

3D折り紙アニメーションのための モデリングソフトウェアの開発

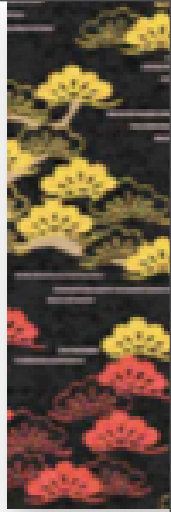
システム情報工学研究科 1年

200620987

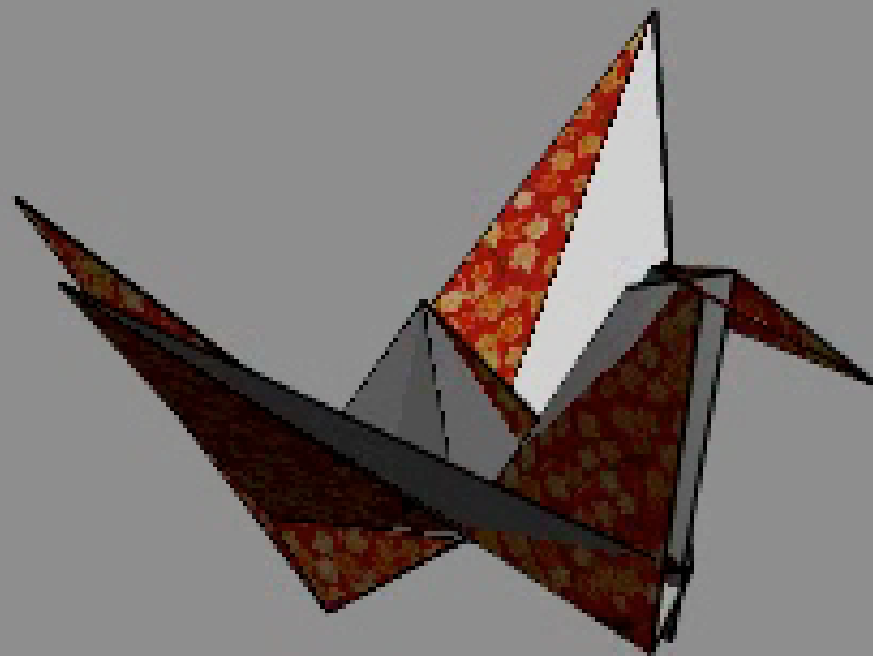
古田 陽介

指導教官:三谷 純、福井 幸男

結論



コンピュータで折り紙を表現する
ための計算モデルと、直感的に
モデリングを行うためのインタ
フェースを考案し、実装を行った

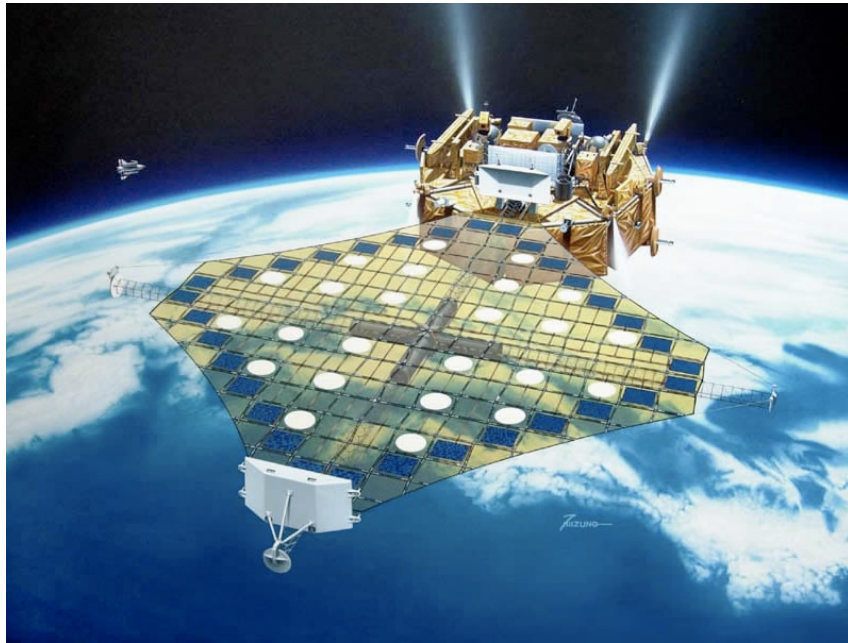


背景

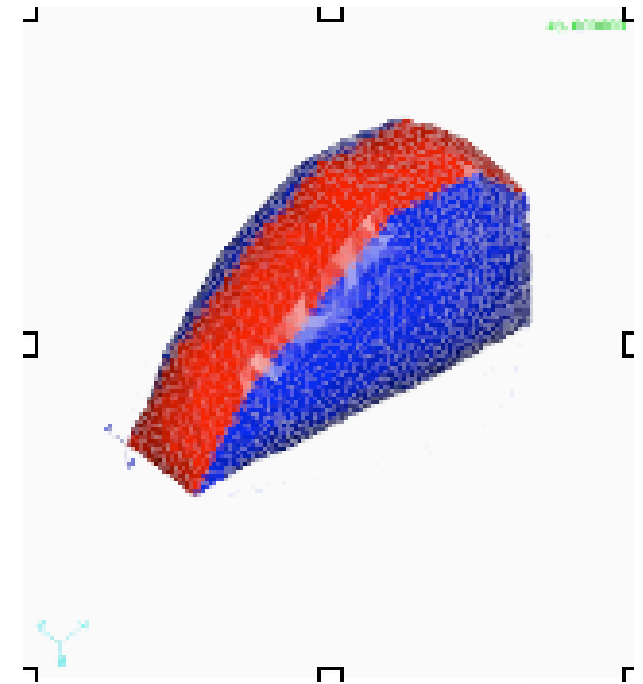
幾何学の分野で研究

近年の工学的な応用

背景

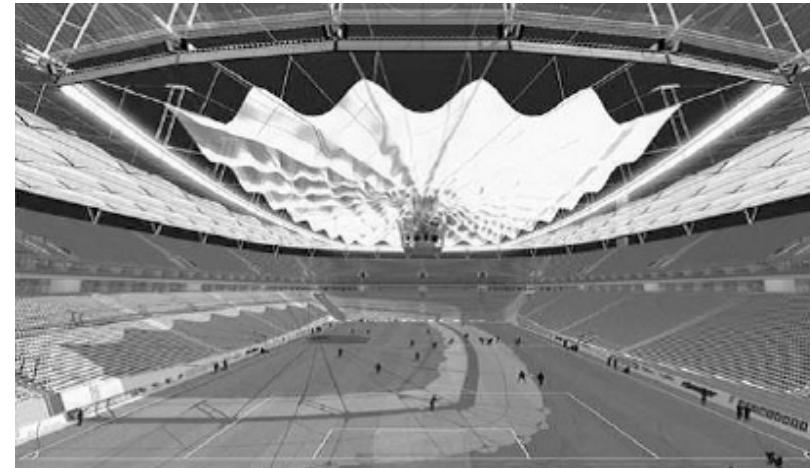
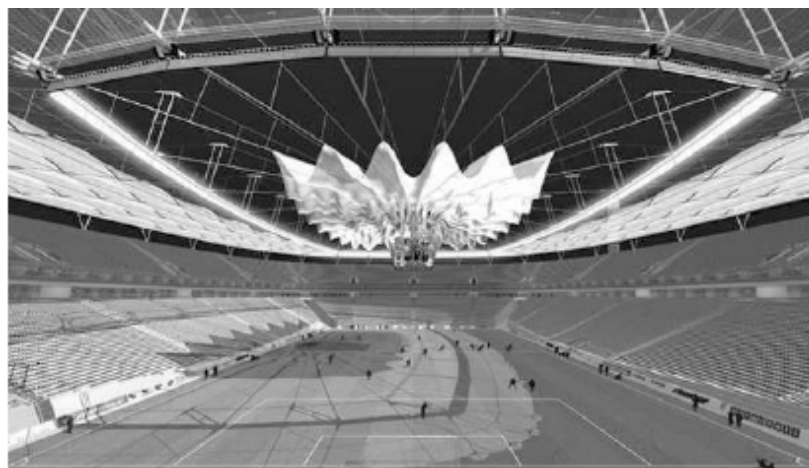


ミウラ-オリ太陽パドル試験衛星(想像図)
提供：宇宙航空研究開発機構(JAXA)
©水野哲也イラストレーション事務所
http://www.tetsuya-mizuno.com/sfu_01.html



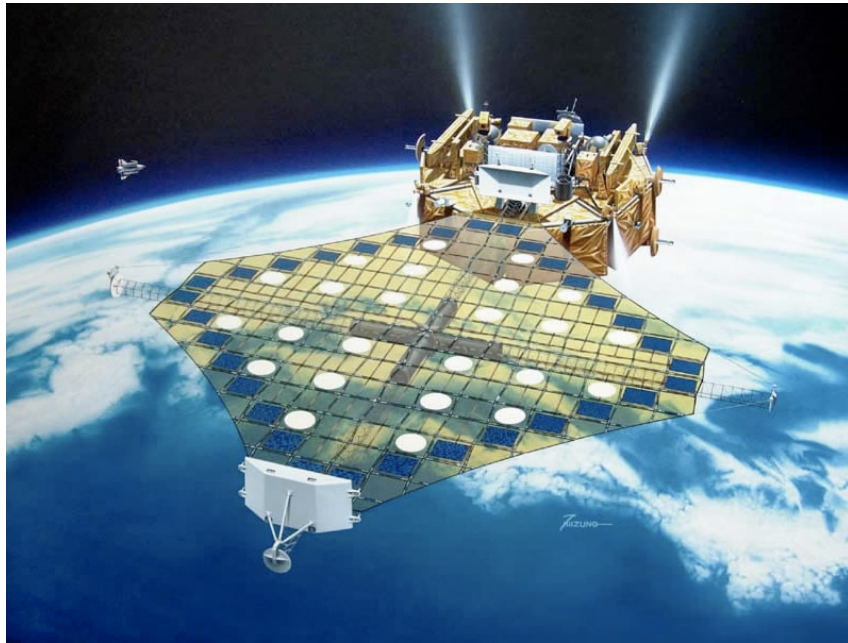
Airbag Folding(2006)
<http://www.langorigami.com/science/airbag/airbag.php4>

Waldstadion(2005)

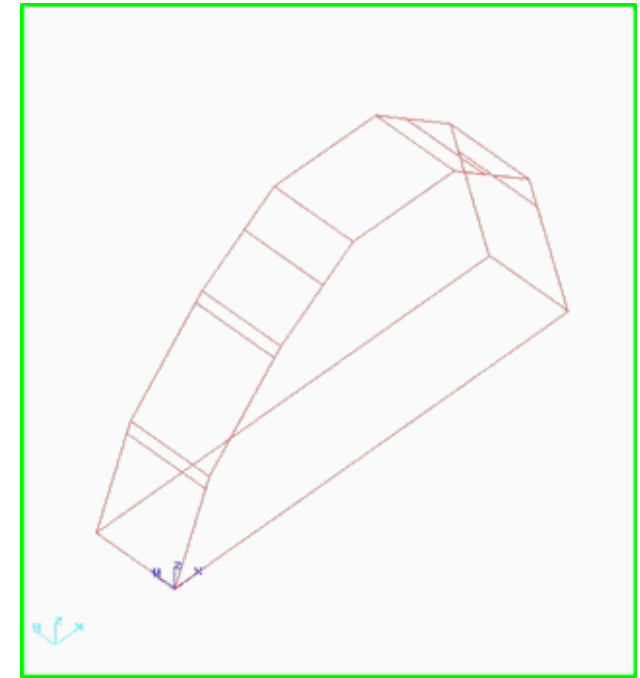


効率的な折り畳み法への応用

背景

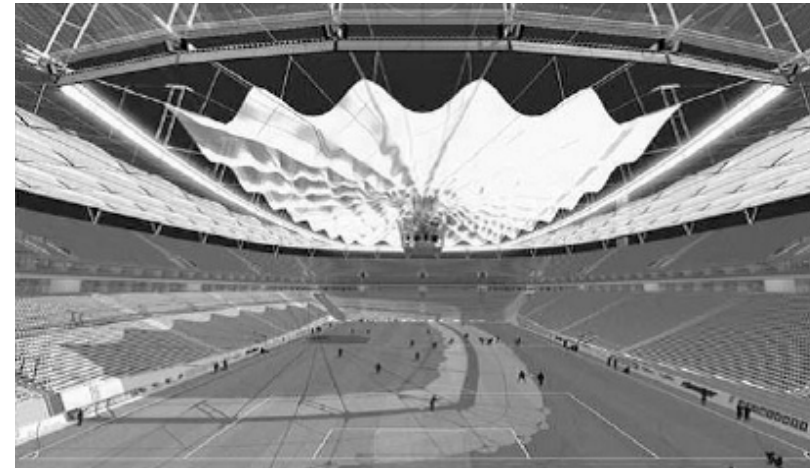
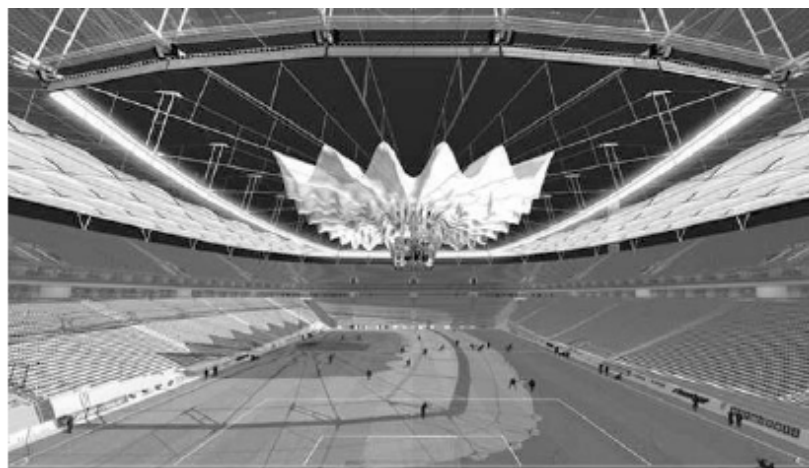


ミウラ-オリ太陽パドル試験衛星(想像図)
提供：宇宙航空研究開発機構(JAXA)
©水野哲也イラストレーション事務所
http://www.tetsuya-mizuno.com/sfu_01.html



Airbag Folding(2006)
<http://www.langorigami.com/science/airbag/airbag.php4>

Waldstadion(2005)



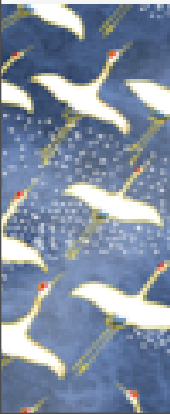
効率的な折り畳み法への応用



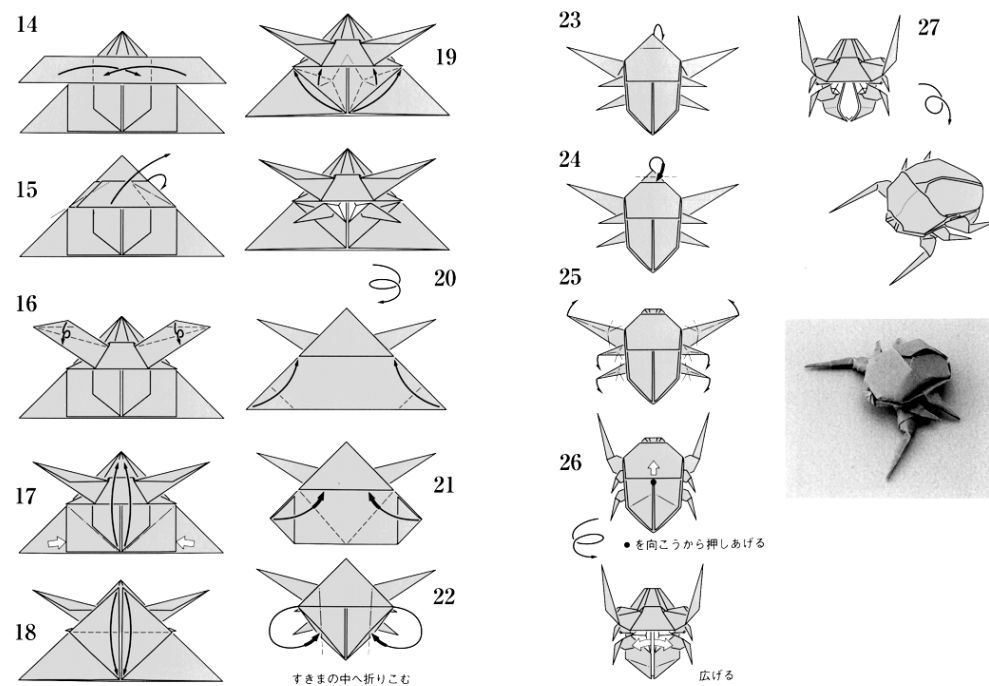
教育に用いる

- 幾何学の基本的性質の理解
- 指先を使うことは脳を活性化させる
- 日本文化の理解

手順を伝達しなければならない



既存の折り手順伝達手法

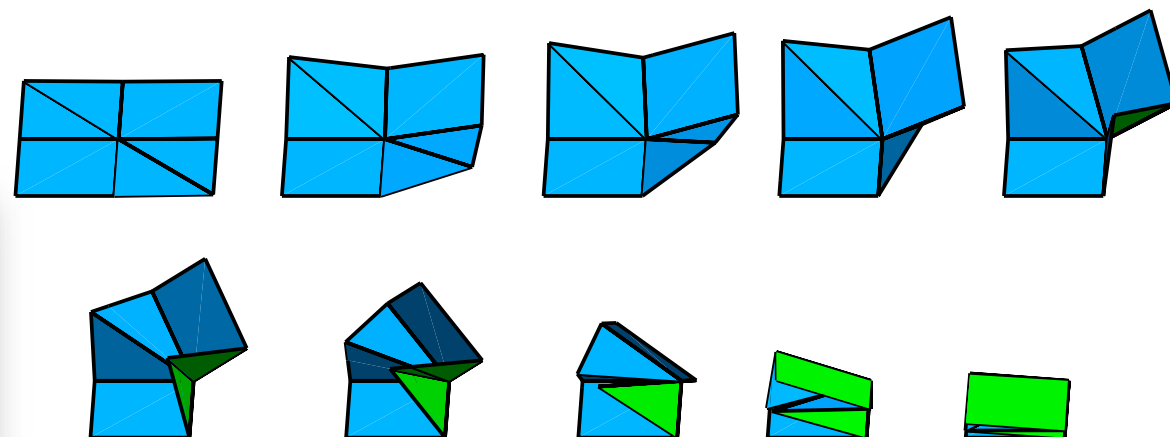
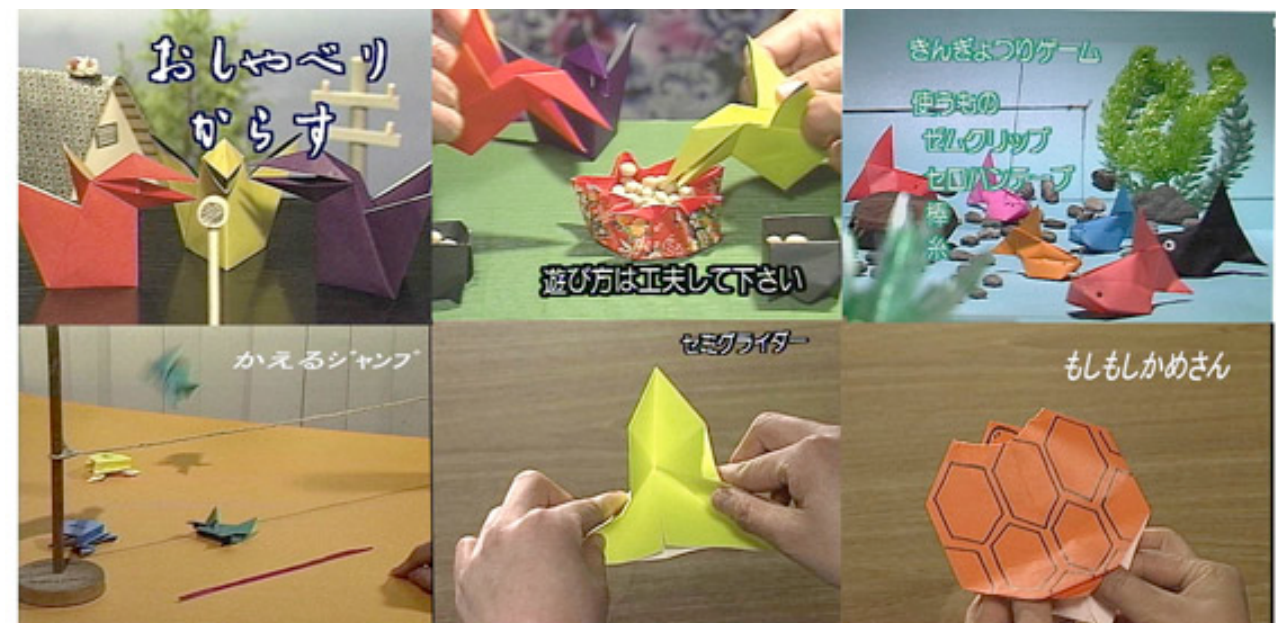


折り図

桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

ビデオ

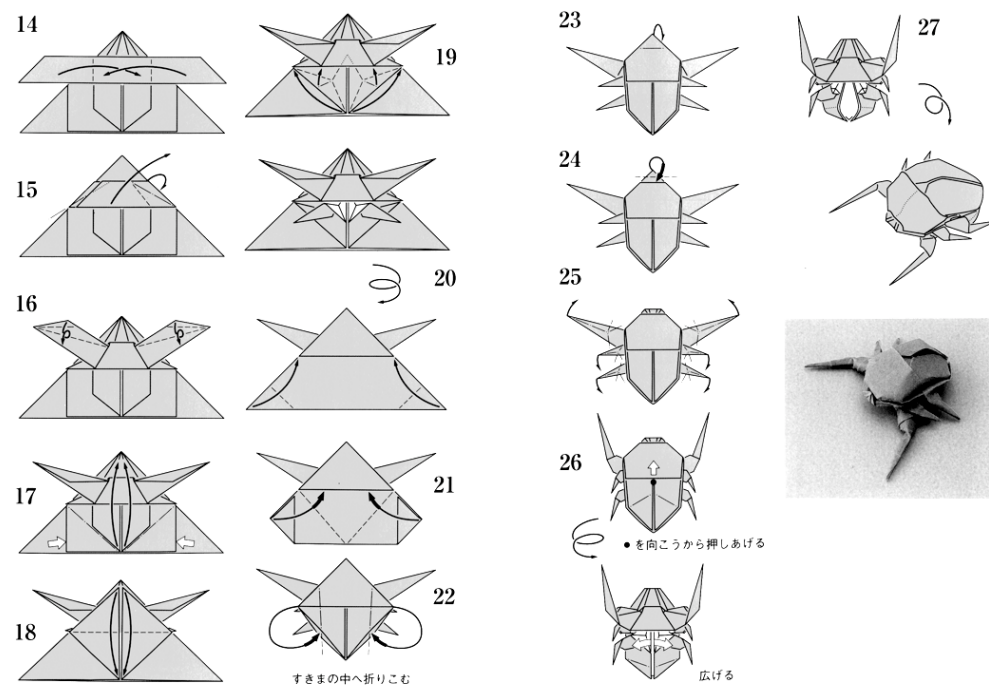
おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」



3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding "

既存の折り手順伝達手法



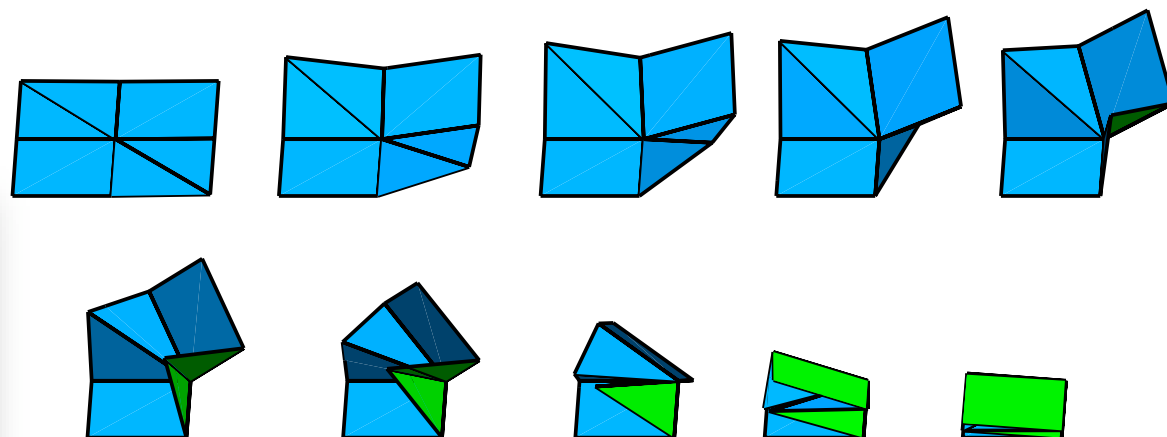
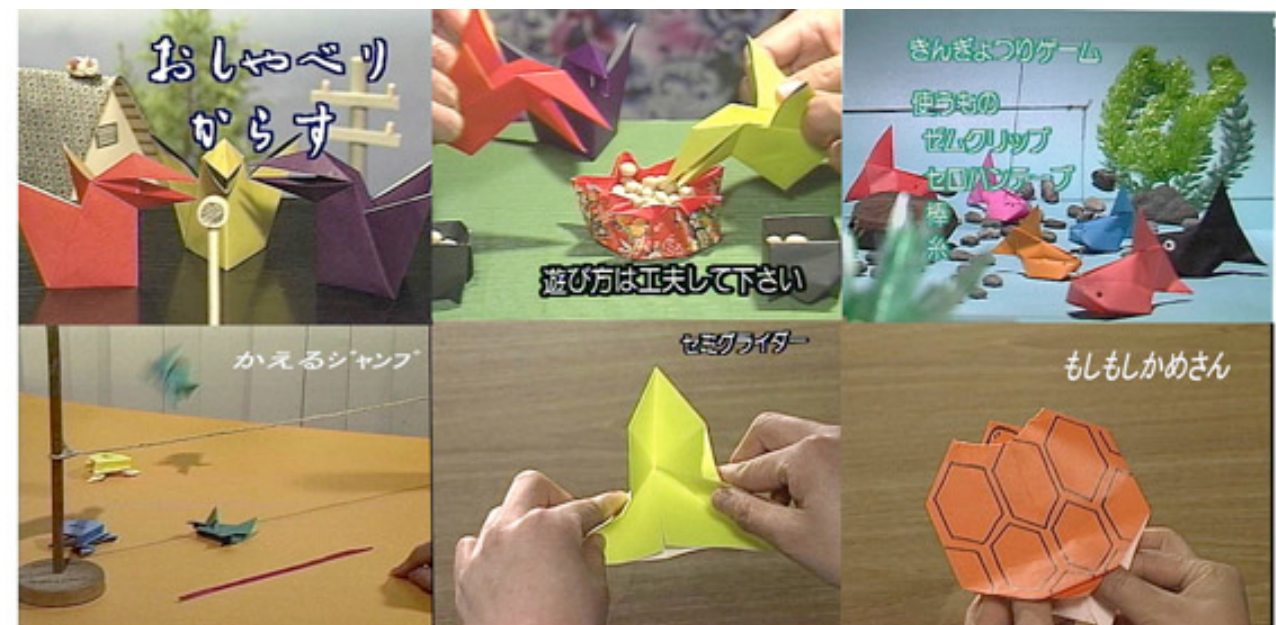
× 制作に手間 ×

折り図

桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

ビデオ

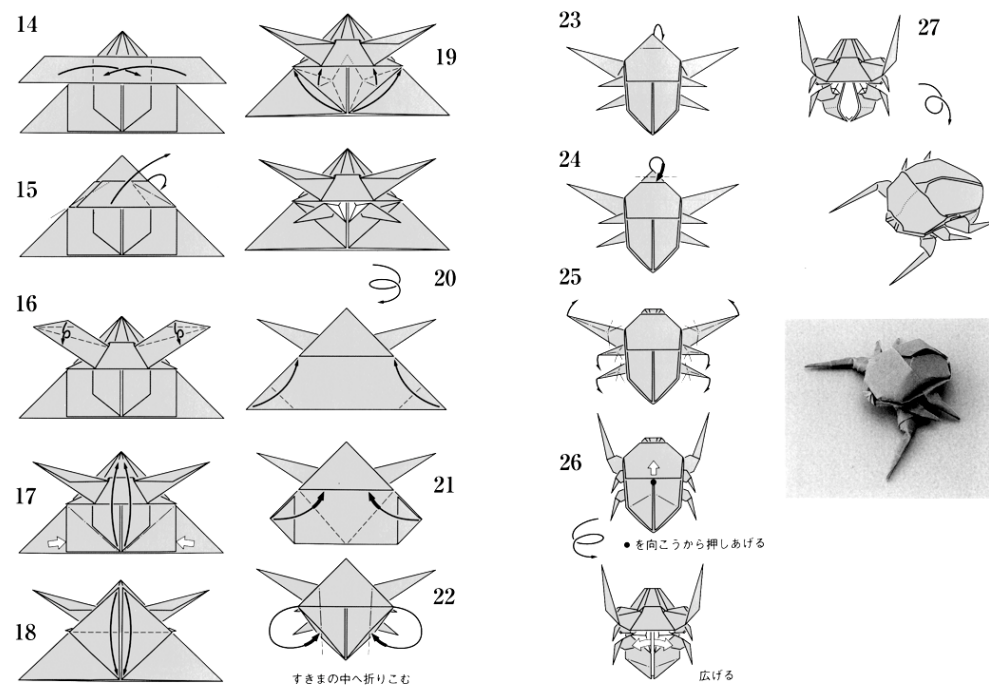
おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」



3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"

既存の折り手順伝達手法

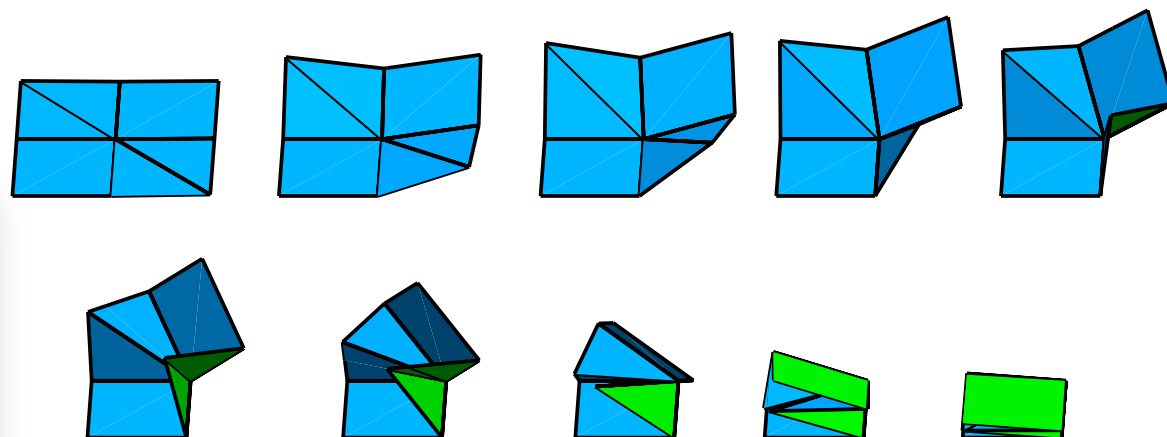
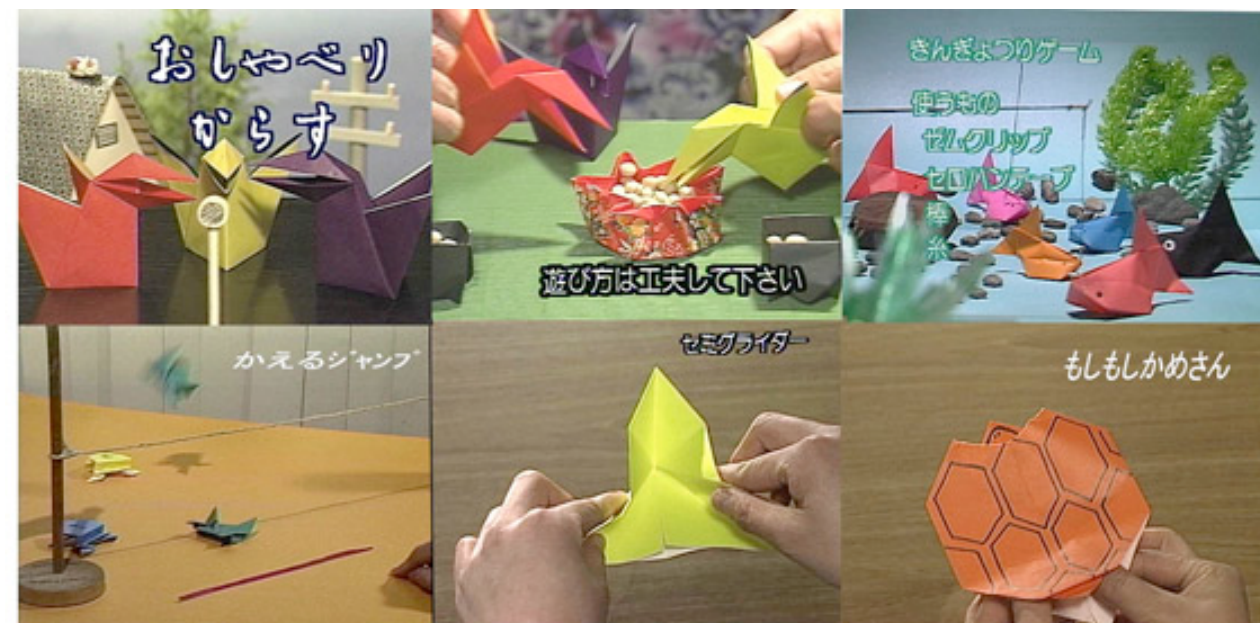


× 制作に手間 ×
× 理解しにくい ×
折り図

桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

ビデオ

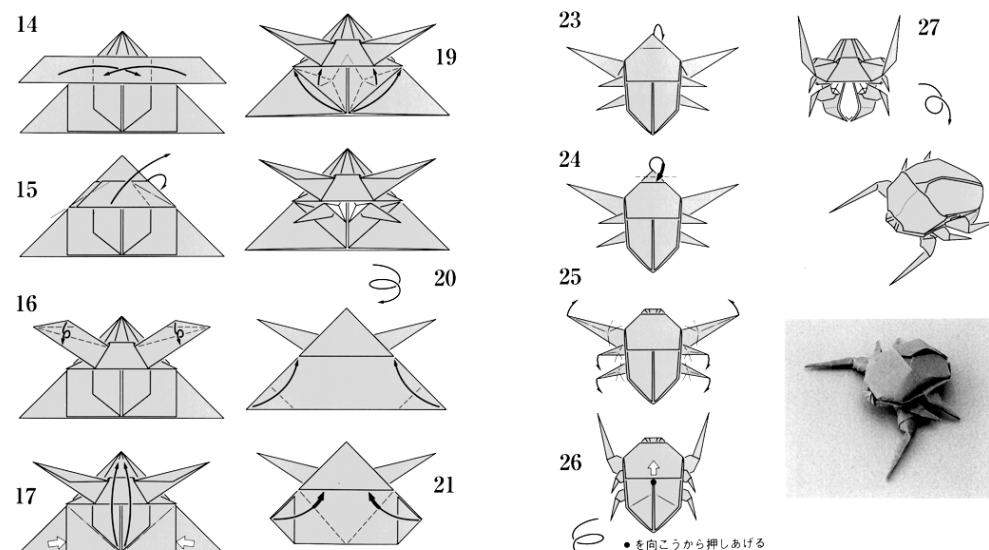
おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」



3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"

既存の折り手順伝達手法



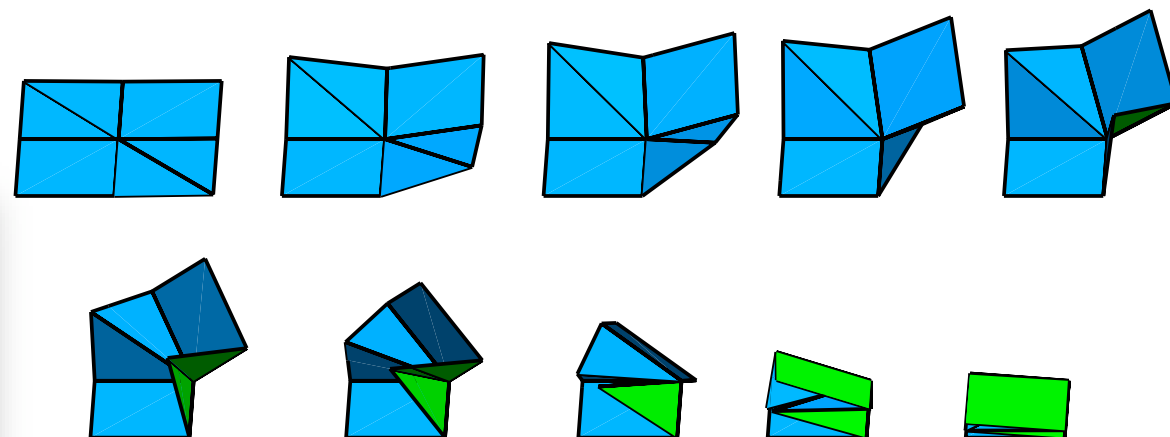
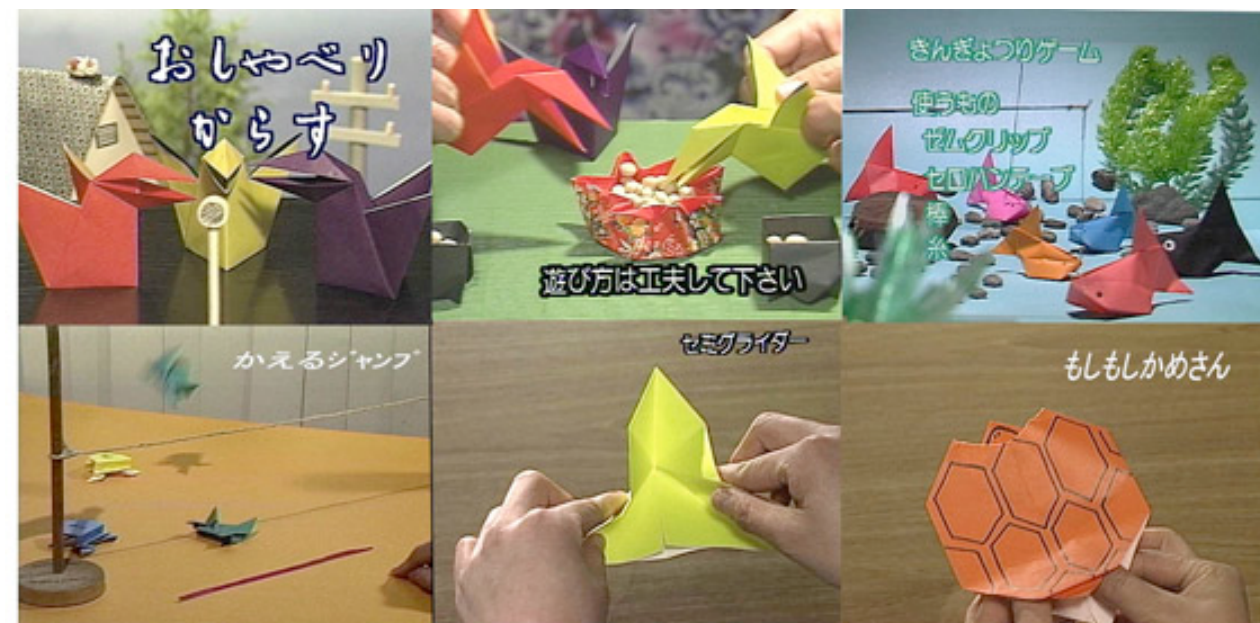
× 制作に手間 ×
× 理解しにくい ×
折り図

桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

○制作が容易○

ビデオ

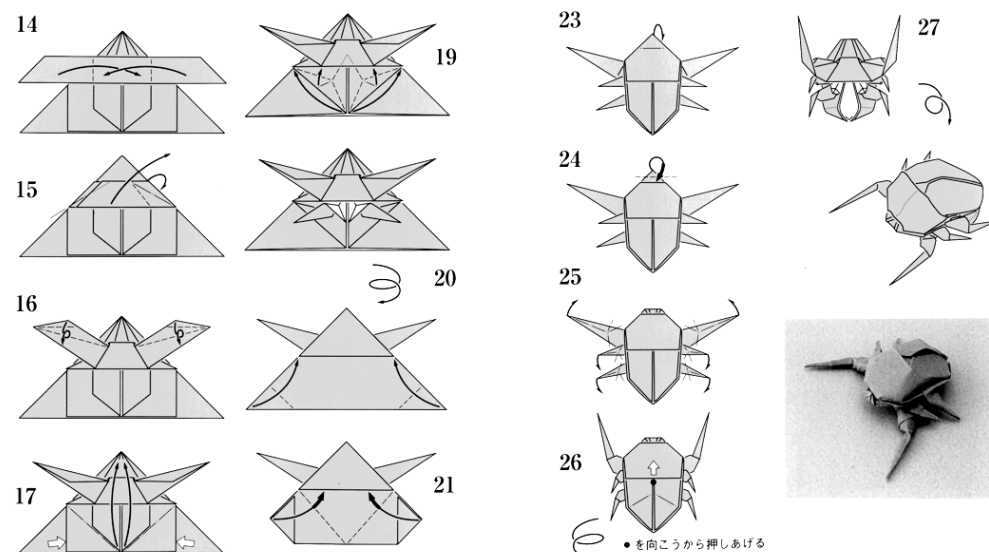
おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」



3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"

既存の折り手順伝達手法



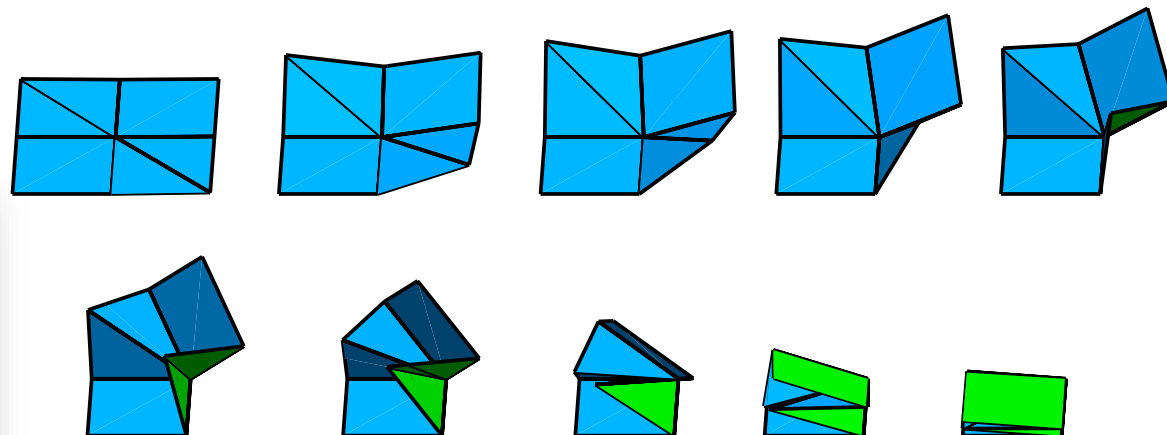
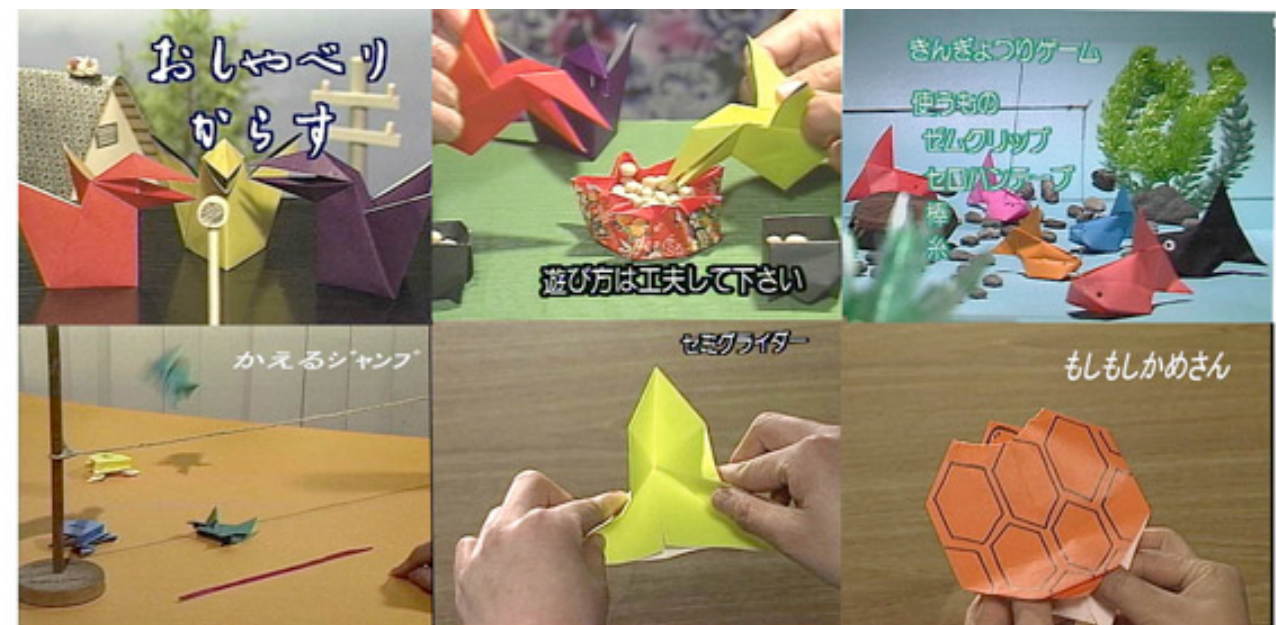
× 制作に手間 ×
× 理解しにくい ×
折り図

桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

○制作が容易○

○理解しやすい○

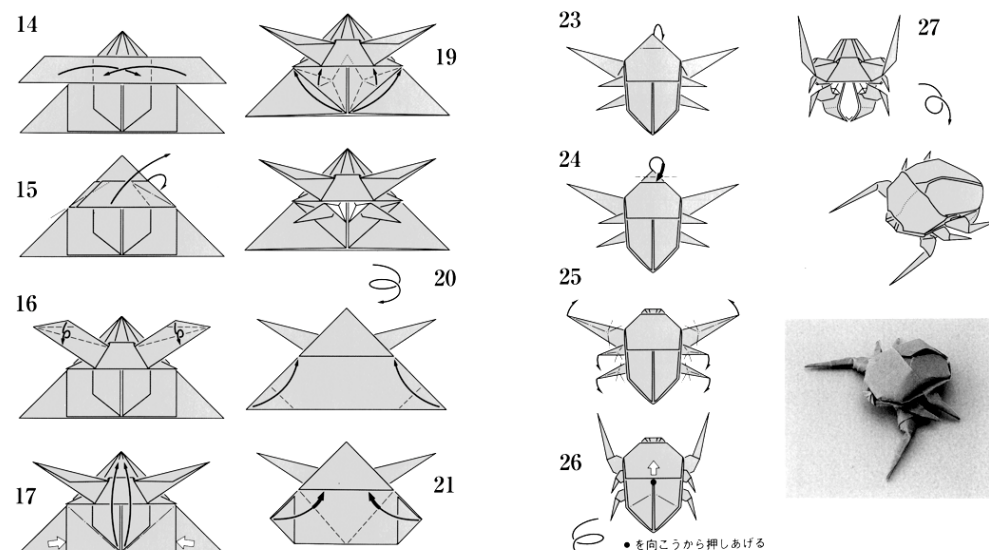
ビデオ
おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」



3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"

既存の折り手順伝達手法



× 制作に手間 ×
× 理解しにくい ×
折り図

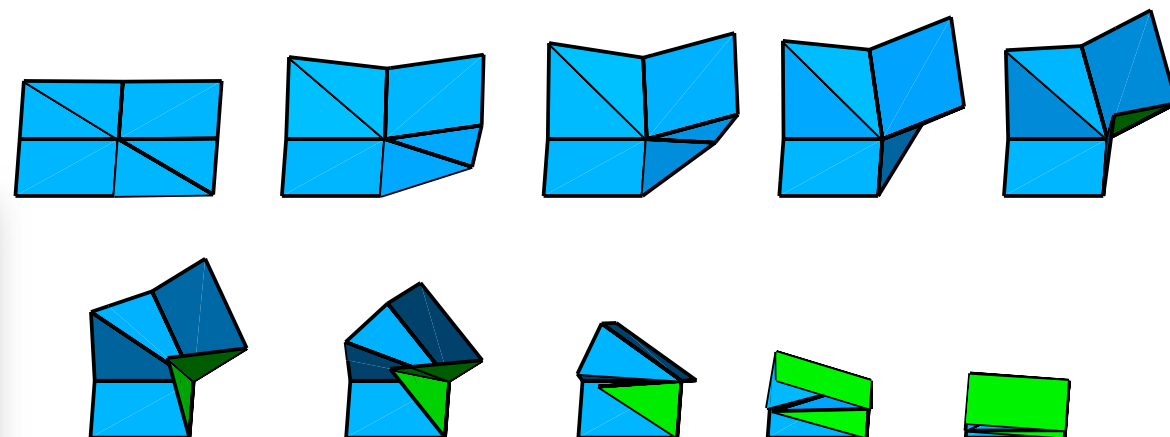
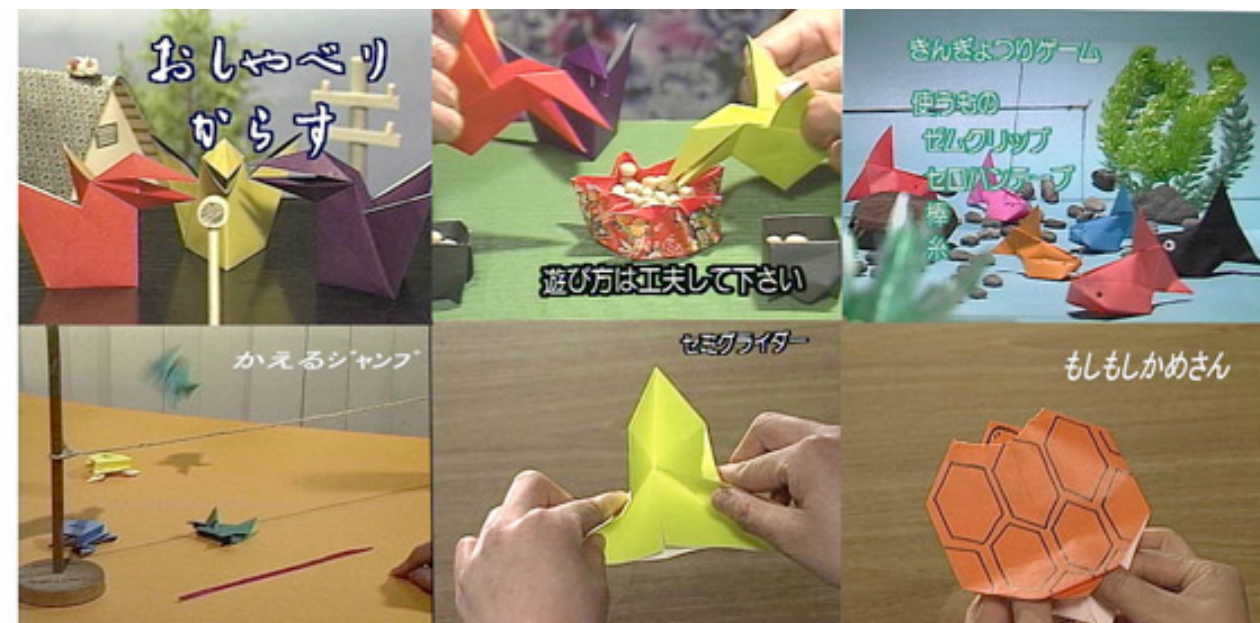
桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

○制作が容易○

○理解しやすい○

おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」

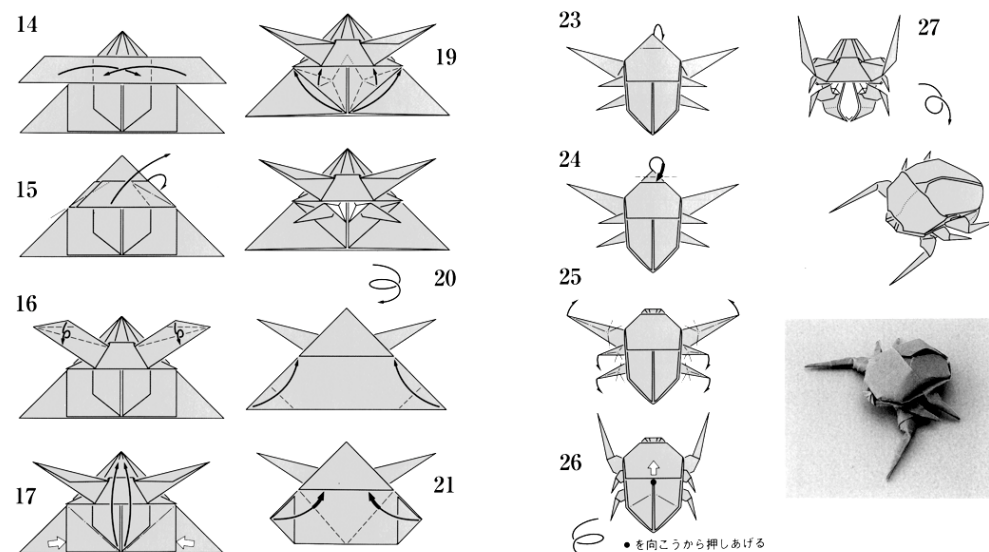
△ 配布しにくい △



3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"

既存の折り手順伝達手法



× 制作に手間 ×
× 理解しにくい ×
折り図

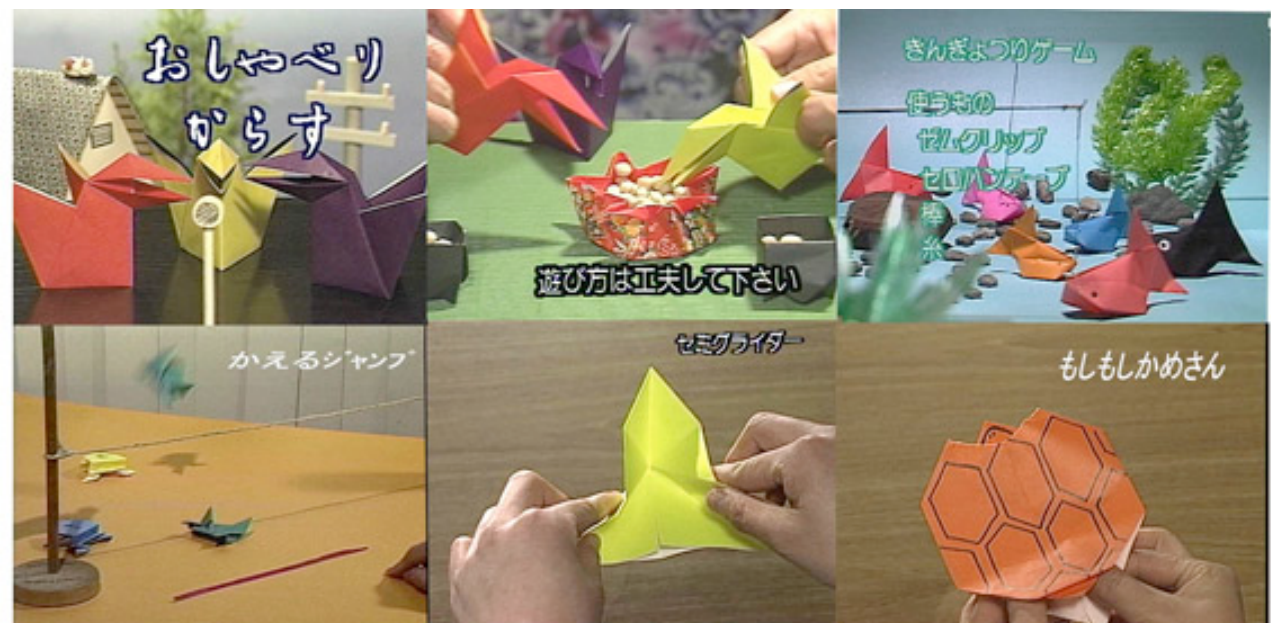
桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

○制作が容易○

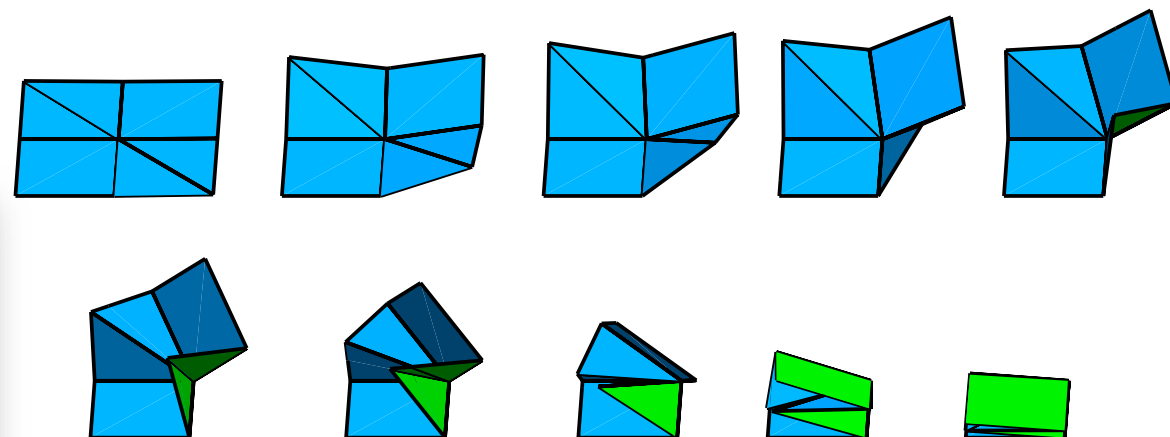
○理解しやすい○

おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」

△ 配布しにくい △



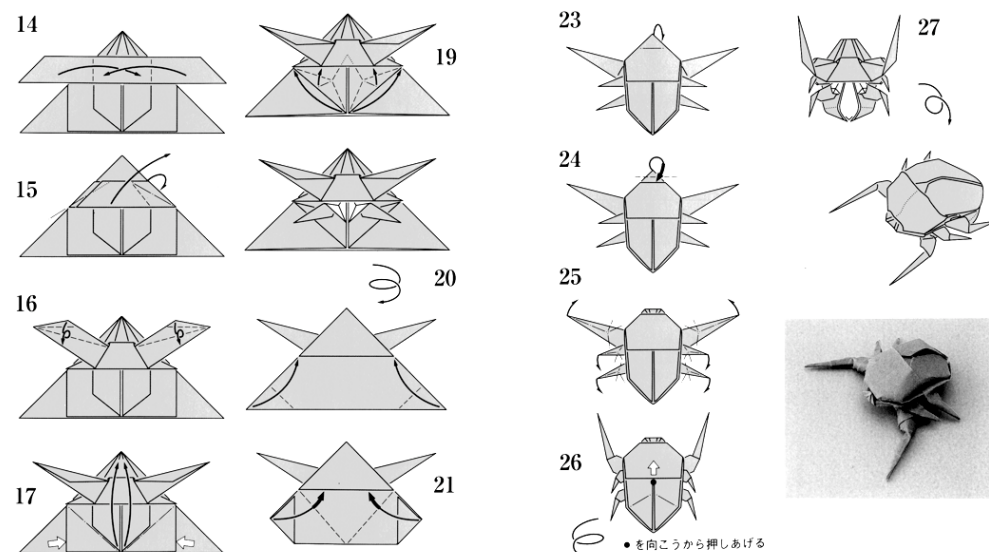
◎理解しやすい◎



3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"

既存の折り手順伝達手法



× 制作に手間 ×
× 理解しにくい ×
折り図

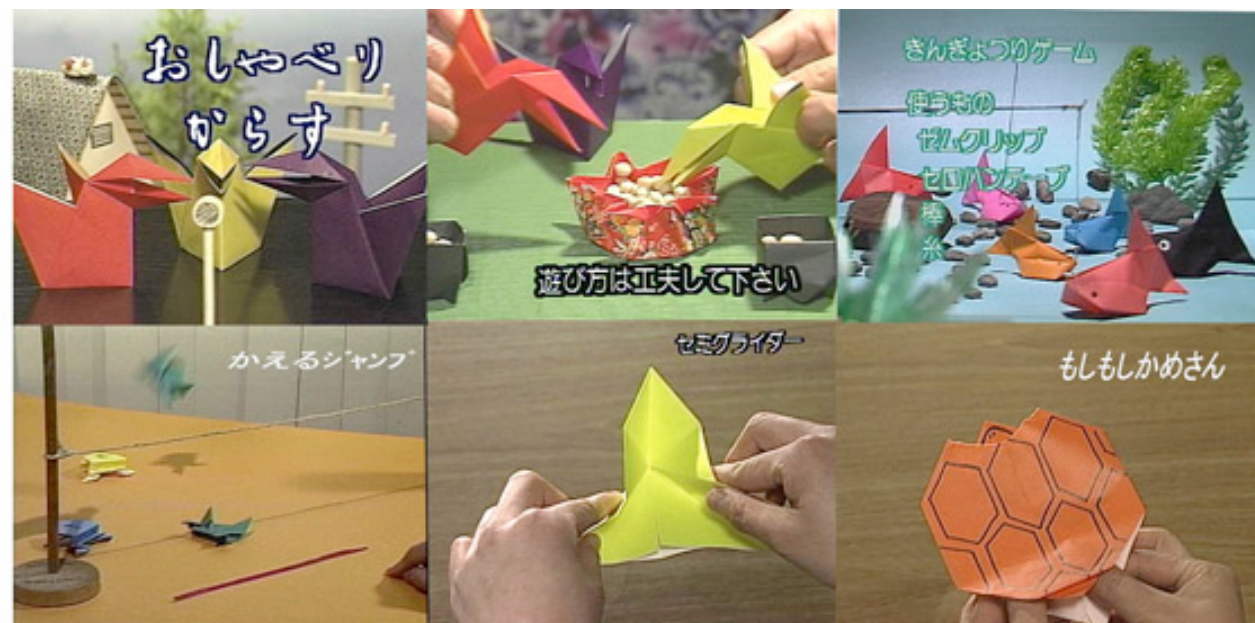
桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

○制作が容易○

○理解しやすい○

おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」

△ 配布しにくい △

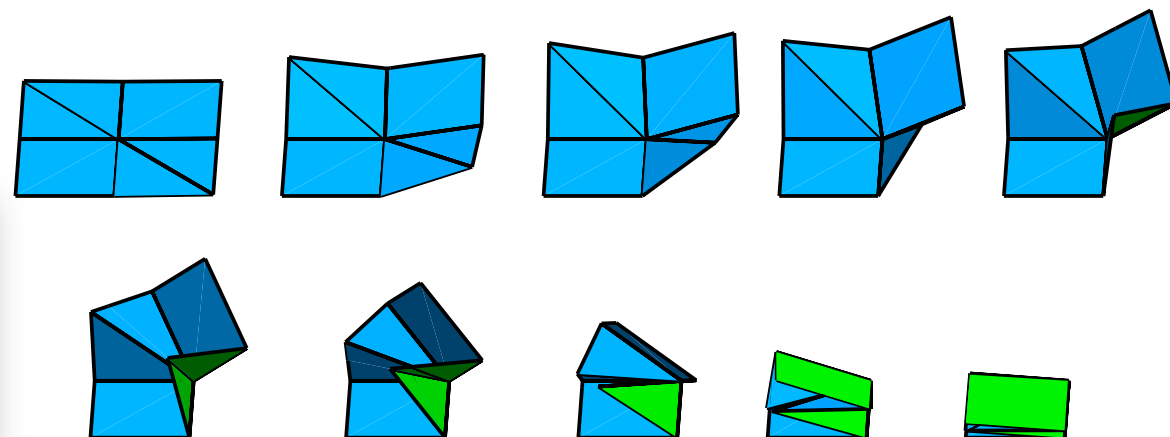


◎理解しやすい◎

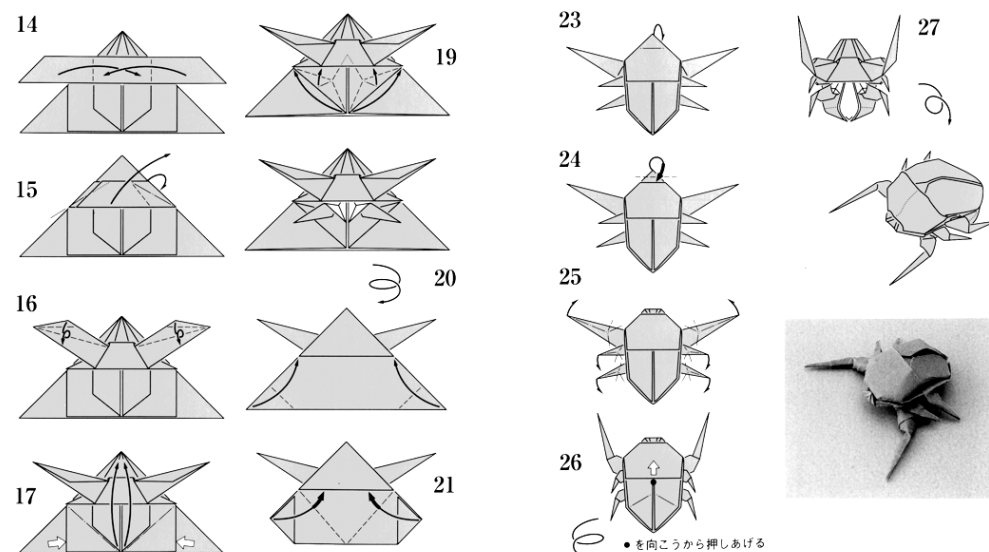
○配布しやすい○

3DCG アニメーション

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"



既存の折り手順伝達手法



× 制作に手間 ×
× 理解しにくい ×
折り図

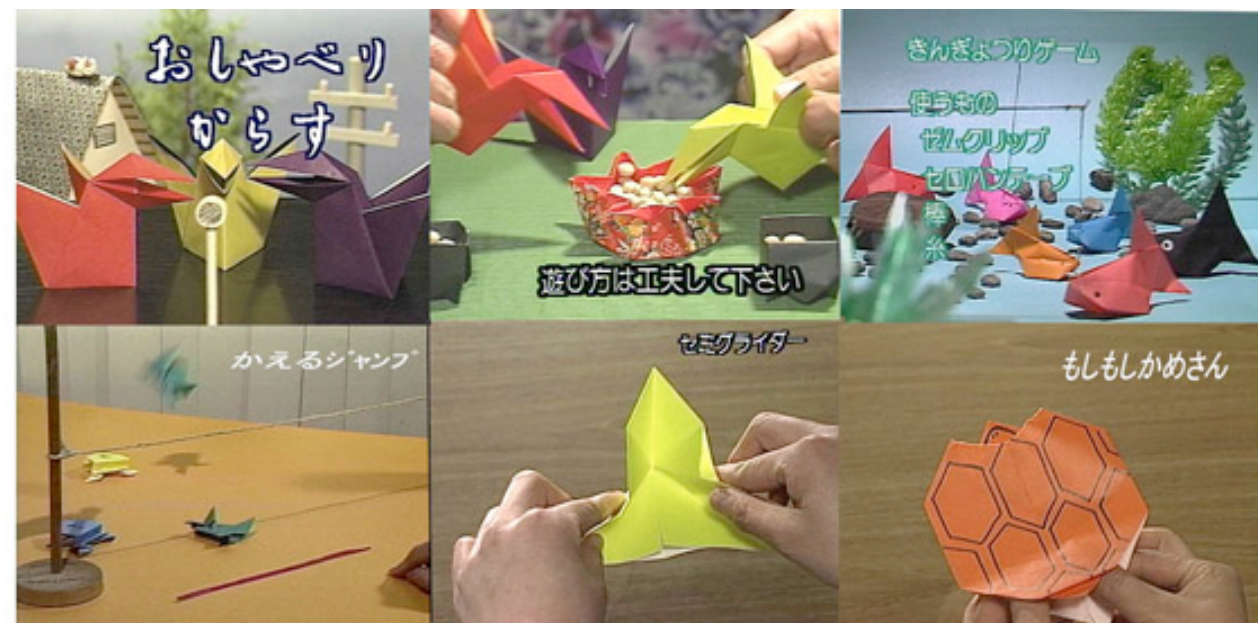
桃谷 好英「おりがみ虫の世界」

○制作が容易○

○理解しやすい○

おりがみ会館監修 おりがみからくり箱「動くおりがみ」

△ 配布しにくい △

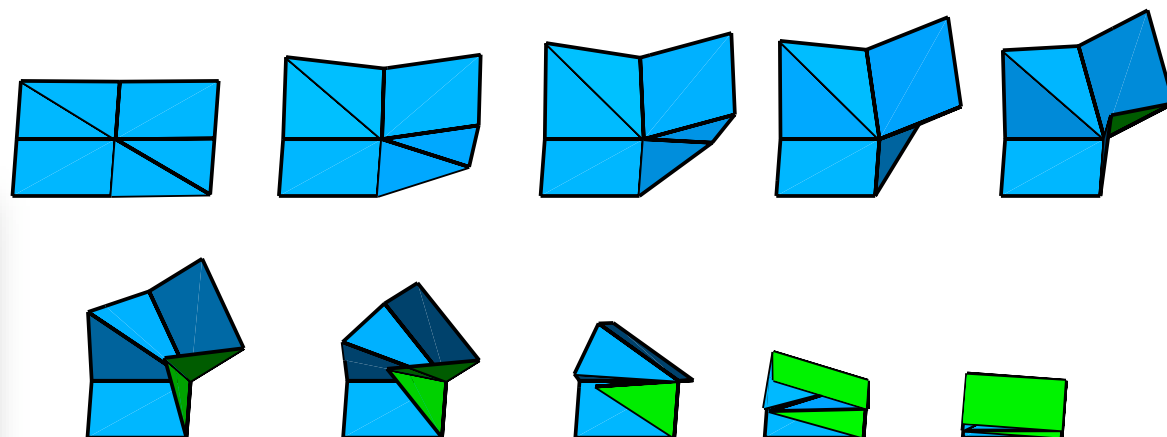


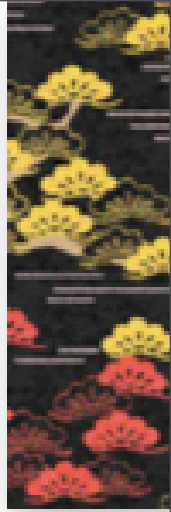
◎理解しやすい◎

○配布しやすい○

3DCG × 制作に手間 ×

Devin Balkcom "Robotic Origami Folding"

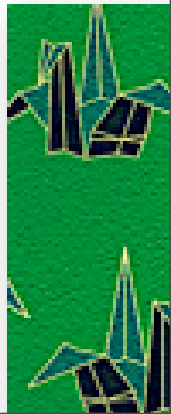
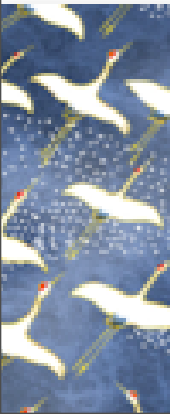




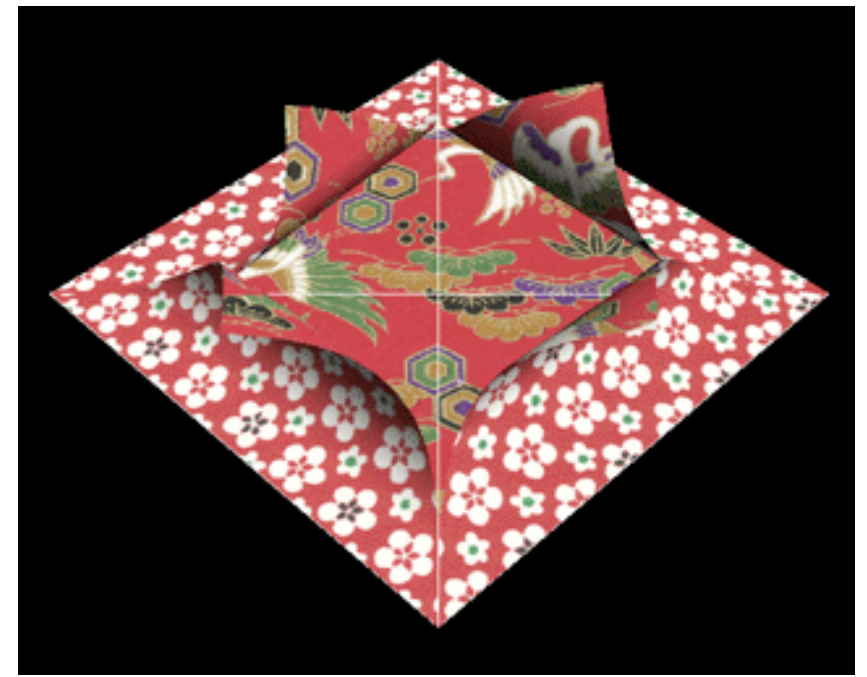
3DCGアニメーション制作の 問題点

- CG、CADの知識が必要
- 既存のモデラーは折り紙モデルの生成には適していない
- 折り紙とは全く違う知識、技術

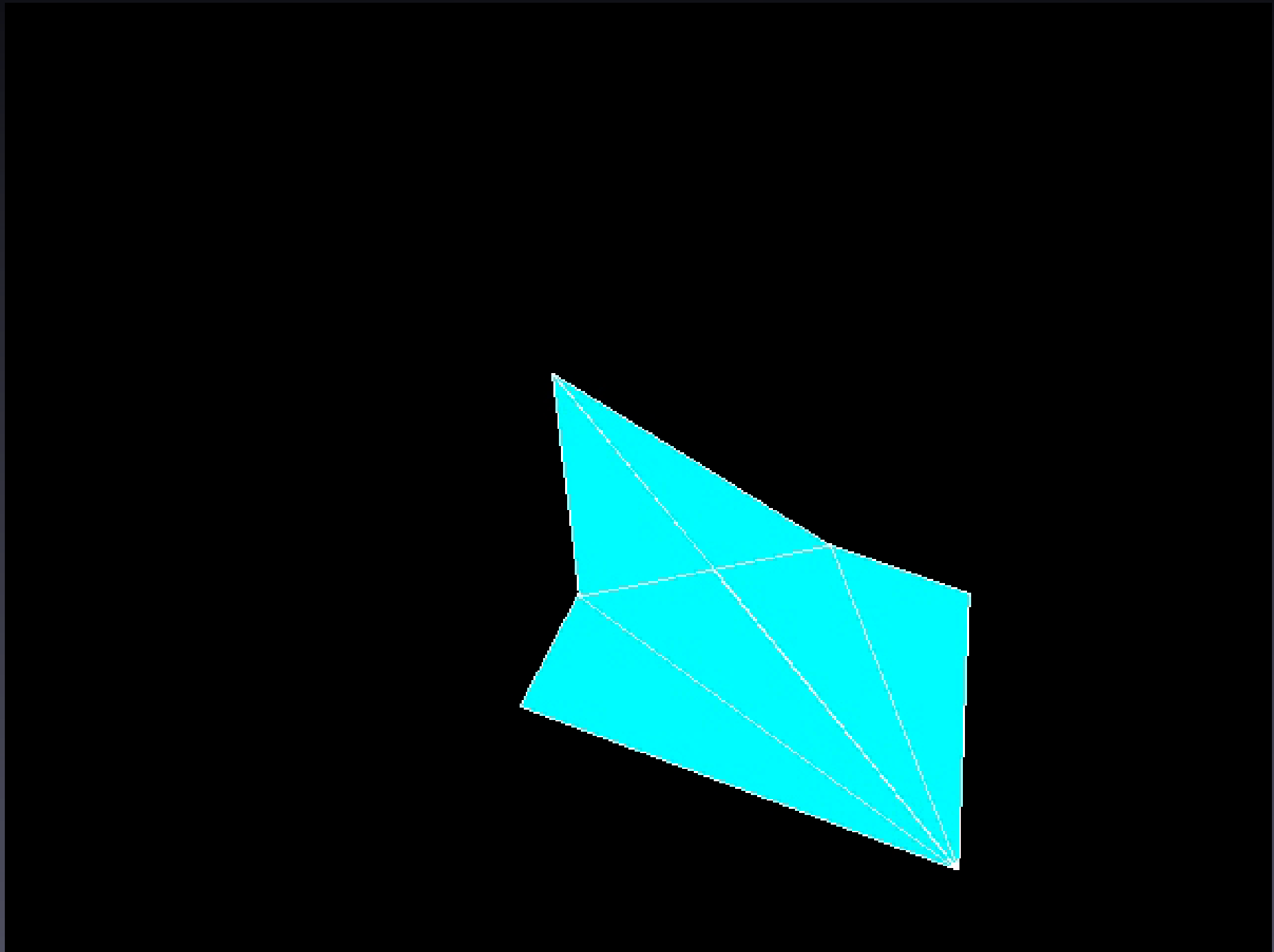
現実の紙を折るような感覚のまま
PC上でモデリングできるような
システムが求められている

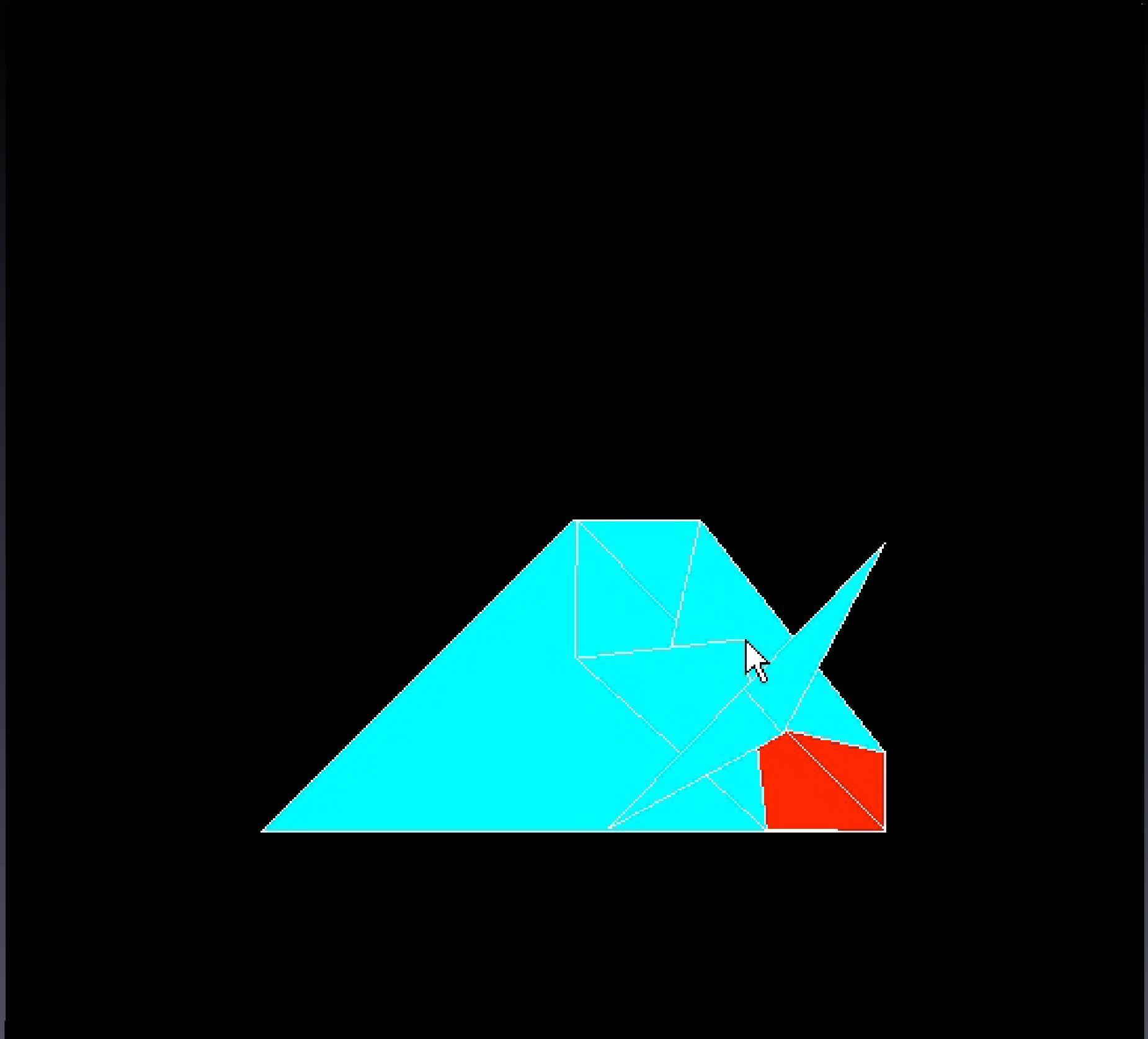


関連研究



折り紙シミュレーション
宮崎 慎也 (中京大学) 1993.9



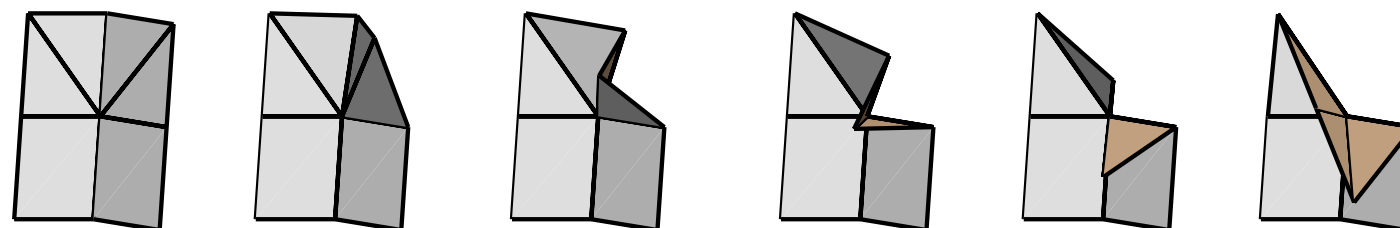


コンピュータで 折り操作を行う上での問題点

両手で行われる折り操作をマウスやキーボードをつかって再現しなければならない

紙が単純な動きをするとは限らない

- 隣接する面が相互に影響を与えながら移動する場合が多い
- そのような動きを幾何学的な制約から解析的に求めることは大変



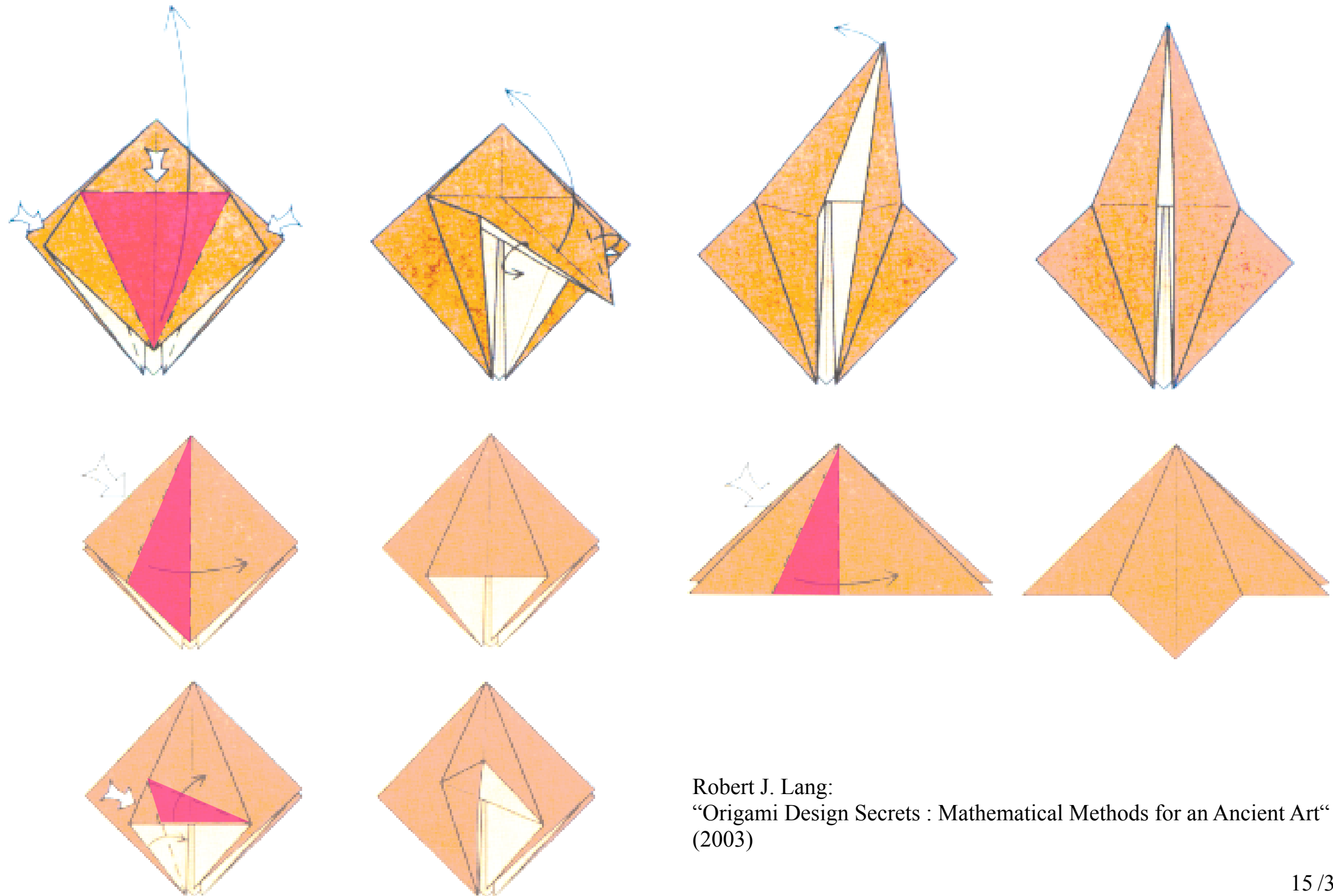
提案手法

マウスのみでも折り紙を直感的にモデリング
するために・・・

折り操作＝

面の分割 ＋ 回転 ＋ 付随する面の動き

多くの折り操作はある面の回転と
それに付随する隣接面の動きで表現できる場合が多い



Robert J. Lang:
“Origami Design Secrets : Mathematical Methods for an Ancient Art“
(2003)

提案手法

マウスのみでも折り紙を直感的にモデリング
するために・・・

折り操作＝

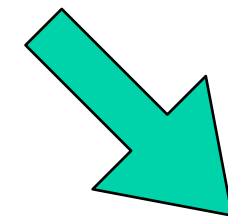
面の分割 ＋ 回転 ＋ 付随する面の動き

提案手法

マウスのみでも折り紙を直感的にモデリング
するために・・・

折り操作＝

面の分割 ＋ 回転 ＋ 付随する面の動き



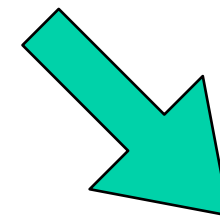
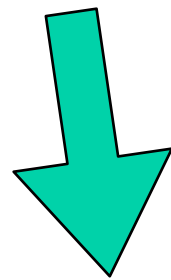
バネモデル

提案手法

マウスのみでも折り紙を直感的にモデリング
するために・・・

折り操作＝

面の分割 ＋ 回転 ＋ 付随する面の動き



軸の自動選択
回転角の決定

バネモデル

提案手法

マウスのみでも折り紙を直感的にモデリング
するために・・・

折り操作＝

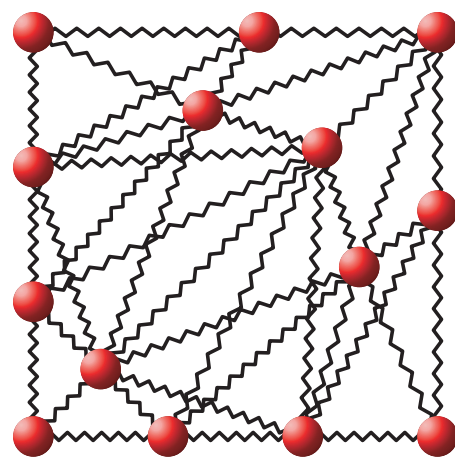
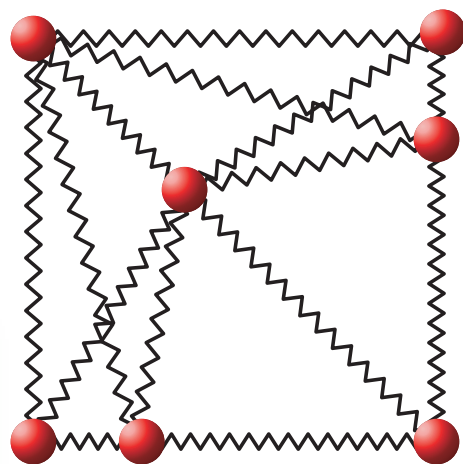
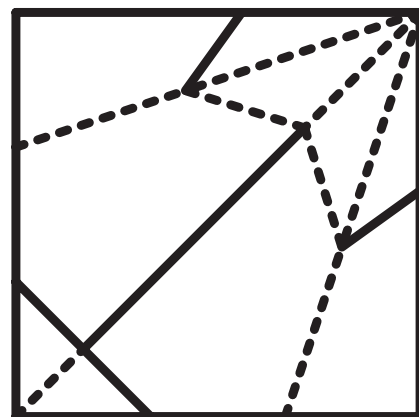
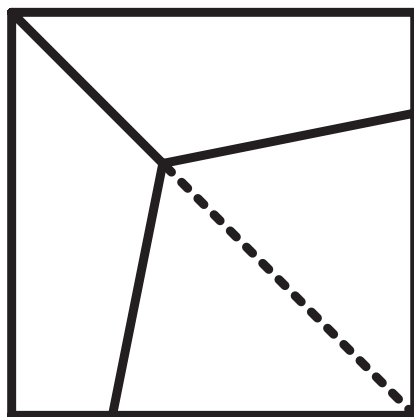
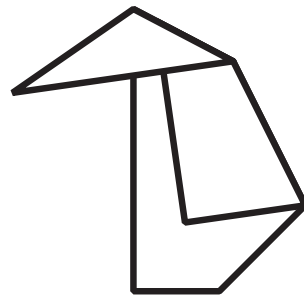
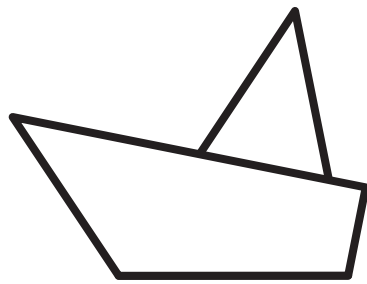
面の分割 ＋ 回転 ＋ 付随する面の動き

2Dドローツール

軸の自動選択
回転角の決定

バネモデル

付随する隣接面の動き



面を構成するすべての頂点間
にバネを張る

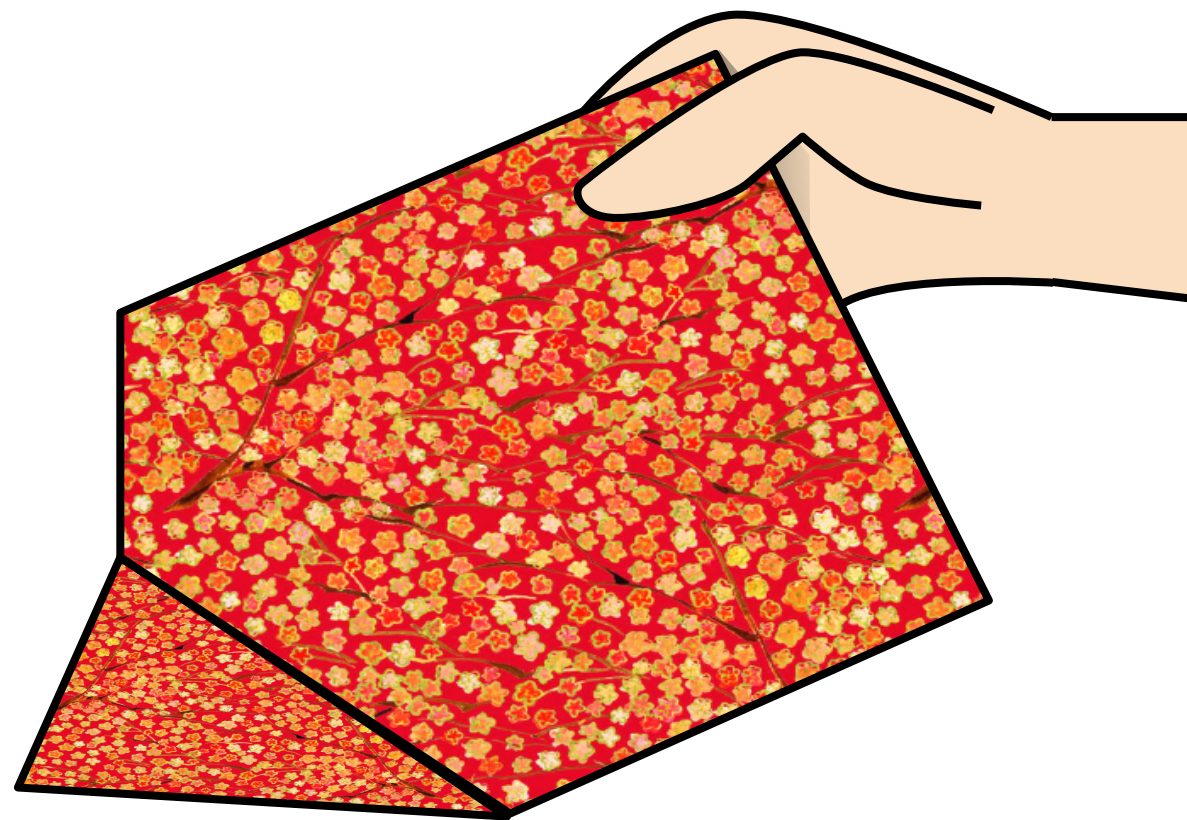
個々のバネの弾性力の合計 F から微小時間経
過後の頂点位置 r を求める

$$F_i = \sum_j \left\{ k \left(1 - \frac{L_{ij}}{|r_{ij}|} \right) r_{ij} - D v_{ij} \right\} - mg$$

$$v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + d \frac{F_i(t)}{m} \Delta t$$

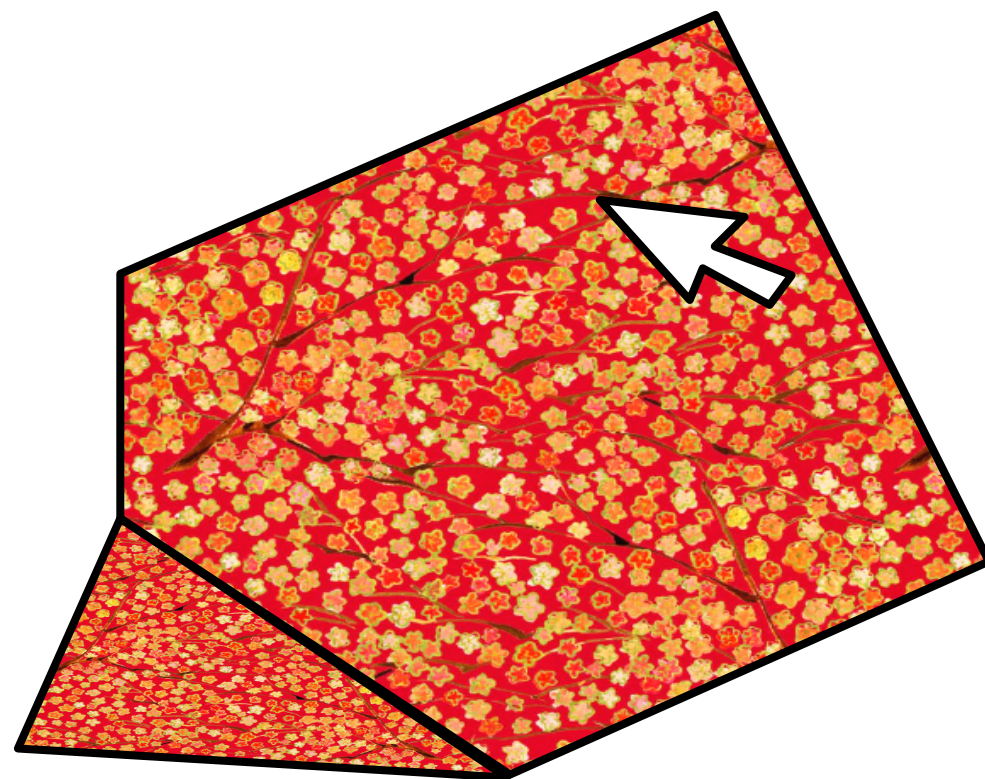
$$r_i(t + \Delta t) = r_i(t) + v_i(t) \Delta t$$

軸の選択



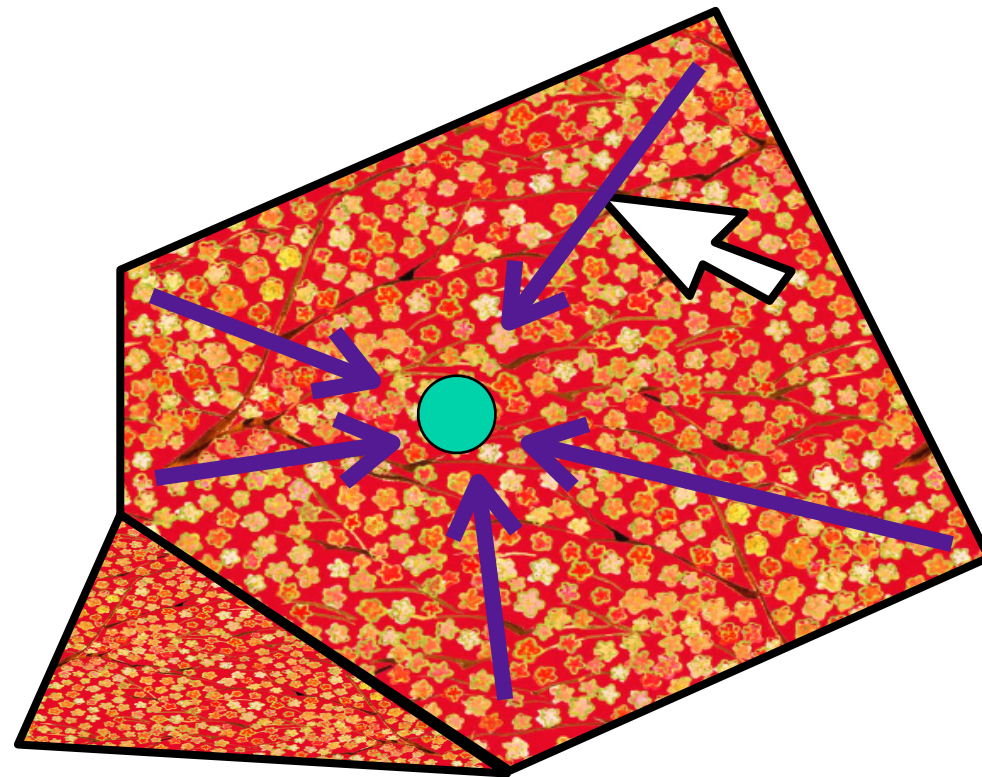
現実では、人は紙の反対側をつかんで折る
→クリックした位置の反対にある折れ線を軸とする

軸の選択



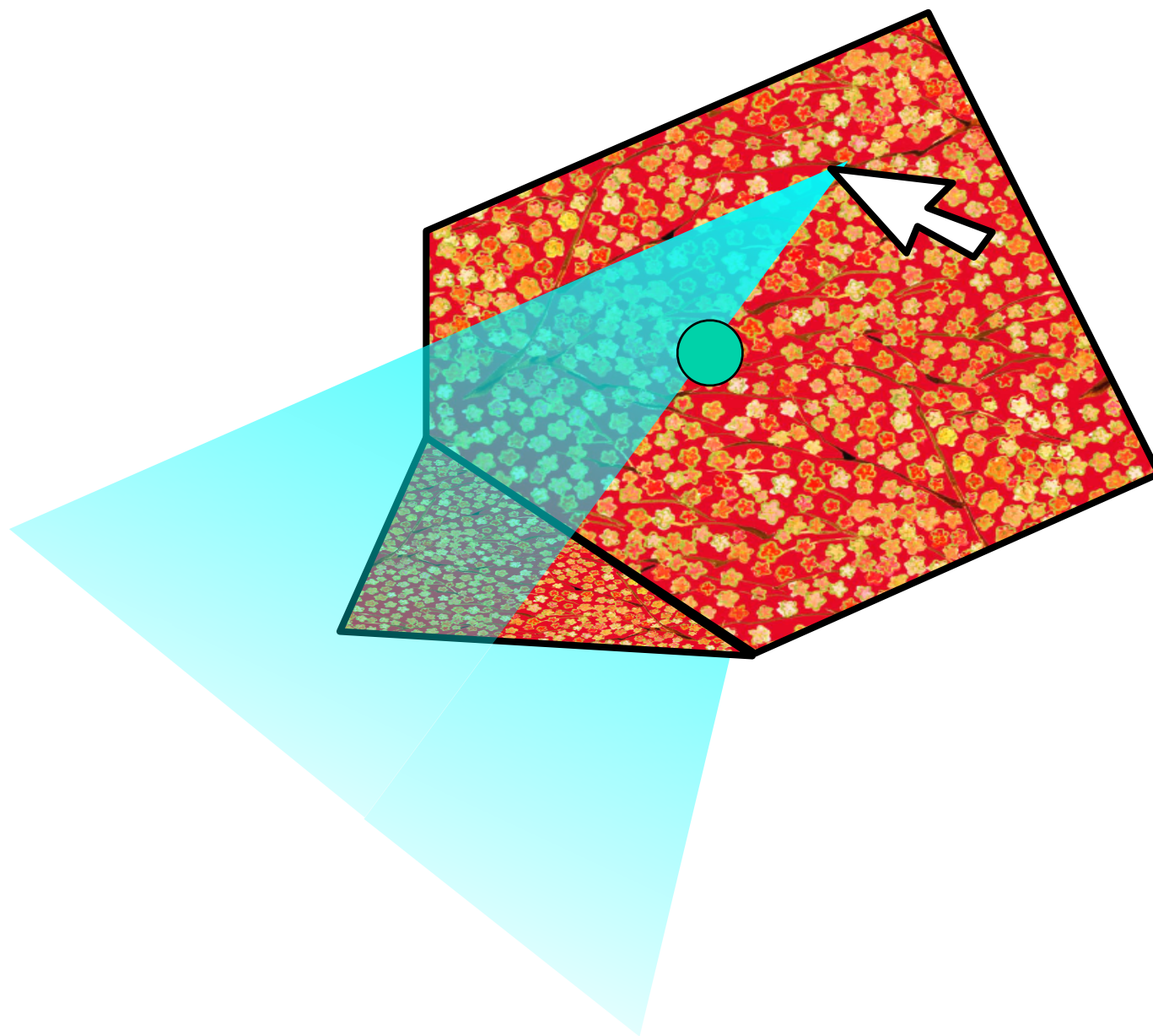
現実では、人は紙の反対側をつかんで折る
→クリックした位置の反対にある折れ線を軸とする

軸の選択



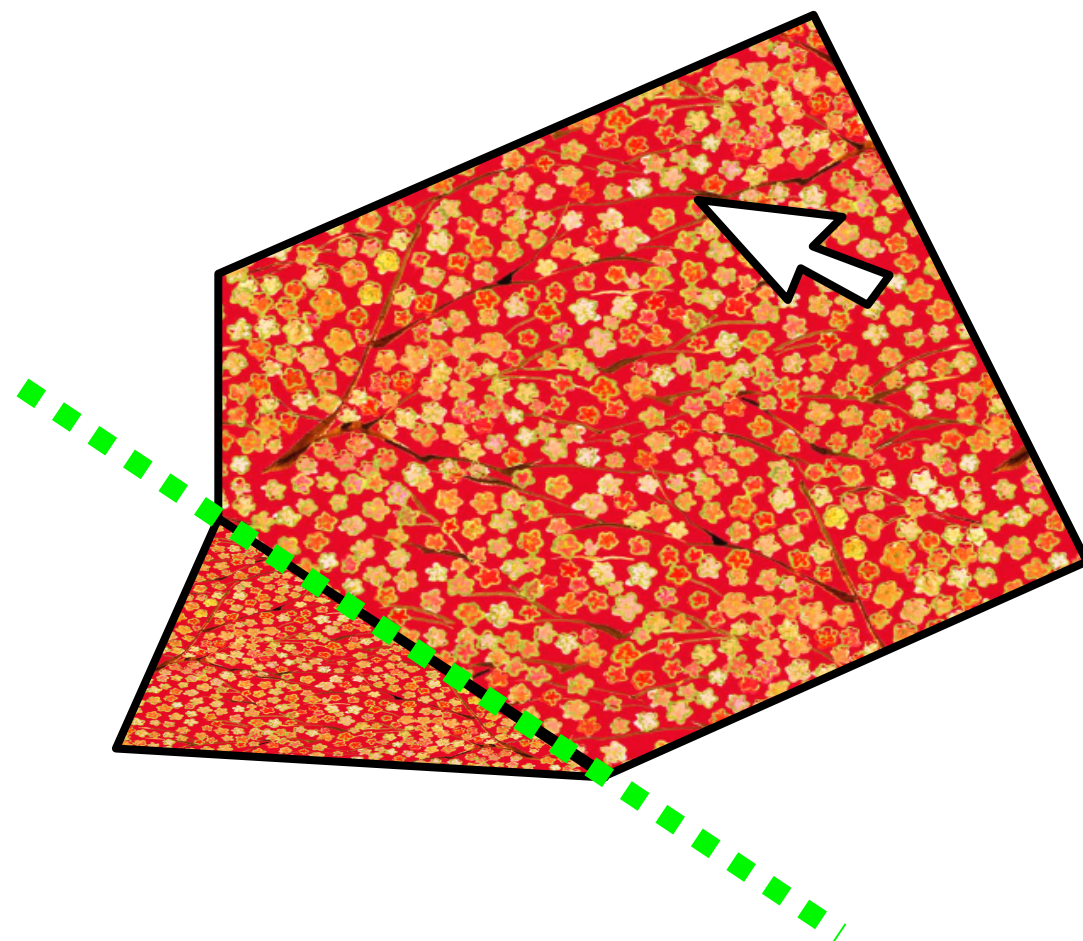
現実では、人は紙の反対側をつかんで折る
→クリックした位置の反対にある折れ線を軸とする

軸の選択



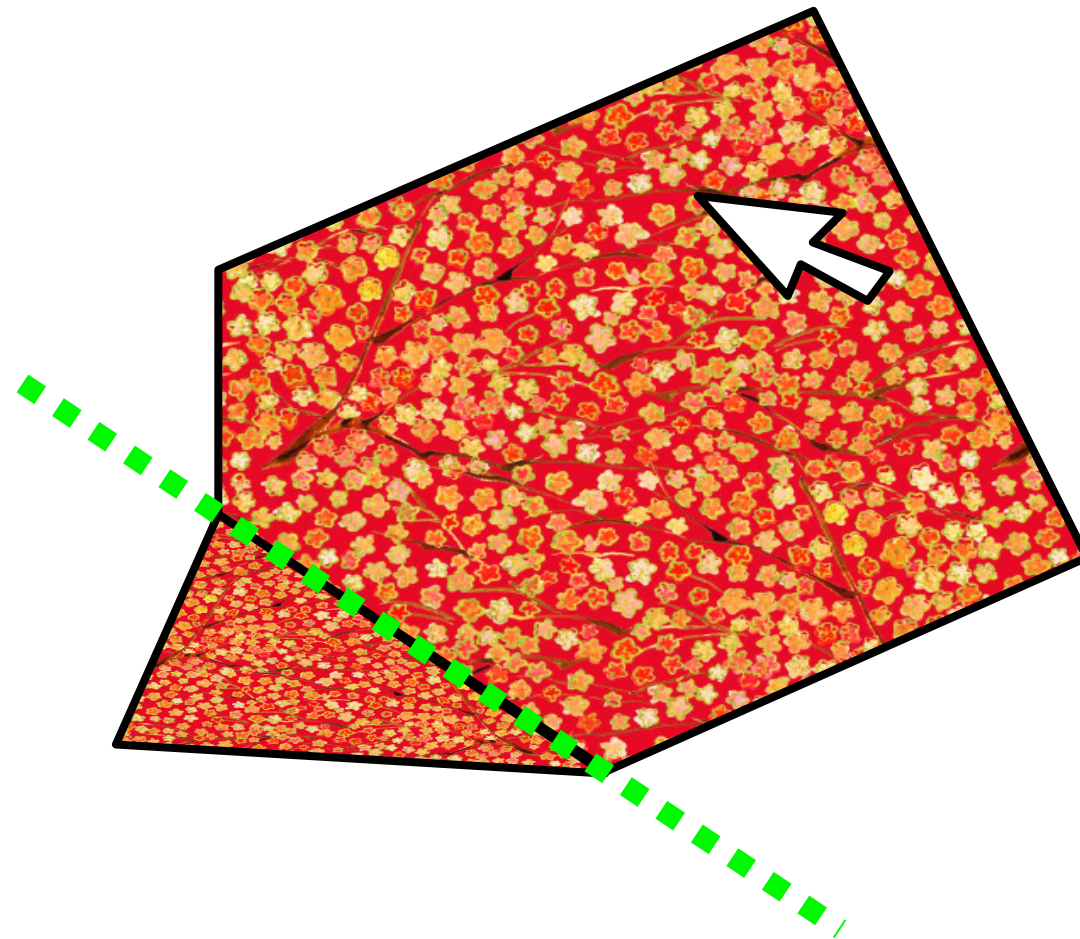
現実では、人は紙の反対側をつかんで折る
→クリックした位置の反対にある折れ線を軸とする

軸の選択



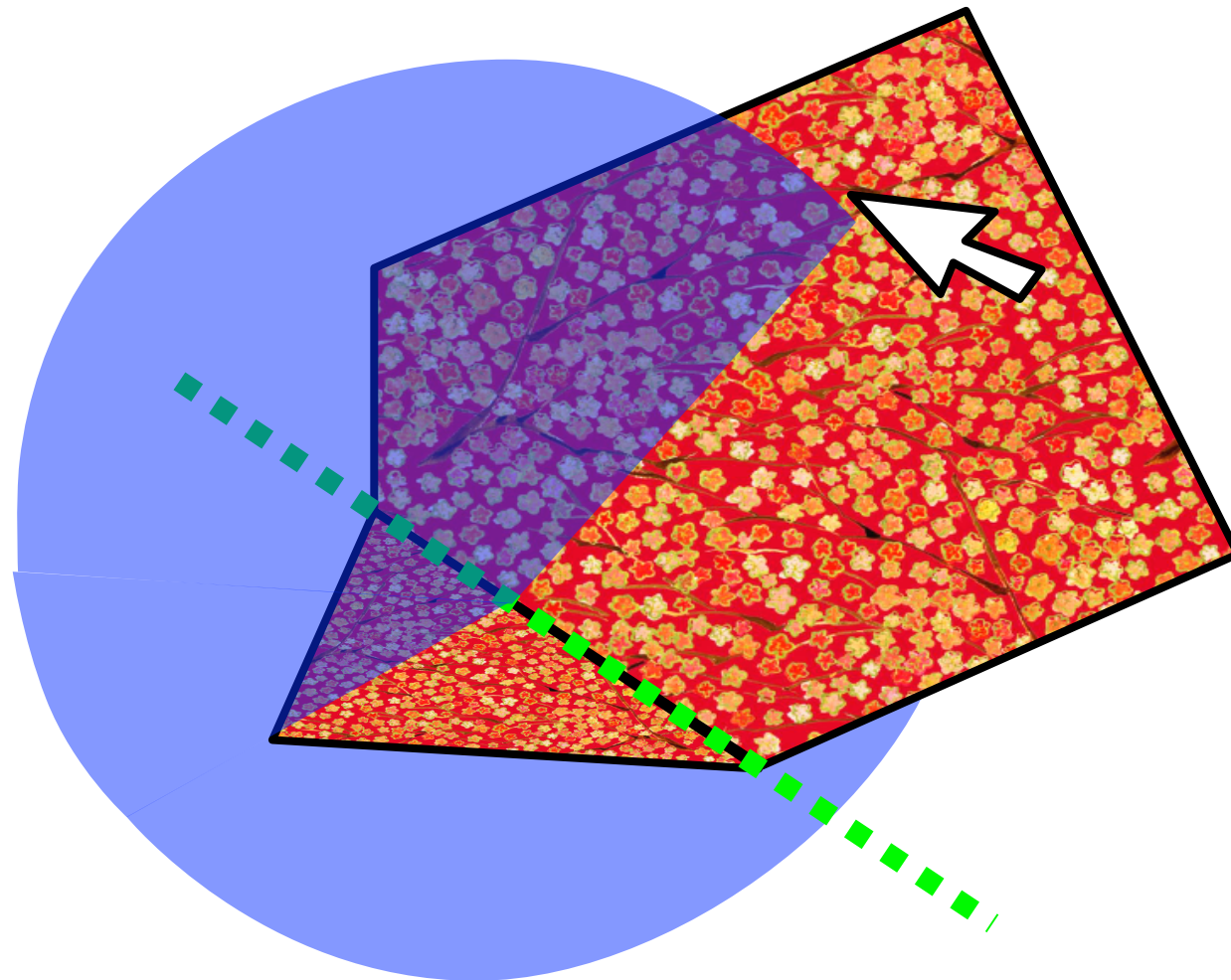
現実では、人は紙の反対側をつかんで折る
→クリックした位置の反対にある折れ線を軸とする

面の回転



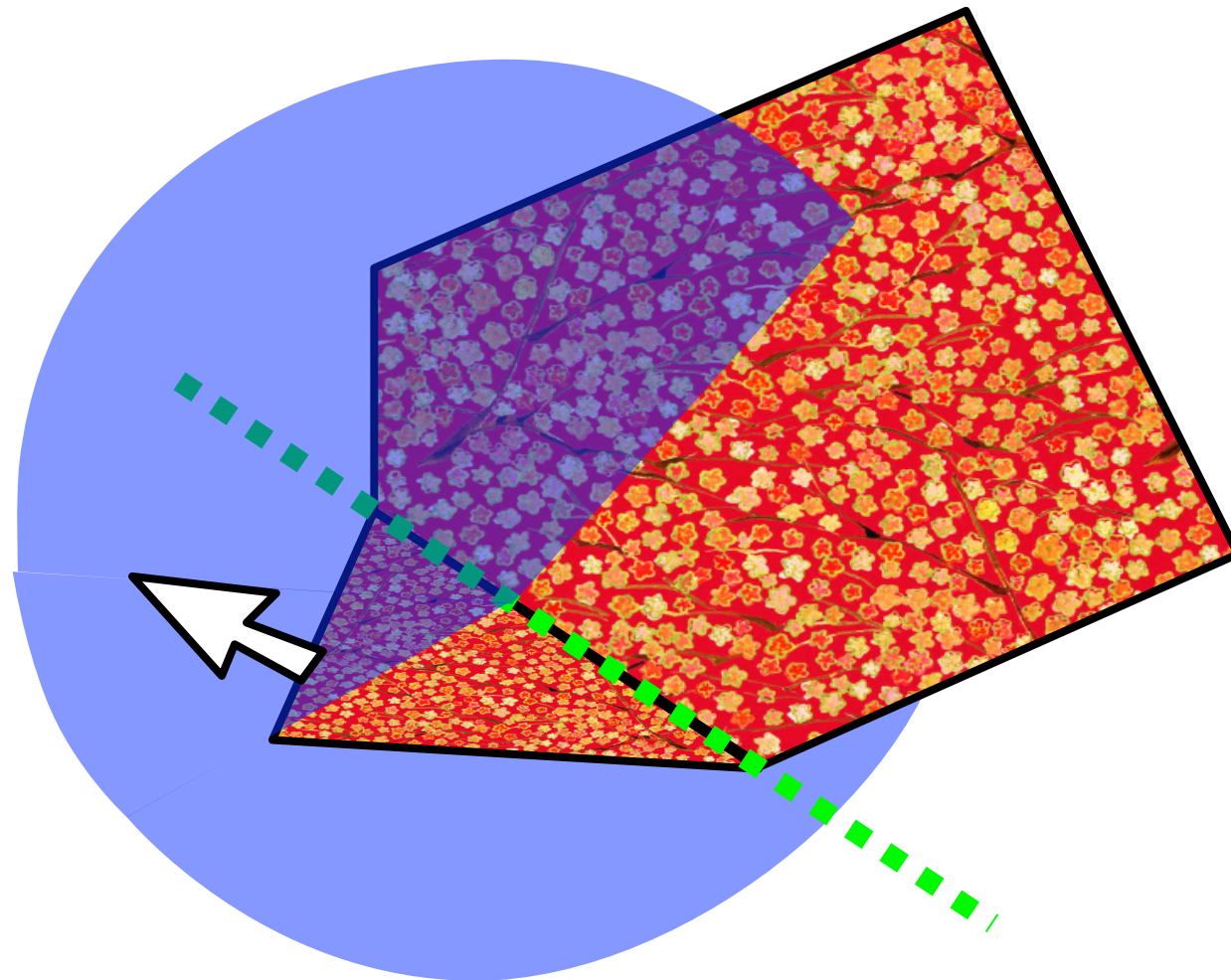
面を選択した後そのままドラッグ
視線ベクトルと円との交点から回転角を求める
※視線ベクトルと円が平行にならないようにする※

面の回転



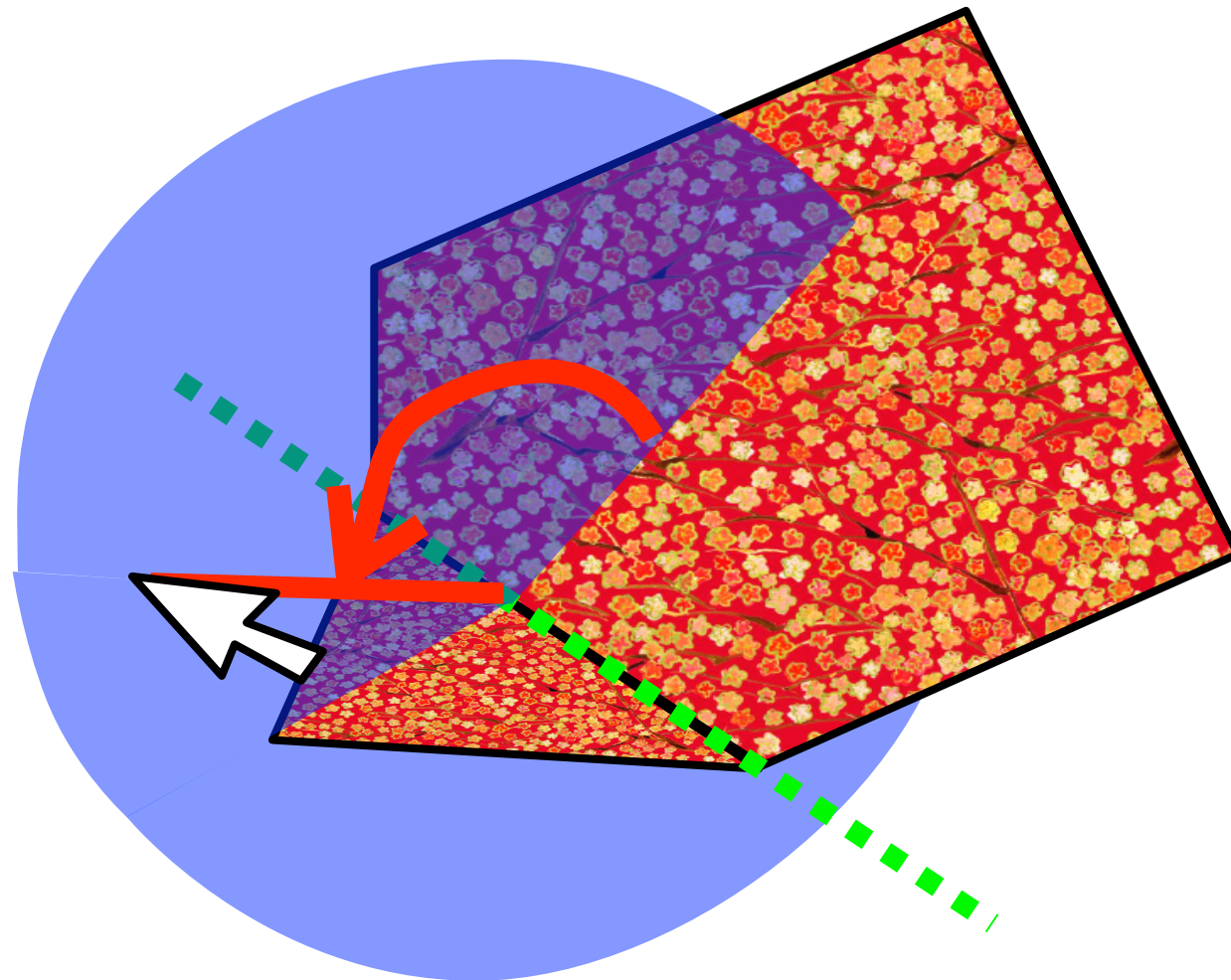
面を選択した後そのままドラッグ
視線ベクトルと円との交点から回転角を求める
※視線ベクトルと円が平行にならないようにする※

面の回転



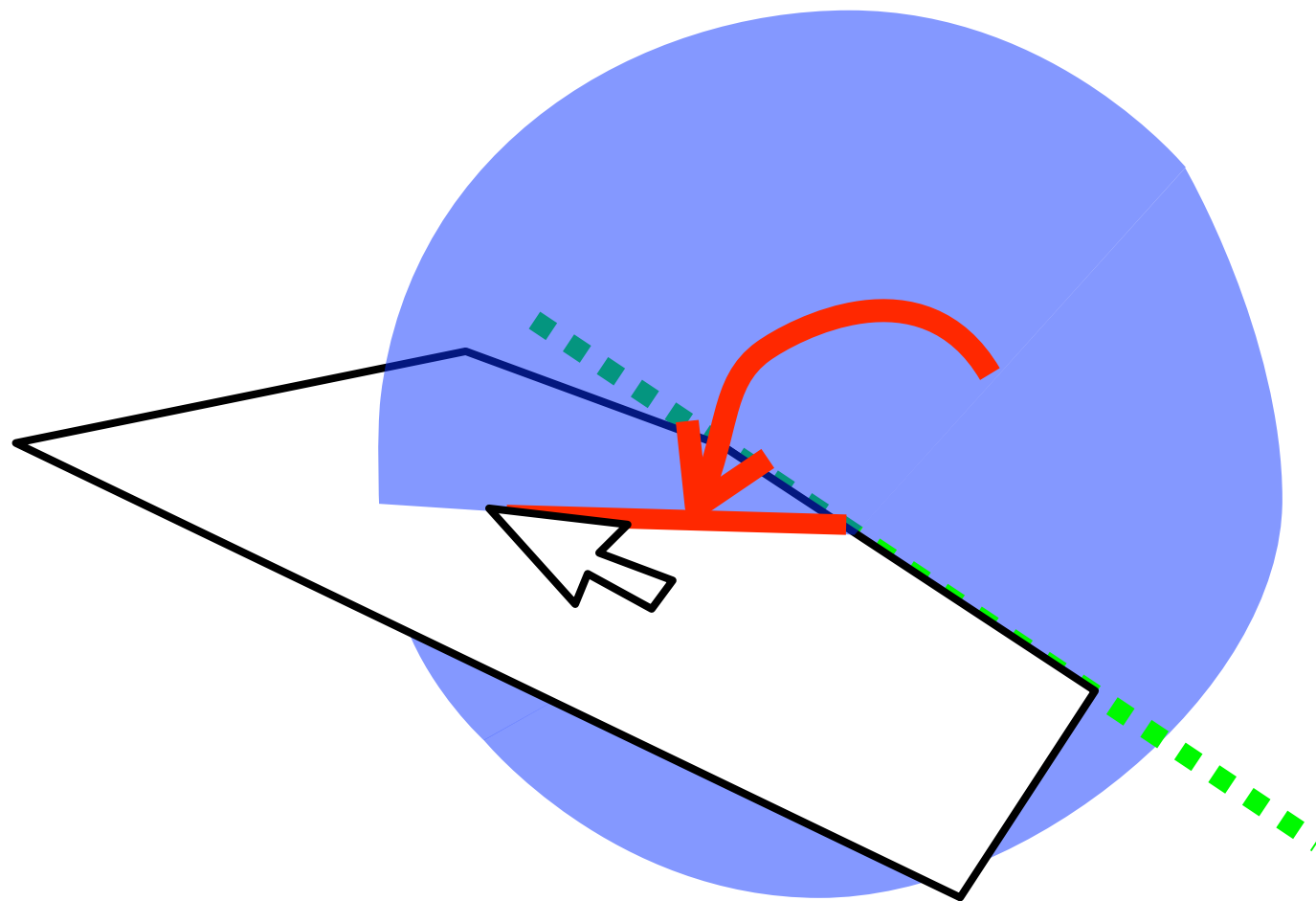
面を選択した後そのままドラッグ
視線ベクトルと円との交点から回転角を求める
※視線ベクトルと円が平行にならないようにする※

面の回転



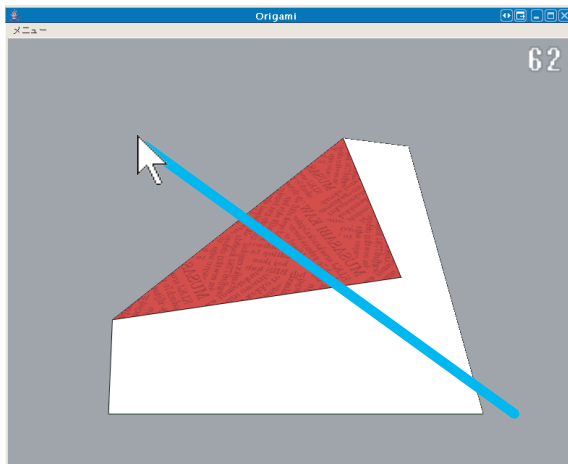
面を選択した後そのままドラッグ
視線ベクトルと円との交点から回転角を求める
※視線ベクトルと円が平行にならないようにする※

面の回転



面を選択した後そのままドラッグ
視線ベクトルと円との交点から回転角を求める
※視線ベクトルと円が平行にならないようにする※

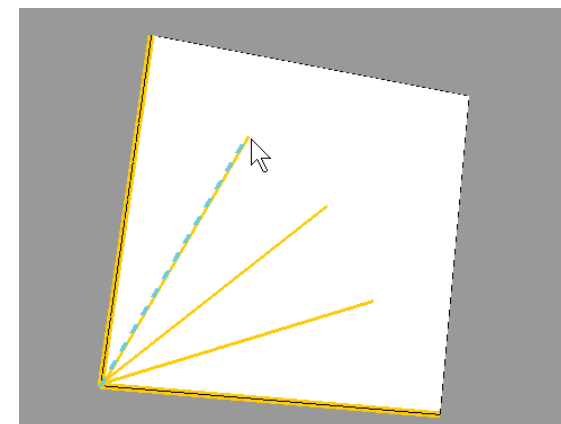
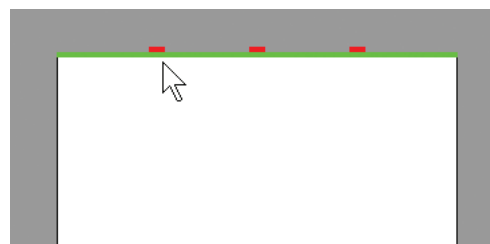
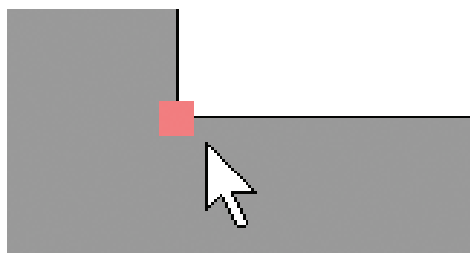
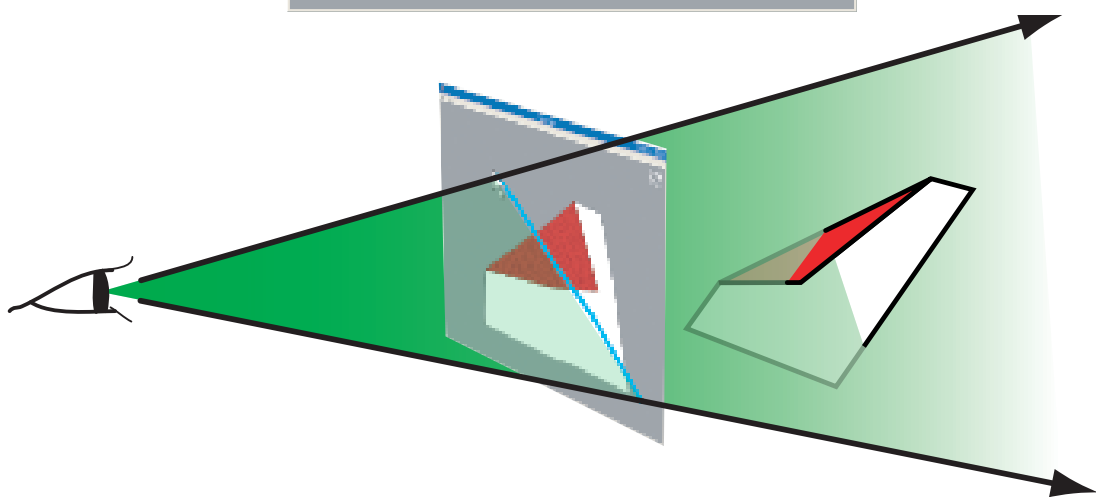
折れ線の入力



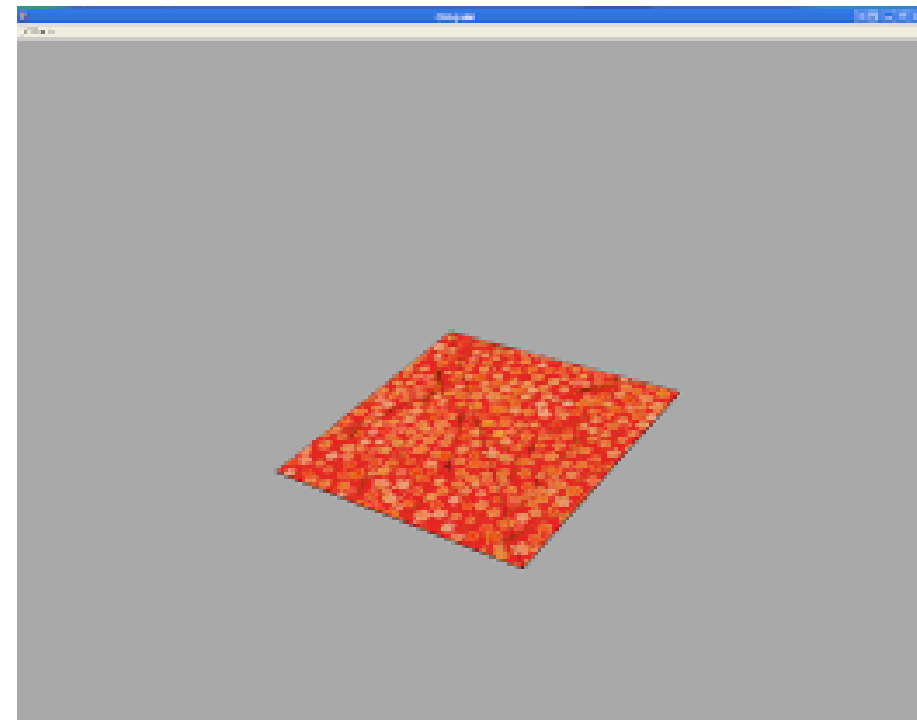
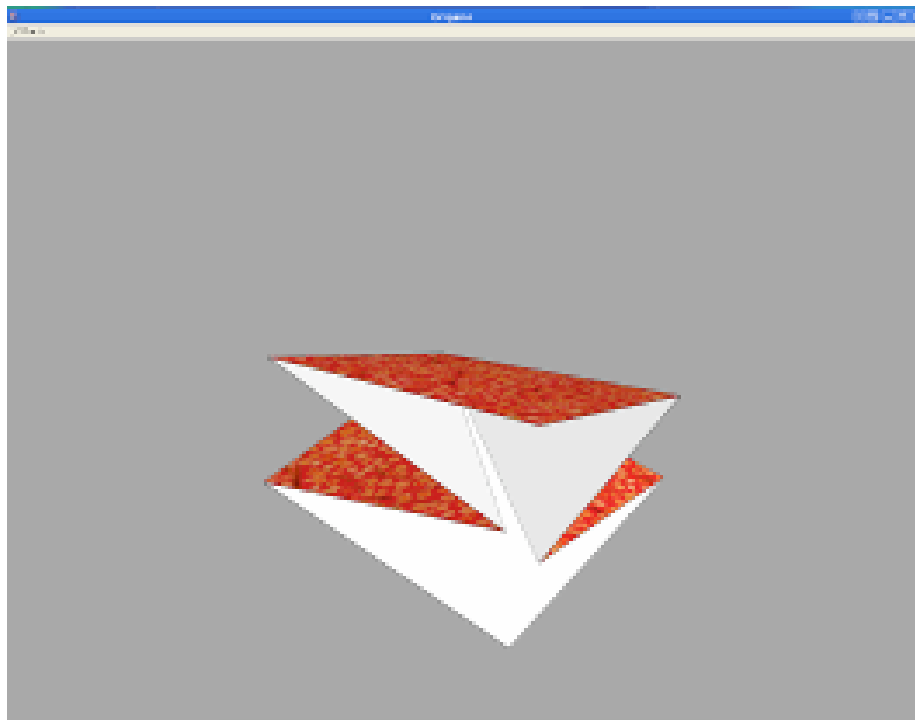
2Dドロートツールを参考

画面上の任意の場所をドラッグすることで自由に折れ線を「描く」

頂点付近や辺、角を等分する場所の付近ではマウス座標を自動的にスナップ



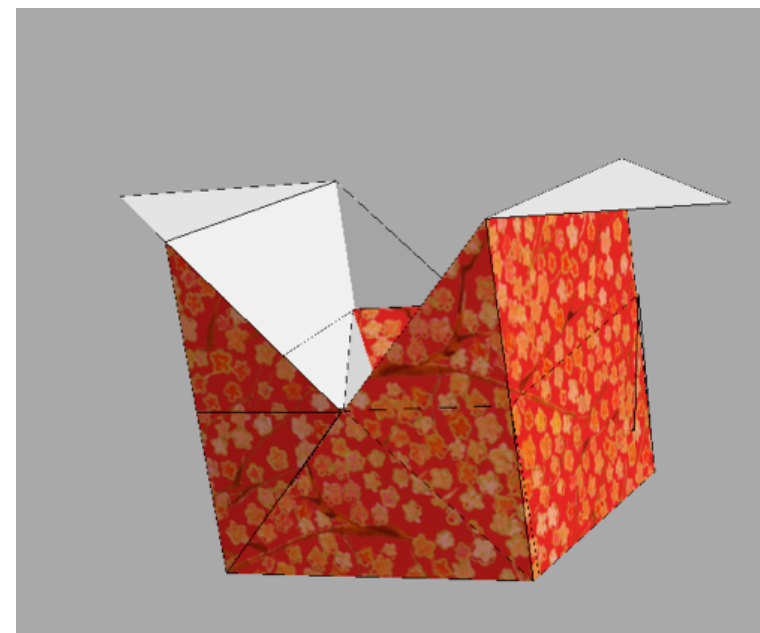
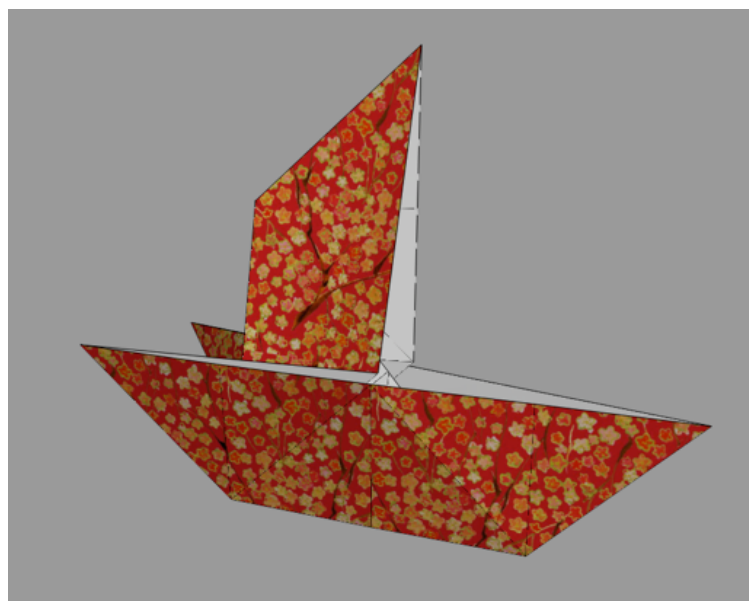
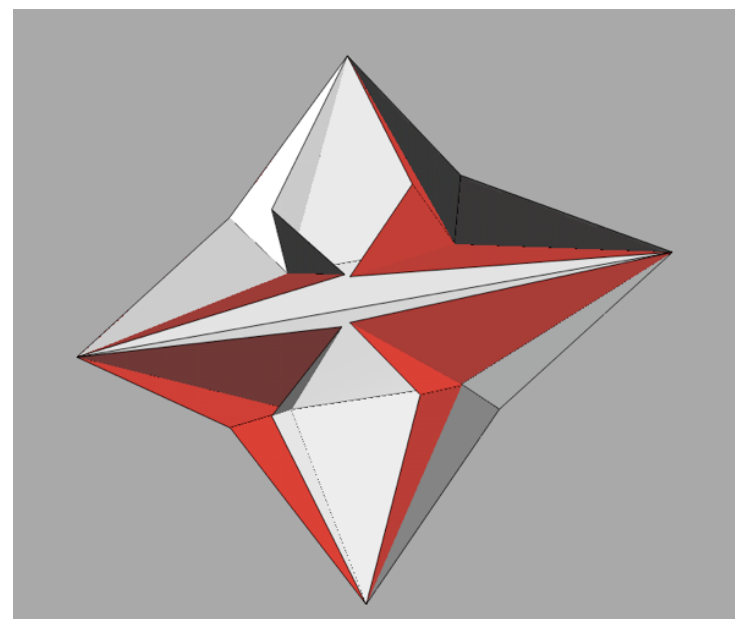
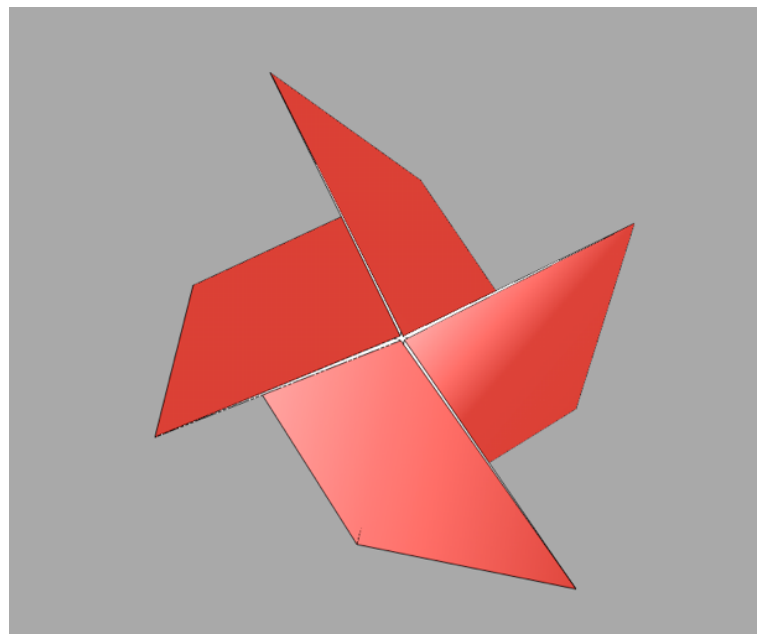
押し潰し



回転操作を繰り返すことによって、形状が意図せず立体的になってしまう

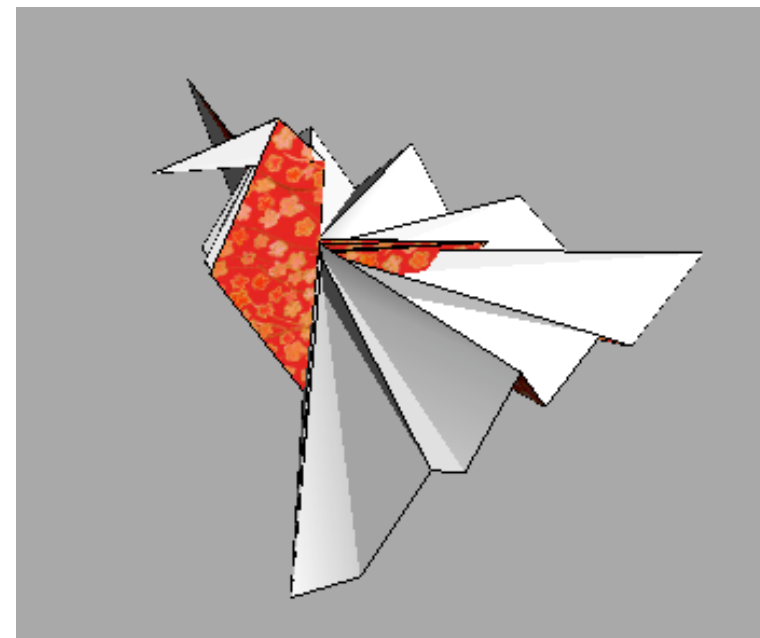
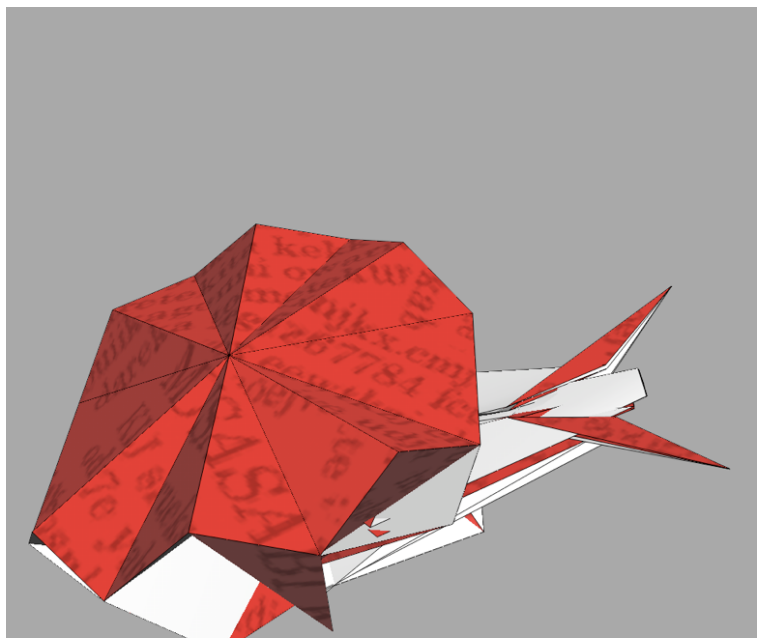
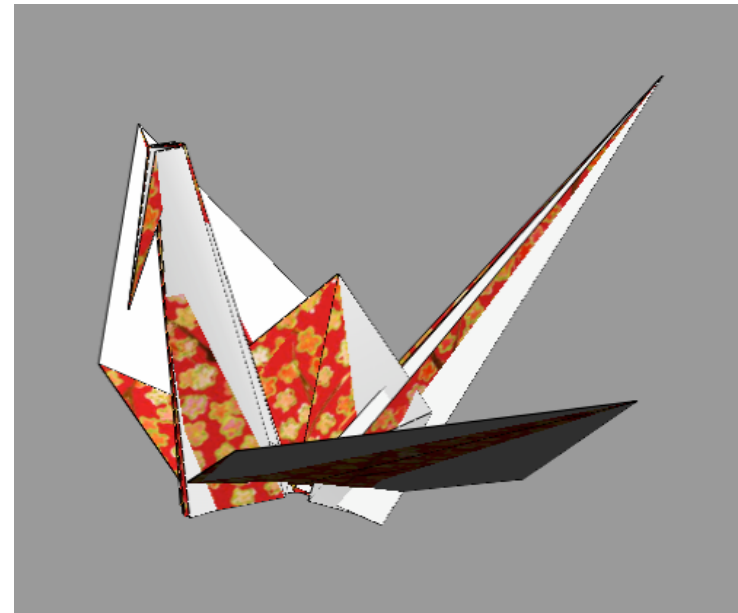
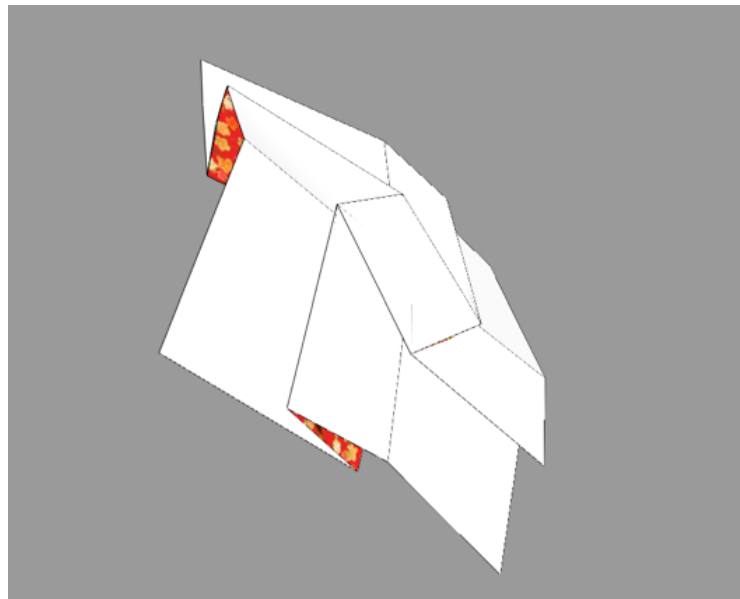
Z座標値を減少させることで仮想的な押し潰しを行える

結果



「学科賞」 名古屋市立大学芸術工学部視覚情報デザイン学科 (2006.3)
「マウス入力による対話的操作を組み込んだ仮想折り紙システム」
情報処理学会 研究報告 (2006.7)

結果

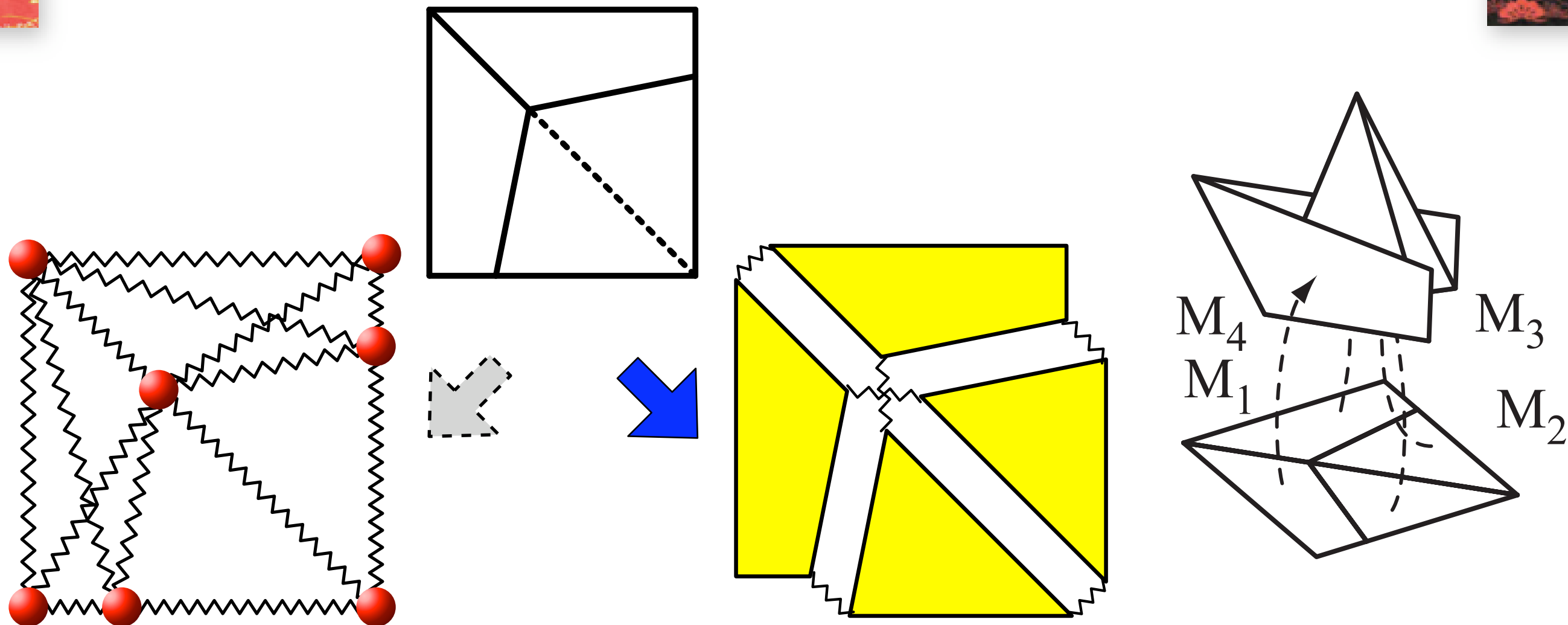


「学科賞」 名古屋市立大学芸術工学部視覚情報デザイン学科 (2006.3)
「マウス入力による対話的操作を組み込んだ仮想折り紙システム」
情報処理学会 研究報告 (2006.7)

課題

面のねじれの防止
隣接していない面との相互作用
インタフェース

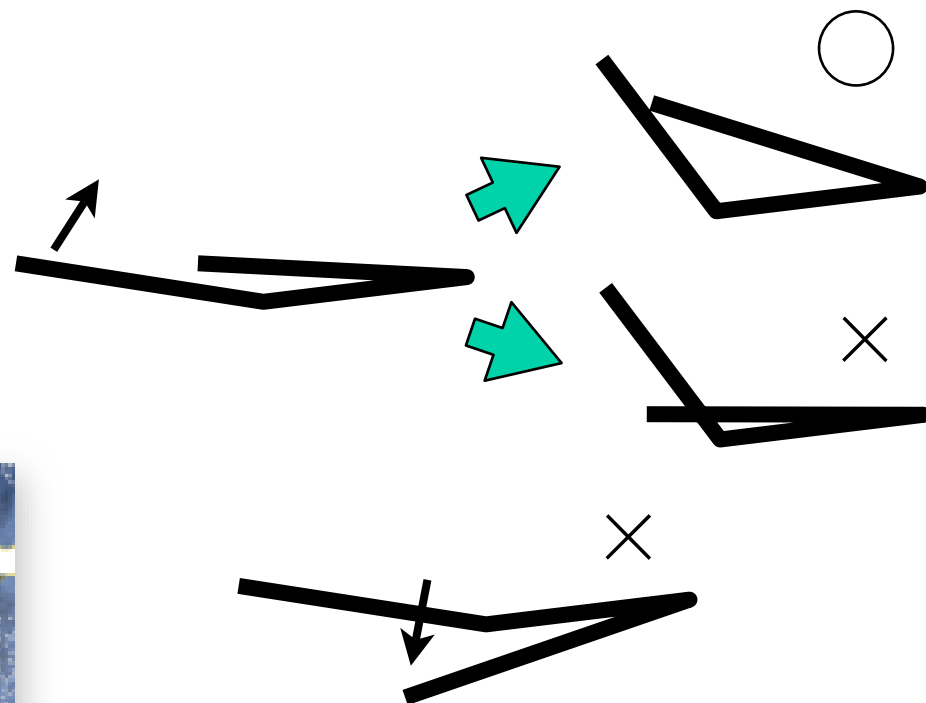
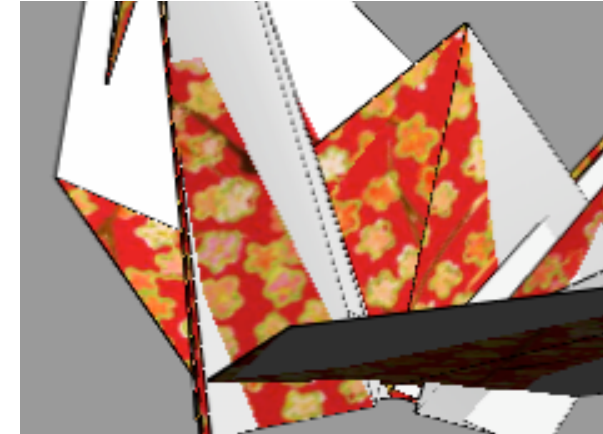
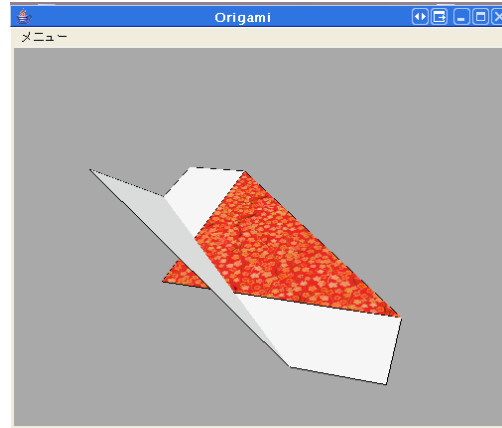
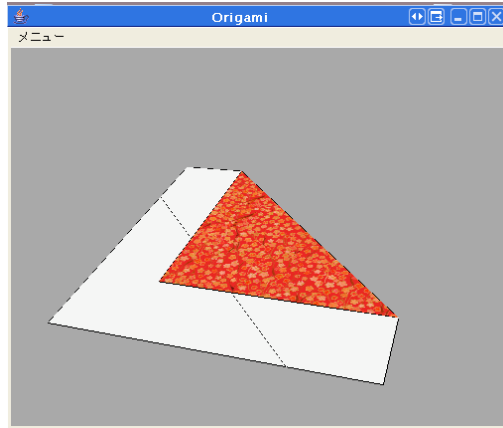
面のねじれの防止



× 網羅的にバネを張る ×

○ 平面の頂点間にバネを張る ○

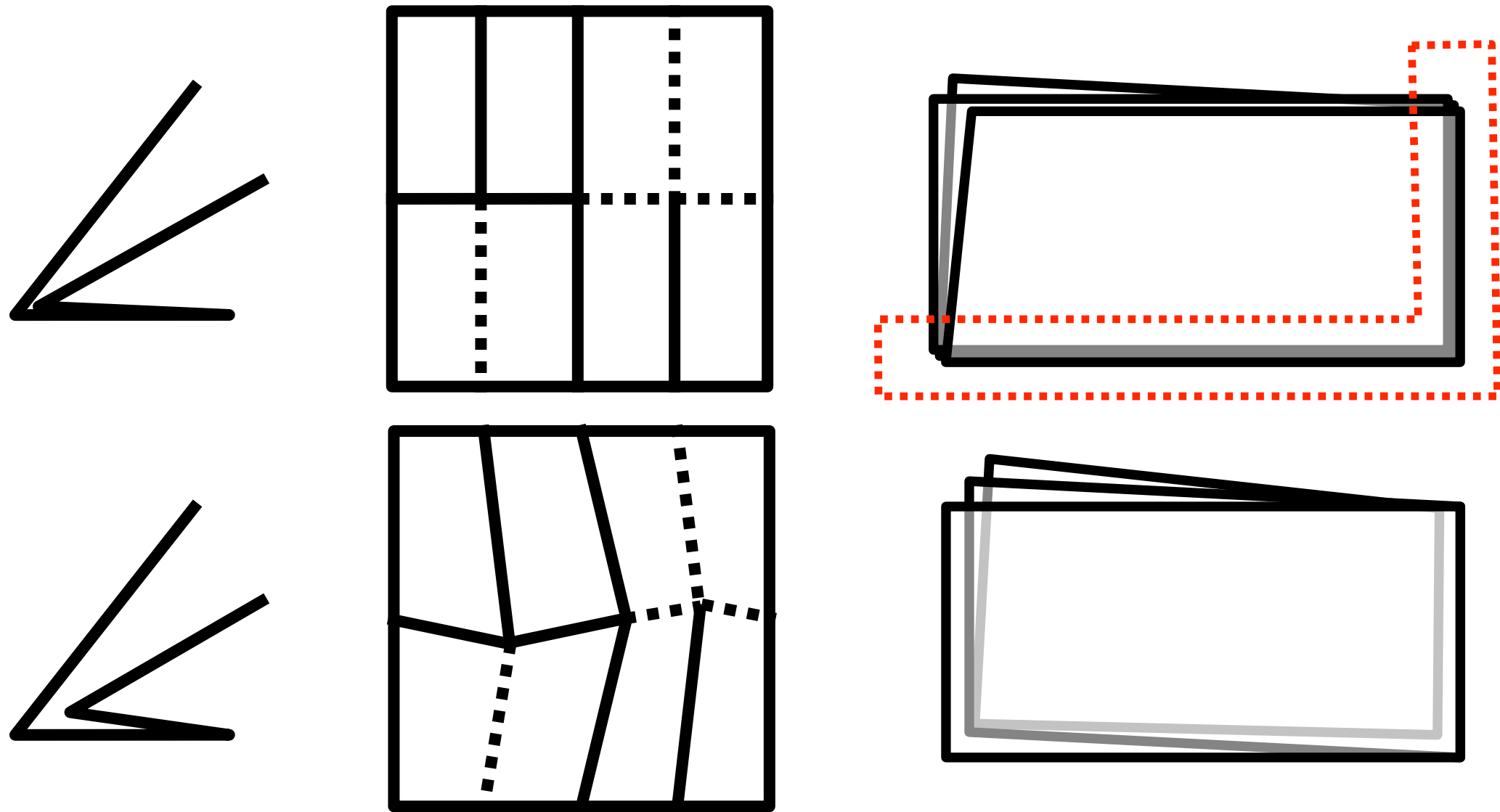
隣接していない面との相互作用



- ×重ねたまま面を移動させられない
- ×レンダリング結果が不正になる

衝突判定を行い、適切に面を移動させる

面に厚みを持たせて衝突判定の精度を高める



面の形が均一の場合、折れ線の種類が集中

- × 計算時間が増大
- × 正確な計算が必要

面の形を歪ませる

インタフェース

本質的に両手が必須な操作（引っ張る、膨らます etc..）は
本手法では対応できない

- **プログラムの機能追加**
（ピン留め、キーフレーム補完 etc..）
→行き過ぎた高機能化はユーザに学習を強要する
- **マウス以外のインプットデバイス**
→特殊な装置の利用は門戸を狭める



SensAble PHANTOM Omni (3DOF)

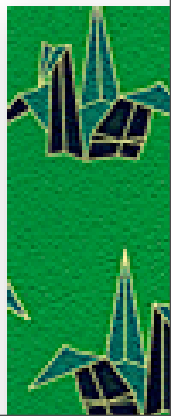
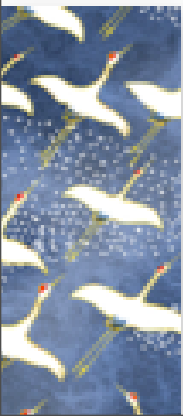
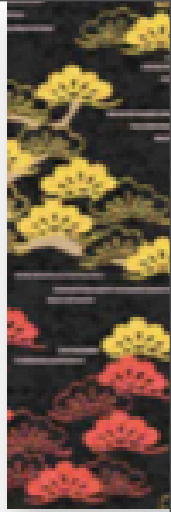


Nintendo Wii

まとめ

コンピュータで折り紙を直感的に
モデリングするための計算モデル
とインタフェースの提案と実装を
おこなった

解決すべき課題についての考察を
おこなった



ご清聴ありがとうございました