

『実際の造型過程を考慮した形状最適化』 中島一崇

——手間に着目したモノづくり簡略化——

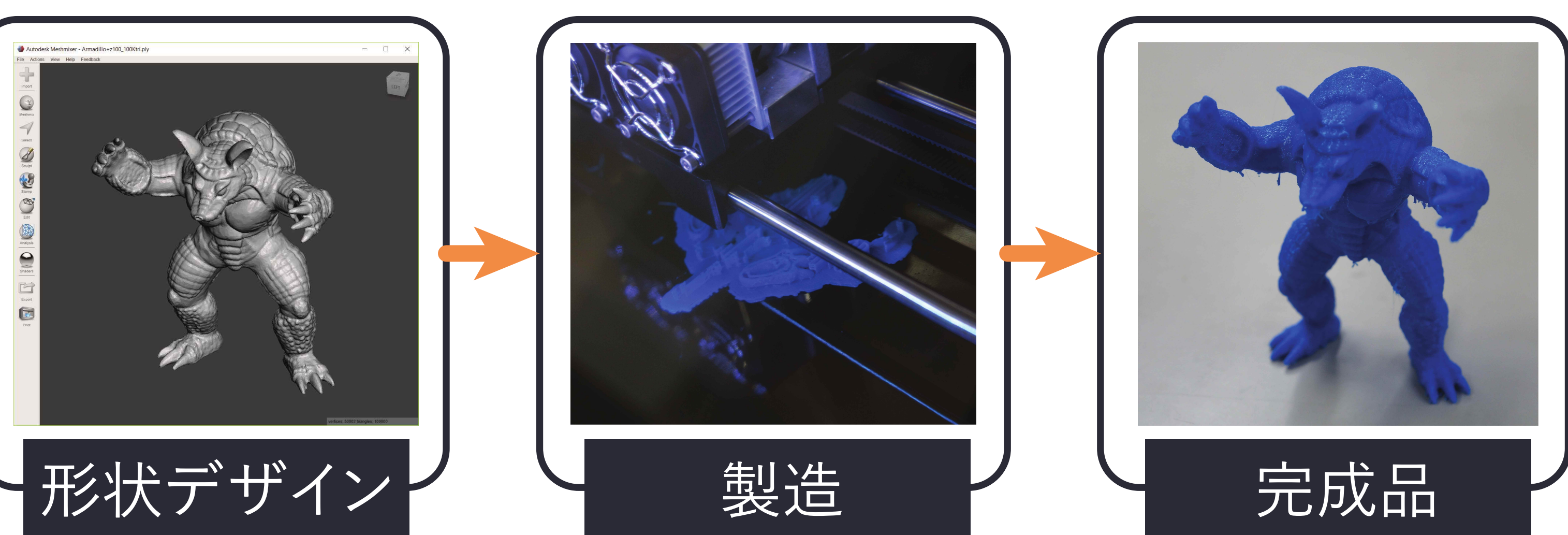
解決したい問題は？

デジタルファブリケーションは(1)3Dモデリングソフトウェアなどを用いて形状をデザインする (2)3Dプリンタなどの造型デバイスを利用して製造する (3)最終的な完成品を得るという手順で行われます。

しかし、実際は造型デバイスによる製造の前後で様々な『手間』が生じてしまいます。手間の具体例としては、完成品が十分な強度を持ち、壊れる事が無い事を保証するため、3Dプリントの前に『パーツが十分な太さ・厚さを持っているか確認する』前処理の手間が挙げられます。他にも、3Dプリントの後にサポート材を除去し、必要ならば完成品の表面をヤスリで磨くという後処理の手間も挙げられます。

こうした手間のせいで、デジタルファブリケーションを行うには前・後処理のための余計な時間が必要となっており、作業のための人出まで必要となってしまうています。

私は、このような手間を最小化する事を通じて、デジタルファブリケーションを全体として考えた際のボトルネックを取り除くことを目指して研究を行いました。



この問題を解決すると何が嬉しい？

実際の造型に伴う手間を削減することができれば、デジタルファブリケーションがより手軽なものになります。これによって、より多くの人々がデジタルファブリケーションに親しむことが出来るようになりますと期待しています。

学術研究の世界でも、ここ数年、デジタルファブリケーションに関する研究は活発に行われています。しかし、研究の世界では製造にあたっての手間を無視してしまっているため、残念ながら最先端の技術が産業界にまで普及しているとはいえないです。仮に手間の最小化を行うことが出来たならば、今まで研究の世界に留まっていた最先端の研究成果をより広く社会に還元する手助けが出来ると考えています。

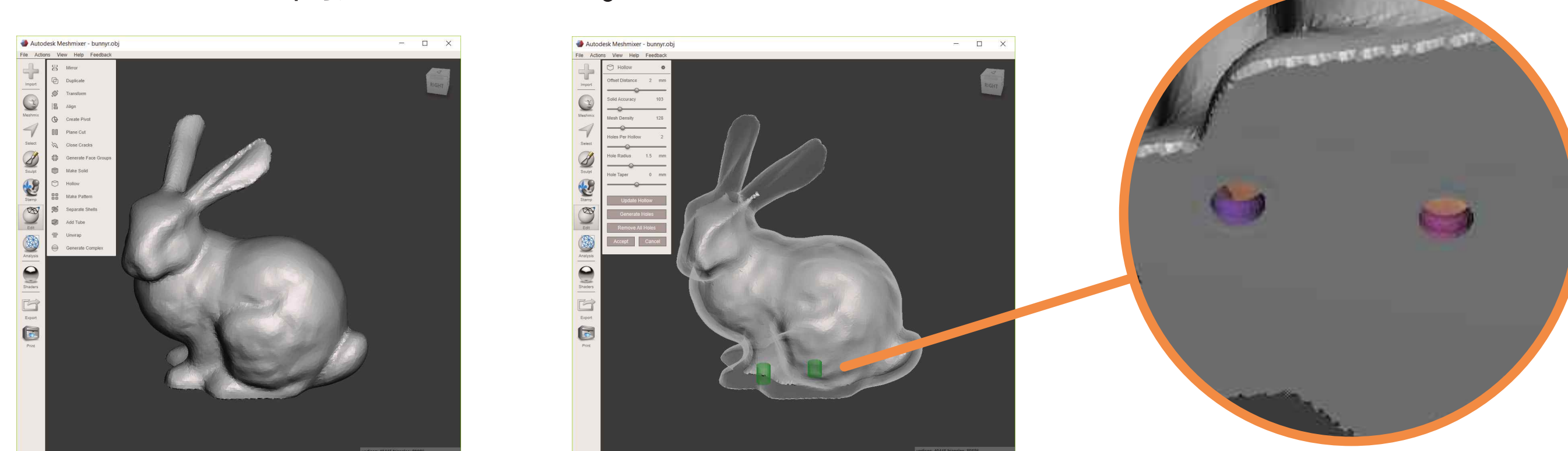
このように、私はこの研究を通じて、個人から産業まで、幅広い人々のデジタルファブリケーションを手助けすることを目指しました。

1年4ヶ月の成果

今回、具体的な研究として、石膏粉を利用するタイプの3Dプリンタ(SLSプリンタ)における手間の最小化を目指しました。

3Dプリントでは使用するマテリアルを削減し、コストを抑える目的で対象となる三次元形状の内側をくり抜くというテクニックが一般的に用いられます。家庭用3Dプリンタとしても普及している溶解した樹脂を積層するタイプの3Dプリンタ(FDMプリンタ)ではくり抜いた内部にインフィルと呼ばれる柱構造を導入することでプリントを行います。石膏粉を利用するプリンタの場合はインフィルすら不要というメリットがあります。

しかし、石膏粉プリンタの場合は石膏粉を再利用するため、内部空洞に残る固化されていない粉末を取り出し、回収する必要があります。このため、3Dプリントを行う前処理として、粉を排出するための排出口を配置する必要があります。今現在、排出口はデザイナーが手作業で配置していますが、粉がきちんと排出されるかといった性能保証が出来ていないという問題があります。



排出口は、(1)3Dプリント後に目立たず三次元形状の見栄えを損ねない (2)内部空洞に残る粉を効率よく排出することができる という2つの特徴を備えている必要があります。そこで、排出口位置の最適化のため、それぞれの特徴を定量的に測る指標を導入し、それらの指標を総合して最適な排出口位置を決定することにしました。

(1)三次元形状の見栄えに関する指標

三次元形状のどの部分が人の注目を引くかという研究は既に数多く行われている [1, 2] ことがわかりました。そこで、今回はそのような既存研究を直接的に見栄えに関する指標として利用することにしました。

(2)粉の排出性能に関する指標

見栄えに関する指標と異なり、粉の排出性能に関しては既存研究がほとんど無いため、独自の指標を提案することにしました。粉体の物理シミュレーションは非常に難しいため、正確な物理シミュレーションを行うことは避け、大域照明の計算で利用されるラジオシティ法という手法を応用することで粉の排出性能を近似することにしました(詳細はポスター下部を参照)。

また、特許出願の都合で今回の発表では扱っていませんが、型による造形(モールドイング)に関する研究も行いました。

粉体の難しさ

粉体は気体や液体といった流体とは大きく異なった物性を持っています。例えば、粉体は高い場所から静かに自由落下させた場合、円錐状に堆積します。この円錐のかたちは『安息角』と呼ばれる、物質ごとに異なるパラメータに依存して決定されています。

このことから、気体や液体といった流体のシミュレーションで利用されているような最先端のアルゴリズムを利用することが出来ず、粉体はそれ専用のシミュレーションアルゴリズム[3]が必要となります。しかし、このようなシミュレーションは計算コストが非常に高いため、今回の研究目的にはそぐわないものになってしまっています。



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Angleofrepose.png> より引用
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>

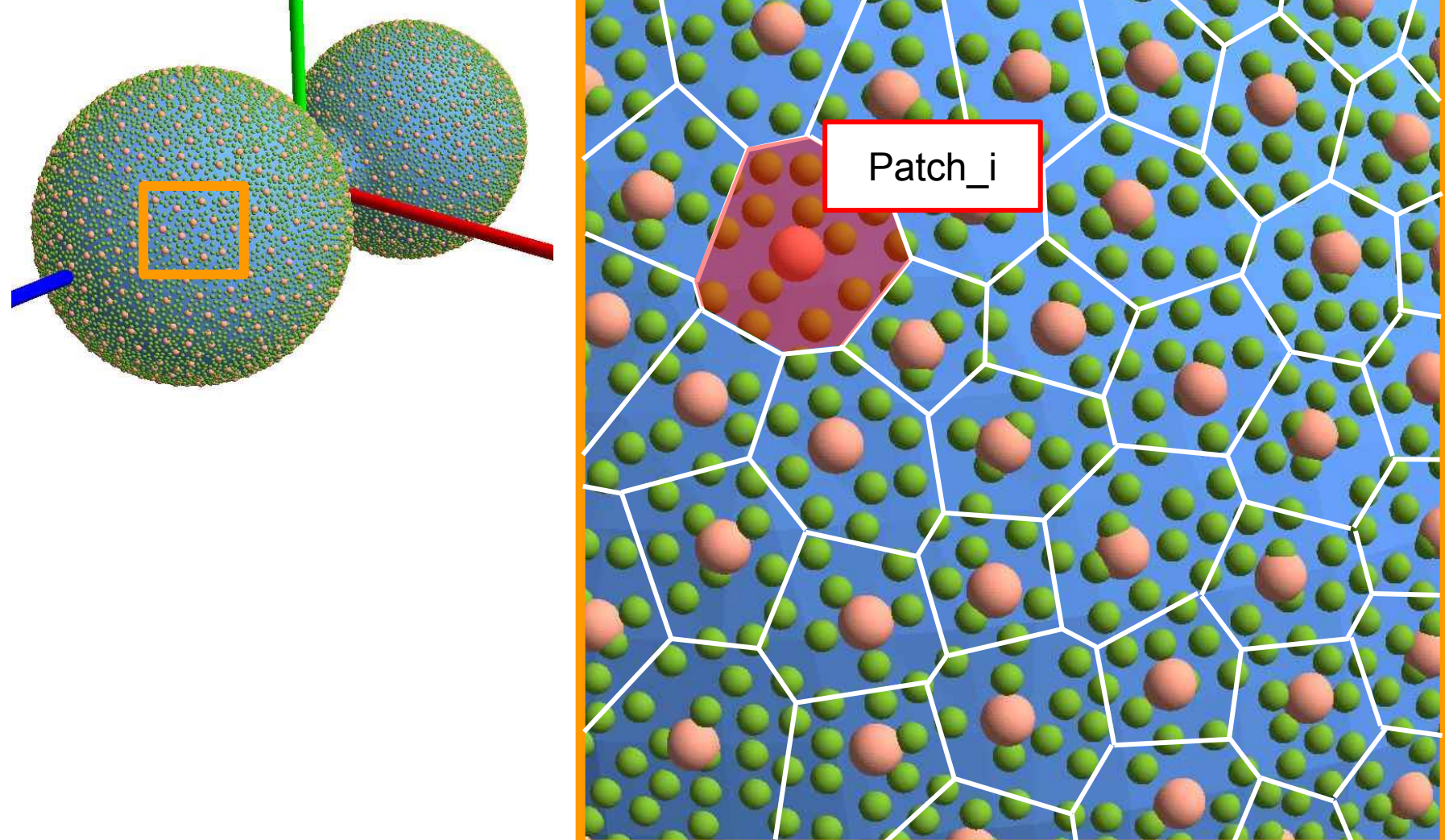
ラジオシティ法とその応用

物理シミュレーションを通じて粉の振る舞いを計算するアプローチは、計算コストの面から現実的でないため、本研究では、フォトリリスティックレンダリングの分野において、大域照明を効率よく計算する手法として確立されているラジオシティ法[4]を応用して粉の振る舞いを近似することを行っています。

ラジオシティ法においては、前計算として、対象となる空間中の壁面を小領域に分割し、その小領域の間の光の反射の様子(エネルギーのやり取りの様子)を行列として計算します。実際のラジオシティ法を計算する際は、前計算した行列のべき乗を計算することで光源から発せられた光が再帰的に反射する様子を効率よく計算しています。

ラジオシティ法の考え方を応用して粉の振る舞いを近似するため、まず、対象形状である内部空洞を小領域に分割します。この際、内部空洞の三角形ポリゴンの並び方に依存しない形で小領域を定義するため、内部空洞の形状の表面に多くの点をサンプリングし、その点を元に、ポロノイ分割を行っています。その後、改めて大量の点をサンプリングし、その点を起点として粉末の粒を様々な方向に放出することで小領域の間の粉の移動の様子を計算します。

ラジオシティ法同様、この行列のべき乗を計算することで、繰り返し振った際の粉の振る舞いを効率よく計算出来ます。ラジオシティ法を利用した近似の精度評価など、まだ確認すべき項目は残っていますが、プロトタイプ実装を利用した簡単なテストでは、概ね期待通りの結果が得られています。



今後の展望

石膏粉を利用する3Dプリンタを利用する際の粉排出という手間の削減に関するこの研究は、今現在も継続している、発展途上の研究です。そのため、今後はこの研究を完成させる事を当面の目標としています。さらに、この石膏粉プリンタに関する研究は、今回特許出願の都合で発表を見合わせた型による造形に関する研究と合わせてACT-I 加速フェーズに採択されており、今後更なる発展を目指して研究を継続する予定です。

石膏粉プリントに関する研究について、現在の研究は排出口は1つ、排出方法は手作業で振って排出という仮定を置いて研究を行っています。粉体は液体と異なり、表面張力が存在しないため排出口は1つで十分なのですが、実際にデザイナーが配置をした場合は2つ以上の排出口が配置されることが多いです(例:人型のフィギュアの両足の裏に各1つずつ配置など)。また、実際の排出作業においては、はじめに大部分の粉を手作業で振って取り除き、最終的な仕上げとしてエアダスターを利用して残った粉を完全に吹き飛ばすという手順が踏まれます。

今後は、より一層現実の問題設定に近づけるため、複数の排出口を配置する場合の最適な排出口位置の組み合わせを効率よく計算する手法や、エアダスターによって生じる気流の流れの簡易的なモデル化及びその気流モデルに基づいた高速な流体シミュレーション手法の開発などを推進する計画です。

また、この石膏粉プリンタに関する研究が完成すると、今現在世の中に存在する問題を直接的に解決することが出来ると考えています。研究成果を社会に還元するためにも、実際に3Dプリントサービスを行っている会社と協力し、研究成果をすぐに使えるような形で公開することも今後の展望として考えています。

参考文献

[1] hang Ha Lee, Amitabh Varshney, and David W. Jacobs. 2005. Mesh saliency. ACM Trans. Graph. 24, 3 (July 2005), 659-666. DOI: <https://doi.org/10.1145/1073204.1073244>

[2] Adrian Secord, Jingwan Lu, Adam Finkelstein, Manish Singh, and Andrew Nealen. 2011. Perceptual models of viewpoint preference. ACM Trans. Graph. 30, 5, Article 109 (October 2011), 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2019627.2019628>

[3] Gilles Daviet and Florence Bertails-Descoubes. 2016. A semi-implicit material point method for the continuum simulation of granular materials. ACM Trans. Graph. 35, 4, Article 102 (July 2016), 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2897824.2925877>

[4] Tomoyuki Nishita and Eihachiro Nakamae. 1985. Continuous tone representation of three-dimensional objects taking account of shadows and interreflection. In Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '85). ACM, New York, NY, USA, 23-30. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/325334.325169>



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

