

Computer Aided Reuse Fabrication: 身の回りの物を素材とした物作り支援ツール

森重 浩直^{1,a)} 山田 駿^{2,b)} 野崎 大幹¹ 小川 正幹³ 米澤 拓郎³ 徳田 英幸³

概要:

本研究では、身の回りのものを素材として再利用する物作りに着目し、CAD等のデジタル支援ツールを用いて従来よりも精度が高くより複雑な構造を実現できる Computer Aided Reuse Fabrication を提案する。システムプロトタイプとして、身の回りの物を集めて特定の形状を形作るデザインツールを開発した。具体的には、使用する素材の3Dデータ(エレメントデータ)と作りたいものの3Dデータ(ターゲットデータ)の2つを入力すると、ターゲットデータを形作ることができるエレメントデータの三次元的な配置を算出し、かつそれぞれのエレメントを物理的に固定するジョイントを生成する。本システムを足がかりに、今後の Computer Aided Reuse Fabrication の可能性を示し、その有用性について述べる。

Computer Aided Reuse Fabrication: A Design Tool for Reuse Fabrication

HIRONAO MORISHIGE^{1,a)} SUGURU YAMADA^{2,b)} HIROKI NOZAKI¹ MASAKI OGAWA³
TAKURO YONEZAWA³ HIDEYUKI TOKUDA³

Abstract: In this paper, we propose a computational design tool supporting the idea of Reuse Fabrication. Reuse Fabrication is to fabricate with every day objects, reusing its body. As a system prototype, we have implemented a design tool which gathers up every day object making another functional shape. In particular, the system calculates the positional relationship among objects, and generates a joint object to bond them together. With this system, we are aiming to seek the potential of Computer Aided Reuse Fabrication.

1. はじめに

既にある物体を再資源化・再利用し、新たな物体の原料として用いるリサイクルやリユースという概念が広く浸透している。リサイクルは、専門の施設で物体を原料の段階まで分解しなくてはならないため、多くのコストとエネルギーを要する。リユースはリサイクルと比較して特別な加工が必要ないため、個人でも簡単に行うことができ実際に

人々は以前からペットボトルを用いた筏やダンボールを用いた家など、身の回りにある物体を再利用した物作りを行ってきた。しかし、従来行われてきたリユースの物作りには様々な制約が存在する。例えば、構造計算等の専門性の高い知識を要する物作りは難しい。しかし近年では、デジタル工作機器の急速な発展・普及に伴い、従来個人には困難であった加工技術が利用できるようになり、個人の趣向や状況に合わせて物作りを行える環境が整いつつある。データのオープンソース化や、デジタル技術による物作りを支援するツールの発展によって、個人がより創造的な物作りを行えるようになってきている。本研究ではこうした技術発展の中で、昔から行われてきた身の回りのものを素材として再利用する物作りの可能性に着目し、デジタル技術の支援により誰もが簡単にリユースを可能にする Computer

¹ 慶應義塾大学 環境情報学部
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

² 慶應義塾大学 総合政策学部
Faculty of Policy Management, Keio University

³ 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

a) morishi@ht.sfc.keio.ac.jp

b) guru@ht.sfc.keio.ac.jp

Aided Reuse Fabrication を実現することを目指す。本研究における貢献は次の2点に要約できる。

- Computer Aided Reuse Fabrication を誰もが行えるよう支援するプロトタイプシステムを構築した。
- プロトタイプから今後の可能性を議論し、Computer Aided Reuse Fabrication の可能性を示した。

本稿は以下のように構成される。まず2章において本研究の基本コンセプトでありビジョンである Computer Aided Reuse Fabrication について述べる。次に3章でプロトタイプの実装について記述し、4章で Reuse Fabrication の有用性について議論した後5章で本研究の結論を述べる。

2. Computer Aided Reuse Fabrication

2.1 概要

本研究のコンセプトである Computer Aided Reuse Fabrication とは、従来のリユースによるモノづくりでは実現しえなかったような複雑な構造をも対象とした、デジタル支援ツールによる身の回りの物を活用したモノづくりを指す。物作りを達成するには、形、色、質感、耐久性などさまざまな材料の要件が必要不可欠になる。例えば、かばんを作る場合であれば物を収納できる形、長時間持ち運び可能な重さ、肌に優しい質感等がその物作りの要件となる。また、身の回りの石を使って橋を作ること考えたときに、石の配置によって橋が崩れないような構造計算を行うには、膨大な計算量が必要になる。これら全ての要件を踏まえてユーザーが個人で物作りをすることには限界がある。そこで、従来のリユースの手軽さを残しながら、ユーザがコンピュータの支援を受けながらリユースを行える物作りを Computer Aided Reuse Fabrication と定義し、これを実現することを目指す。従来よりも精緻かつ専門性の高い物が作れるため、発展途上国での廃材をもちいた建造物の作成等が期待される。Computer Aided Reuse Fabrication を実現するにあたり、必要な要件を以下に述べる。

- エレメントの形状を認識し、ターゲットにあわせてエレメントを最適に配置できること
- エレメントの構造を認識し、ターゲットの耐久性を制御できること
- エレメントの質感を認識し、ターゲットの質感を制御できること
- エレメントの外観を認識し、ターゲットの印象を制御できること

物体の構造を認識する機能に関しては、3D プリンタによって出力する物の一部分をブロックで代用することでプリントの所要時間を短縮する Stefanie ら [5] の研究などが存在する。これは3D プリントを行うデータの構造を解析し、中身や単純な部分を事前に用意したブロックで代替している。このように、入力されたデータの性質を認識し実空間でのインタラクシオンを操作する研究が行われている。本

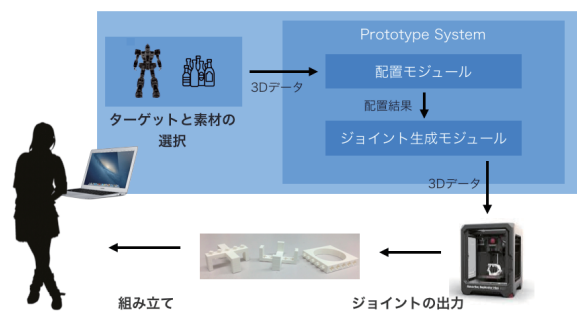


図1 システム構成図

研究では、以上の要件の中でも、入力されたエレメントの形状達成のための最適配置について言及し、要件を満たすための機構をプロトタイプとして作成する。

3. プロトタイプシステム

Computer Aided Reuse Fabrication のためのプロトタイプシステムについて述べる。

3.1 概要

本システムは、Computer Aided Reuse Fabrication を実現するために、最も基本的な要件である形を達成することを目的としたシステムである。身の回りのものの3Dデータと(以下エレメントデータ)と作りたいものの3Dデータ(ターゲットデータ)の2つを入力すると、ターゲットデータの形を達成できるようエレメントデータを三次元空間上に適切に配置したモデルを提案する。また、その際にそれぞれのエレメントデータを物理的に固定するジョイントを3Dデータとして自動生成する。ユーザは必要なジョイントを3Dプリンタを用いてプリントし、実際にエレメントとジョイントを組み立て、形状を達成する。本システムの構成を図1に示す。

3.2 機能要件

物作りにおいて特定の機能を生むためには、作成したい物体の形状や機能に応じて必要なサイズ・強度を持った素材を選定し、目標の形状を達成できるよう適切に配置・固定することが重要である。例えば、木材を組み合わせる物作りを行う際、机の形となるよう配置・固定すれば机としての機能を生み、椅子の形となるよう配置すれば椅子としての機能が生まれる。物作りにおいて形は特定の機能を達成する上で最も基本的な要素であるという仮説のもと、本研究では、強度や色ではなく形に着目し、様々な形をしたエレメントデータで、ターゲットデータの形を達成できるようにすることに主眼を置く。本プロトタイプの機能要件を以下に述べる。

- 素材(エレメント)が目標物(ターゲット)の形を表現できるように配置されること

- エLEMENTが実空間において組み立て可能かつ形が維持できること

本プロトタイプでは物を形作するという物作りのプリミティブな機能を達成することに注視し、ELEMENTデータによって人がそれと認識できるレベルまでターゲットデータのシルエットを形作り、実空間で組み立てた際その形を崩さないような保持力を持つジョイントを作成する。

3.3 アプローチ

それぞれの機能要件に対するアプローチおよび各種構成モジュールについての詳細を述べる。

- ELEMENTがターゲットの形を表現できるように配置されること

ELEMENT配置モジュール：本研究においては、ターゲットの形をELEMENTで最も埋め尽くした時に形を達成したと定義する。そこで、今回は Bin Packing Algorithm を応用し配置モジュールを作成する。具体的には、ターゲットとELEMENTを覆う最小の体積を持つ直方体であるバウンディングボックスを取得し、ターゲットのバウンディングボックスをELEMENTで充填し、ターゲットに触れていないELEMENTを取り除くことで形を作る。

- ELEMENTが実空間において組み立て可能かつ形が維持できること

ジョイント生成モジュール：それぞれのELEMENTが実空間においても形を崩さず固定できるようにするために、3D プリンタを用いてELEMENT同士をつなげるジョイントを出力する。本研究では接合した際の被覆率・プリントコストを下げることを考慮し、ジョイントを上・中・下の3つに分け、必要に応じてそれぞれのジョイントを使用する。

3.4 実装環境

本システムを実装した際のハードウェア構成とソフトウェア構成を下記に示す。

ハードウェア

- Macbook Pro Retina(OSX Yosemite)
- Makerbot Replicator z18 (3D プリンタ)

ソフトウェア

- Rhinoceros
- Grasshopper
- GhPython

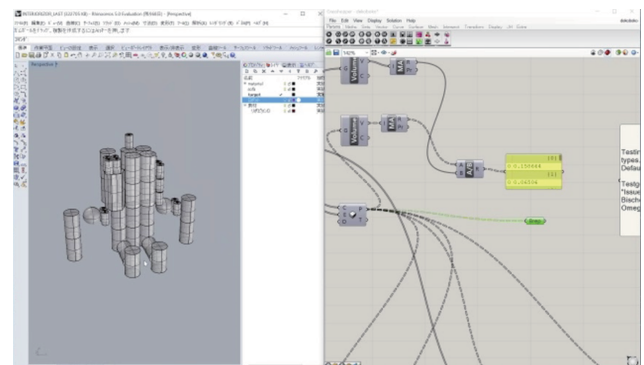
3.5 出力テスト

今回はプロトタイプシステムを用いたテストとして、廃材を用いたロボットのインテリアを作成した。下記に作成の手順を述べる。

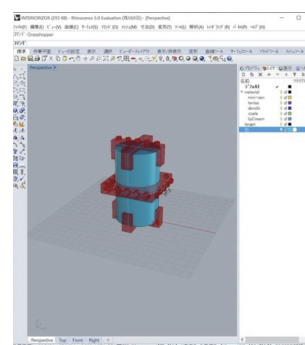
(1) データの用意



a) データの作成



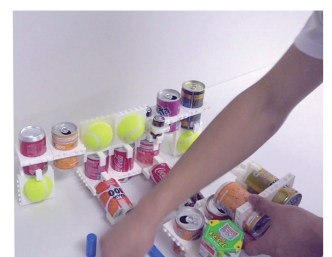
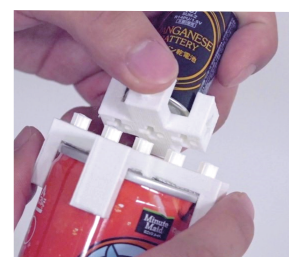
b) 配置モジュール



c) ジョイント生成モジュール



d) ジョイント



e) 組み立ての様子

図 2 出力テストのフロー：(a) 使用するELEMENTデータとターゲットデータの作成 (b) 配置モジュールの出力結果例 (c) ジョイント生成モジュールの出力結果例 (d) 実際に 3D プリントしたジョイント (e) 組み立ての様子



図 3 プロトタイプによって形作られたロボット

はじめに実際に使用する素材の 3D データ (エレメントデータ) と実際に作成する物体の 3D データ (ターゲットデータ) を用意する. 図 2-a に今回のテストで使ったデータを示す. エレメントデータは実寸し, 簡易化したモデルを作成することで用意した. また, ターゲットデータはロボットの形をしたモデリングソフトウェアを用いて作成した.

(2) ソフトウェアによる配置

データを用意した後, 3D 空間上でターゲットデータを構成できるように配置する. 具体的に, 使用するエレメントデータと, 作成したいターゲットデータの 2 つをシステムに対して入力すると, 出力結果として図 2-b に示したような結果を得ることができる.

(3) 必要な数のジョイントを 3D プリント

配置が完了した後, 実空間でそれぞれの素材を接合させるジョイントを生成する. 図 2-c にジョイント生成モジュールの出力結果を, 図 2-e に実際に 3D プリントしたジョイントを示す. 使用するエレメントデータをジョイント生成モジュールに入力することで, 上中下の 3 つにわかれたジョイントデータを得る. そして, 配置したモデルを基に必要な数のジョイントを 3D プリントする.

(4) 素材とジョイントを組み立て

ジョイントが出力し終わると, 使用する素材とジョイントを組み上げターゲットを作成する. 図 2-d に組み立ての様子を示す. 最終的に組み上げ終わると, 図 3 の様な結果を得ることができた.

4. 関連研究

本研究の関連研究としては, CG 等のデジタル技術における物作り支援, デジタル工作機器による実空間における支援といった分野の研究があげられる.

4.1 デジタル支援ツール

コラージュの関連研究として以下のものが挙げられる. Ran らが行った 3D Collage[1] では, CG 空間で簡単にコラージュを作成するために, 3D コラージュを自動で生成するアルゴリズムを開発した. 具体的には達成したいターゲットのデータと, 使用するエレメントのデータの 2 つを入力すると, 自動的にターゲットデータの形状をエレメントデータでコラージュしたモデルが出力される. また, Zhe らの開発した Structured Mechanical Collage[2] ではよりコンプレックスな 3D コラージュを作成することを目標に, あらかじめ用意されたジョイントのついたパーツを繋ぎ合わせ, コラージュを作成している. Ran らの研究 [1] は, コラージュを作成することに重点を置いているため, 実際にはエレメントデータをリサイズをしたり, 配置した物体が物理的に重なり合っていたりと, 実空間の物理的制約を考慮していない. また, Zhe らの研究 [2] も接合することはできても, このコラージュに特化したパーツを使用することを前提としているため, 身の回りにある多様な物体に対しては対応することができない. こうした問題点から既存の配置アルゴリズムでは実空間への出力は難しいと考える.

4.2 3D プリンタと実空間とのインタラクション

Yuki ら [3] は 3D プリンタによる, 実空間の物体に干渉した物作りをユーザが手軽に行える手段を提示している. Yuki らの開発した AutoConnect [3] は, ユーザに実空間に存在する物を二つ選択しそれらの配置を指定させることで, 二つの物体をつなげるジョイントを生成するものである. しかしデータの配置をユーザに任せている点や, 2 つ以上の物体をつなげることを想定していない点から, 複数の素材を用いて物作りをすることには向いていない. Amit ら [4] は実空間に存在する物と 3D プリンタによる出力物とを組み合わせた物作りを提案している. しかし, 実空間において欠けている部分を 3D プリンタで補う研究であるため, 補う際に出力されるジョイントはターゲットデータに最適化された物で, 汎用性にかける.

5. Reuse Fabrication の展望

本節ではおかれた環境にすでに存在するものを用いた物作りである Reuse Fabrication の可能性について言及する. プロトタイプでは, 身の回りにある必要とされていないものを素材として捉え直すことで新たな価値を与えることに成功した. 作成したデータの形という機能だけを達成したが, 形以外の機能である耐久性, 色合い, 質感などを考慮したデザインにすることでより高度な Reuse Fabrication が可能になる. 下記にその応用例と今後の課題を示す.

5.1 応用例

本システムを使用した応用例について3つに分類して述べる。

- デザインツールとしての応用

絵画技法の1つとしてコラージュという手法が存在する。本研究を応用することで、誰もが容易に現実空間での3D-Collageを達成することができるようになる。周囲にあるものを活用し、芸術作品や形をコラージュすることで、その人らしさを表した愛着のある作品を簡単に作ることができるようになる。また、お菓子を配置するエレメントとして用い、ジョイント部分をチョコレート等、食べることが可能な素材を使用して出力することによって、お菓子の家やお菓子の動物などを簡単に3Dプリンタ出力することができる。このように、配置し、接合するという2つの機能を実現することで、より人々に対して創造的な支援を行うことができる。

- 知育玩具としての応用

本研究では、素材の6方向に接合可能なジョイントを生成しており、このデザインによって周囲の物体を素材として再利用できるようにしている。ユニバーサルな接合設計を行うことによって、ジョイントそのものの再利用性が高まり、動物のオブジェクトを作るために使用したジョイントを椅子を作成する際のジョイントとして再利用したりすることが可能になる。従って、積み木のような子どもの知育玩具としても応用することができる。と考える。

- 極地環境における物作りへの応用

宇宙空間などの極地環境では物を作成する際の素材を調達することが運送上のコスト等で難しい。本ツールを利用して岩石などの物体をスキャンし再利用することができれば、素材自体が欠乏した極地環境下でも、家などの構造物を作成することができる。と考える。

5.2 今後の課題

上記で述べた応用例を実現する上で、今後の課題について述べる。

- 配置手法

現在の配置手法では、使用するエレメントの個数を制御することができない。今後は配置する物体の個数を指定し、その中で足りない形等があればユーザに提案したり、作成する物体をリサイズする機能を実装していきたい。また、配置の形も単純に充填するだけでなく、Ran[1]らの研究のような特徴量を抽出し、最適な形の部分に配置するアルゴリズムを取り入れていきたいと考えている。

- ジョイント生成手法

本研究ではジョイントを3つに分け、可能な限りユニ

バーサルに接合できるよう設計したものの、現在の手法では3つのうちどのジョイントを使用するかという点に関してはユーザに判断を委ねている。今後はジョイントを含めたシュミレーションを行い、物体の重なり度合いからジョイントを最適に配置する機能を実装したい。

- 出力した物体の機能性

前節で述べた応用例においては、形を達成するだけでなく、強度や色・質感なども考慮する必要がある。今後は素材自体に強度・色・重さなどのパラメータを付加しシミュレートする際にそれら値を考慮することで、形だけでなく求められている機能に対して最適な物体を生成できるようにしたい。

6. まとめ

近年、デジタル機器の発展と普及により、身の回りのものを使用した物作りが盛んに行われている。また、人々は昔から物を再利用した物作りを行っていたが、その行為には様々な制限が存在する。本研究ではComputer Aided Reuse Fabricationという、従来のリユースによる物づくりでは実現しえなかったような複雑な構造をも対象とした、デジタル支援ツールによる身の回りの物を活用した物づくりを提案した。プロトタイプシステムとして、物を形作るという物作りの基本的な機能を実現するデザインツールを作成した。具体的には、デザインツールは身の回りの物の3Dデータと作りたい物の3Dデータを入力することで、作りたい物の形に合わせて身の回りの物を適切に配置したモデルを提示し、それらが物理的に固定されるようなジョイントを3Dデータとして出力する。ツールの出力テストを踏まえて行った議論から、Computer Aided Reuse Fabricationは様々なシーンで活用できるその汎用性から今後も研究の余地がある。と考える。

参考文献

- [1] Gal, Ran, et al. "3D collage: expressive non-realistic modeling." Proceedings of the 5th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering. ACM, 2007. APA
- [2] Huang, Zhe, et al. "Structured Mechanical Collage." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 7.20 (2014): 1076-1082. APA
- [3] Koyama, Yuki, et al. "AutoConnect: computational design of 3D-printable connectors." ACM Transactions on Graphics (TOG) 34.6 (2015): 231. APA
- [4] Zoran, Amit, and Leah Buechley. "Hybrid reassembly: an exploration of craft, digital fabrication and artifact uniqueness." Leonardo 46.1 (2013): 4-10. APA
- [5] Mueller, Stefanie, et al. "faBrickation: fast 3D printing of functional objects by integrating construction kit building blocks." Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems. ACM, 2014. APA