JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	NewsFab : スケルトンを用いた新聞紙造形支援
Author(s)	有原, 啓介; 中島, 健斗; Li, Sicheng; 吉田, 匠吾; 彭, 以琛; 謝, 浩然; 佐藤, 俊樹; 宮田, 一乘
Citation	インタラクション2021論文集: 140-143
Issue Date	2021-03-10
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/17059
Rights	社団法人　情報処理学会, 有原 啓介, 中島 健斗, Li Sicheng, 吉田 匠吾, 彭 以琛, 謝 浩然, 佐藤 俊樹 ,宮田 一乘, インタラクション2021論文集, 2021, pp.140-143.　ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

NewsFab:スケルトンを用いた新聞紙造形支援

有原啓介[†1]　中島健斗[†1]　Li Sicheng[†1]　吉田匠吾[†1]　彭以琛[†1]　謝浩然[†1]
佐藤俊樹[†1]　宮田一乗[†1]

概要：近年日用品を用いた造形支援が盛んに提案されている．しかし，一定形状かつ変形できない素材を用いることが多いため造形物の詳細度が高くない課題が残っている．本研究は，形状を変化させやすく手に入りやすい新聞紙に着目し，一般ユーザでも形の整った立体作品を作ることができる造形支援を提案する．提案手法では，作品の形状を維持するためのスケルトン構造や造形物の製作ガイダンスをユーザに提示し，複雑な形状の新聞紙アートを容易に製作できるように支援する．また，深度差分情報を造形中の製作物に投影することにより，積層構造で新聞紙の造形に必要なガイドを提示する．スケルトン構造は，3D プリントした専用のコネクタと割り箸を結合することで作成する．

1. はじめに

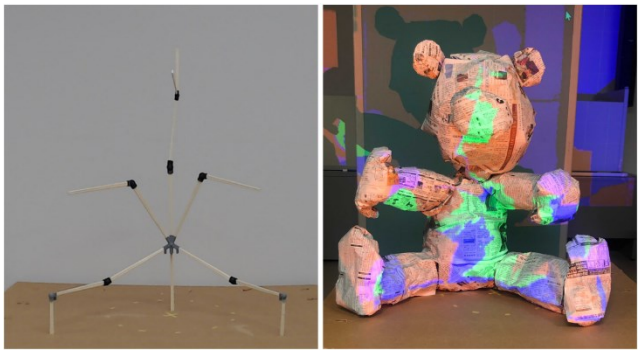
手作業で造形物を作るという体験は，誰もが関わる機会のある芸術活動であろう．あるものの形を精巧に表現する，自身の内にあるイメージに基づいて作るなど，造形の動機や目的は様々である．

しかし，形状を変化させやすい材料の代表である粘土や，彫刻に用いられる木材，石材などはコストが高い．したがって，作ろうとしている作品が大きくなるほど，必要な素材の量の確保が難しくなる．

アート作品の素材の一つとして，日常的に手に入りやすい新聞紙が挙げられる．新聞紙による造形物(以下，新聞紙アート)の例として，新聞紙を紐状や球状に丸めたものを多数つなぎ合わせることで動物の形を作ったものや，丸めた新聞紙をガムテープで巻くことで形状を整え，目的の形状を作るものなどがある．これらの新聞紙アートは，その作品が何をモデルとしているのかが十分に理解できるほどの詳細度を持ち，また比較的大きなものが多い．そこで本研究では，造形の素材として十分に変形させやすく，また作品の大きさを制限しにくい新聞紙に着目した．

また，造形を行う上で重要な事柄の一つが，思い通りに形を作れるということである．しかし，先に述べた新聞紙アートの作成手法においても，丸めた新聞紙を適切な位置に配置・接着するという工程が存在する．このように，想像の中の具体的な形状を作成者自身が現実に出力しなければならないという点は他の多くの造形手法と共通している．この工程は，訓練を積んでいない者にとっては難しい作業であり，思い通りの造形を行う妨げとなっている．そこで本研究では，目標形状と造形物との形状の差分を造形物に投影することにより，目標とする形状と造形物との差異をユーザに提示し，ユーザが思い通りの造形を行うことを支援するシステムを提案する．

また，新聞紙のような柔らかい材料を用いて大きな造形物を作る際には，自重による造形物の崩壊が問題となる．先に述べた新聞紙アートの作成手法では，丸めた新聞紙を密に接合したり，ガムテープを外骨格的に用いたりすることで強度を増していたが，初心者がそれらの手法によって十分に強度を確保できるとは限らない．そこで本研究では，支えとなる骨組み(スケルトン)の周囲に新聞紙を肉付けすることによって，強度を確保した造形物を作ることとする．そして，目的の形状に必要なスケルトンを，長さが統一された素材によって簡単に構築するための技術を提案する．このとき，スケルトンの構築を容易かつ低コストにするため，割り箸や硬質ポリ塩化ビニル管のような，安価で市販されており，長さが簡単に揃えられる物品を素材として用いる．



(a) 割り箸によって構築されたスケルトン　**(b) スケルトンを用いた新聞紙造形物**

図 1　新聞紙造形概要

2. 関連研究

2.1 プロジェクションマッピングを用いた製作支援

プロジェクションマッピングによる製作支援は様々な手法が提案されてきた．これは，プロジェクションマッピングが，ユーザの製作作業を妨げることなく，ガイドを示すことができるからである．Rivers ら[2]は，作業中の彫刻材料の深度情報を取得し，完成形に向けて各部分をどの程度彫るべきかというガイドを，彫刻の表面へのプロジェクションマッピングで示した．Xie ら[4]は，大規模なバルーンアートの積層構造に着目し，上方からの深度情報をもとにしたガイダンスを提案した．複数の層に分けたバルーンアートの各層へのキャリブレーションを行い，風船の過不

†1 北陸先端科学技術大学院大学　先端科学技術研究科

© 2021 Information Processing Society of Japan

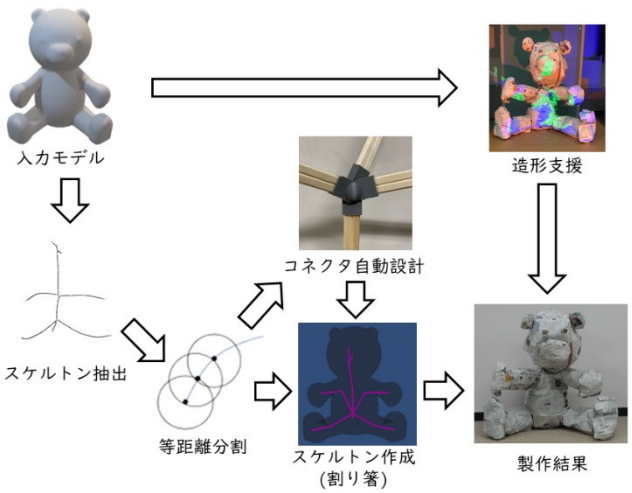


図 2　新聞紙造形技術のワークフロー

足を示す数字を投影することで，視覚的に分かりやすいガイドを行った．

これに対し，本研究では，新聞紙造形を行う上で認識しづらい新聞紙の過不足の程度をユーザに示すためのガイドをプロジェクションマッピングで提示する．

2.2　3D プリンタを用いた製作支援

近年では 3D プリンタの普及により，任意形状の製作が容易になってきている．ただし，製作物の大きさと製作時間は，3D プリンタの機能によって制限される問題がある．この問題に対処するために，TrussFab[5]はモデルの大部分をペットボトルで構成するモデルの製作手法を提案した．ペットボトル同士の結合点となるコネクタにのみ 3D プリンタを用いることで，総合的なプリント所要時間を抑えることができる．RodSteward[1]は，ユーザが設計したロッドからなるモデルに含まれるコネクタのみに対して 3D プリンタを用いている．この手法では，設計されたモデルに応じて，構造の安定性やロッドの交差を考慮したコネクタを自動的に設計する．

これに対し，本研究では，スケルトンのためのコネクタの作成について，入力モデルより自動的に設計され，簡単にスケルトンを作成する手法を提案する．

3.　提案手法

図 2 に示す新聞紙造形のワークフローにしたがい，全体の流れについて簡単に説明する．

まず，ユーザは作成したい新聞紙で造形したい対象物の 3D モデル（以下，入力モデル）を入力する．スケルトンを作成するために，システムは入力モデルからスケルトン抽出を行う．本研究では，Tagliasacchi らの手法[3]を用いてスケルトン抽出を行った．その後，割り箸や硬質ポリ塩化ビニル管などの安価で長さが揃えられている物品でスケルトンを作成するためにスケルトンを等直線に変換（以下，等直線変換）する．システムは，等直線変換されたスケルトンを用いて，コネクタの自動設計を行う．ユーザは，設計されたコネクタを 3D プリントし，そのコネクタでスケルトンに用いる物品を接合することで，容易にスケルトンを作成できる．作成したスケルトンへの造形には，深度情報を用いた支援を行う．支援には，製作モデルの表面に離散 3 色(赤，緑，青)がプロジェクションされ，その色によってユーザに新聞紙造形の過不足を提示する．新聞紙の過不足は，設置された深度カメラによって取得される製作モデルの現在の深度情報とあらかじめ取得した入力モデルの深度情報から計算される．

(a)　ポーンモデル　　(b)　スケルトン

図 3　実験に用いたポーンのモデルとスケルトン

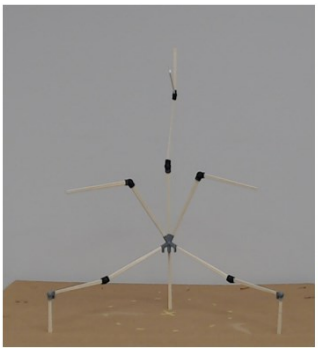
4.　ユーザスタディ

目標モデルとの深度差を投影することによる造形支援の有用性を調べるため，被験者に新聞紙による造形物を製作させる実験を行った．被験者に製作させる目標モデルとしては，図 3(a)に示すような高さ 60cm のチェスのポーンを採用した．ガイダンスの評価にあたって，スケルトンの形状が結果に与える影響を抑えつつ，モデルの輪郭再現の正確性を確認できることが重要である．チェスのポーンはスケルトンが単純でありながら，表面形状は複雑であり，実験結果へのスケルトンによる影響は少ないと考えらえる．

実験では 2 つの被験者グループを設け，各グループに設定した条件下で新聞紙アートを製作させた．グループ 1 では，被験者は，目標モデルを 3D ビューアで確認できるが，造形支援は受けられない．グループ 2 では，被験者は目標モデルを 3D ビューアで確認でき，なおかつ造形支援を受けられる．グループ 1 には，20 代男性 1 名，20 代女性 1 名の計 2 名が参加し，グループ 2 には，20 代男性 3 名，20 代女性 1 名の計 4 名が参加した．

被験者には，完成した状態で配置されているスケルトン(図 3(b))を芯として，目標モデルの新聞紙アートを製作させた．このとき被験者は，新聞紙・はさみ・セロハンテープを自由に利用できた．

© 2021 Information Processing Society of Japan


(a) 正面図

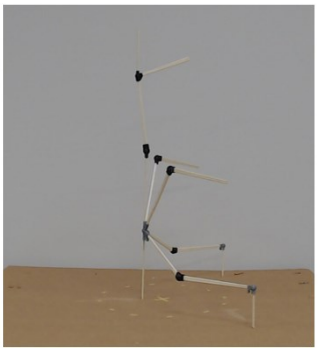

(b) 右側面図

図 4 提案手法により作成したスケルトン

一人で新聞紙アートを製作するとき，成形した新聞紙を貼り付ける場所を決定した後に一度その新聞紙を置き，セロハンテープを切り取ってから，先程決めた場所にもう一度新聞紙を配置して貼り付けるという作業が繰り返される．そして，その繰り返しが被験者にとって大きな負担となることが予想された．したがって，セロハンテープの切り取りと，被験者に指定された箇所への貼り付け，はさみの使用に関しては，実験スタッフが補助員としてつき，被験者は自由にその協力を得られることとした．なお，その際，補助員は作品の製作について，一切の助言・品評を行わないものとした．

本実験では，作品の製作に要した時間と，使用した新聞紙の枚数を記録した．また，造形支援有りのグループ 2 の被験者にはアンケートを実施した．アンケートは，被験者がモデルを思い通りに作成できたかと，ガイダンスの参考度・見やすさ・分かりやすさを 5 段階で評価してもらい，最後に自由記述欄を設けた．このアンケートの評価段階はそれぞれの質問に対して，数値が大きいほど肯定的な評価となっている．

5. 結果

5.1 ユーザスタディ

ユーザスタディで得たアンケート結果と各情報を表 1，2 に示す．全体を通して概ね 4 以上の評価を得ることが出来た．また，ガイダンスが無い場合には，新聞紙の使用枚数が比較的少なく，所要時間も短い傾向にあることが分かった．一方で，ガイダンスが有る場合には，新聞紙の使用枚数と所要時間がガイダンスの無い場合の最大値よりも上回る結果となった．自由記述欄には，基本的にはモデルを見ながら製作を行い，バランスを見るときにガイダンスを活用した，という意見を得た．

5.2 スケルトンの作成

提案手法を用いて作成したスケルトンを図 4 に示す．指定したモデルのスケルトンを作成できることを確認するために，今回はテディベアのスケルトンを作成した．スケルトンを作成するために使用した割りばしの本数は 15 本，コネクタの数は 9 個であった．

表 1 アンケート結果

評価量	1	2	3	4	5
思い通りに作れたか	0	1	0	2	1
ガイダンスの参考度	0	0	1	2	1
ガイダンスの見やすさ	0	0	1	2	1
ガイダンスの分かりやすさ	0	1	0	2	1

表 2 ガイダンスの有無による差異

使用枚数	所要時間	ガイダンス
4	0:12:36	無
13	0:16:45	無
13	0:17:47	有
18	0:40:57	有
25	0:53:23	有
28	0:28:03	有

6. 考察

表 1 のアンケート結果から，各項目において過半数が 4 以上と肯定的な評価を得ることができ，ガイダンスによる一定の効果を示すことができたと考えられる．また，表 2 のガイダンスの有無による差異から，ガイダンス有の場合の方が，ガイダンス無に比べて新聞紙の使用枚数が多く，所要時間が長いことから，入力モデルとの造形度の差を把握することで，より詳細に製作しようとしたのではないかと推察する．一方で，使用枚数と所要時間には一定の関係がないことが分かる．実験から，新聞紙を複数枚ずつ使用する方法や，モデルの内部を充填せずに空洞にし，モデル表面のみを再現する方法など，被験者によって様々な新聞紙の使い方や製作方法が見られた．このことから，本研究の深度ガイダンスによって，個人の製作方法が強制されることはないと考えられる．

7. 結論と今後の展望

本論文では，スケルトン構造を基盤とした新聞紙造形支援を提案した．スケルトンを用いることで，様々なモデルの作成が可能であり，スケルトンの簡単な作成手法と深度ガイダンスによって，ユーザの新聞紙造形への負荷を減らし，手軽に新聞紙造形を試すことができる．また，本研究では新聞紙と割りばしといった日用品を用いて，実際にモデルが製作できることを示した．

提案手法の課題の 1 つは，新聞紙による造形後のモデルの重心や，部分毎の荷重を考慮していないことである．こ

© 2021 Information Processing Society of Japan

れにより，コネクタ及びスケルトンの破損や，サポートスケルトンの破損が考えられる．この問題を考慮することにより，モデルは大きな安定性を得ることができ，複雑なモデルの作成も可能になると考えられる．また，１方向のみのプロジェクションのため，複雑なモデルでは，影ができてしまう点も課題である．これに対し，多方向からのプロジェクションと深度データの取得によって，解決できると考える．

参考文献

[1] A, Jacobson. RodSteward: A Design-to-Assembly System for Fabrication using 3D-Printed Joints and Precision-Cut Rods. (2019). Computer Graphics Forum 38.7 (2019), 765-774 2, 7.
[2] A, Rivers., A, Adams., F, Durand. Sculpting by Numbers. (2012). ACM Trans. Graph. 31, 6.
[3] A, Tagliasacchi., I, Alhashim., M, Olson., and H, Zhang. Mean curvature skeletons. (2012). Computer Graphics Forum (Proc. of Symposium on Geometry Processing) 31, 5, 1735– 1744.
[4] H. Xie, Y. Peng, N. Chen, D. Xie, C.-M. Chang, and K. Miyata. BalloonFab: Digital fabrication of large-scale balloon art. (2019). Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, (LBW0164):LBW0164:1–LBW0164:6, 2019.
[5] R, Kovacs., A, Seufert., L, Wall., H, Chen., F, Meinel., W, Müller., S, You., M, Brehm., J, Striebel., Y, Kommana., A, Popiak., T, Bläsius., and P, Baudisch. TrussFab: Fabricating Sturdy Large-Scale Structures on Desktop 3D Printers. (2017). In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI ’17). ACM, New York, NY, USA, 2606–2616.

(a) 馬：正面図 **(b) テディベア：正面図** **(c) チェスのポーン：正面図**

(d) 馬：左側面図 **(e) テディベア：左側面図** **(f) チェスのポーン：左側面図**

(g) 馬：上面図 **(h) テディベア：上面図** **(i) チェスのポーン：上面図**

図 5 スケルトンを用いて作成されたモデル

© 2021 Information Processing Society of Japan