員長、4DFF研究会運営委員長、IS & T NIP31 (2015) General Chair, IS & T Vice President。慶應義塾大学SFC研究所上席所員、inkcube.org 代表。