

# ひらきがな：平面と立体の行き来で判読性が変化する 立体文字の制作手法

春日岳斗<sup>†</sup> 橋田朋子<sup>†</sup>

**概要:**“ひらきがな”は、平面と立体の行き来の中で判読性が変化する事を大きな特徴とする立体文字の制作手法で、3DCAD内で立方体に斜方から投影した立体文字の展開図を設計、その展開図を家庭用プリンタ等により紙で出力、出力物を手で折り立体に造形という3つの制作過程から構成される。本手法は一般家庭にある機材だけで判読性が変わる立体文字を作れること、設計過程で制作者自身も予期しない文字の変形に出会えること、折る・切る・曲げるといった再造形によっても判読性を変化させられること、といった特徴も有する。

## 1. はじめに

文字は情報伝達を主機能とするため、一般的に判読性や視認性が高くなるようにデザインされる[1][2]。一方で、文字の形状そのものの特徴に着目し、例えば文字を立体的に設計することで特定の視点だけから読めるといった新たな観点を付加しようと試みる事例もある[3][4]。このように立体的に形状が歪められ判読性が変わる文字は見る人々に違和感を与え興味をひきやすい。しかし、判読性の変化をもたらす要因は専ら鑑賞者の視点変化に限定されている、デザインや出力の手法が特殊であるために一般の人々が自ら設計し出力したり立体物にさらなる創意工夫を加えたりして楽しむことは難しい、といった課題もある。

立体文字ではないが、立体物を一般的な環境で容易に制作する方法は幾つかあり、特に展開図を作成してからそれを組み立てる手法は活発に研究が行われている[5]。例えば、平面の紙を切り出して折ることで複雑な構造や曲線・曲面を含む多数の建築物の形状を再現する“折り紙建築”[6]や、折り紙建築形状の設計をコンピュータで支援する研究[7]など、が挙げられる。これらの手法で実現される紙の建築物は、展開図の時には最終形がわかりにくい、立体になると本来の建築物の形が現れる、という特徴もある。

このような展開図から立体物を作成する手法は、一般的な環境で制作可能で、視点以外の要因でも判読性が変化する立体文字の実現にも有効と考えられる。ただし、文字をそのまま鉛直方向に押し出し立体化したものの展開図では、元の文字の判別が容易にできる。そこで筆者らは、まず3DCADソフトウェアを用いて、敢えて歪ませた形状の立体文字とその展開図を設計するアルゴリズムを考案した。その上で、本研究ではこの歪んだ形状の立体文字の展開図を設計し、それを平面の紙で出力し、再度立体に造形するという3つの過程から成り、平面と立体の形態の行き来により判読性を変化させる立体文字の制作手法“ひらきがな”(図1)を提案する。“ひらきがな”は、同じ文字でも多様な展開図が設計できて造形の自由度(折り方による異なる立体表現の可能性)もあるため、日常的に見慣れたはずの

文字から制作者自身も予期しないデザインに出会えるという特徴も有する。

本稿では“ひらきがな”の制作手法とその特徴の詳細について述べ、また、実際に制作した“ひらきがな”の判読性やユーザによる制作体験を評価する。さらに“ひらきがな”を応用した表現の例を提示し、今後の展望についてまとめる。

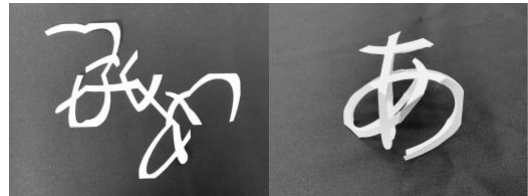


図1 平面で出力した“ひらきがな”の「あ」(左)、  
立体に造形した“ひらきがな”の「あ」(右)

## 2. 関連事例

### 2.1 文字を立体的にデザインし判読性を変化させる事例

本研究と同様に文字の形状を立体的にデザインすることで判読性を変化させている作品事例を挙げる。“かなころ”[3]はひらがなを球体に投影し設計したモデルを3Dプリンタで出力した作品である。“三次元の「あ」”[4]はひらがなの「あ」の点画を奥行方向に曲げて造形した作品である。本研究は制作物が視点に依存して判読性の変化する立体文字のみでなく、字形が歪み判読性の低い展開図にもなる点で異なる。

### 2.2 平面と立体を行き来する設計手法の研究事例

本研究と同様に平面と立体を行き来する設計手法を研究している事例を挙げる。Liuらはミカンの皮を剥いて作る平面作品の制作を支援するためにコンピューターを用いてミカンの皮の最適な切り取り線を設計できるツールを開発している[8]。中村らは竹とんぼの羽根をユーザの任意の形状に設計できるシステムを開発している[9]。これらのように複雑な制作を支援する手法の研究は広く行われているが、本研究のように制作者も形状を予想できない制作物が生まれる可能性に着眼した研究はみられない。

<sup>†</sup> 早稲田大学

### 3. “ひらきがな”の提案

#### 3.1 ひらきがな

“ひらきがな”は歪んだ形状の立体文字の展開図を設計し、それを平面の紙で出力し、再度立体に造形することで、平面と立体の形態の行き来により判読性を変化させる文字のデザイン手法である。“ひらきがな”は、設計・出力・造形の3つのプロセスで構成する。いずれのプロセスでも適宜PCや工作機械を用いるものの、“ひらきがな”は自動的に立体文字を作成するシステムではなく、基本的にはそれぞれのプロセスに必要な手順を、誰でも実施可能なアルゴリズムとしてまとめた制作手法である。

まず、“ひらきがな”のコアとなる歪んだ形状の立体文字の展開図は、文字を立方体に斜方から投影し、その交差部分を切り出すことで実現される。“設計”ではこのために必要な処理を主にフリーでアクセス可能な3DCADソフトウェアを用いた手順としてまとめる。次に“出力”では作成した展開図を紙に切り出すための2つのアプローチをあげる。最後の“造形”では、切り出された展開図を折って組み立てるための指針を示す。

#### 3.2 ひらきがなの特徴や効果

ひらきがなで実現したい特徴や効果は3つある。一つ目は3Dプリンタなどのない一般的な環境でも設計が容易で、出力・造形が手軽にできることである。設計の過程はおもに押し出し・交差・回転移動といった3DCADソフトウェアの基本的な操作のみから構成する。制作物は紙を材料として想定しているため、プリンタやカッティングマシンなどの一般的な機材で出力できる。また、造形は折り紙の要領で対応する部分を手で折り上げていくことで完了する。以上より、“ひらきがな”の設計・出力・造形は立体造形物の制作や3DCADソフトウェアの操作に熟達していない一般の人々にとっても容易であると考えられる。

二つ目は、複数の要因で判読性を変化させることである。判読性を変化させる第1の要因は、鑑賞者の視点の変化である。これは立体文字が一般に持つ特性である。第2は、制作過程における平面と立体の形態の行き来である。立体文字を平面に展開する過程で判読性は次第に低下し、判読しづらい平面の展開図になる。またこれを手で組み立て立体に造形する過程では判読性は次第に上昇すると考えられる。第3は、出力後の自由度の高い形状の加工である。紙により出力した“ひらきがな”を造形する際に折り方を変えてみる、点画の一部を切ってみるなどといった創意工夫を加えることでさらに複雑で多様な判読性の変化が生まれる可能性がある。

三つ目は、制作者自身も予期しないデザインに出会えることである。設計・造形過程においては、点画が裁断された形状の面を操作したり作業中に視点を変えたりすることで、日常的に見慣れたものである文字が馴染み深い形状か

ら逸脱し、文字が秘めていた未知の様相をみせることで、その完成形が想像しづらくなる効果が予想される。

### 4. “ひらきがな”の制作手法

“ひらきがな”の制作手法における設計・出力・造形の3つのプロセスについて詳しく説明する。

#### 4.1 設計

設計プロセスでは、立方体に斜方から投影した文字の展開図をソフトウェア上で作成する。“ひらきがな”を設計する手順は大きく分けて下記の4つのパートからなる。

1. 文字の画像データを用意
2. 立方体および文字形状の3Dデータ作成
3. 交差部分の切り出し
4. 面の展開

パート1では画像編集ソフトなどを用いて制作物の目的にあわせ文字の画像データ(SVG等のベクターイメージ形式のもの)を用意する。例えばひらがなの「い」や「う」のように文字を構成する点画が離れている場合それらが繋がるように点画の延長や移動を行う。続くパート2からパート4の操作は3DCADソフト上で行う。本研究ではAutodesk社が提供する3DCADソフトfusion360(バージョン2.0.5677)を使用する。パート2では立方体の3Dデータと文字形状の3Dデータを互いが斜めに交差する形でそれぞれ作成する(図2左)。パート3では立方体の3Dデータと文字形状の3Dデータが交差する部分を切り出すことで立方体に文字が斜めから投影された形状の3Dモデルを作成する(図2中央)。パート4では3Dモデルの各面を順に回転させることで展開図を作成する(図2右)。表1に以上のプロセスに関して、実行する操作のアルゴリズムを示す。



図2 パート2で作成した立体文字と立方体(左)、パート3で切り出した交差部分(中央)、パート4で作成した展開図(右)のfusion360画面上の3Dモデル

表1 “ひらきがな”設計プロセス概要

パート	プロセス	操作
1. 文字の画像データ用意	データの用意	制作物の目的にあった文字のSVG画像データを外部プラットフォームにおいて用意
2. 立方体および文字形状の3Dデータ作成	立方体の作成	① 作業スペースを「モデル」に変更 ② 立方体の作成
	文字形状の作成	① 文字を投影する傾斜平面の作成 ② 「SVGファイルを挿入」 ③ スケッチを「押し出し」(新規ボディ)
3. 交差部分の切り出し	文字と立方体の交差	① 「結合」(交差)
	面のオフセット	① 作業スペースを「パッチ」に変更 ② 面をそれぞれ「オフセット」(新規ボディ)
4. 面の展開	面の展開	① 面のボディを選択し「移動」 ② ピボット設定 ③ 90°回転

## 4.2 出力

出力過程では、設計過程で作成した“ひらきがな”の展開図を紙媒体で物理的に切り出す。まず、fusion360 で設計した展開図の画面をキャプチャして画像として保存する。カッティングマシンを用いて出力する場合は、キャプチャした画面を画像編集ソフトに取り込み、展開図の輪郭をトレースして線のデータに変換したもの（図 3）をカッティングマシンに送信し紙を切り出す（図 4）。一般のプリンタを用いる場合は、キャプチャした画面をそのままプリンタで印刷し、輪郭をハサミやカッターナイフ等を用いて切り出す。

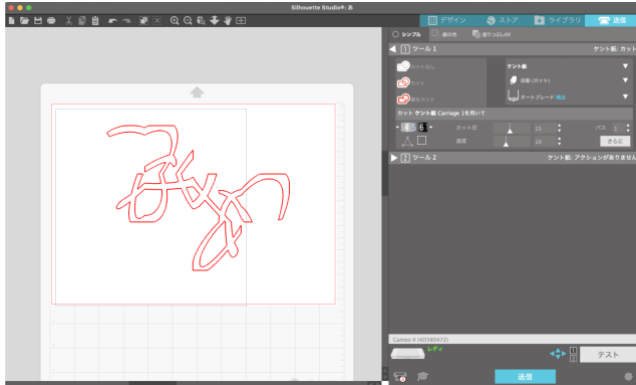


図 3 輪郭線のデータに変換した展開図



図 4 展開図をカッティングマシンで出力する様子

## 4.3 造形

造形過程では、出力した紙の展開図を手で折り立体文字を造形する（図 5）。現時点では出力に折り線を反映しておらず、設計した展開図の図面における面の継ぎ線に相当する部分を折り線として折り曲げている。図 6 のように画面上で継ぎ線は黒い実線で示されている。

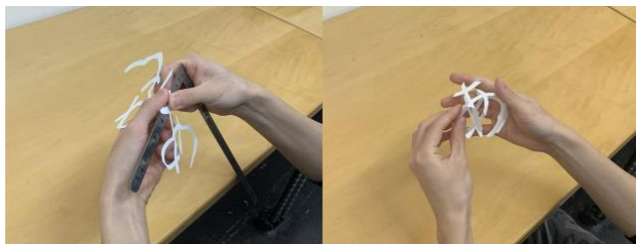


図 5 展開図を手で折って立体文字を造形する様子

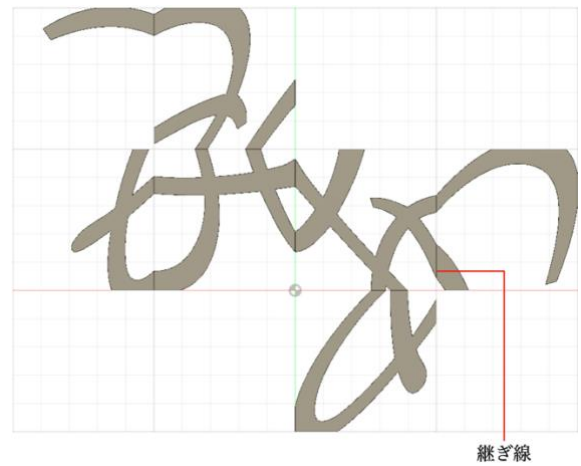


図 6 設計した fusion360 画面上の展開図

## 5. 手法の検証

提案した制作手法の妥当性を検証するために、ひらがな全 46 文字の“ひらきがな”の制作を行った。今回用いた文字の画像データは IPAex 明朝体のひらがな 46 文字の SVG ファイルを adobe Illustrator を用いて事前に編集したものである。まず、各文字について設計であげたアルゴリズムに従い fusion360 で操作を実行した結果、ひらがな 46 文字全てについて“ひらきがな”の展開図が設計できた。図 7 に fusion360 上で設計した展開図を adobe Illustrator を用いてトレースして作成した“ひらきがな”全 46 文字の展開図の画像データを示す。これにより提案した設計アルゴリズムがどの文字にも適用可能であることを確認した。

次に、展開図の画像データを一文字ずつカッティングマシンに送信し実際に紙を切り出して物理的に出力した。出力にはケント紙（A4 サイズ、厚さ 0.19mm）を用いた。全ての文字について形状が歪み判読性が低下した状態の展開図が出力された。

最後に、切り出した文字の展開図を折ることで、ひらがな 46 文字全てについて立体文字を造形した。判読が困難であった文字の展開図から視点によって判読性が変化する立体のひらがなを造形できることを確認した（図 8）。



図 7 “ひらきがな”全 46 文字の展開図画像データ



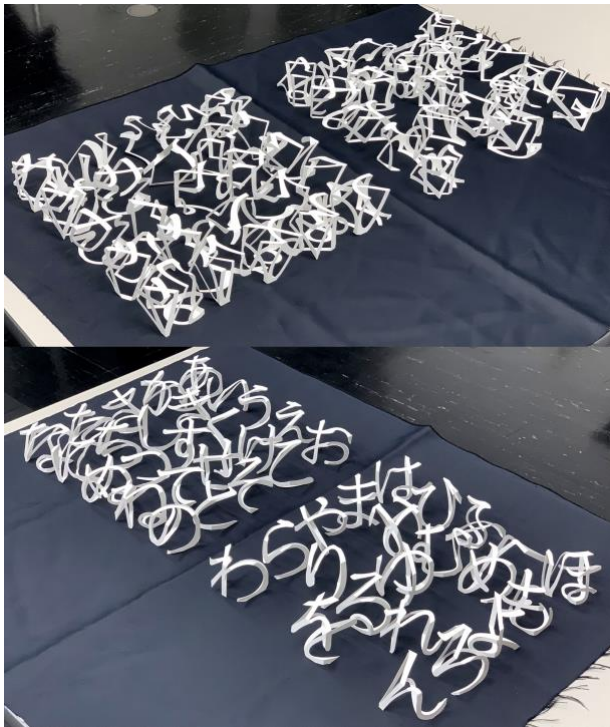


図 8 紙で造形した立体的“ひらがな”全 46 文字の写真

## 6. 評価実験

“ひらがな”で目指した以下の 3 つの効果・特徴が実際に得られたかを明らかにするため、評価実験を行う。

- (1) 制作の容易さ: 一般的な環境でも設計が容易で、出力・造形が手軽にできる
- (2) 多様な判読性の変化: 判読性が視点以外の要因によっても変化する
- (3) 制作者の予期しない形状変化: 制作物の形状変化が制作者にとっても予想しがたい

まず (2) の多様な判読性の変化の中でも特に、平面と立体の形態の違いにより“ひらがな”の判読性が変化するかを明らかにする実験を行う。次に、ユーザに実際に制作を体験してもらい (1) (2) (3) のような効果・特徴を感じられたかを主観評価により明らかにする。

### 6.1 判読性の評価

#### 6.1.1 実験概要

制作した“ひらがな”の判読性を評価するため google フォームを用いて実験を行った。実験参加者は日本語を第一言語とする 10~20 代の男女 24 名 (男性 13 名, 女性 11 名) であった。

実験では、まず被験者に全 46 文字の中からランダムに選択された 10 文字の平面の展開図の“ひらがな”の白黒画像 (図 9 左) をディスプレイ上で 1 文字ずつ提示し、何のひらがなに読めるかを順に判読してもらい、自由記述形式で回答を得た。次に、紙で造形し正面方向 (設計時に文字を投影した平面に垂直であり、文字が成立して読める方

向) から撮影した立体的“ひらがな”の写真 (図 9 右) を同様の形式でランダムに 10 文字判読してもらい回答を得た。

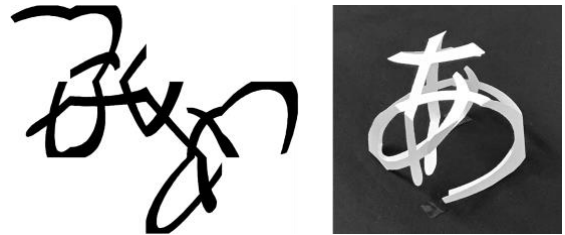


図 9 提示した平面の“ひらがな”の白黒画像 (左) および立体的“ひらがな”の写真 (右) の一例

#### 6.1.2 結果

実験の結果をまとめたものを図 10 に示す。回答者ごとの“ひらがな”の誤読率 (提示されたひらがな 10 文字の設問のうち誤ったひらがなを回答した設問が占める割合) の平均値は、平面では 52.08%, 立体では 5.83% であり、標準誤差はそれぞれ 3.90%, 1.46% であった。

#### 6.1.3 考察

平面の展開図の“ひらがな”の誤読率は平均で 50% を超え高かった。一方で、正面方向からみた立体的“ひらがな”の誤読率は平均 6% を下回り低かった。このように平面の“ひらがな”の判読性は低く、立体的“ひらがな”の判読性は高いことから、“ひらがな”の判読性は平面と立体とで変化するとと言える。

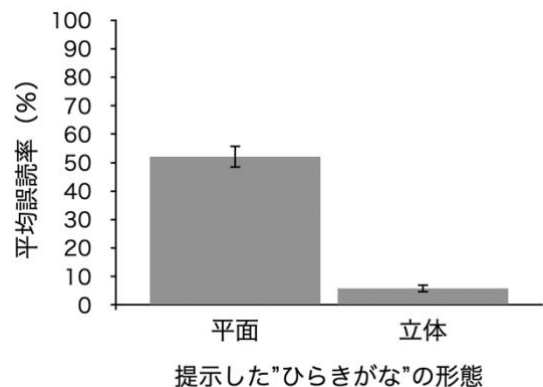


図 10 “ひらがな”の判読テスト結果

### 6.2 ユーザスタディ

#### 6.2.1 実験概要

“ひらがな”で意図した効果・特徴が得られたかを主観的に評価するためユーザによる制作体験 (設計と造形) を実施した。実験参加者は fusion360 を使用したことがある 20 代の男女 7 名 (男性 4 名, 女性 3 名) であった。

まず、設計過程で行う作業をスライドにより説明しながら、実際に参加者に fusion360 を用いて“ひらがな”を設計してもらった。設計には全ての参加者に同一の MacBook Pro (13-inch, 2017) 1 台を使用してもらい、使用した文字のデータは IPAex 明朝体のひらがな「あ」の SVG ファイルに統一した。続いて、設計した“ひらがな”の展開図を実験者がカッティングマシン (SILH-CAMEO-4-WHT-J) により

その場で出力して参加者に渡し、手で折って立体文字を造形してもらった。最後に、google form を用いて表 2 にあげる 8 つの質問に「全くそう思わない」を「1」、「とてもそう思う」を「5」とする 5 段階評価で回答してもらった。質問は 1-4 が設計に関して、5-8 は造形に関してであるが、内容は同じである。

表 2 アンケートの質問項目

	質問番号	質問項目
設計	1	設計は容易である
	2	設計過程で次第に文字が読みづらくなる
	3	文字を展開した後の形状は予想外である
	4	展開した後の形状は文字であると感じる
造形	5	造形は容易である
	6	造形過程で次第に文字が読みづらくなる
	7	文字を造形した後の形状は予想外である
	8	造形した後の形状は文字であると感じる

### 6.2.2 結果と考察

アンケートの結果をまとめたグラフを図 11 に示す。

まず制作過程の容易さに関する設問 1 と設問 5 に関して、どちらも平均値は 4.14 で標準誤差は 0.261 であった。どちらも 5 段階評価で 4 以上の高い回答平均値で回答のばらつきも少ないことから、“ひらきがな”の設計および造形過程は容易であると評価されたといえる。

次に文字の判読性に関する設問 2 と設問 6 に関して、設問 2 の平均値については 4.86 と最大評価値である 5 に近い回答平均値を得たのに対し、設問 6 については 2.57 と回答平均値が評価値の中央値 3 を下回った。標準誤差はそれぞれ 0.143, 0.429 であった。また、制作物の文字らしさに関する設問 4 および設問 8 に関して、設問 4 については 1.71 と 2 を下回る低い回答平均値を得たが、設問 8 については 4.43 と 4 を上回る高い回答平均値を得た。標準誤差はそれぞれ 0.421, 0.297 であった。これらのことから、設計過程においては文字の判読性が次第に低下し、展開図の状態では文字としての判読性が低く、造形過程においては文字の判読性は次第に上昇し、立体文字になると判読性が高くなったといえる。すなわち、“ひらきがな”は判読性が制作の過程で変化する特徴を有していると評価されたといえる。

制作物の予期しない形状変化に関する設問 3 および設問 7 に関して、設問 3 については 4.86 と 4 以上、設問 7 については 3.75 と 3.5 以上の高い回答平均値を得た。標準誤差はそれぞれ 0.143, 0.481 であった。結果として、“ひらきがな”の形状は制作過程において制作者も予想できない変化をしたと評価されたといえる。

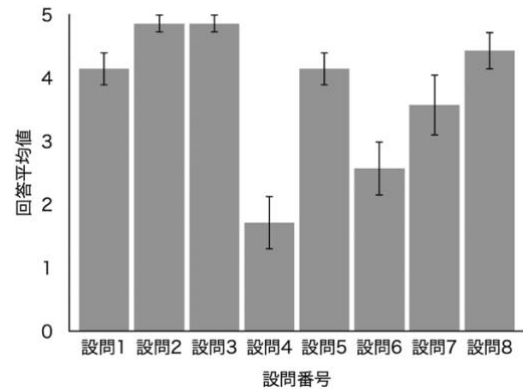


図 11 ユーザスタディのアンケート結果

## 7. 応用例

制作した“ひらきがな”を用いた表現および“ひらきがな”の制作手法の応用可能性を示す。

### 7.1 制作した“ひらきがな”を用いた応用表現

“ひらきがな”の立体文字は類似した従来の立体文字による表現手法と比べ、形状を歪ませる設計手法に起因して判読性の視点依存度が高く、複数の視点に向けた文字群を近くに配置しても互いに干渉しにくいといえる。図 12 はこの点を生かし、部屋の出入り口付近に「ようこそ」「またきてね」という 2 種類の文字群を正面方向を 90 度ずらした形で配置し、入ってくる人には「ようこそ」、出ていく人には「またきてね」というメッセージを提示する表現例である。

また、“ひらきがな”の制作手法は既存の立体文字の制作手法と比較して制作のための機材面や時間面のコストが小さく、一般の家庭やオフィスなどでも手軽に立体文字による表現を楽しむことができる。



図 12 複数の“ひらきがな”を空間内に配置する表現例

### 7.2 造形の応用表現

紙により造形した“ひらきがな”は折る、切る、曲げるなどの加工の自由度が高い。そのため、ユーザが形状や判読性を直感的に細かく調整し、より複雑な表現を創作することができる。図 13 左は「あ」の点画を一部切り取ることで、正方向から外れた視点からの判読性をより低くすることを試みた例である。図 13 右は同じ「あ」の展開図を設計通りに折り線で折って造形する代わりに点画を緩やかに曲げることで造形した例で、元の文字が有していた形状の特徴を部分的に残しつつも、どの視点から見ても成立した文字としては読めなくなっている。



図 13 点画の一部を切り取った表現の例 (左),  
点画を曲げて造形した表現の例 (右)

### 7.3 制作手法の応用可能性

平面を一度立体におこしてから再度平面に落とし込む制作手法は、文字以外にもイラストや写真などといった平面の形態をもつ様々なデザインを再構成する手法として応用できると考えられる。例えば平面のロゴデザインを提案手法と同様の設計手法で再構成することで、デザインの大まかな特徴は残しつつ形状が歪んだデザインを制作することができる。展開図を出力することでデザインを立体物として造形することもできる。図 14 は早稲田大学橋田研究室のロゴマークを“ひらきがな”の手法により立体的に制作した例である。



図 14 使用したロゴマークの画像データ (左),  
制作した立体ロゴを正方向から見た様子 (中央),  
同じ立体ロゴを別の角度から見た様子 (右)

## 8. まとめと今後の展望

本研究では歪んだ形状の展開図を 3DCAD ソフトウェア上で作成して平面の紙に出力した上で立体に造形することにより、平面と立体の行き来で形状や判読性が変化する文字の制作手法“ひらきがな”とその特徴を示した。また、提案した制作アルゴリズムに沿って実際に 46 文字の“ひらきがな”を設計者自身が制作し、提案手法の妥当性を確認した。次に制作した“ひらきがな”の平面と立体の状態での判読性を実験で検証し、“ひらきがな”の判読性が形態によって変化することを確認した。さらにユーザスタディとして実際に被験者に制作を体験してもらい、“ひらきがな”の制作が容易であることと、制作過程自体が制作している文字の予想できない変化に触れられる体験となったことを確認した。最後に“ひらきがな”およびその制作手法の表現としての応用可能性を提示した。

本研究ではインタラクティブで自由度の高い設計を行う

ため既存の 3DCAD ソフトウェアを用いたが、今後の展望として、提案した設計アルゴリズムを元に“ひらきがな”をより手軽に設計・出力できるよう、機能拡張の開発などによりプラットフォームを改良することも考えられる。また、出力に折り線やのりしろの部分で反映し造形をより容易にできるようにすることも改善案としてあげられる。

ユーザがさらに多様で自由度の高い立体文字の表現を実現できるようにするために、今後も立体文字の研究と考察、制作を続けていきたい。

### 参考文献

- [1] 鷺巣敏行, “文字のユニバーサルデザイン—ユニバーサルデザイン視点から見た読みやすい文字の研究開発経緯—,” 日本印刷学会誌, 46(3), pp.131-136, 2009.
- [2] 河野英一, “タイポグラフィック・デザインの現状—フォントの可読性, 視認性, 判読性—,” 日本デザイン学会誌デザイン学研究特集号, 17(2), pp.2-7, 2010.
- [3] MZB Design. 溝部洋平. “かなころ”. <https://mzb.myportfolio.com/kanakoro>. (参照日:2021/7/6)
- [4] BARAKAN DESIGN. 神原秀夫. “三次元の「あ」”. [http://www.barakan.jp/works\\_3d\\_a.html](http://www.barakan.jp/works_3d_a.html). (参照日:2021/7/6)
- [5] 三谷純, 鈴木宏正, 木村文彦, “3次元ポリゴンモデルの展開図作成,” 情報処理学会研究報告グラフィクスとCAD(CG), 70, pp.13-18, 1999.
- [6] 茶谷正洋, “折り紙建築虎の巻”, 彰国社, 1985.
- [7] 三谷純, 鈴木宏正, 宇野弘, “計算機による「折り紙建築」形状の設計支援,” 図学研究, 36, pp.35-40, 2002.
- [8] Hao Liu, Xiao-Teng Zhang, Xiao-Ming Fu, Zhi-Chao Dong, Ligang Liu, “Computational Peeling Art Design,” ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 38(4), pp.1-12, 2019.
- [9] Morihiro Nakamura, Yuki Koyama, Daisuke Sakamoto, Takeo Igarashi, “An Interactive Design System of Free-Formed Bamboo-Copters,” Computer Graphics Forum, 35(7), pp.323-332, 2016.