

研究報告書

「型による成形のためのコネクタ形状を考慮したボリウム分割」

研究期間：2018年4月～2020年3月

研究者番号：50210

研究者：中島 一崇

1. 研究のねらい

実際のものづくり、特に大量生産においては、型を利用した射出成形が利用されている。しかし、型の設計においてはアンダーカットと呼ばれる三次元的な特徴が存在しないことを保証する必要があるなど、種々の制約がある。このような制約により、専門的な経験のないユーザが型の設計を行うことは非常に難しいというのが実情であった。そこで、私は ACT-I 研究として、対象形状を型で複製するための、型の設計を支援するインタラクティブな手法についての研究を行っていた。本加速フェーズでは、その研究を更に発展させ、実社会に一層適応した手法を対象として研究を行った。

また、ACT-I 研究では上述の型の設計支援と並行して、石膏を始めとした粉末を利用する 3D プリントにおける粉末マテリアルの排出口位置の最適化についても研究を行っていた。粉末を利用する 3D プリントでは、3D プリントにかかる材料費を削減する目的で、対象形状の内部をくり抜くというテクニックが一般的に用いられる。しかし、その際、内部空洞に残留してしまう粉末マテリアルを回収する必要がある。そのため、排出口を配置する必要があるが、その位置はユーザの勘で決められており、排出性能については何も保証がされていないというのが現状であった。ACT-I 研究として行っていた研究は、コンピュータグラフィックス技術を背景として排出性能を推定し、その保証をすることを目的としていた。本加速フェーズでは、この研究を発展させ、より一層精度の向上などを目指した。

2. 研究成果

(1) 概要

研究テーマ A「型による成形のためのコネクタ形状を考慮したボリウム分割」

本研究は ACT-I 研究として従事していた研究のさらなる発展である。ACT-I 研究では対象形状を薄い殻形状として、内部をくり抜いた形で複製するための型の設計を支援する技術について研究を行ってきた。しかし、このようにプラモデルのように複製をするということは現実での適用範囲が制限されてしまう。そこで、ACT-I 加速フェーズでは、内部をくり抜くのではなく、中身が詰まった状態での分割を考えることとした。このような分割は実社会でも幅広く利用されており、より幅広い影響を与えることにできる研究になると期待できる。

また、ACT-I 研究では分割された各パーツの間にコネクタ形状などではなく、それぞれを糊付けすることで組み立てを行っていたが、ACT-I 加速フェーズの本研究では、分割された各パーツの間に適切なコネクタ形状を生成することで、最終的な造形物の組み立てを容易なものとすることを目指した。この際、新たに生成したコネクタ形状が型による複製可能性を阻害しないことを担保する必要がある。

研究テーマ B「SLS/粉末を利用するプリンタにおける排出口位置の最適化」

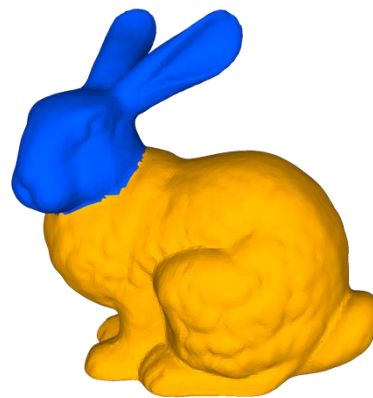
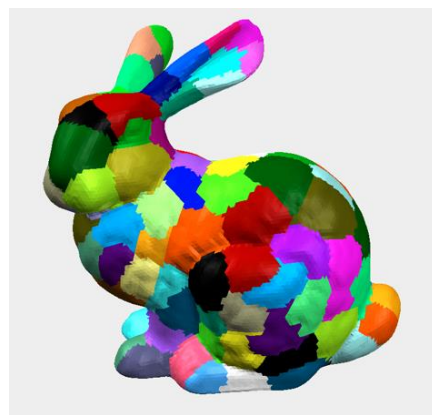
こちらの研究も、ACT-I 研究として従事していた研究のさらなる発展である。ACT-I 研究の段階では、コンピュータグラフィクス分野、特にレンダリングの分野で利用されるラジオシティ法のアイデアを活用し、本来複雑で非常に長い計算時間が必要となる粉体の振る舞いを近似することで高速化するというアプローチを取っていた。このアプローチでも一定の精度は得られたものの、特定のケースでは排出性能の近似精度が大幅に低下するという問題も見つかった。そこで ACT-I 加速フェーズの本研究では、粉体が本来持つ、体積に着目をして、粉が降り積もるような振る舞いを考慮することで計算精度を高めることを行った。

(2) 詳細

研究テーマ A「型による成形のためのコネクタ形状を考慮したボリウム分割」

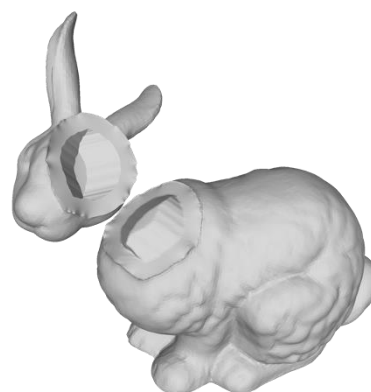
加速フェーズの研究で取り組んだ問題のうち、解くべき問題は大きく 2 つに分ける事ができた。具体的には、(1)対象形状を”意味のある”パーツに分割する、(2)分割された各パーツの間に、型による造形可能性を阻害しないコネクタ形状を生成する の 2 つである。以下、それぞれについて詳細に説明をする。また、型による造形可能性の判定については、ACT-I 研究として行ったものの大部分を再利用できたため、加速フェーズでもそのプログラム資産を再利用した。(1)のパーツ分割部分については、実社会での利用を想定すると、機能的・審美的に意味のある分割をする必要があるという要請に基づくものである。こちらについては、コンピュータグラフィクス、特に三次元形状解析の分野でセマンティックセグメンテーションと呼ばれる研究分野として確立している。そこで、本研究では既存のセマンティックセグメンテーションアルゴリズムを複数実装し、

テストを行った。その結果、Approximate convex decomposition と呼ばれるアルゴリズム(の一部)を利用し、対象形状を複数のパッチに分割し、そのパッチを適宜統合



していくという手順で処理をすることとした。

その後、分割されたパーツの間に、それぞれのパーツ(図中青色と黄色)の造形方向(造形時に型が動く方向・パーティングディレクション)を考慮した上でそれぞれのパーツの型による造形可能性を阻害しないコネクタ形状を生成し、配置する。コネクタ形状はプラモデルのスナッフフィット(押し込むだけでカチッと嵌って固定できるタイプのコネクタ)など様々なものが考えられるが、スナッフフィットのようなコネクタは非常に高い造形精度



が必要となるため、今回は一般的なフィギュアなどで採用されている、位置合わせのためのコネクタを採用することとした。このようなコネクタは、隣り合うパーツを固定するという機能はほとんど無いが、接着剤等で固定をする際に位置合わせのガイドとして働く。

研究テーマ B「SLS/粉末を利用するプリンタにおける排出口位置の最適化」

こちらの研究については、ACT-I 研究として構想していた、ラジオシティ法のアイデアをベースとした排出性能の近似について実際に石膏粉を利用した実験から始めた。



この実験の結果、特定のケース(写真右上のドラゴン)で誤差が大きくなってしまうということが判明した。実験の際に半透明の材料でシェル形状をプリントしていたため、内部の粉の振る舞いを観察することができ、その結果、提案手法内で粉末が積み重なっている振る舞いを無視してしまっていることが大きな誤差を生んでいるということがわかった。

そこで、加速フェーズでのさらなる発展として、ACT-I 研究での提案手法を拡張する形で、粉体の体積を考慮することとした。具体的には、ラジオシティ法のアイデアを直接利用している ACT-I 研究では、対象形状の内部空砲のサーフェスだけを利用して計算していた一方、加速フェーズの研究では、内部空洞の空間そのものと、その空間の大きさを考慮して計算することとしている。

研究リソースの多くを型の研究に割り振ってしまっていたことと、実際の石膏粉を利用した実験が当初の想定よりも遥かに大変なものであったため、こちらの研究については体積を考慮したアルゴリズムを設計し、そのプログラムを組み始めた段階である。

3. 今後の展開

加速フェーズにおける 2 年間の研究の結果、研究提案時点の未来ビジョンの実現に大きく近づいたと実感している。この 2 年間の間に、個人的に、多くのプロの 3D 造形アーティストの方と知り合う機会に恵まれ、研究の紹介などを行ったが、型での複製、特に、この加速フェーズで行っていた中身の詰まった状態での分割及び、コネクタ形状の生成などは実社会でのニーズも非常に強く、この研究の産業的、社会的インパクトの大きさを再認識することができた。残念ながら現段階では外部発表まで達成することはできていないが、できる限り早く、研究内容を論文としてまとめ、広く発表することを考えている。

4. 自己評価

研究目的の達成状況としては、提案当初のコアとなる問題については解決方法を見つけることができたと確信しており、満足している。しかし、論文としてまとめ、発表するために必要なその他(相対的に)小さな問題については完璧に解決できているとは言い難く、論文発表に結びつかなかった点は至らなかった点だと思う。

また、研究の進め方についても、私自身の博士論文執筆と期間が重複してしまったこともあり、100%満足の行くものではなかった。また、当初の予算計画では研究が順調に進んだ際に必要となる額を申請していたため、最終的に執行した額との間に差が生じてしまった。研究計画をよりこまめに見直し、適宜、方針変更するというような柔軟性が必要だったと思う。その点は今後の自身の課題と考えている。

研究成果と、その内容については、上述の「今後の展開」で詳述したとおり、実際に専門的にファブリケーションをしている造形アーティストの方々との意見交換などから、この研究が産業的、社会的に非常に大きなインパクトを有していると確信している。この潜在的なインパクトを現実のものとするためにも、可能な限り早急にこの研究を仕上げ、広く公開することが必要だと考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Kazutaka Nakashima, Thomas Auzinger, Emmanuel Iarussi, Ran Zhang, Takeo Igarashi, and Bernd Bickel. 2018. CoreCavity: interactive shell decomposition for fabrication with two-piece rigid molds. ACM Trans. Graph. 37, 4, Article 135 (July 2018), 13 pages. DOI:<https://doi.org/10.1145/3197517.3201341>

(2) 特許出願

研究期間累積件数:1 件

1.

発 明 者: BICKEL, Bernd; AUZINGER, Thomas; NAKASHIMA, Kazutaka; IGARASHI, Takeo

発明の名称 : METHOD FOR COMPUTATIONALLY DESIGNING A RE-USABLE TWO-PIECED MOLD

出 願 人: INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY AUSTRIA

出 願 日: 2019/06/21

出 願 番 号: PCT/AT2019/060205

備 考 : <https://patentscope2.wipo.int/search/ja/detail.jsf?docId=WO2019241818>

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等):無し