

デザイン数学セミナー

— 折り紙と模様の数理編 —

第1回

「折り紙の数理とデザイン」

折り紙



紙を折ることで「形」を作る

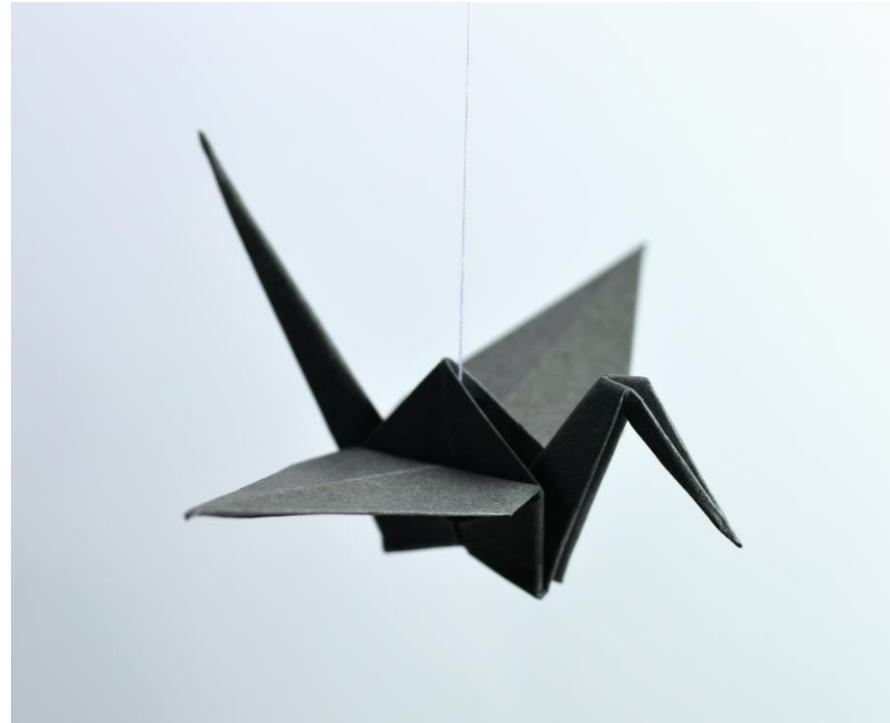


日本における「ものづくり芸術」の代表

古典的な折り紙



古典折り紙の代表例－折り鶴－

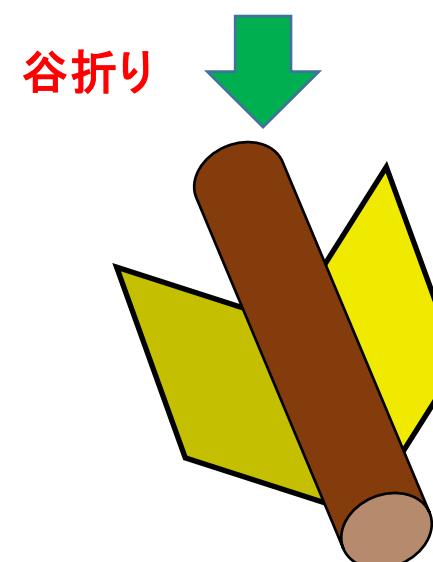
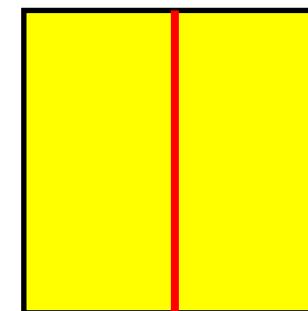
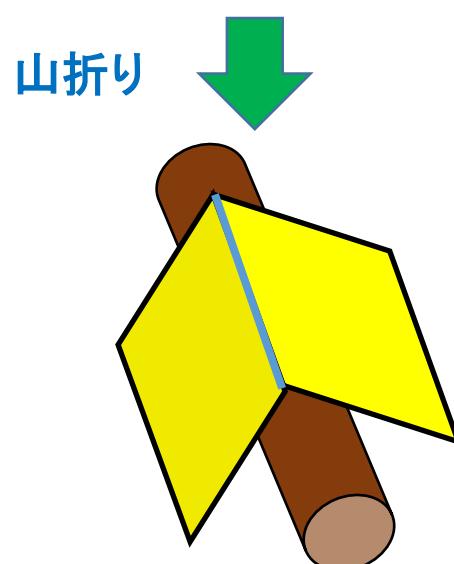
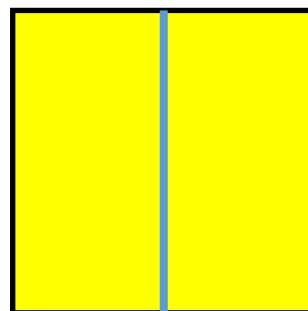


折り鶴

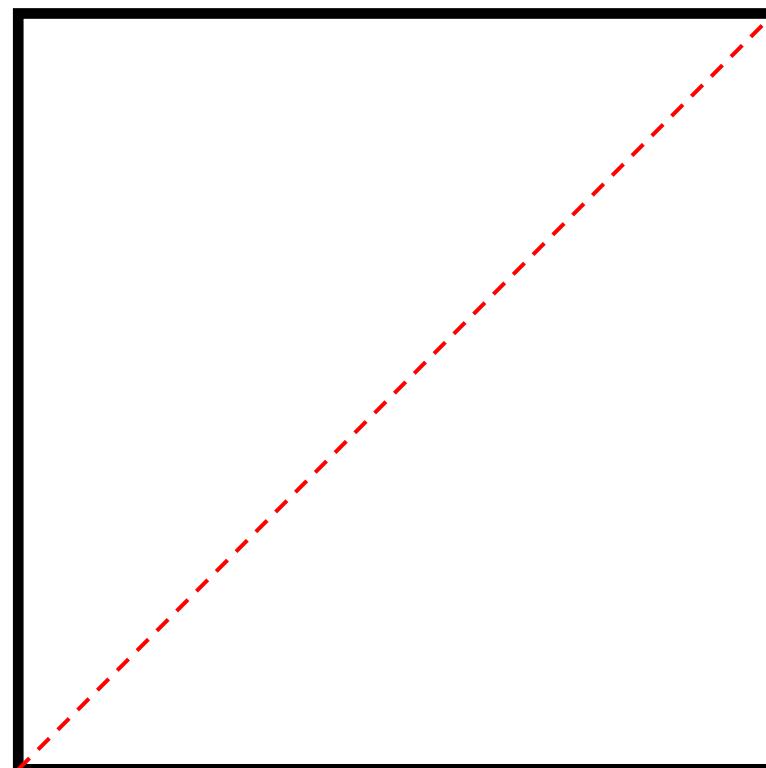
折り鶴の折り方はさまざまな折り紙の「**基本形**」となっている

山折りと谷折り

「山折り」と「谷折り」について



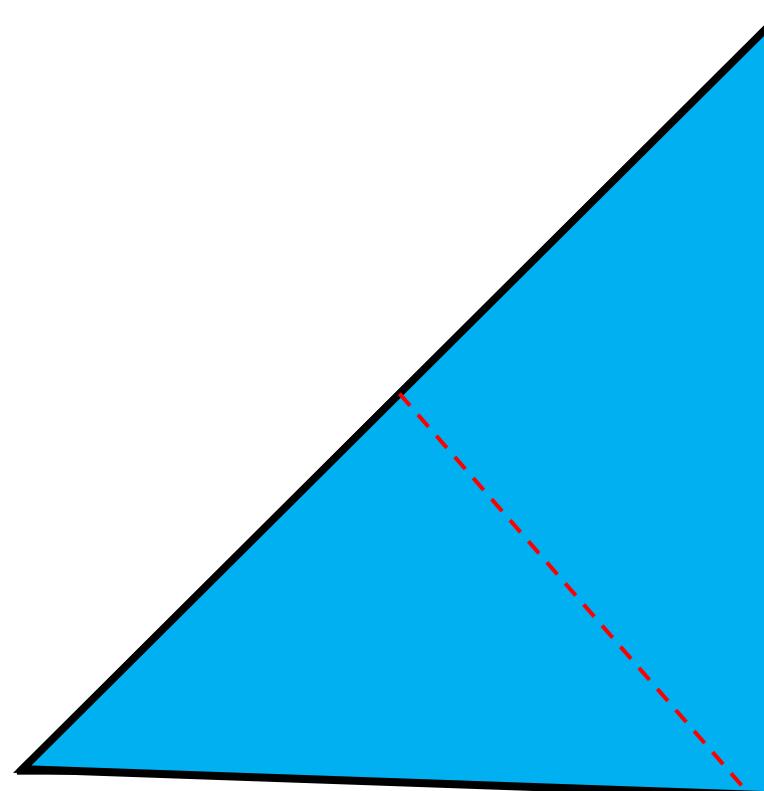
【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

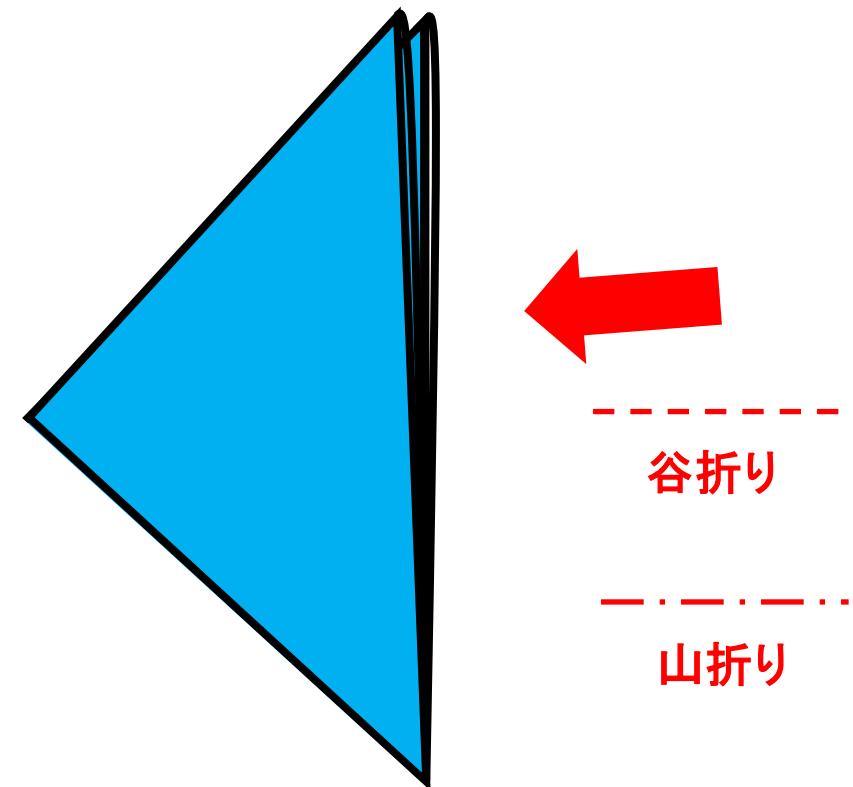
【実践】鶴を折ってみましょう。



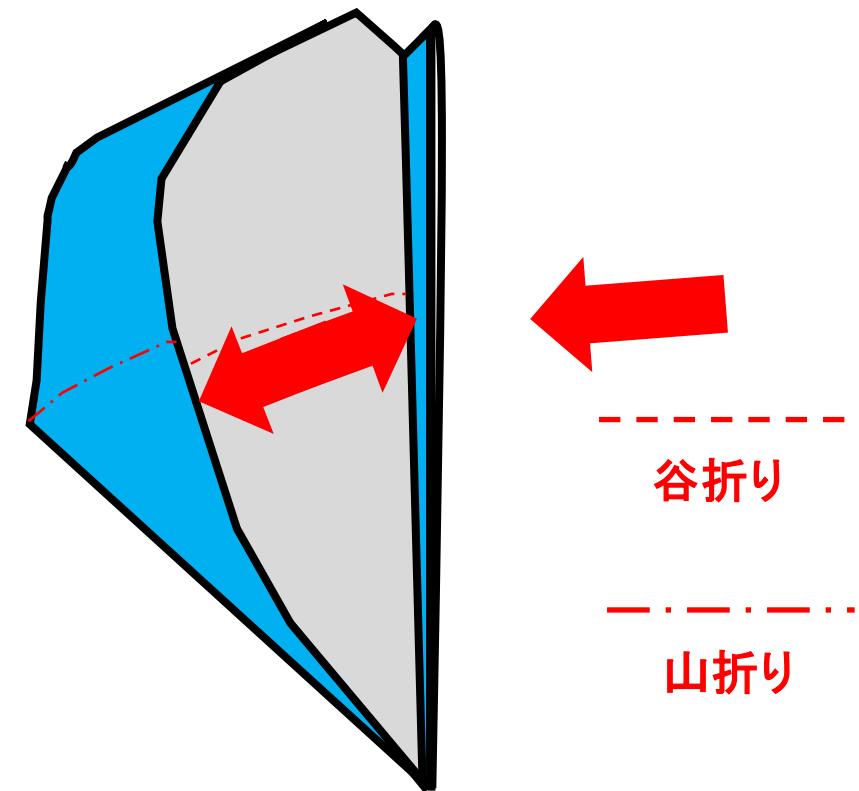
谷折り

山折り

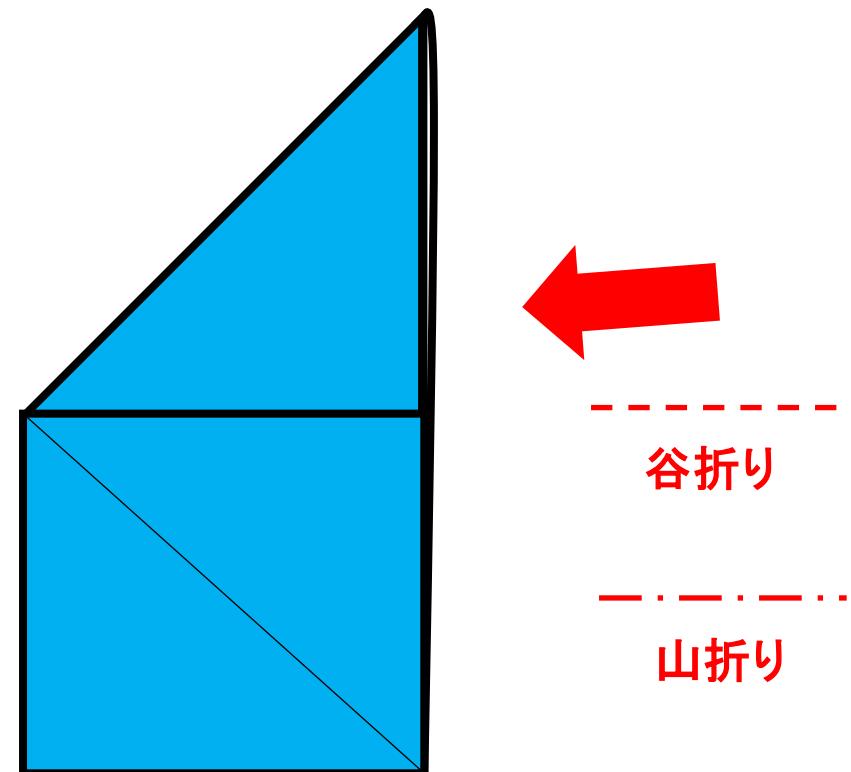
【実践】鶴を折ってみましょう。



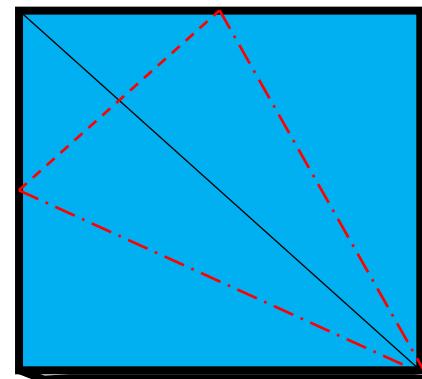
【実践】鶴を折ってみましょう。



【実践】鶴を折ってみましょう。



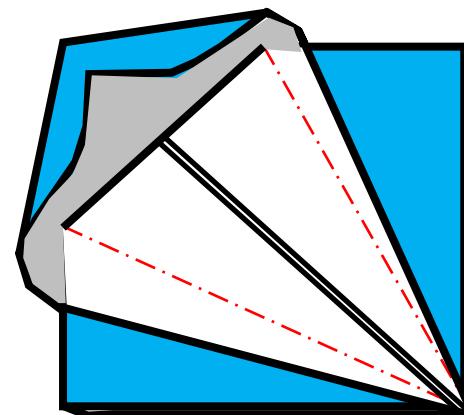
【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

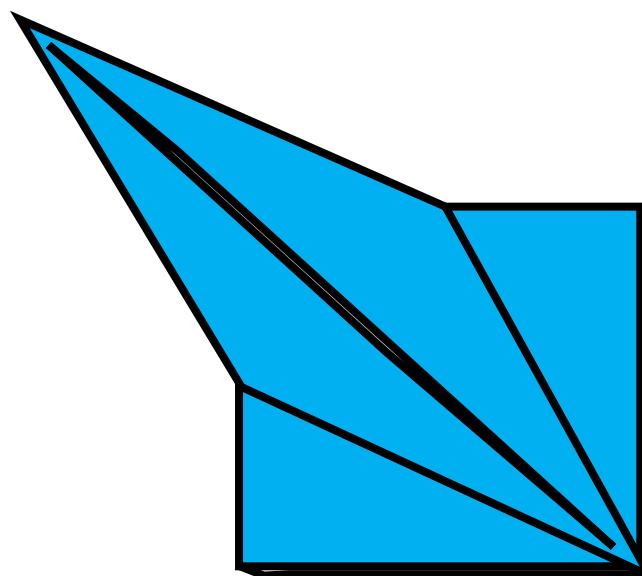
【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

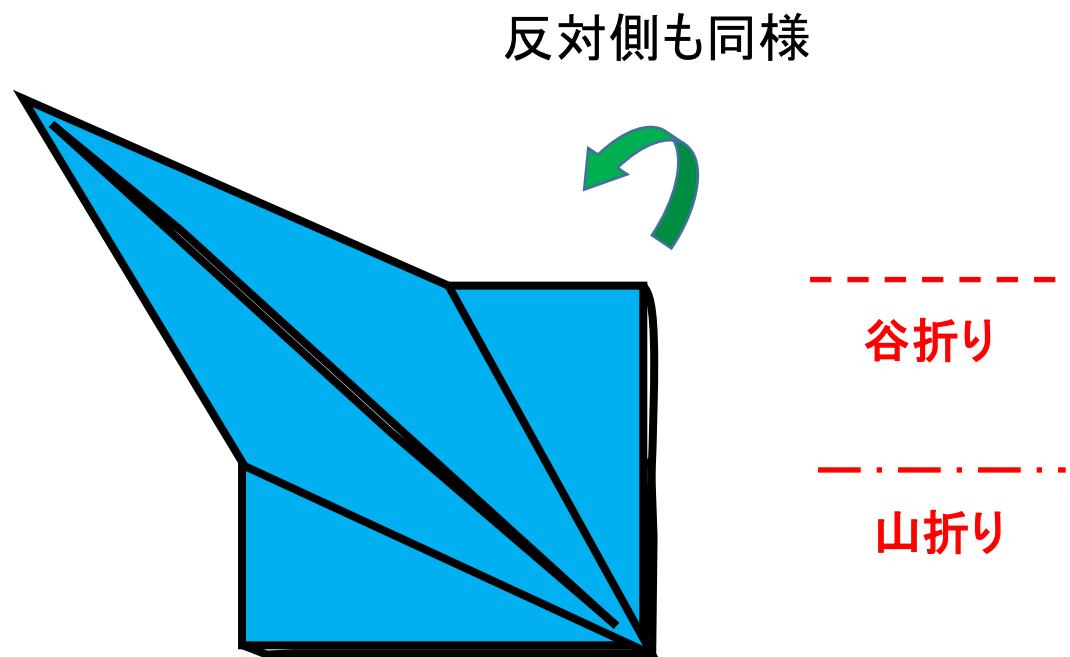
【実践】鶴を折ってみましょう。



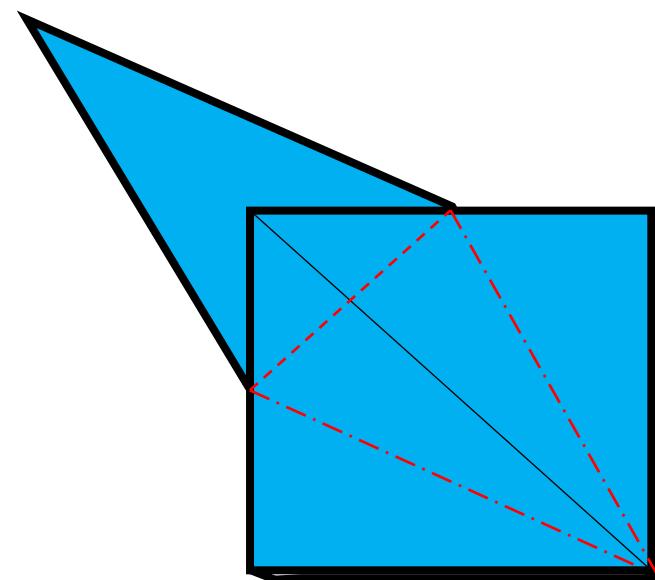
谷折り

山折り

【実践】鶴を折ってみましょう。



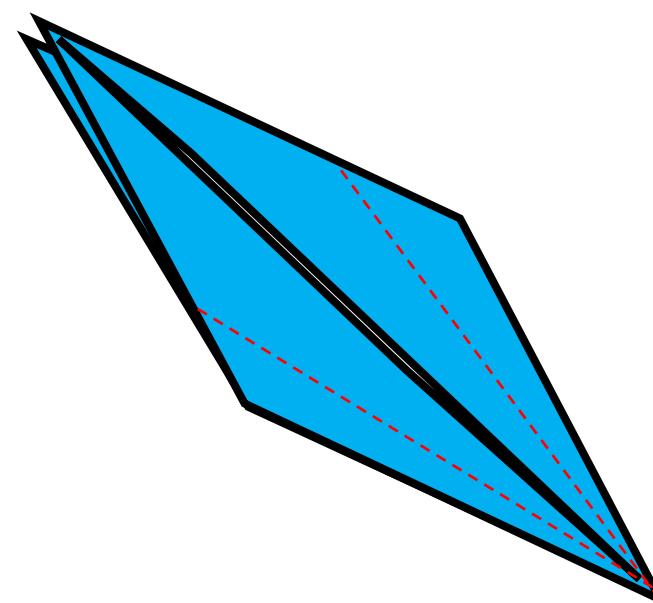
【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

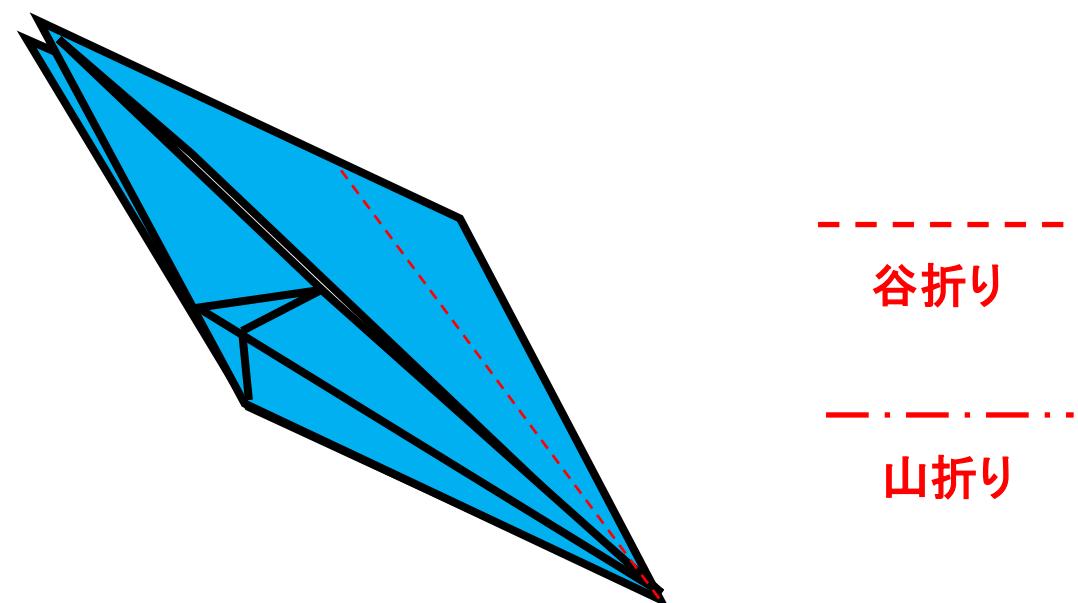
【実践】鶴を折ってみましょう。



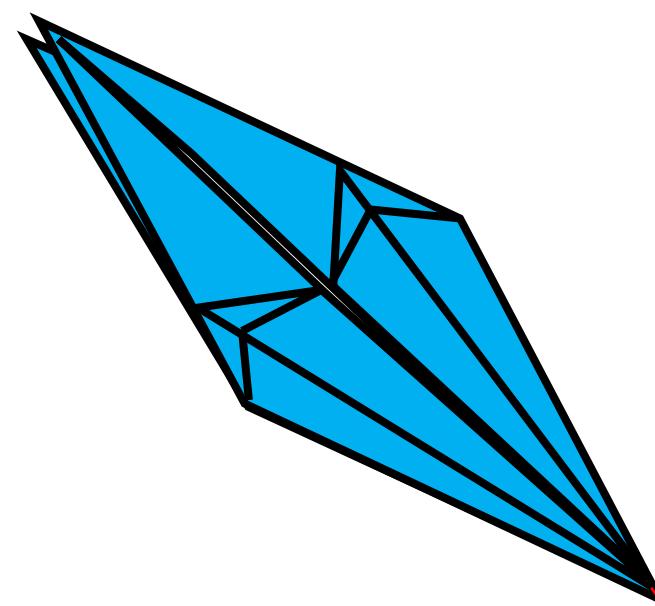
谷折り

山折り

【実践】鶴を折ってみましょう。



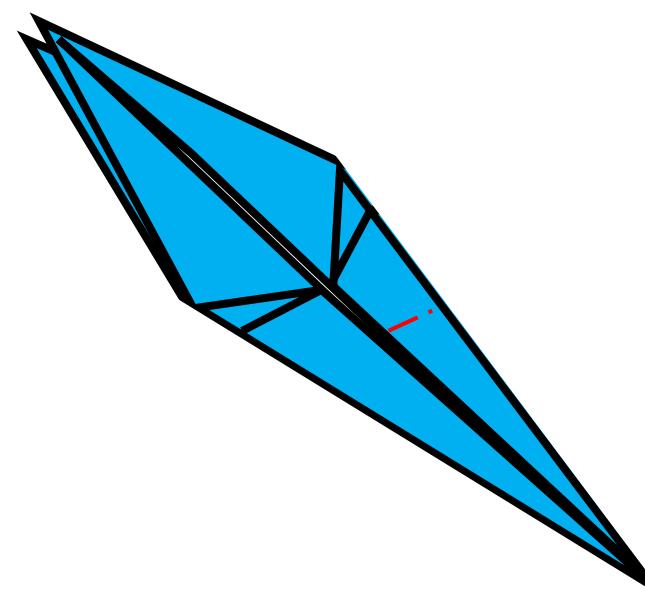
【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

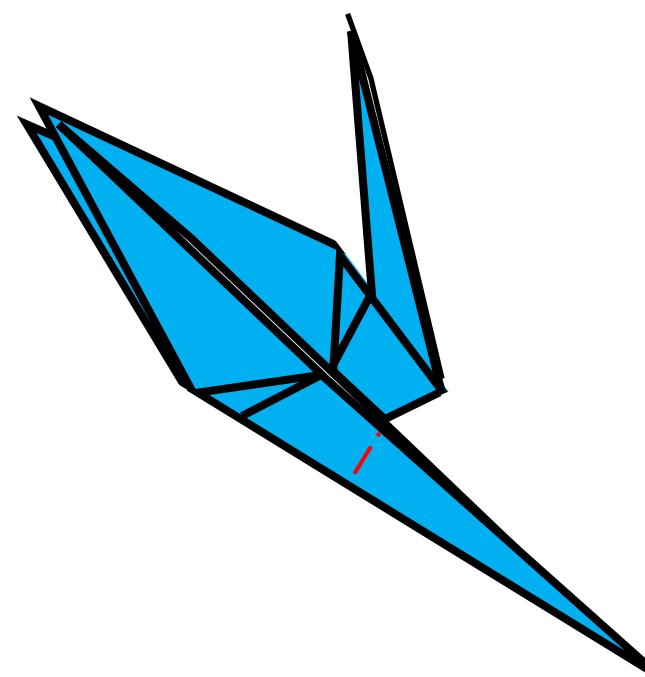
【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

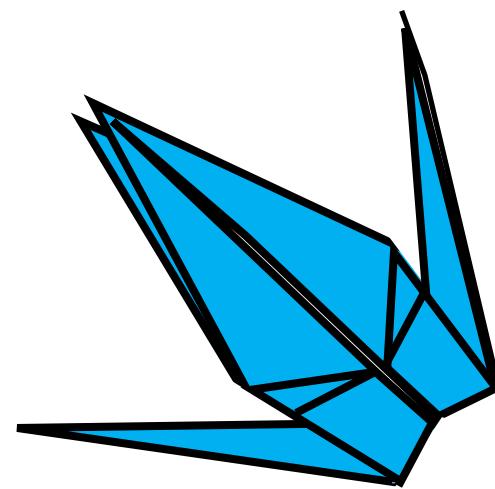
【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

【実践】鶴を折ってみましょう。



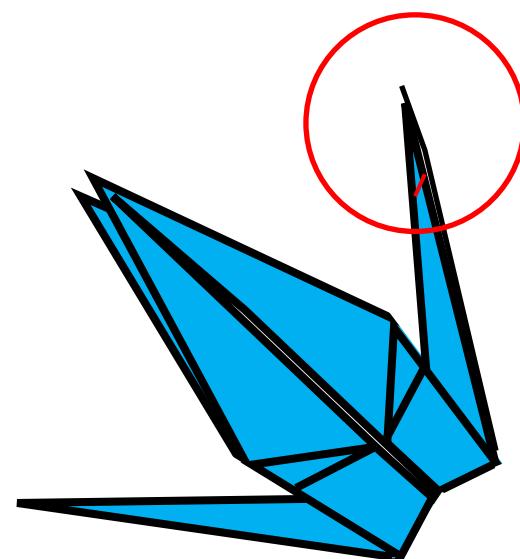
谷折り



山折り



【実践】鶴を折ってみましょう。



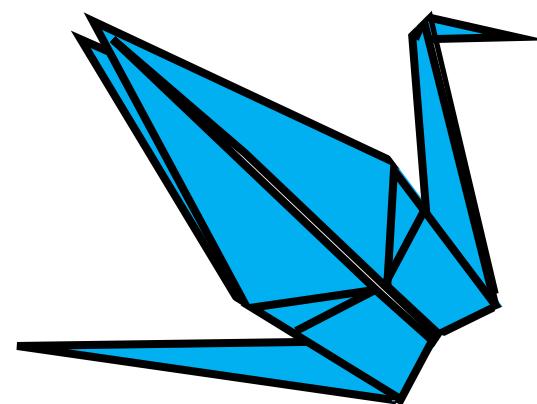
谷折り



山折り



【実践】鶴を折ってみましょう。



谷折り

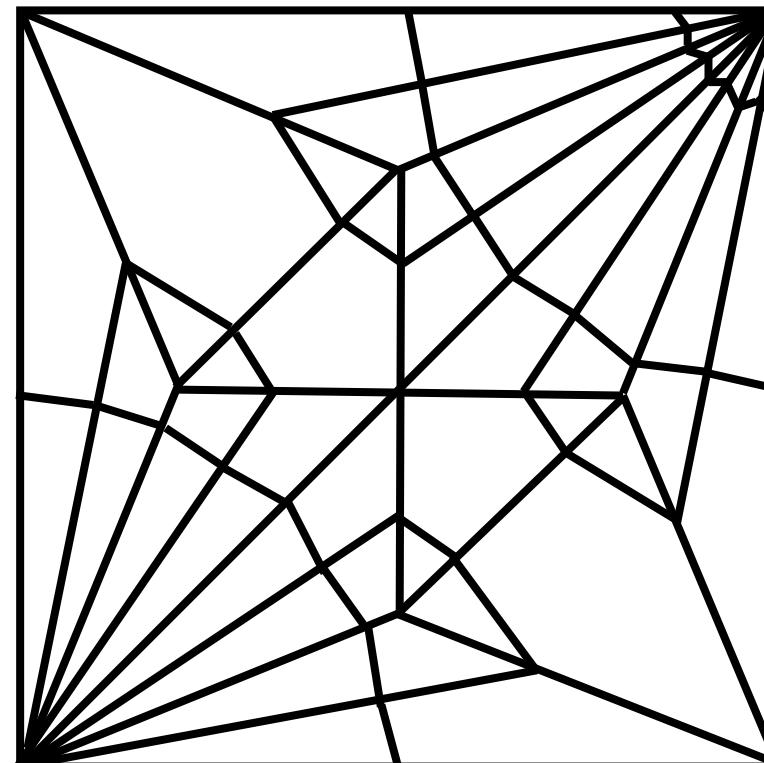


山折り

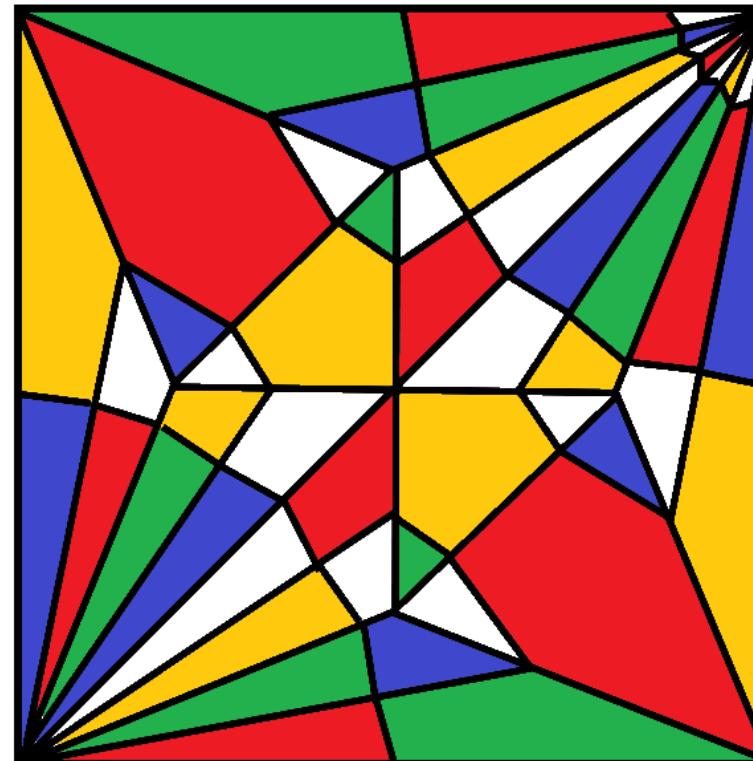


完成

折り鶴の展開図



折り紙の展開図を用いたデザイン



セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

折り紙と歴史

折り紙の歴史

7世紀

大陸から“紙”が伝わる

平安
（
鎌倉

大量に紙が生産されるように
供物や贈り物の美しく「包む」ために紙を折る文化が生まれる

室町

小笠原家、伊勢家により「紙包みの礼法」が整備される

江戸

色付きの紙が庶民にも普及
1797年 世界最古の折り紙本「秘傳千羽鶴折形」が出版

明治
（

洋紙が普及し折り紙が学校教材として使われる

折り紙の歴史

小笠原家、伊勢家による整備

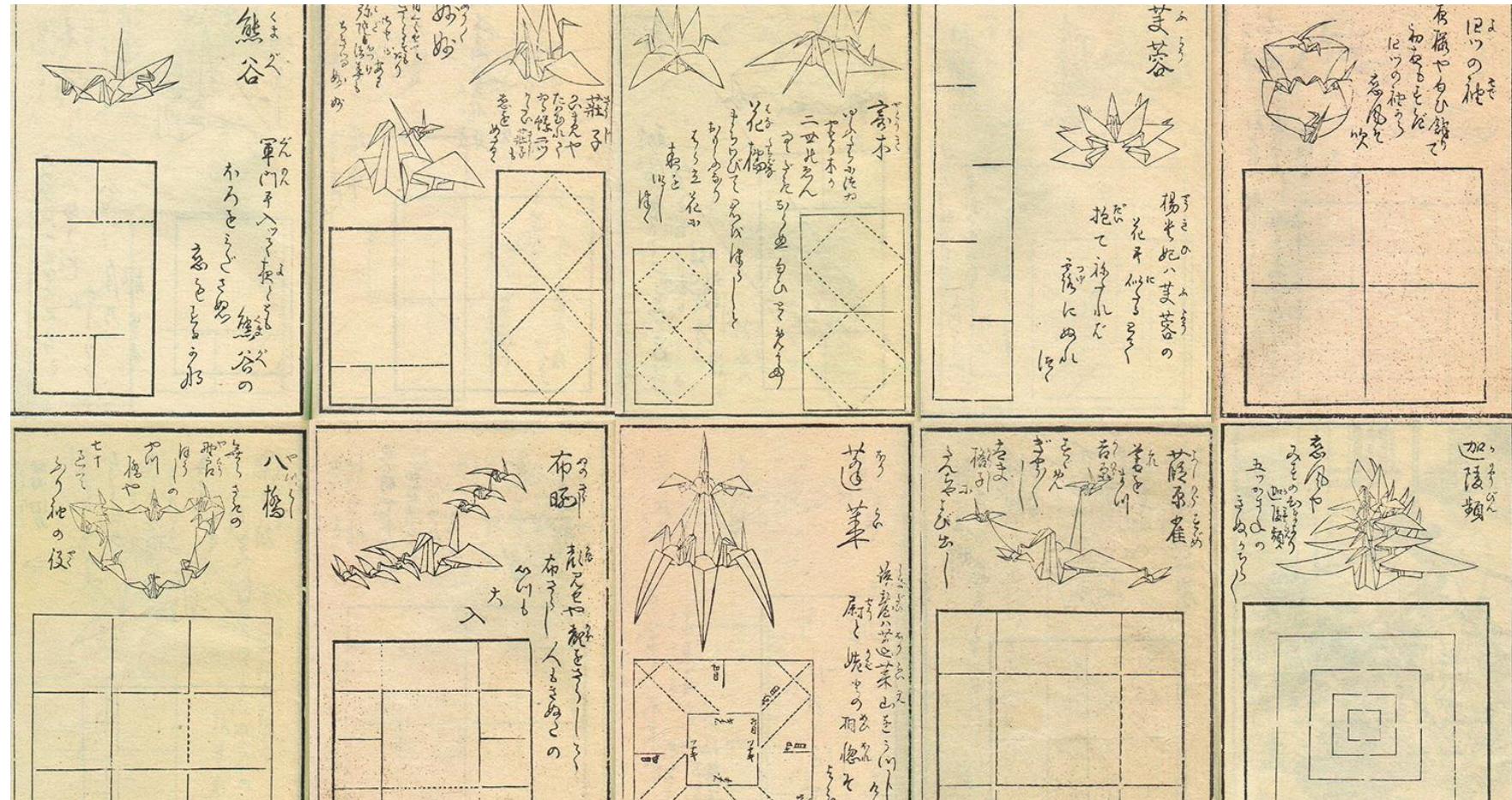


「雌蝶雄蝶」



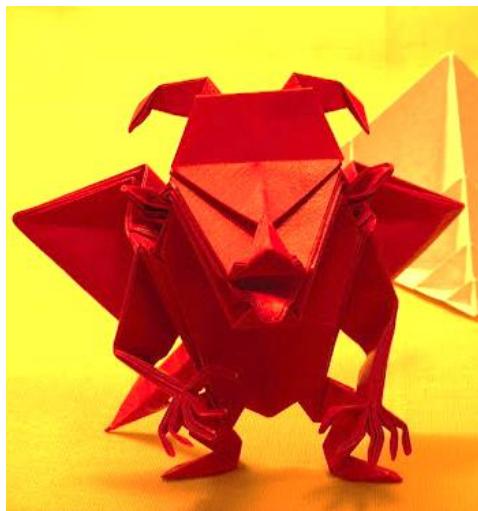
世界最古の折り紙本
「秘傳千羽鶴折形」

「秘傳千羽鶴折形」



現代折り紙 (Origami)

立体化、細密化が進み、より「**リアル**」な形が折り紙によって実現してきた。



悪魔(前川淳氏)

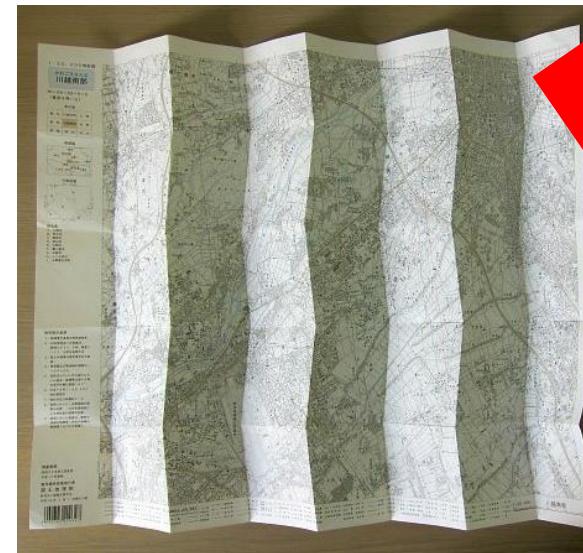
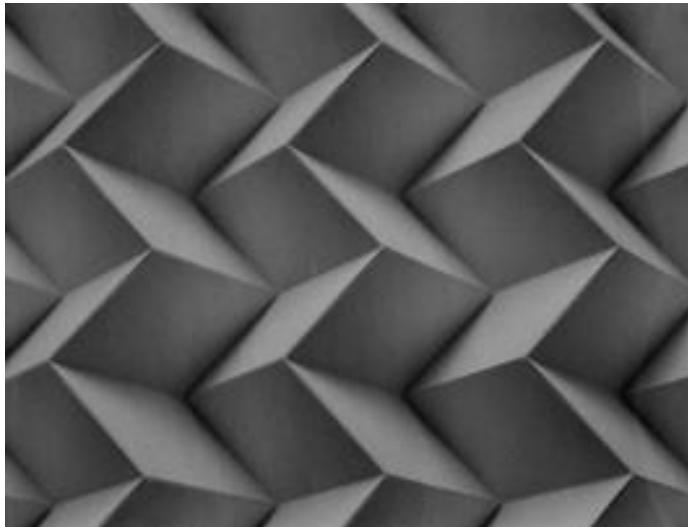


バラ(川崎敏和氏)



龍神(神谷哲史氏)

ミウラ折り（宇宙工学への応用）



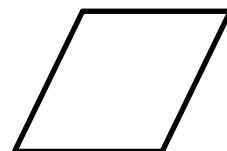
セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

折り紙と模様

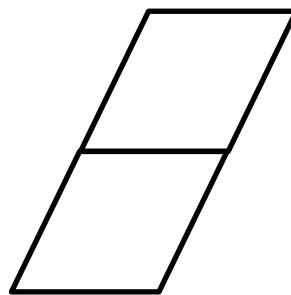
折り紙と模様

繰り返し模様



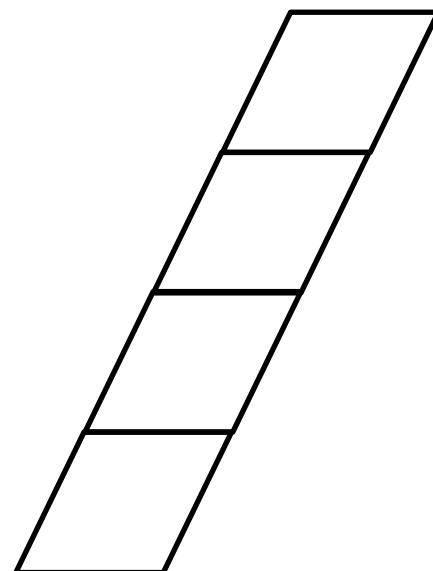
折り紙と模様

繰り返し模様



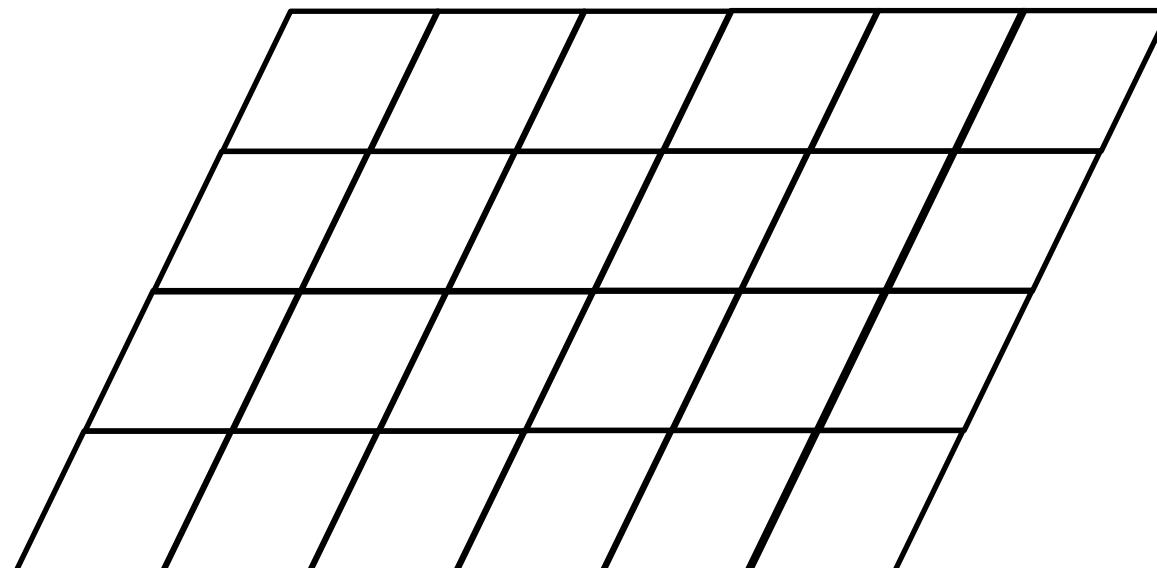
折り紙と模様

繰り返し模様



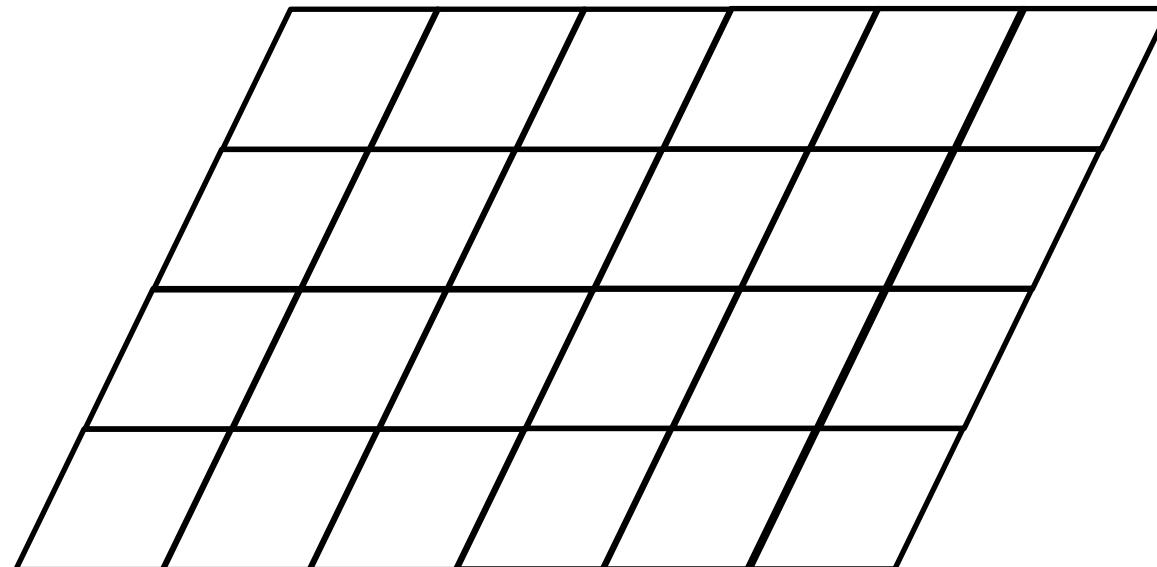
折り紙と模様

繰り返し模様



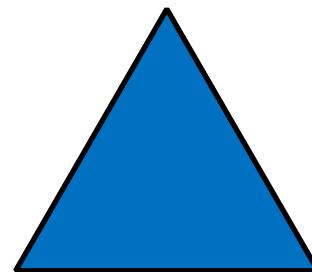
折り紙と模様

繰り返し模様

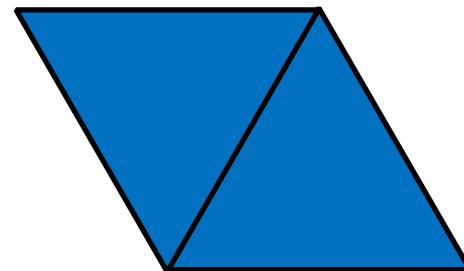


平行移動

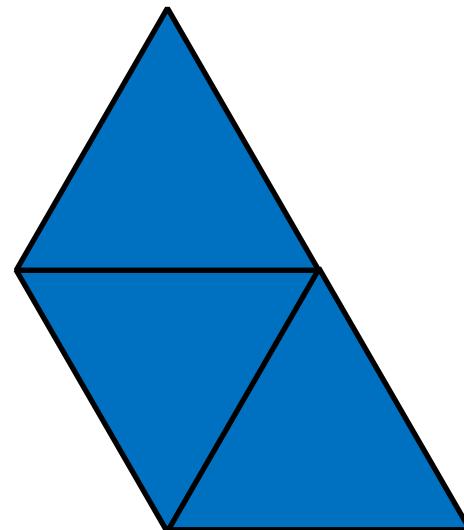
折り紙と模様



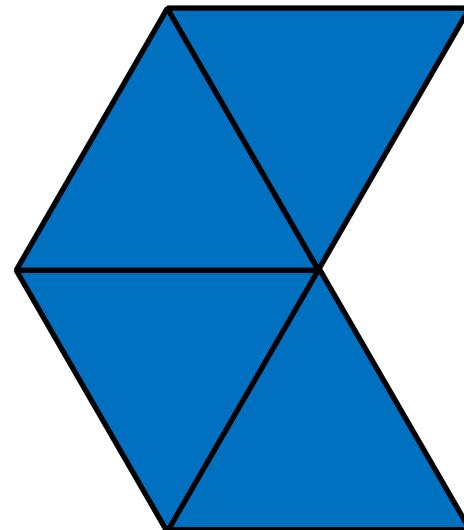
折り紙と模様



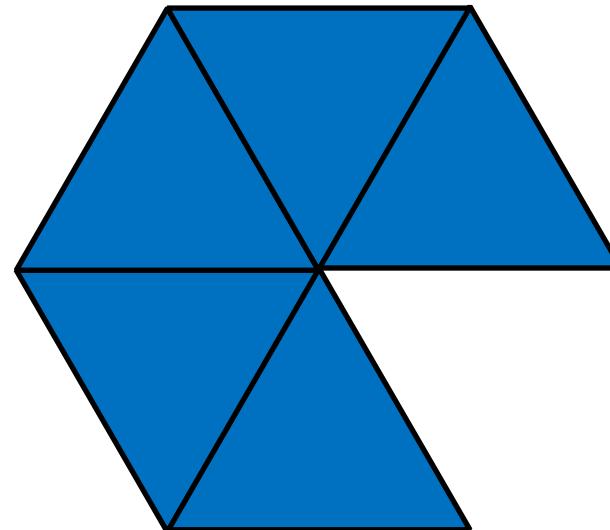
折り紙と模様



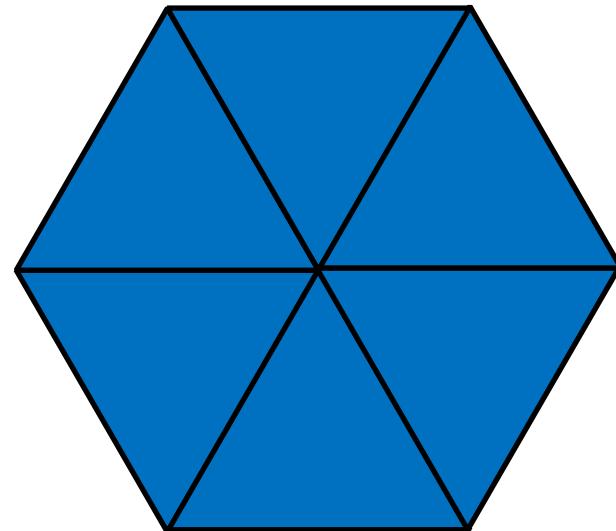
折り紙と模様



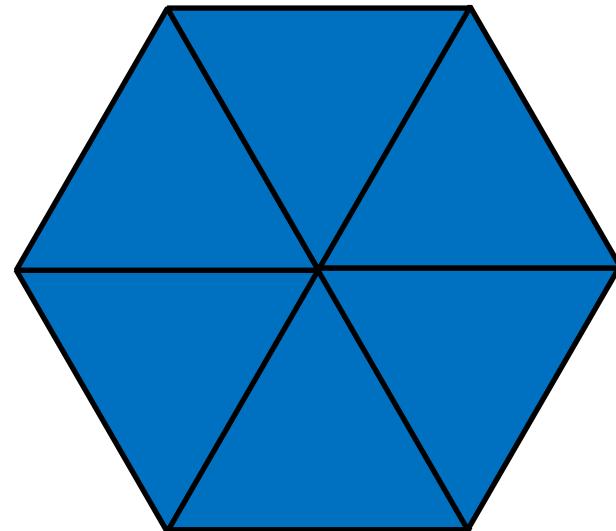
折り紙と模様



折り紙と模様



折り紙と模様



平行移動

折り紙と模様



繰り返し模様の構造



- ・平行移動
- ・回転

折り紙と模様



繰り返し模様の構造



- ・平行移動
- ・回転
- ・鏡反射

折り紙と模様



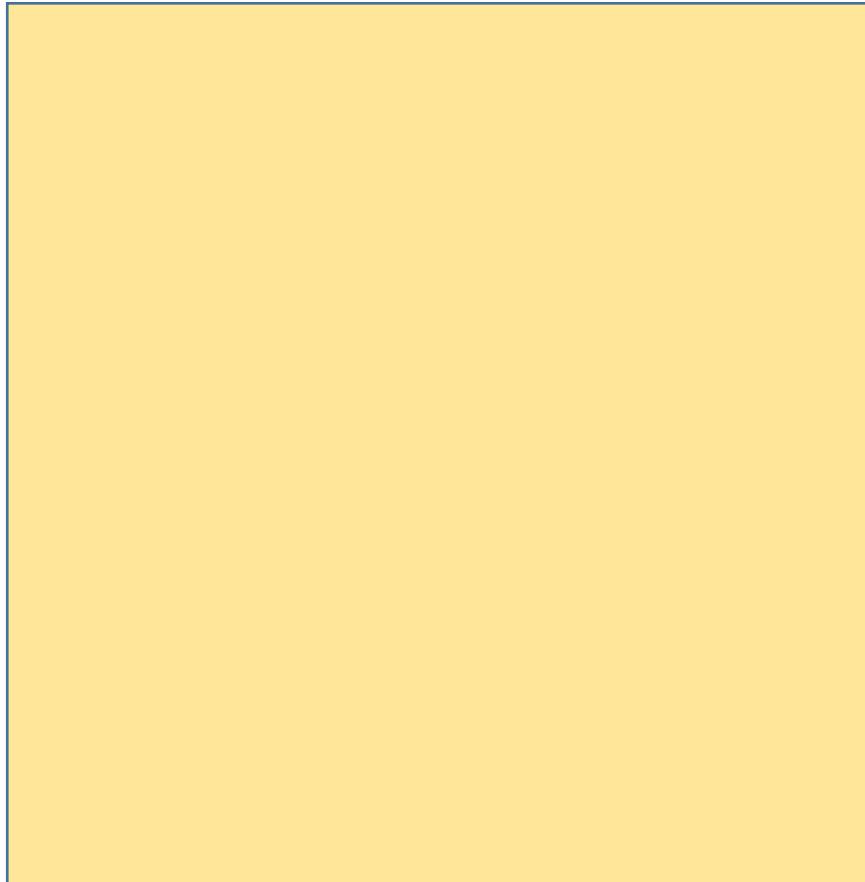
繰り返し模様の構造



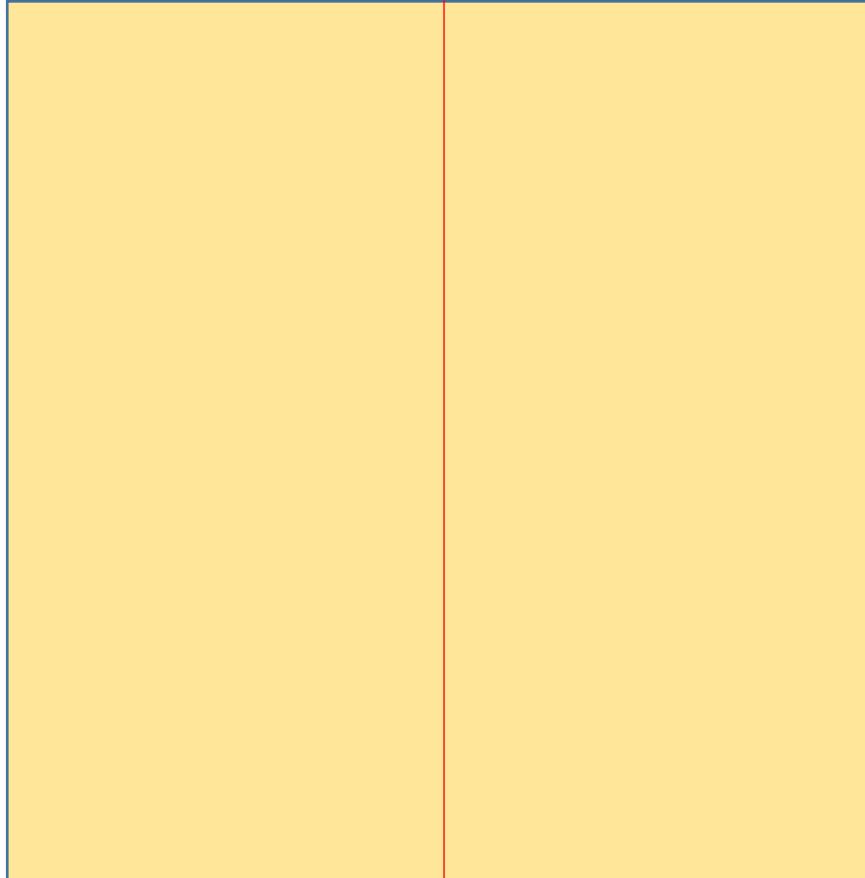
- ・平行移動
- ・回転
- ・鏡反射

折り紙

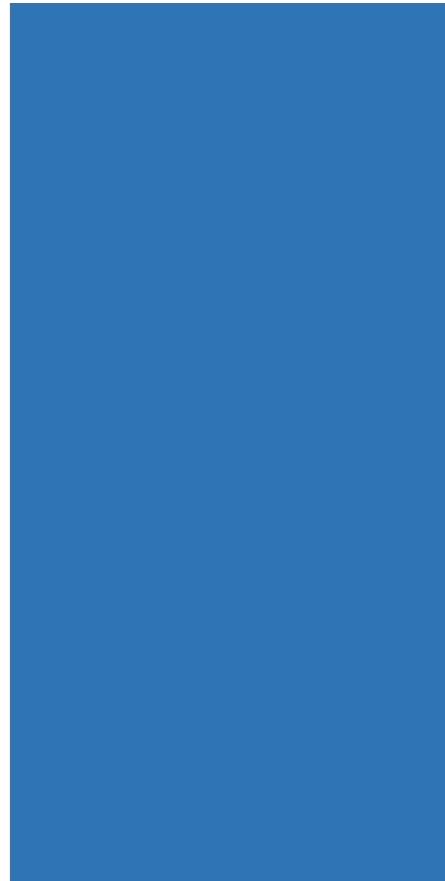
折り紙と模様



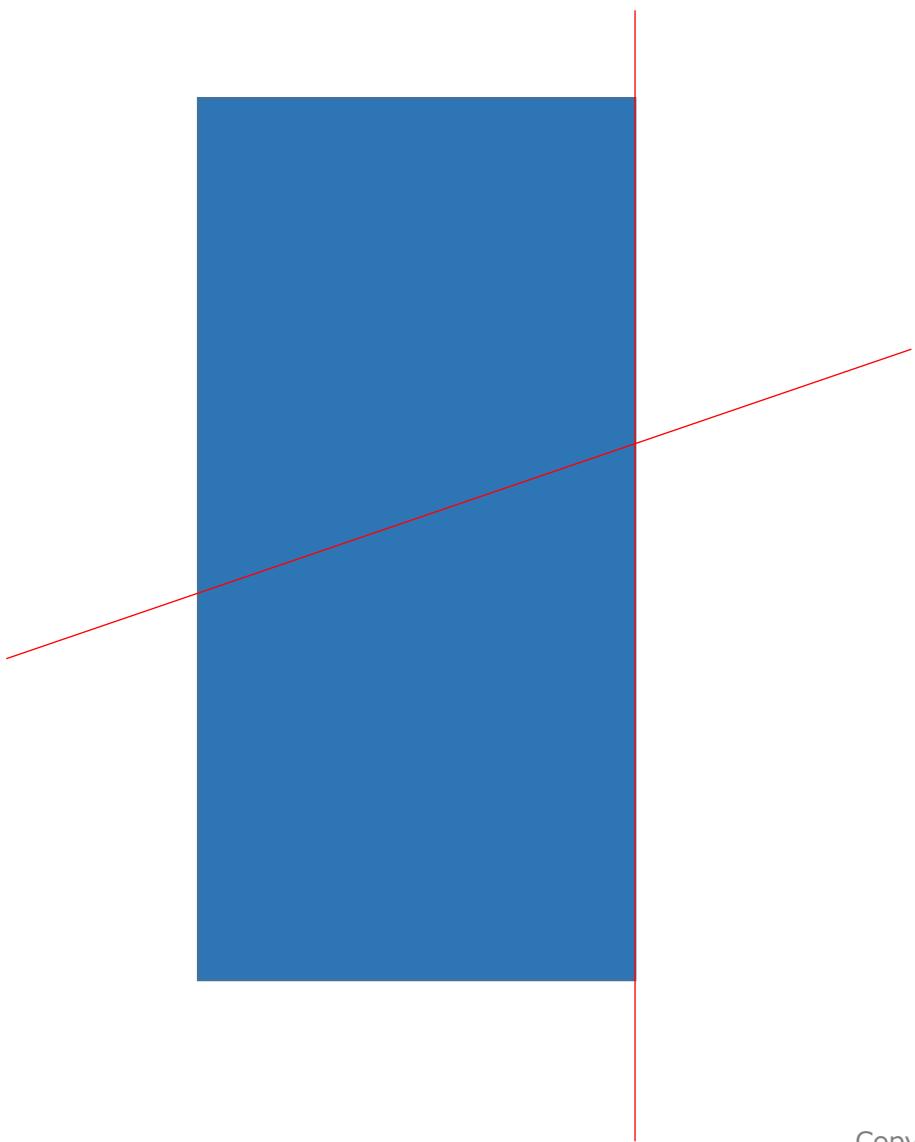
折り紙と模様



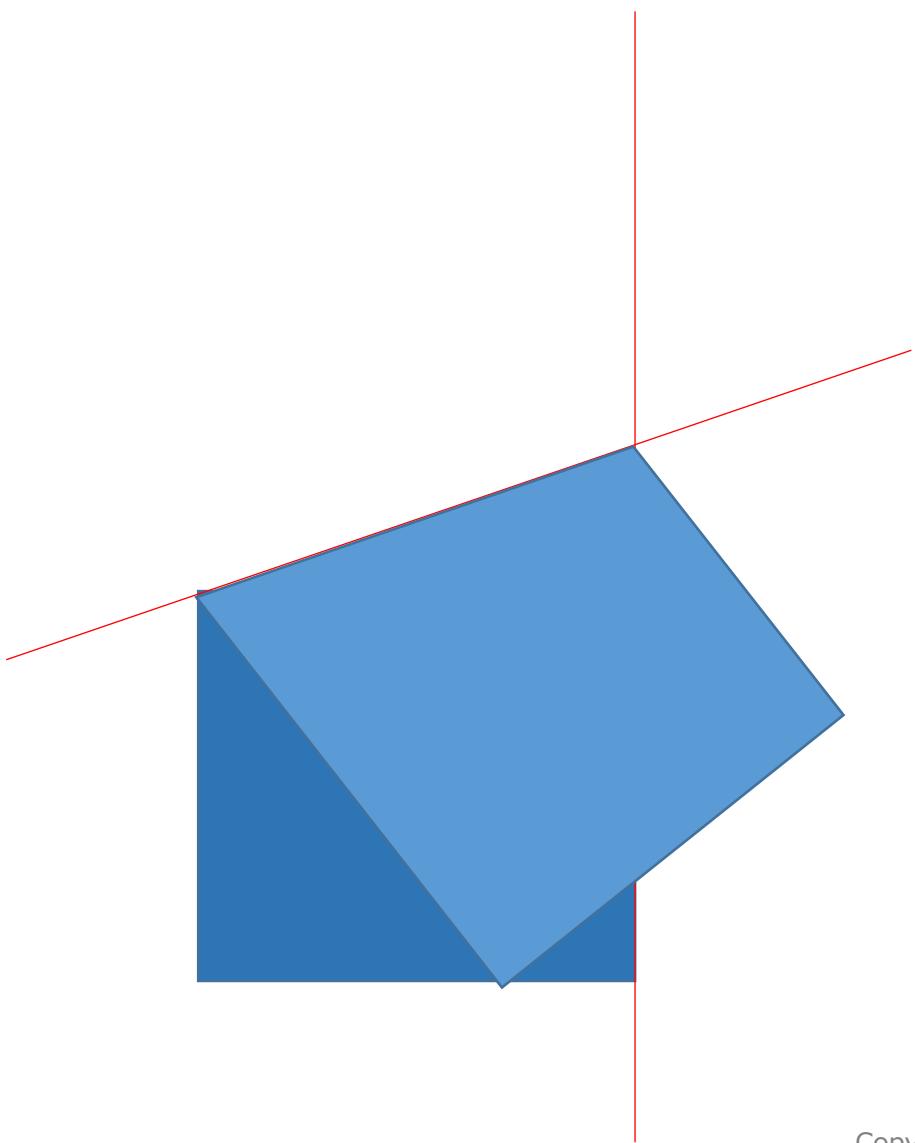
折り紙と模様



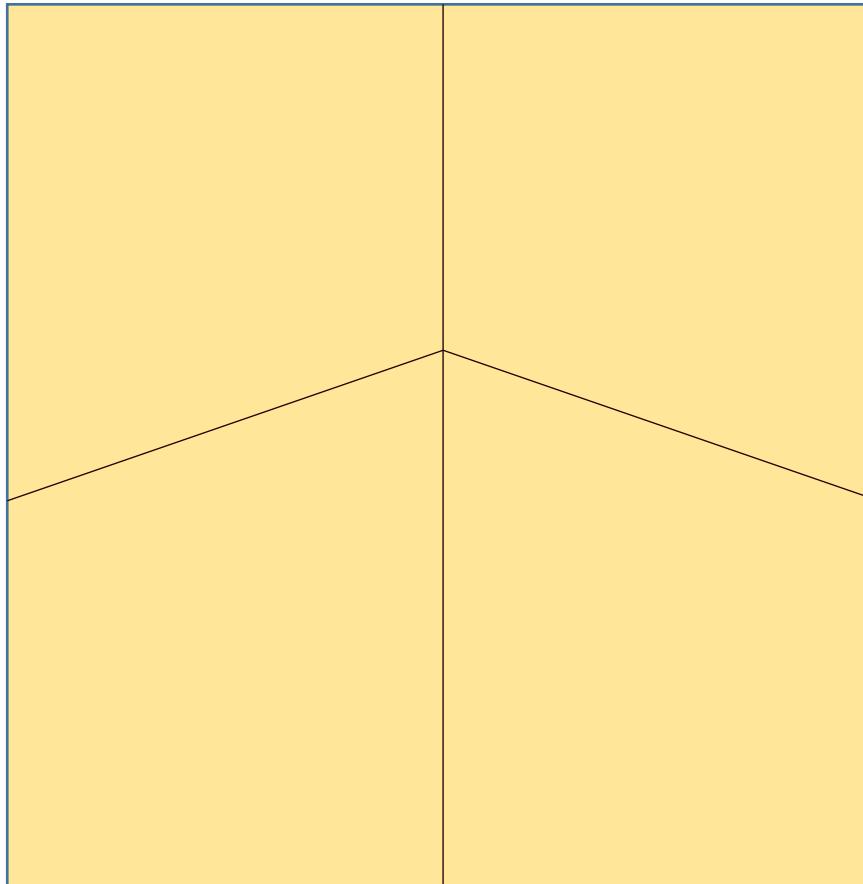
折り紙と模様



折り紙と模様

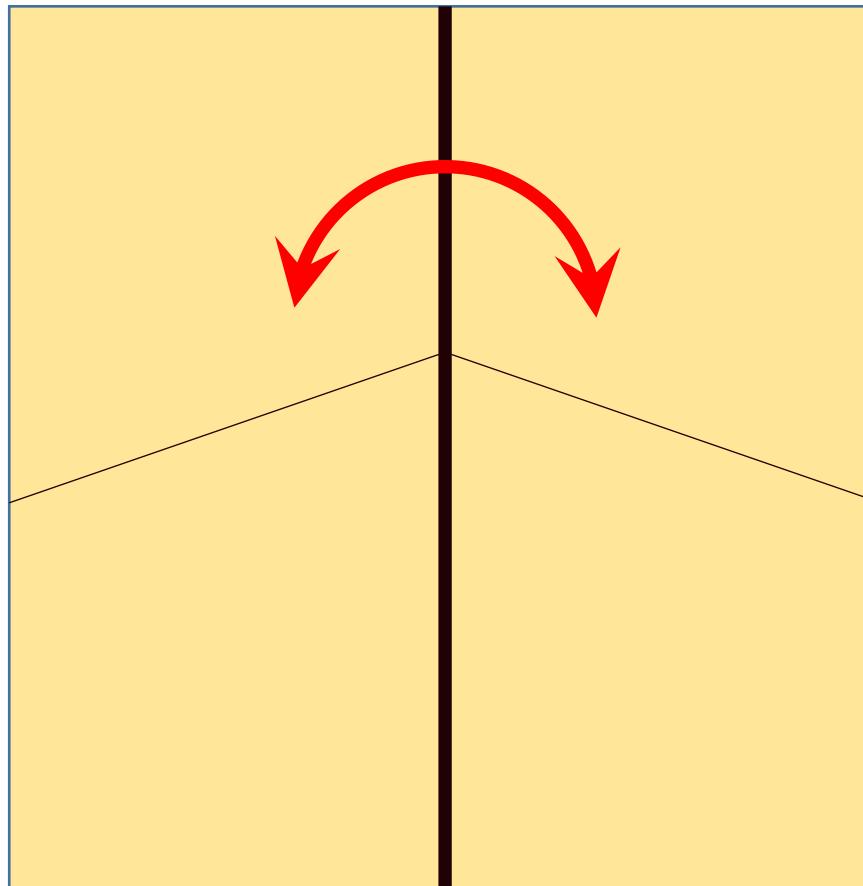


折り紙と模様

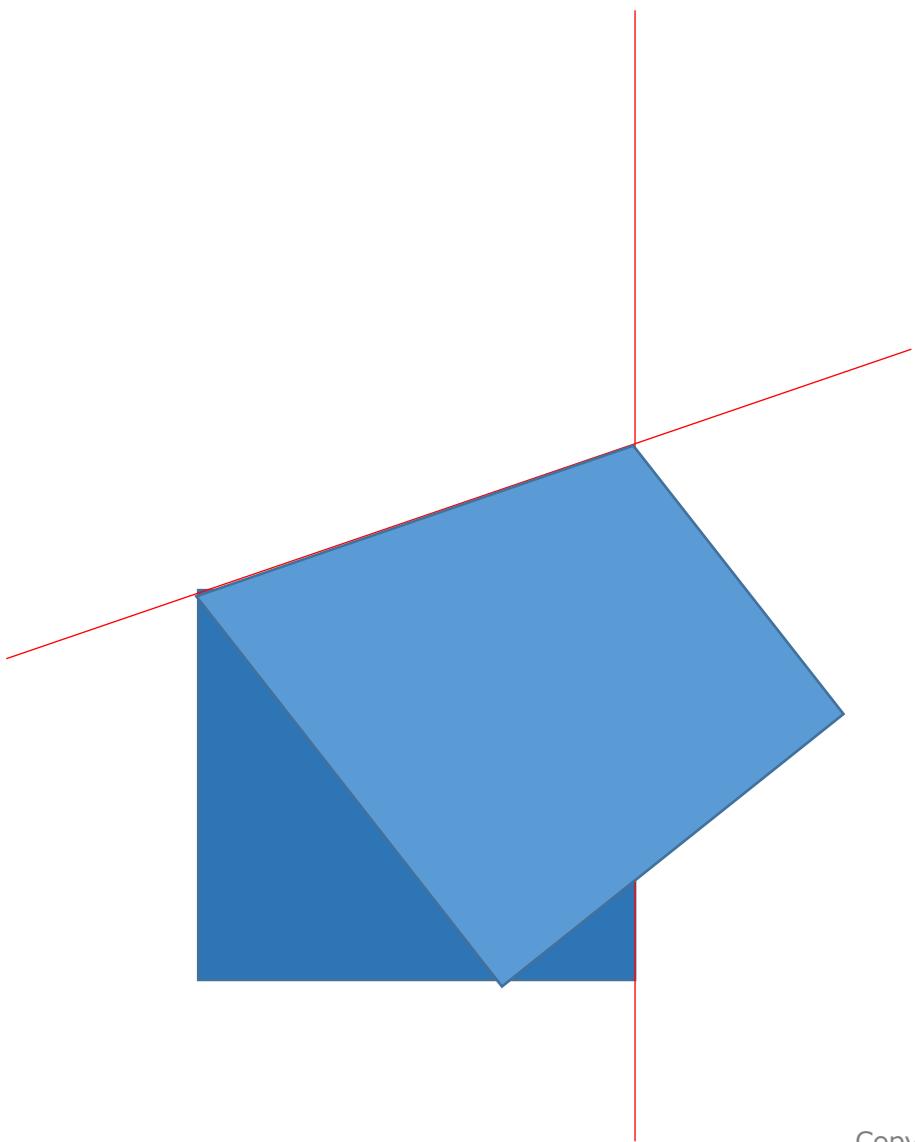


折り紙と模様

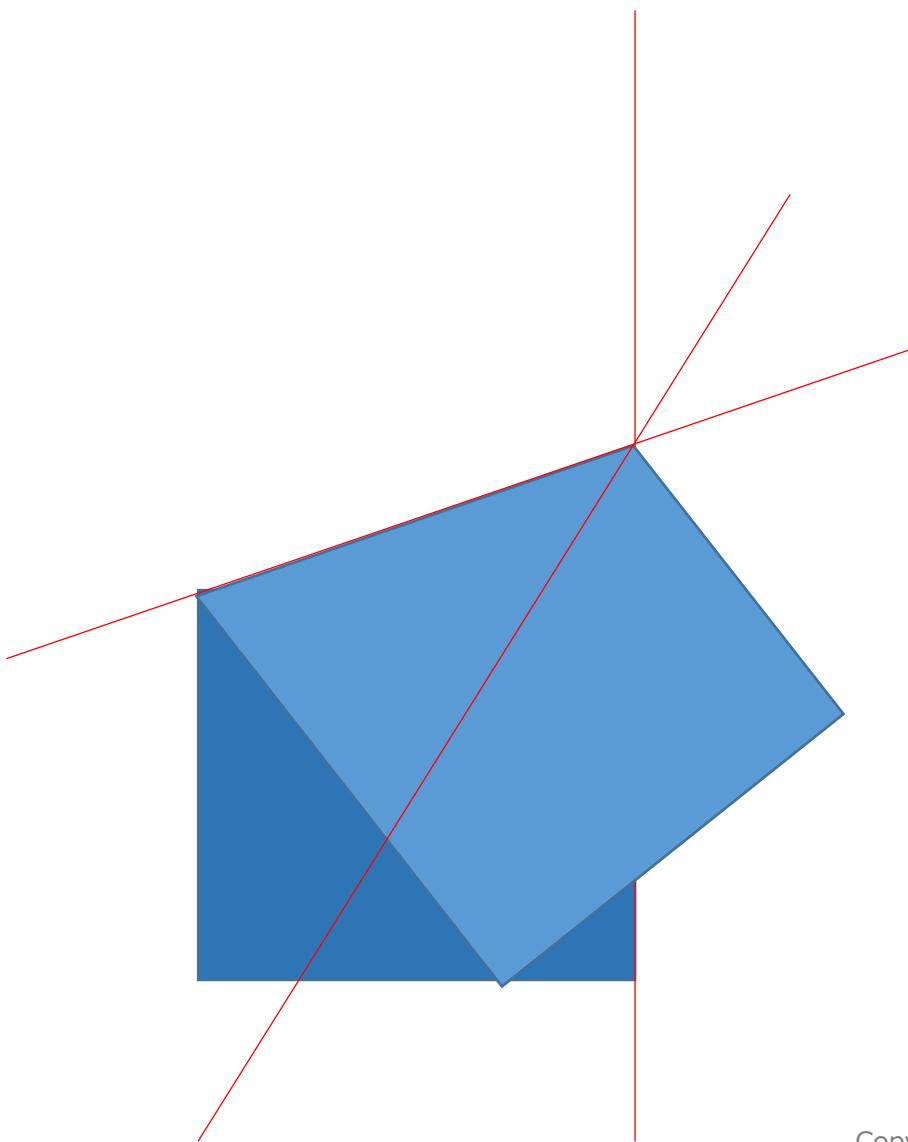
鏡反射の関係



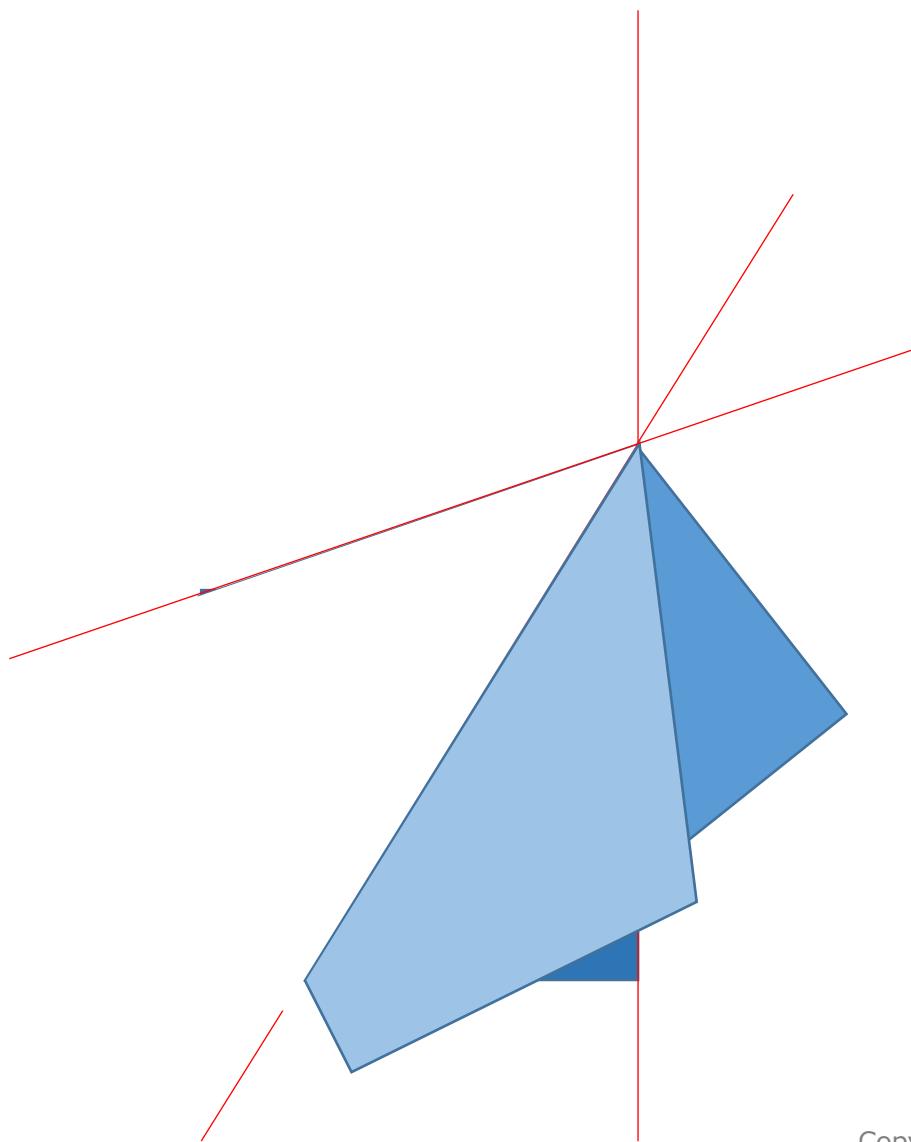
折り紙と模様



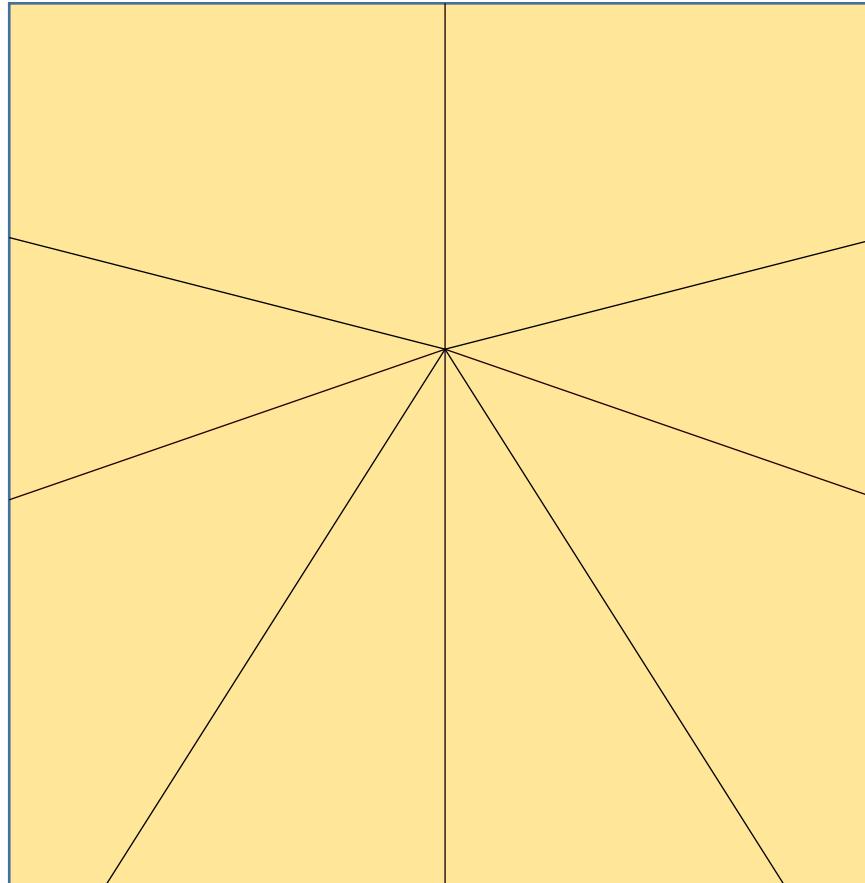
折り紙と模様



折り紙と模様

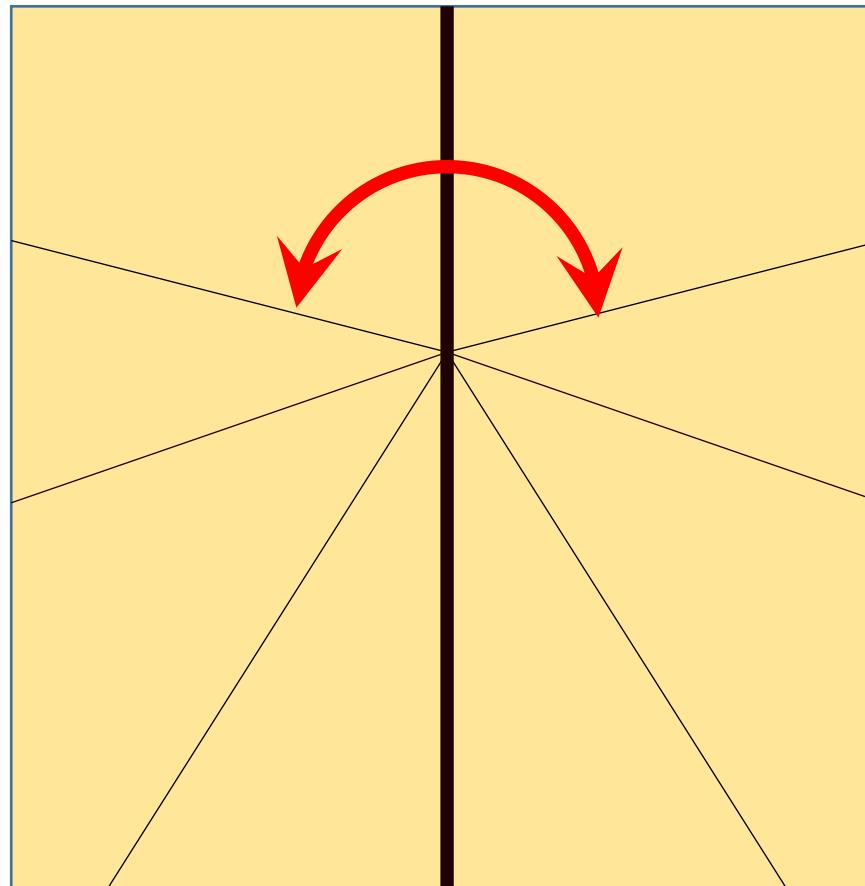


折り紙と模様



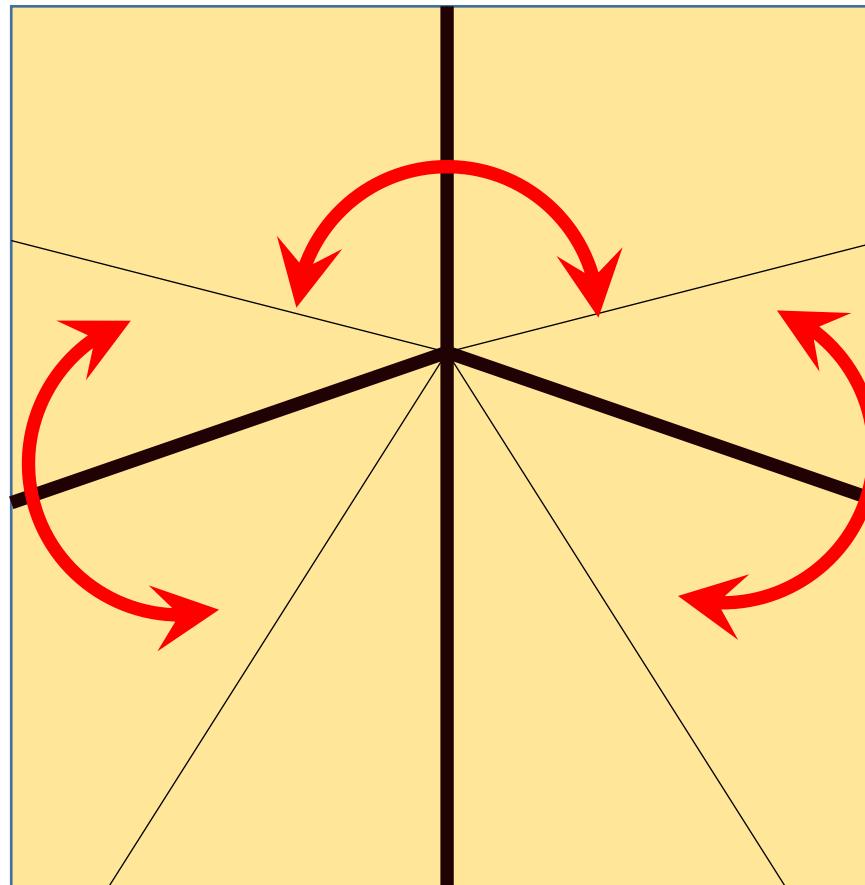
折り紙と模様

鏡反射の関係



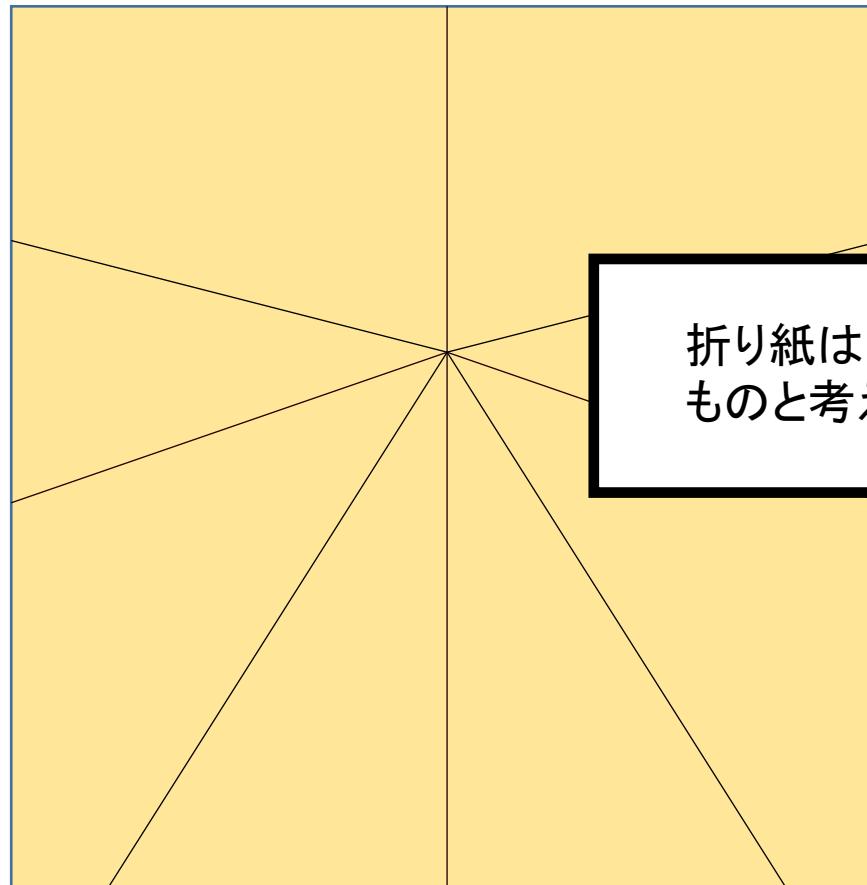
折り紙と模様

鏡反射の関係



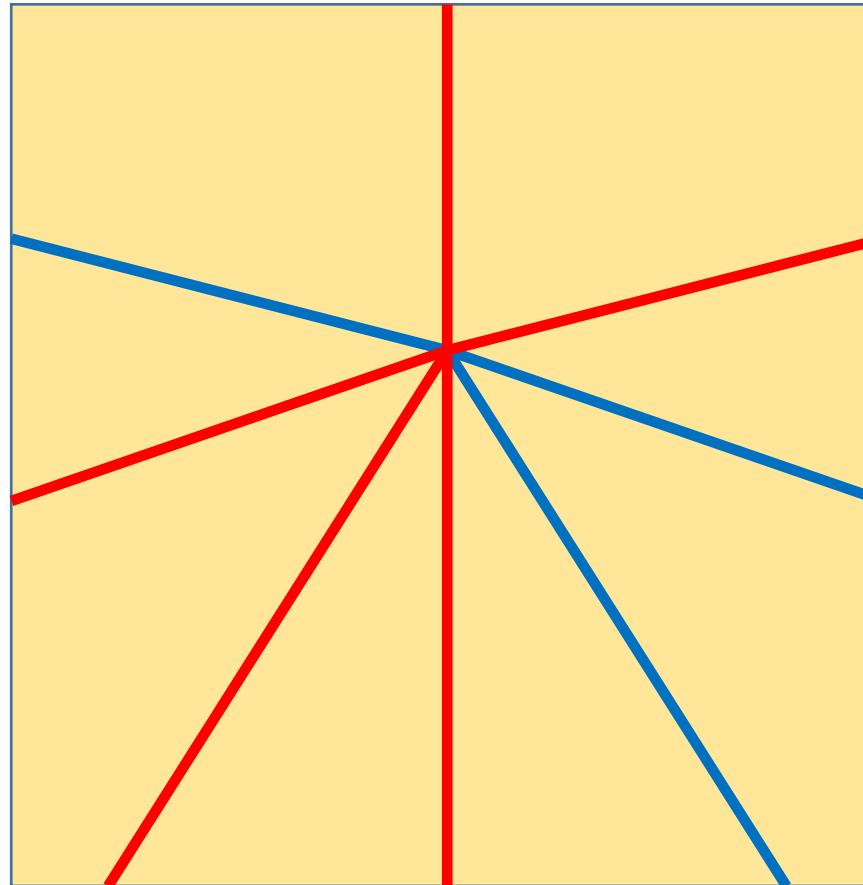
折り紙と模様

鏡反射の関係

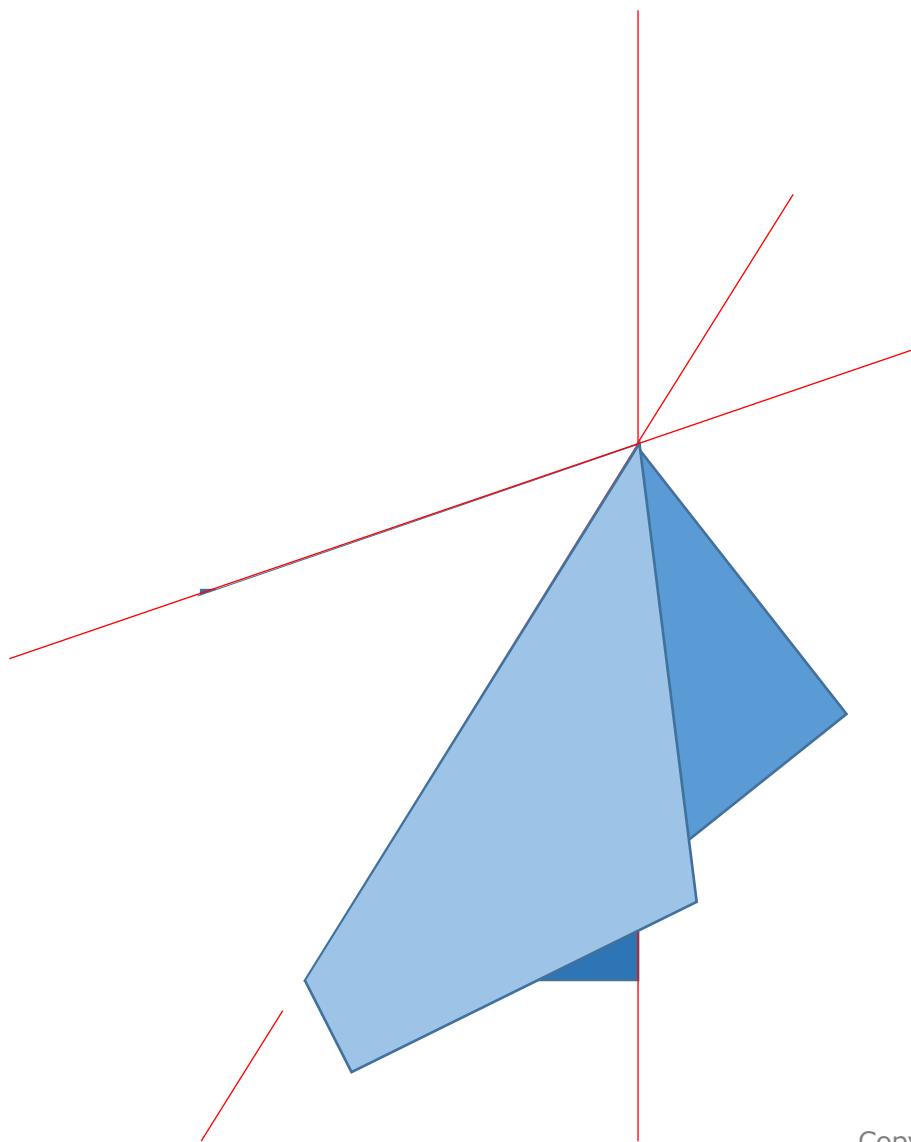


折り紙は、鏡反射タイミングしている
ものと考えることができる

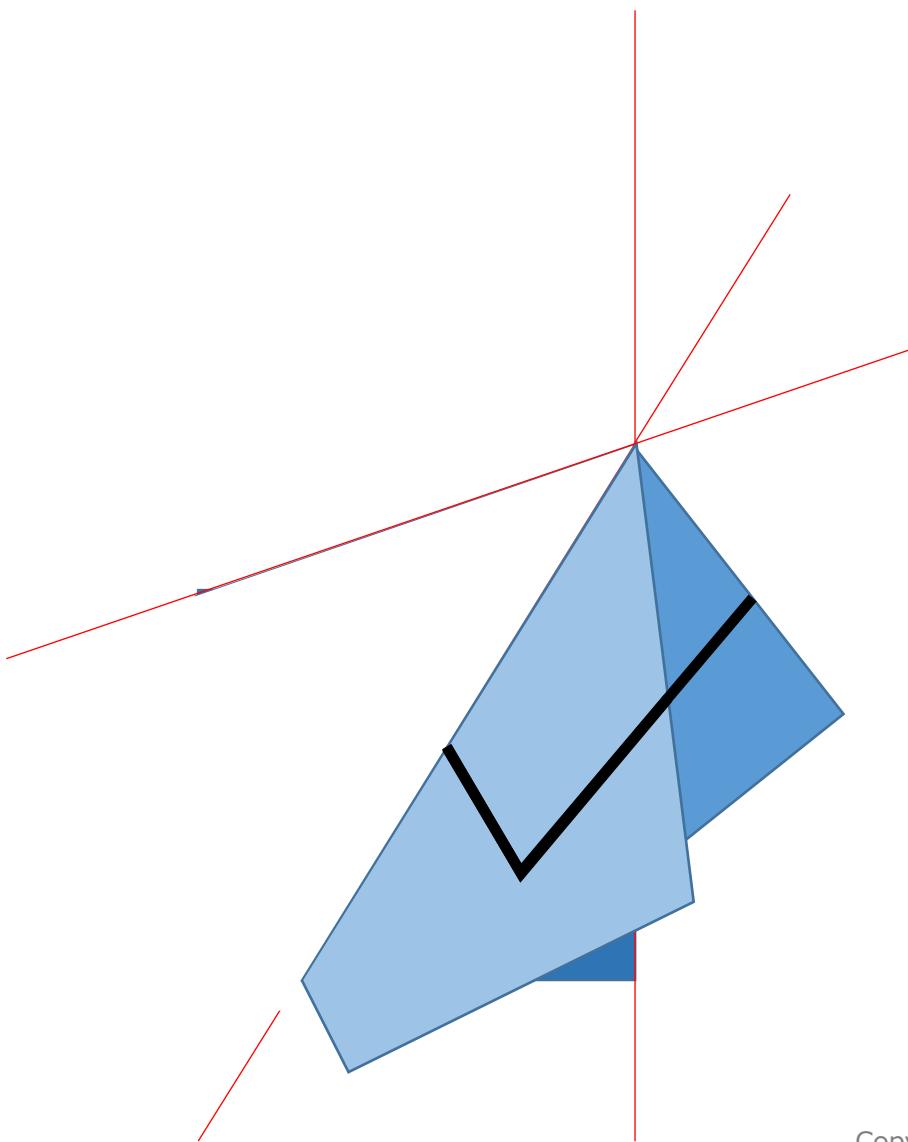
折り紙と模様



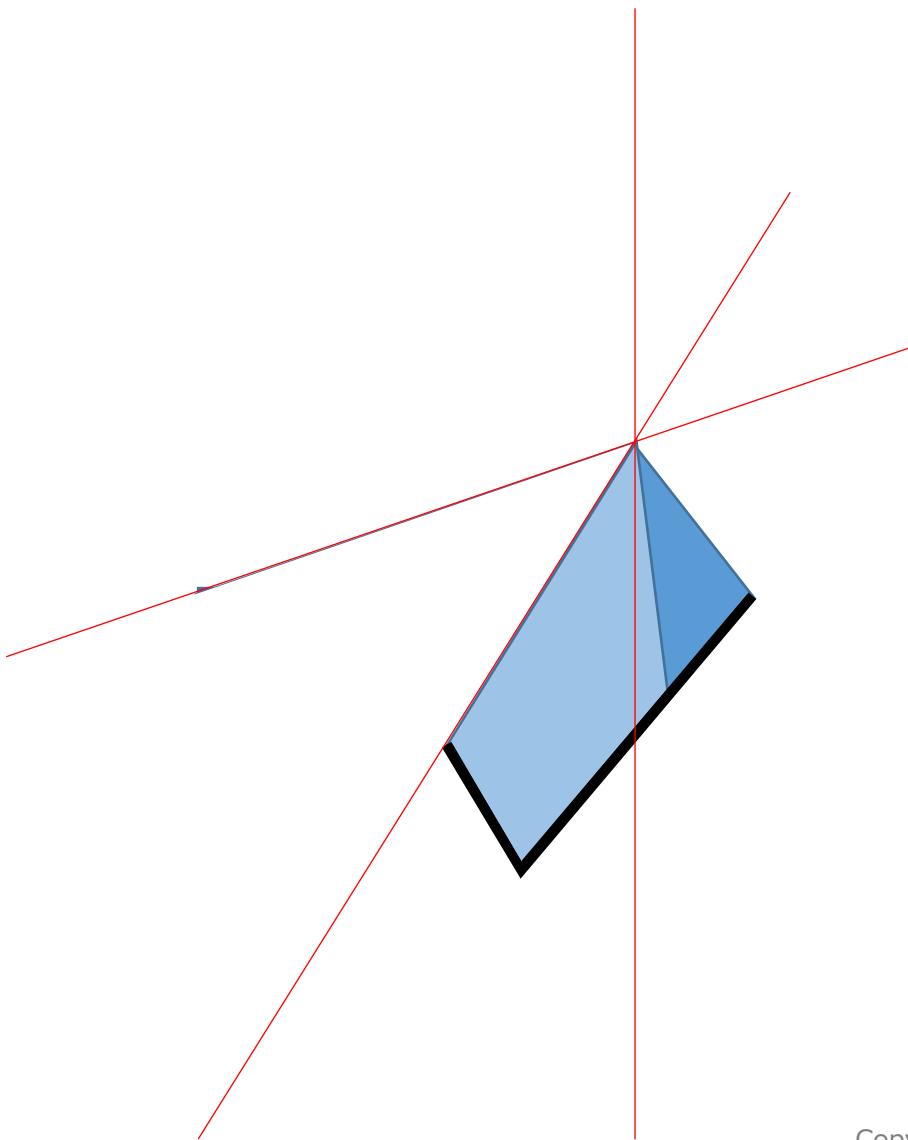
折り紙と模様



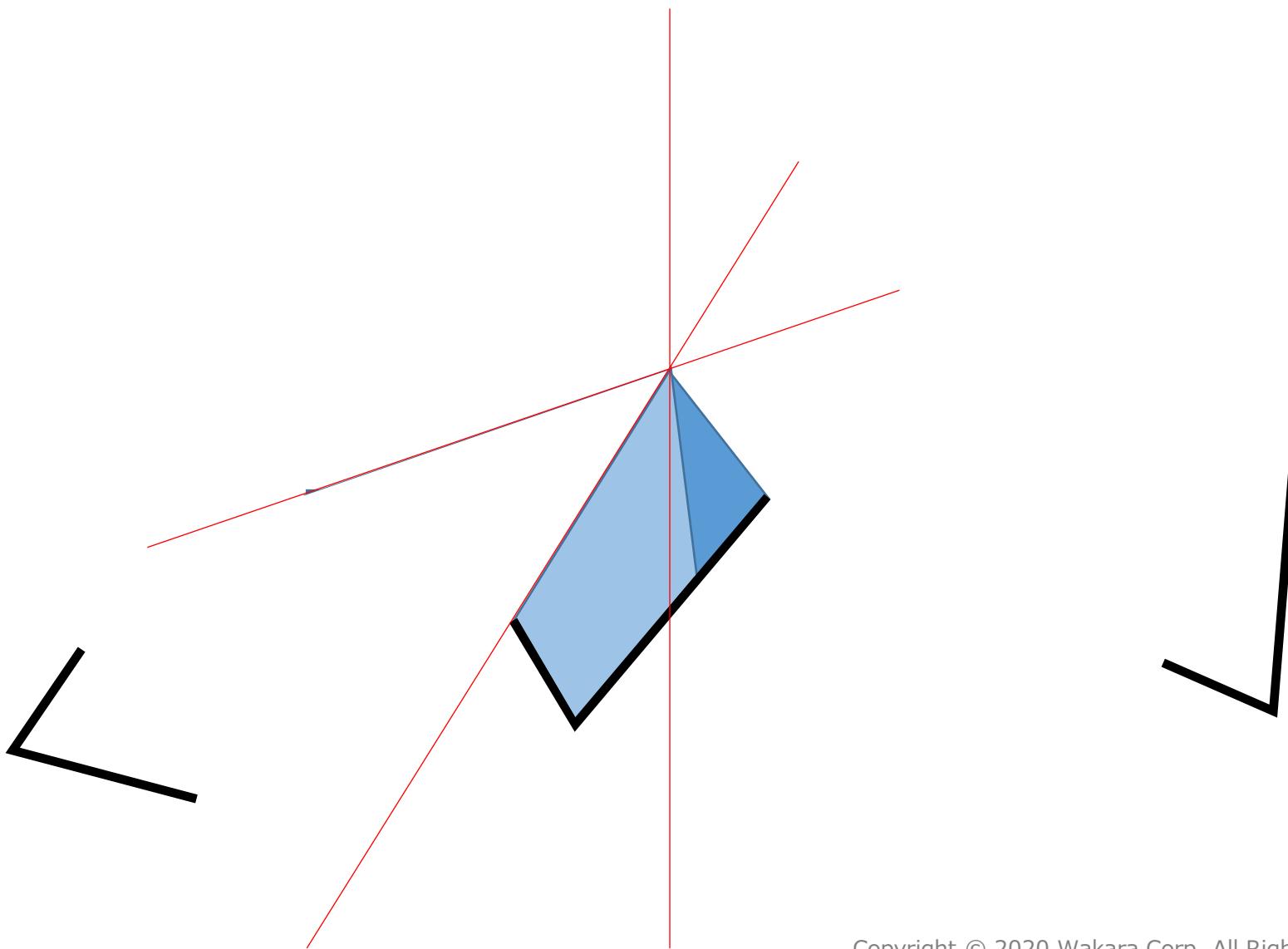
折り紙と模様



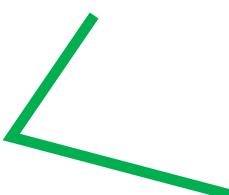
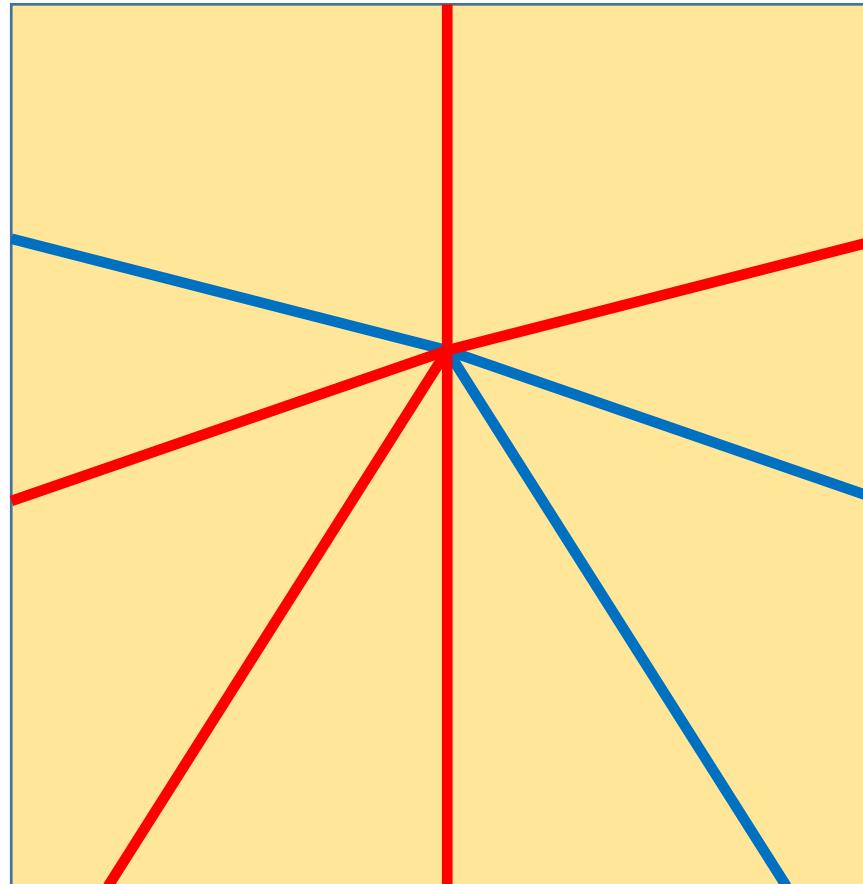
折り紙と模様



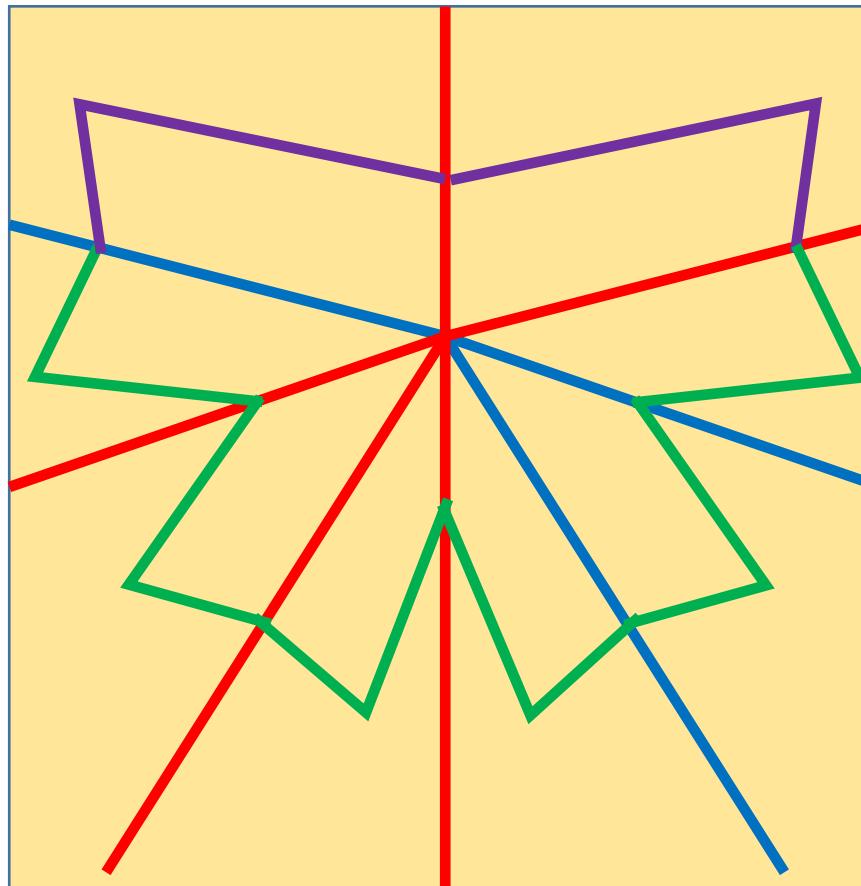
折り紙と模様



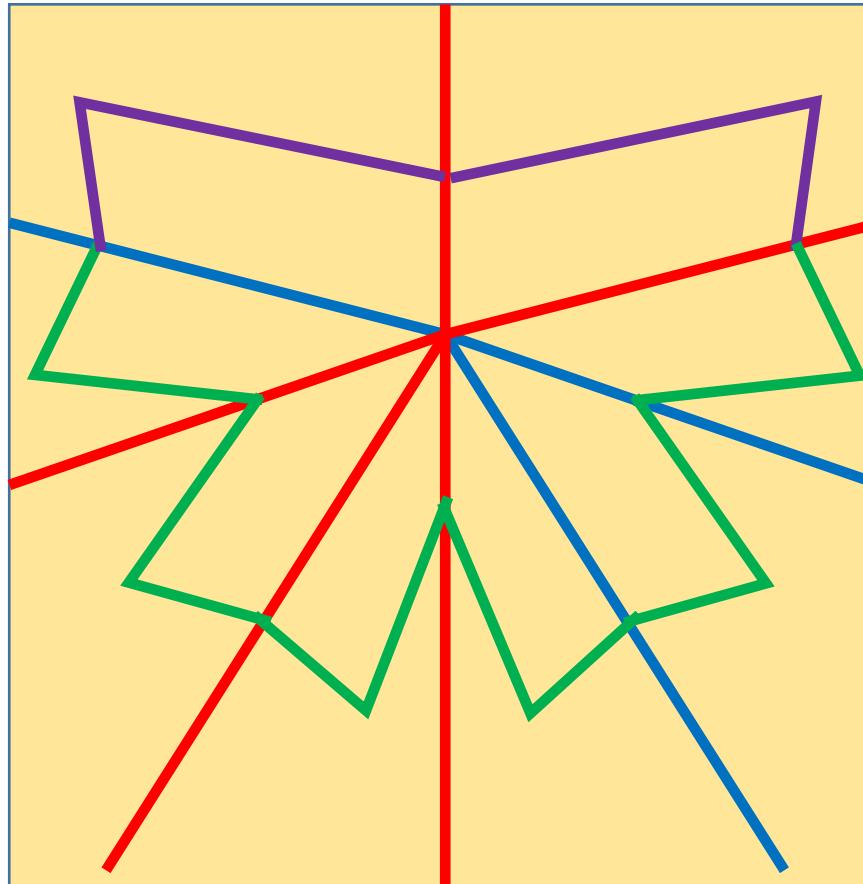
折り紙と模様



折り紙と模様



折り紙と模様



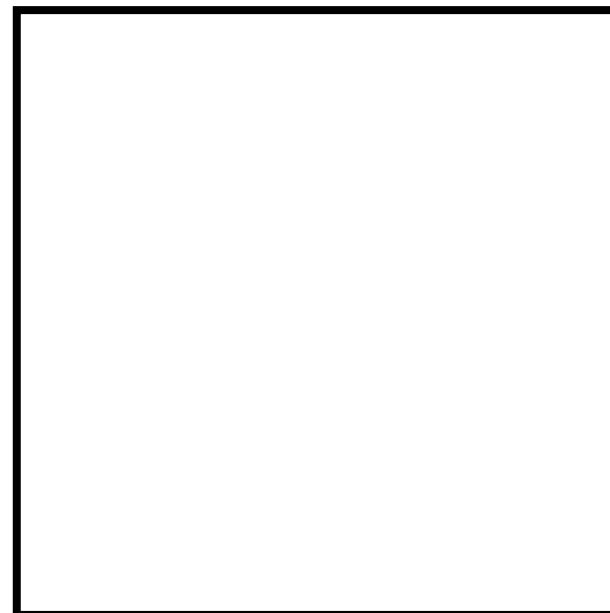
セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

折り紙と数学

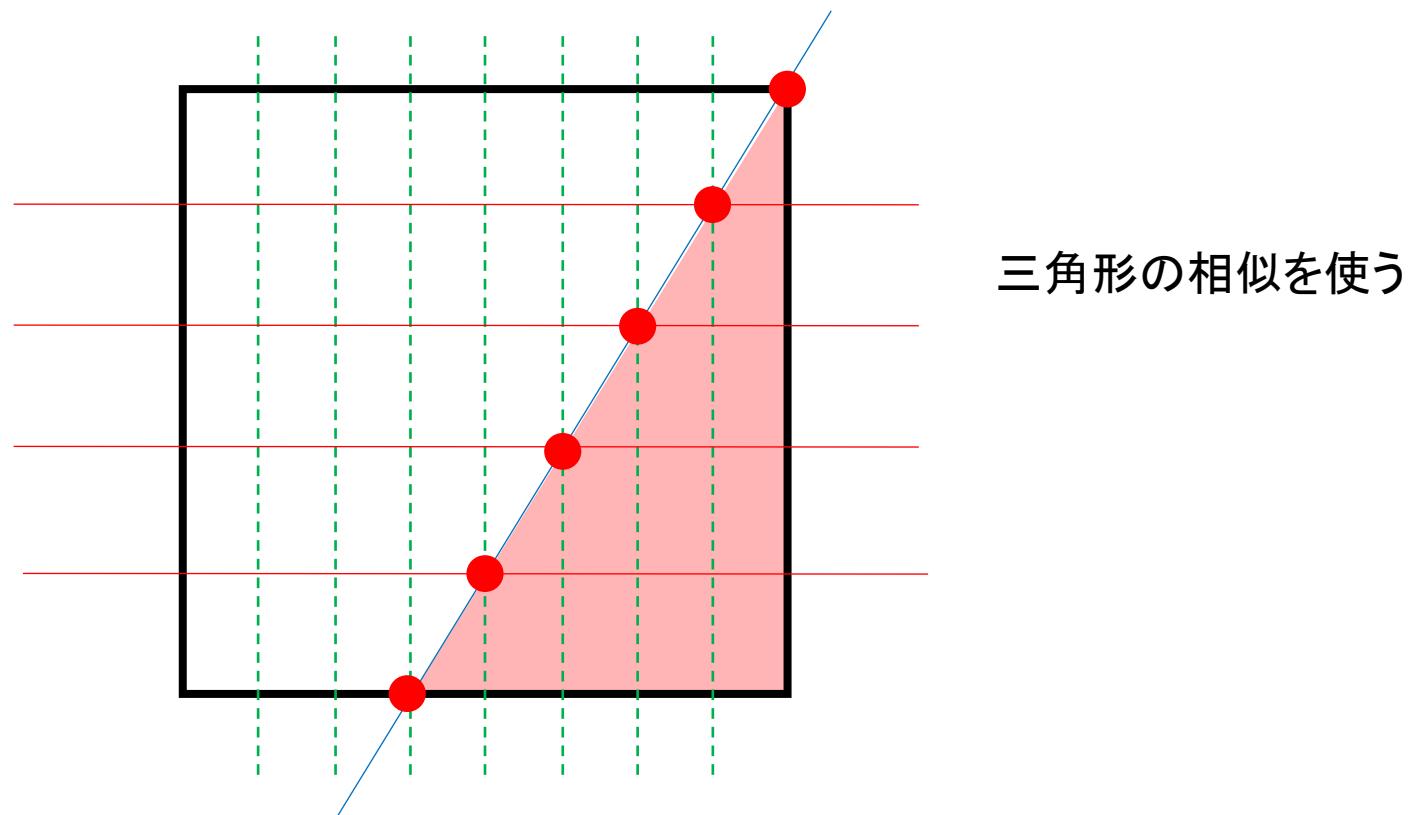
①折り紙の等分問題

折り紙を折ることで1辺を5等分してください。



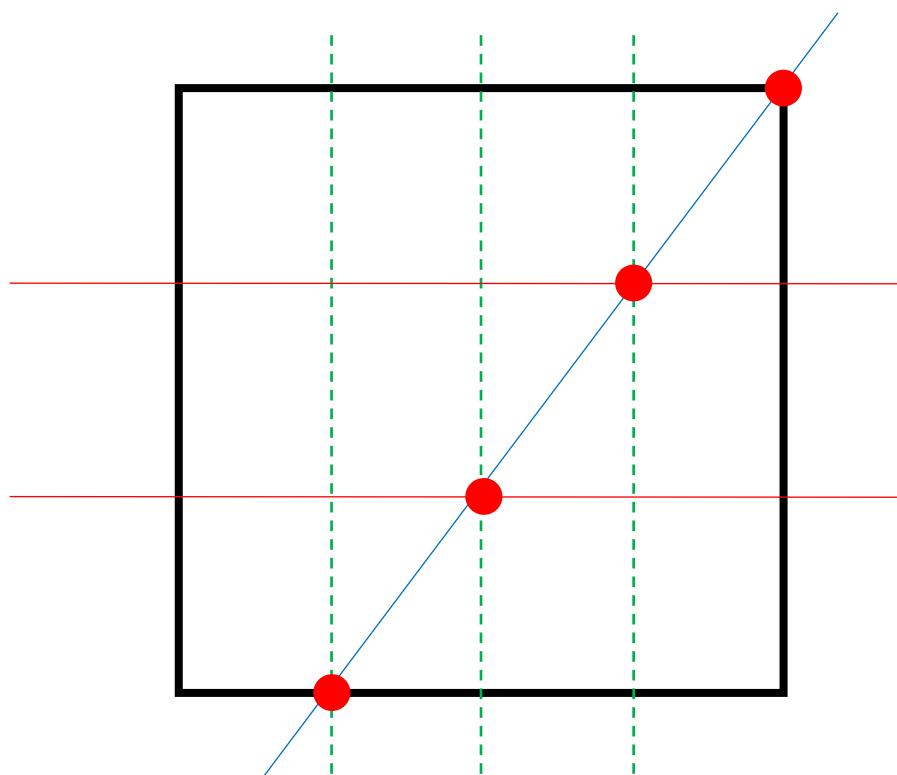
①折り紙の等分問題

折り紙を折ることで1辺を5等分してください。



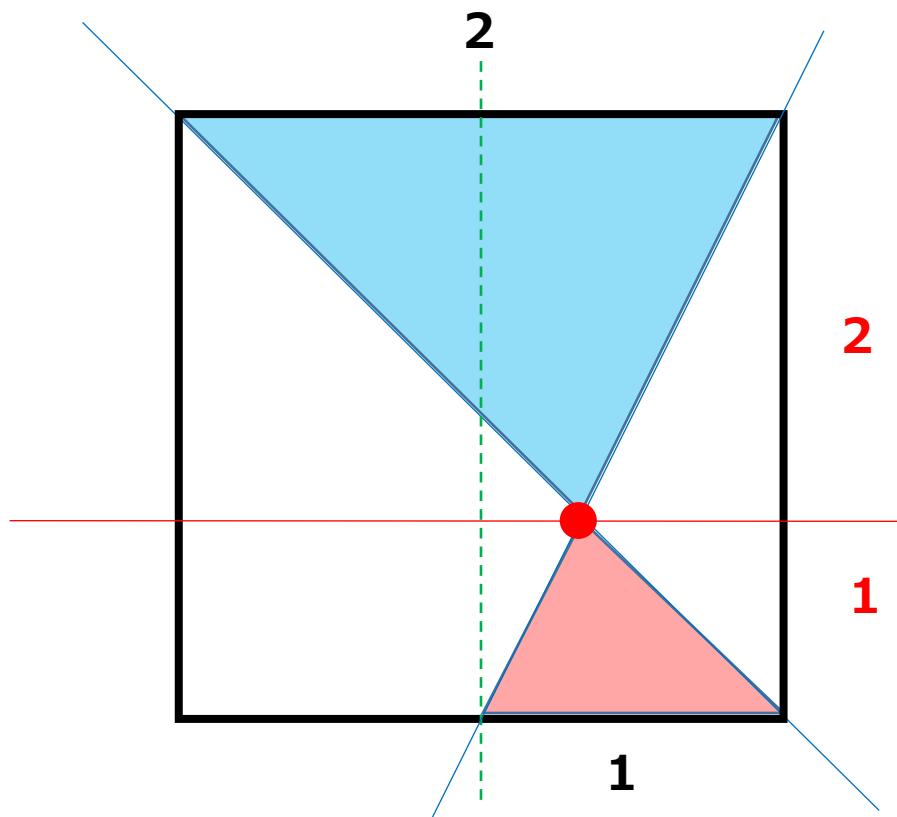
【実践】折り紙の等分問題

折り紙を折ることで1辺を**3等分**してください。

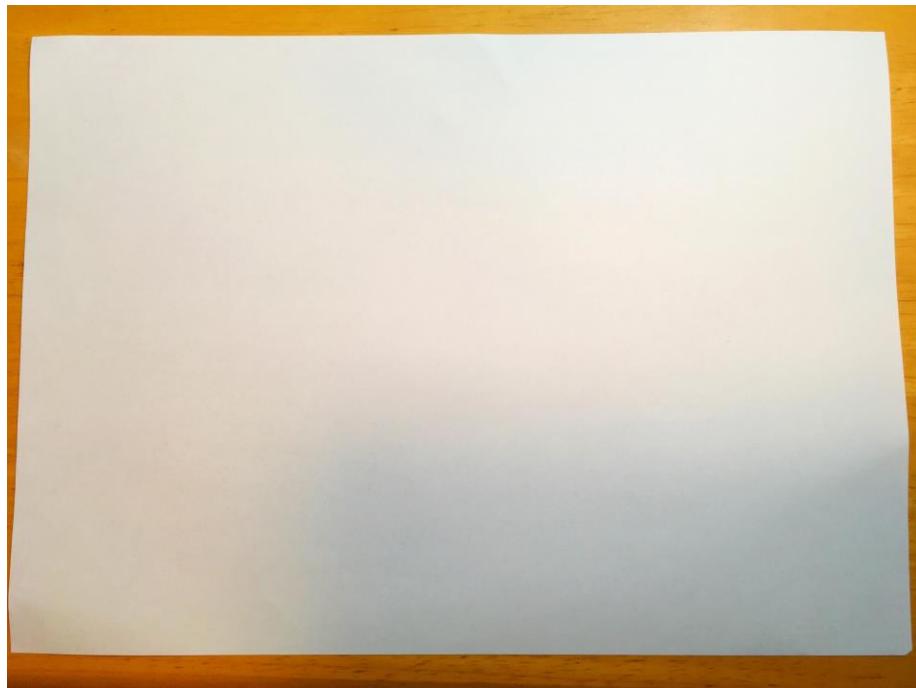


【実践】折り紙の等分問題

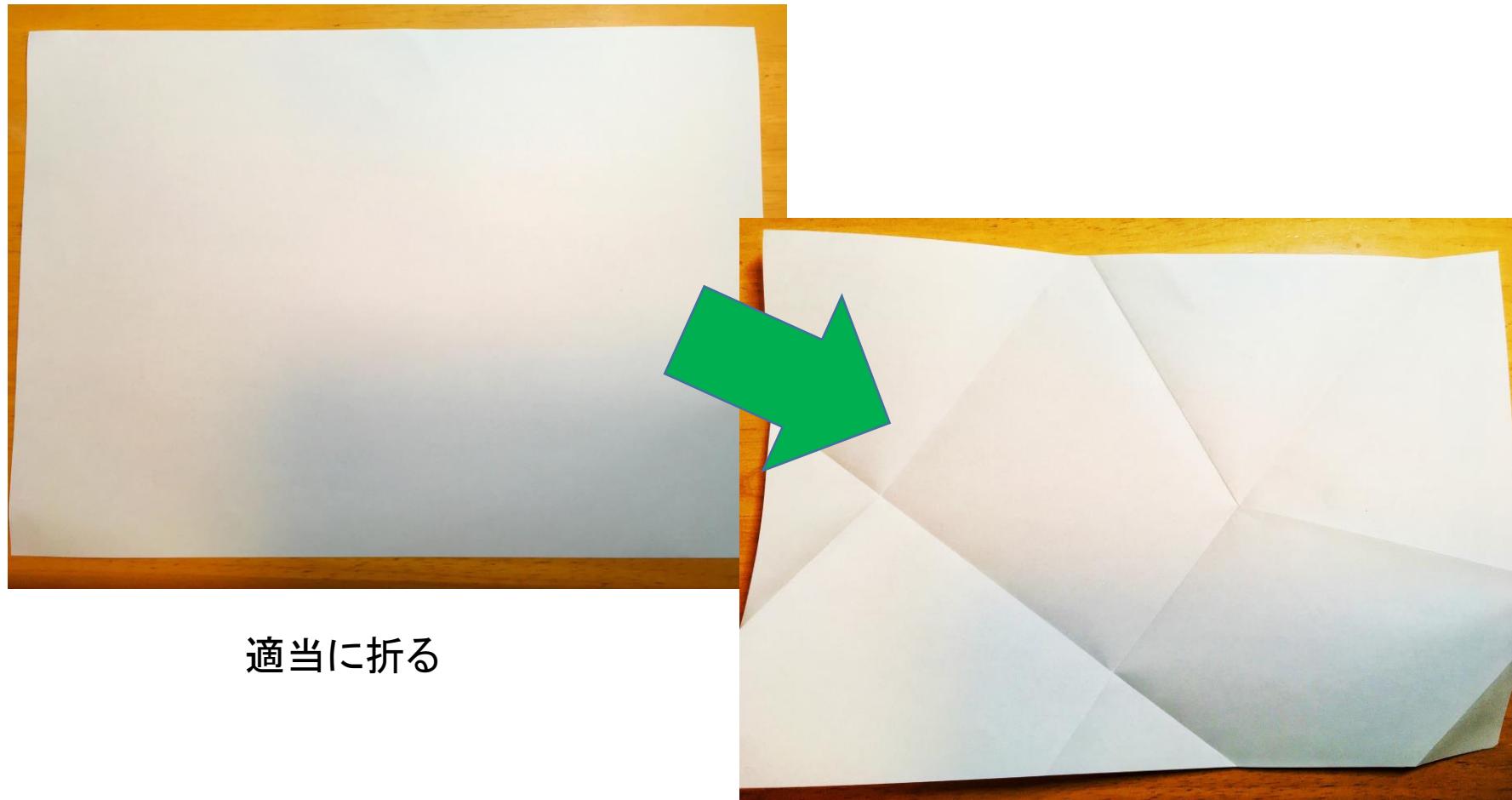
折り紙を折ることで1辺を**3等分**してください。



②平坦折りの理論

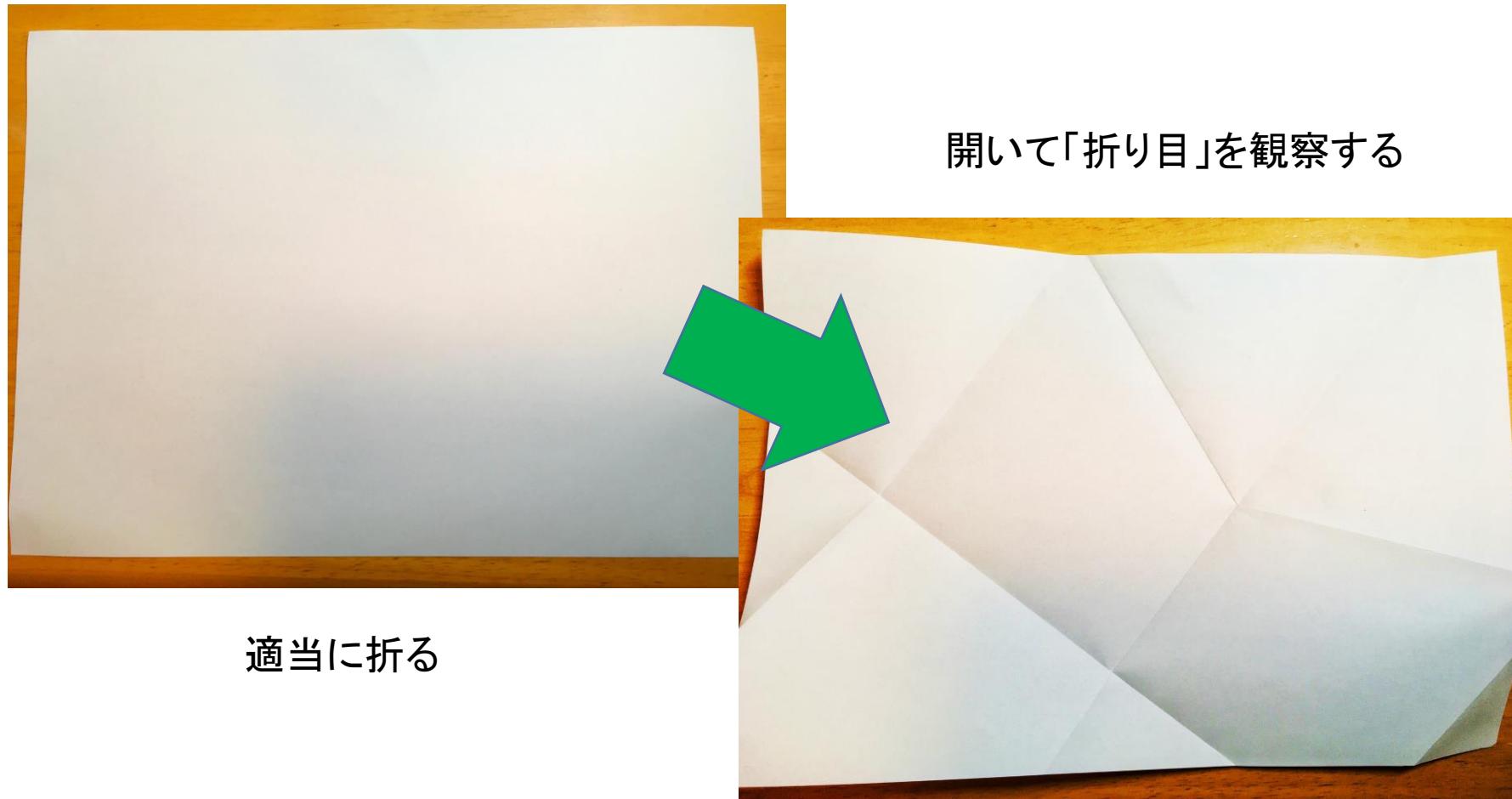


②平坦折りの理論

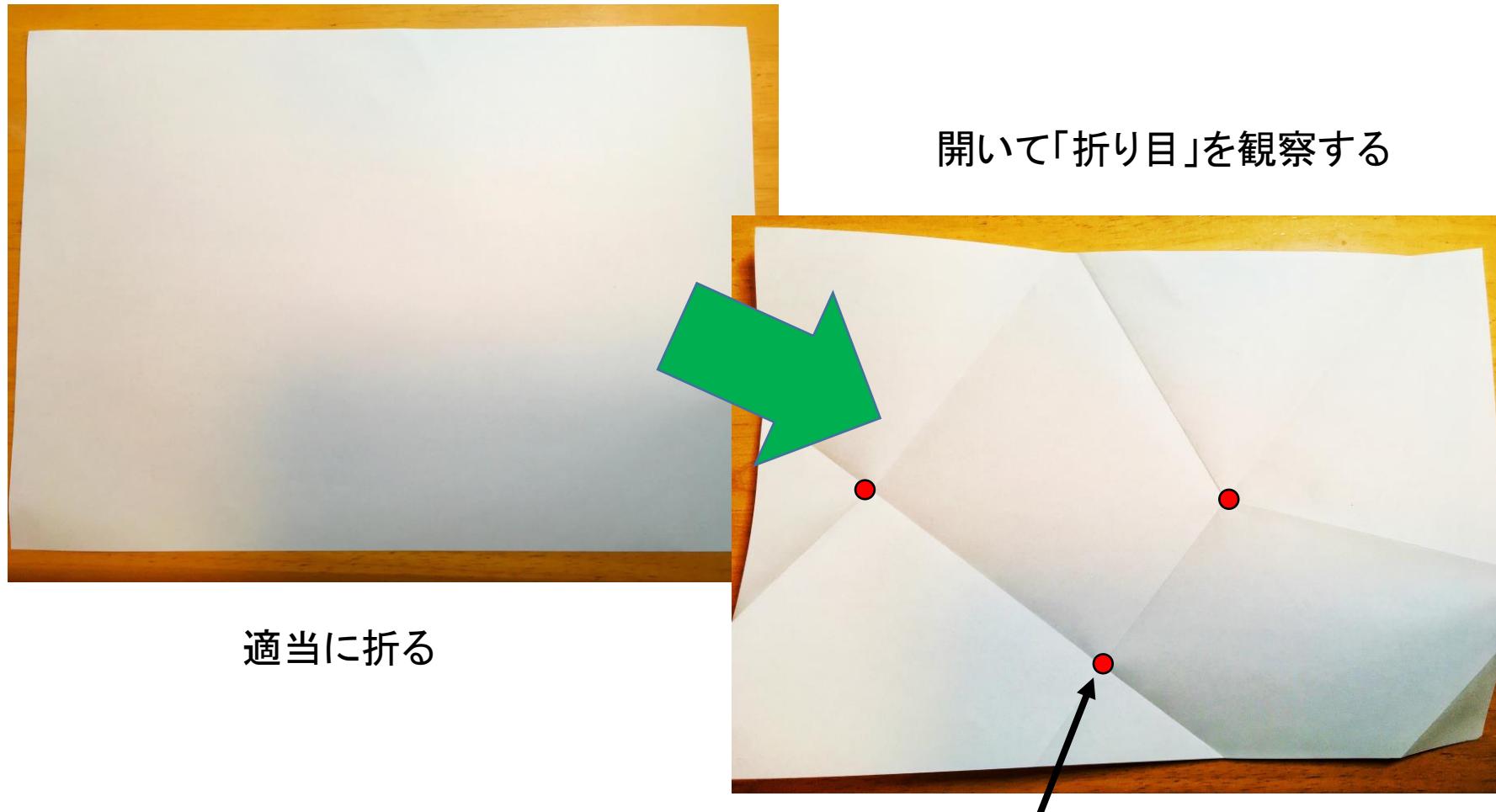


適当に折る

②平坦折りの理論

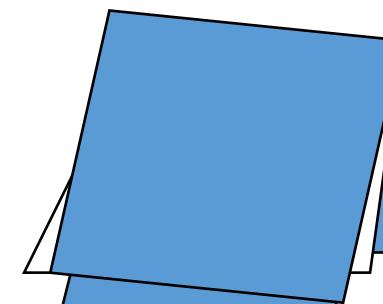
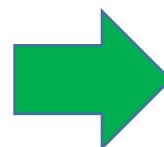
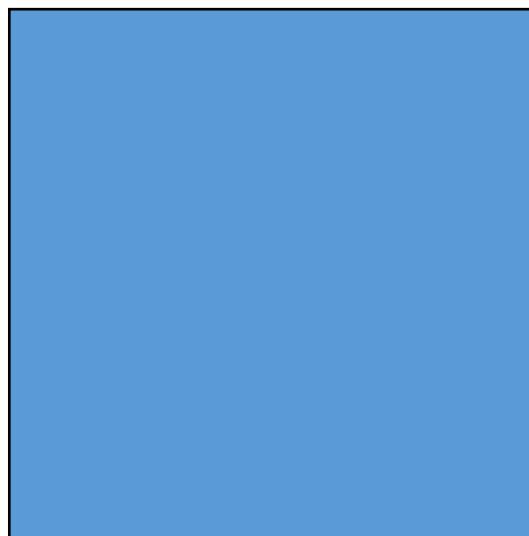


②平坦折りの理論



【実践】折り紙を折りたたむ

折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



【実践】折り紙を折りたたむ

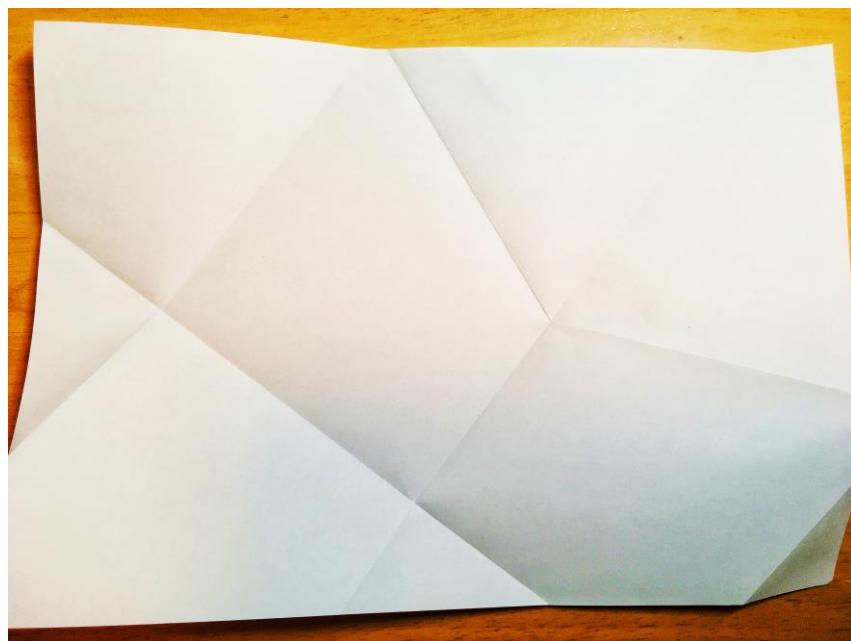
折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



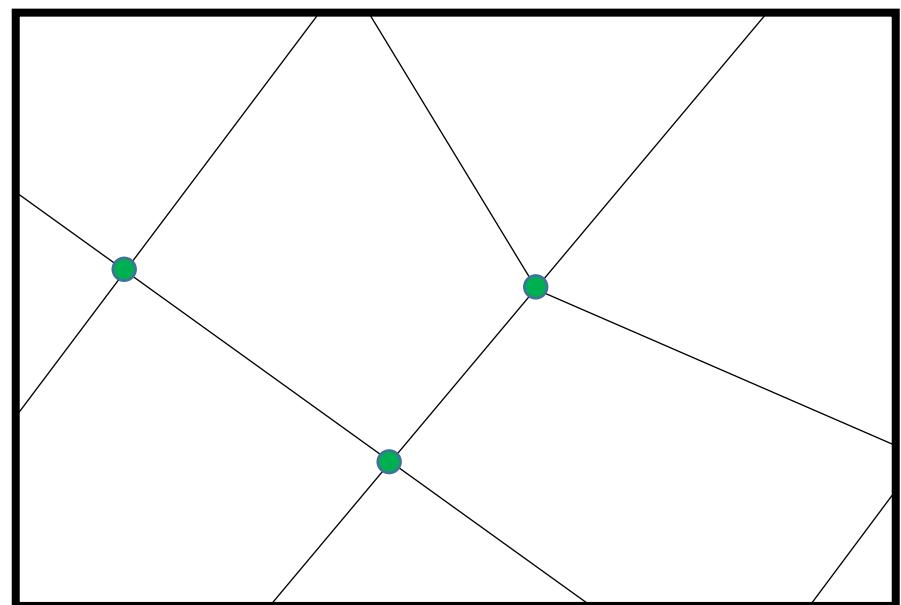
Q. 頂点の周りに何本線が伸びていますか？



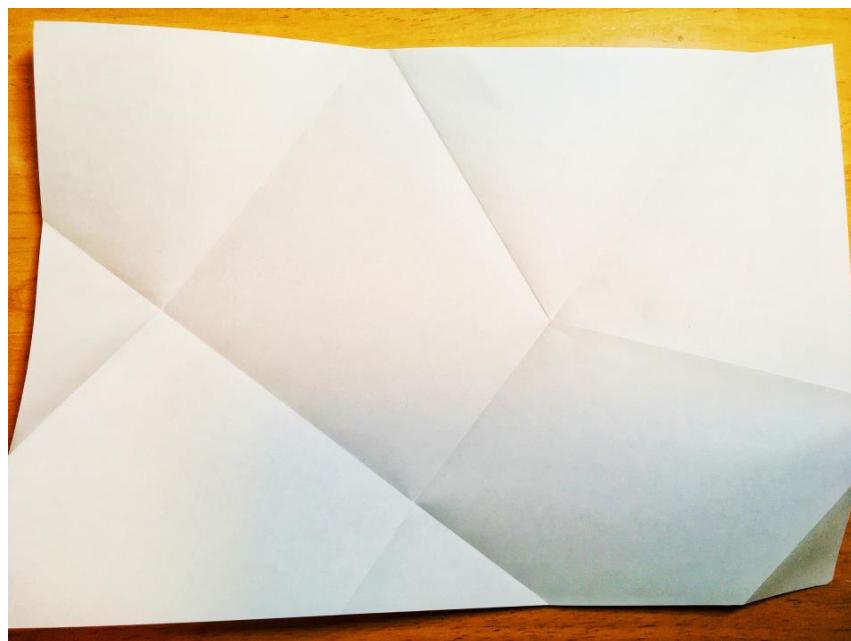
②平坦折りの理論



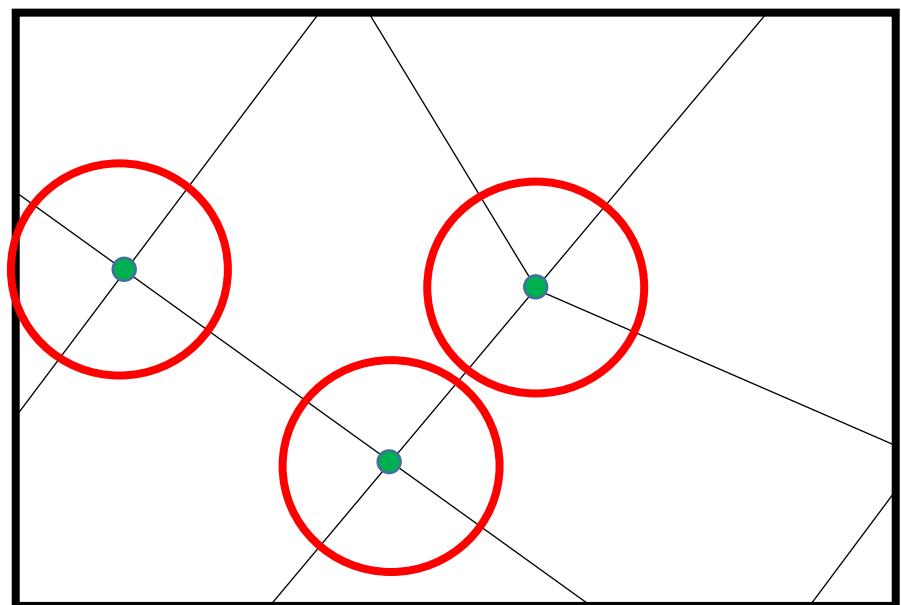
折り目を観察する



②平坦折りの理論



折り目を観察する



全て偶数本！

【実践】折り紙を折りたたむ

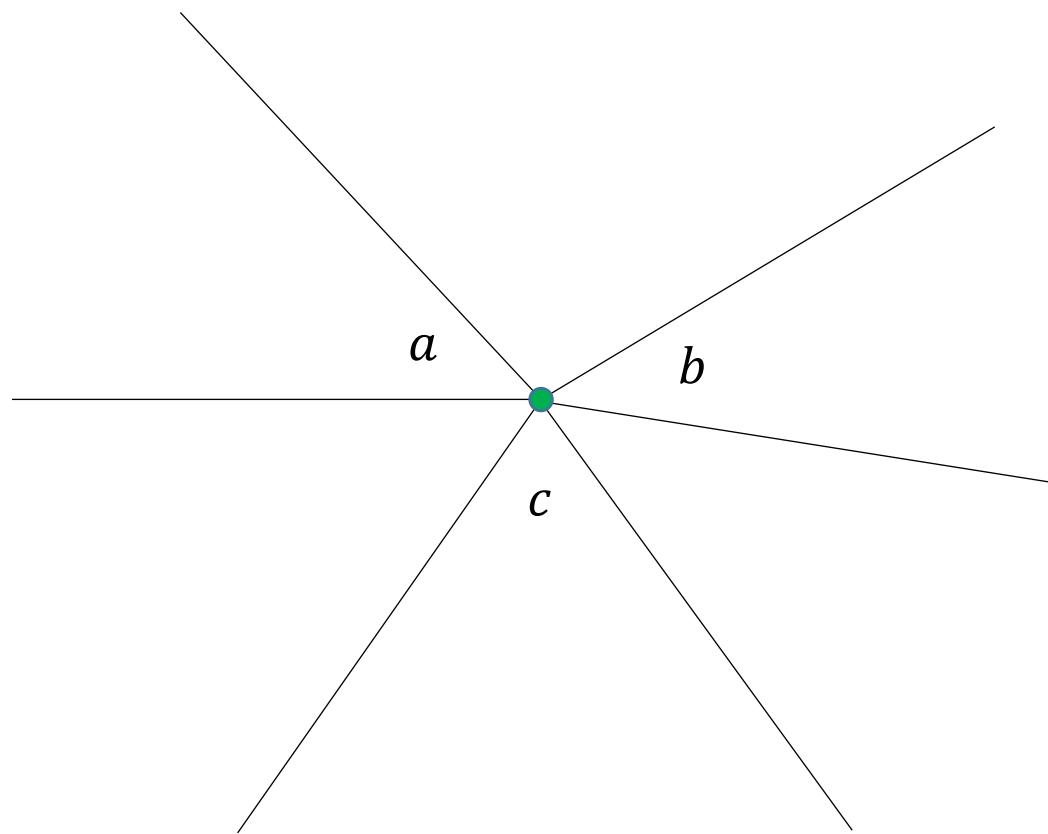
折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



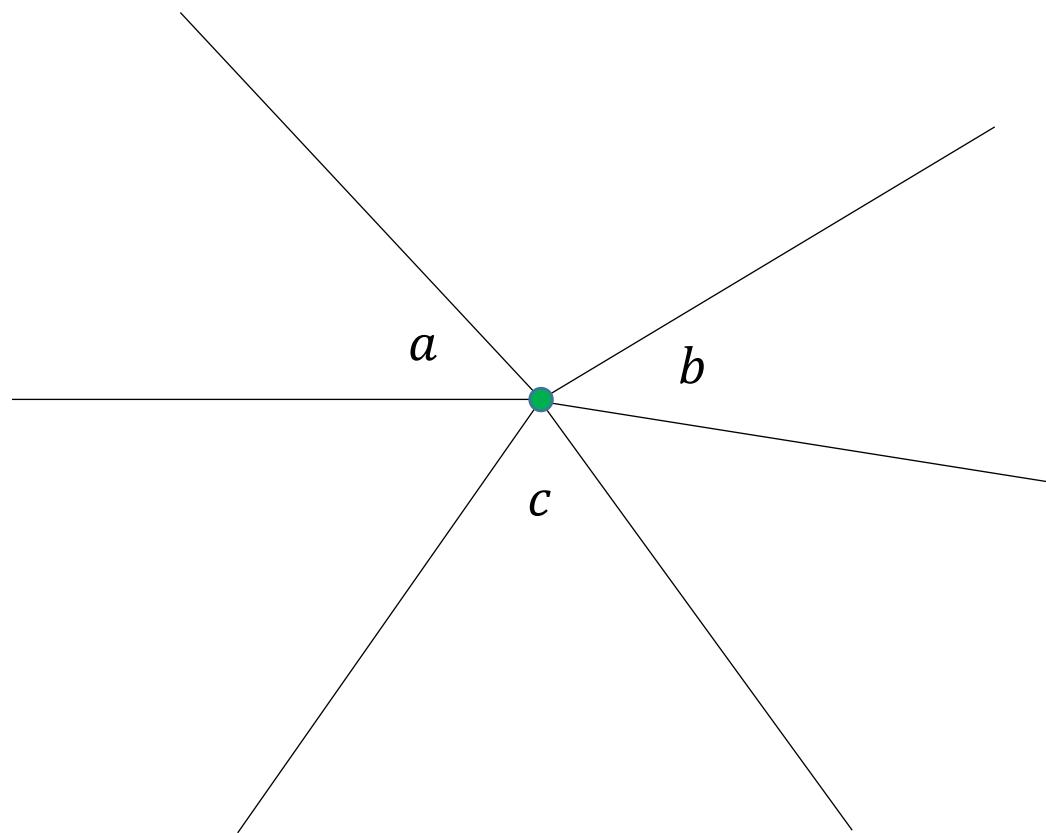
Q. 頂点周りの線の角度の関係性は？



【実践】折り紙を折りたたむ

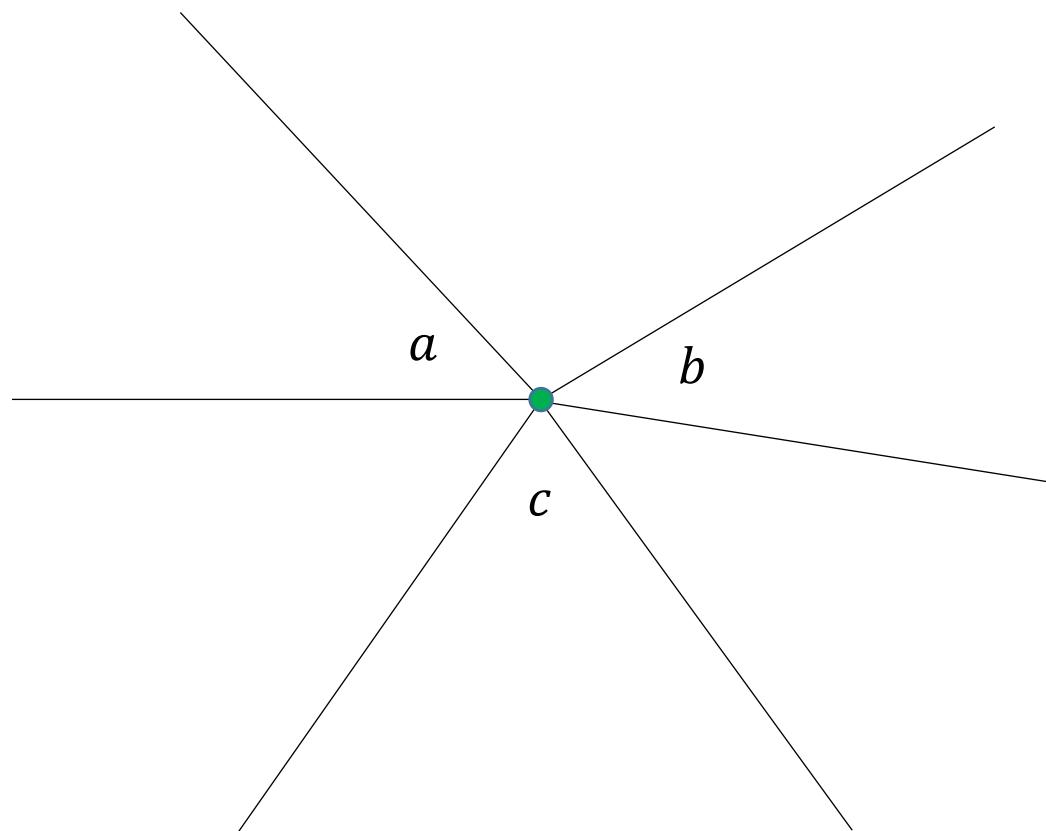


【実践】折り紙を折りたたむ



$$a + b + c = 180^\circ$$

【実践】折り紙を折りたたむ



$$a + b + c = 180^\circ$$

②平坦折りの理論

折り紙が平坦に折りたためる



- ・頂点まわりの折り線は必ず**偶数本**
- ・折り線のなす角の一つおきの和は**180°**

【実践】折り紙を折りたたむ

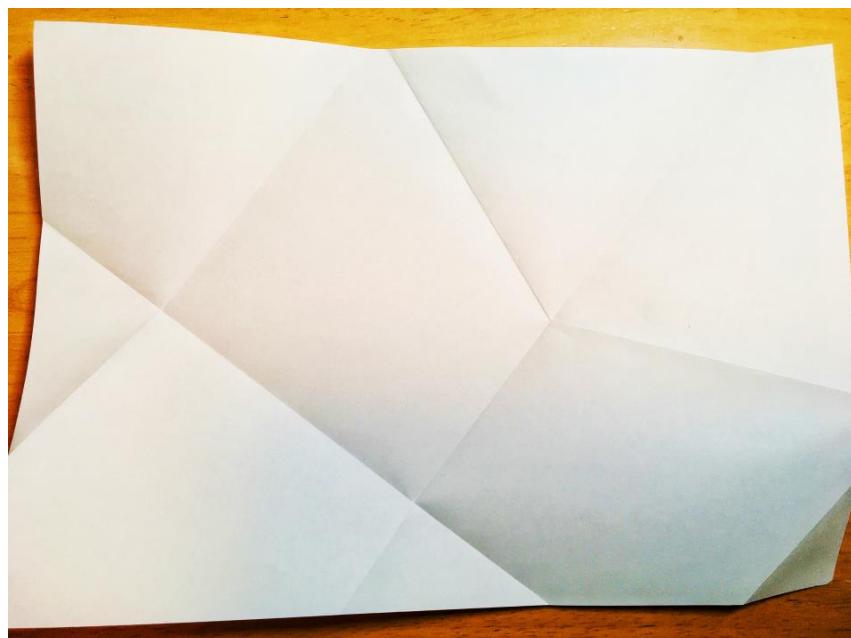
折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



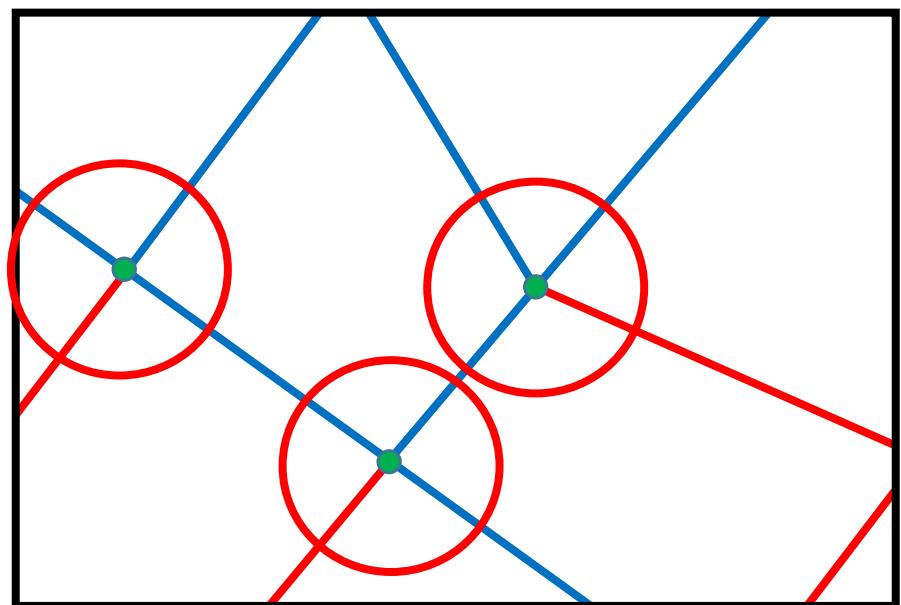
Q. 頂点周りの山折りと谷折りの数の関係は？



②平坦折りの理論



折り目を観察する



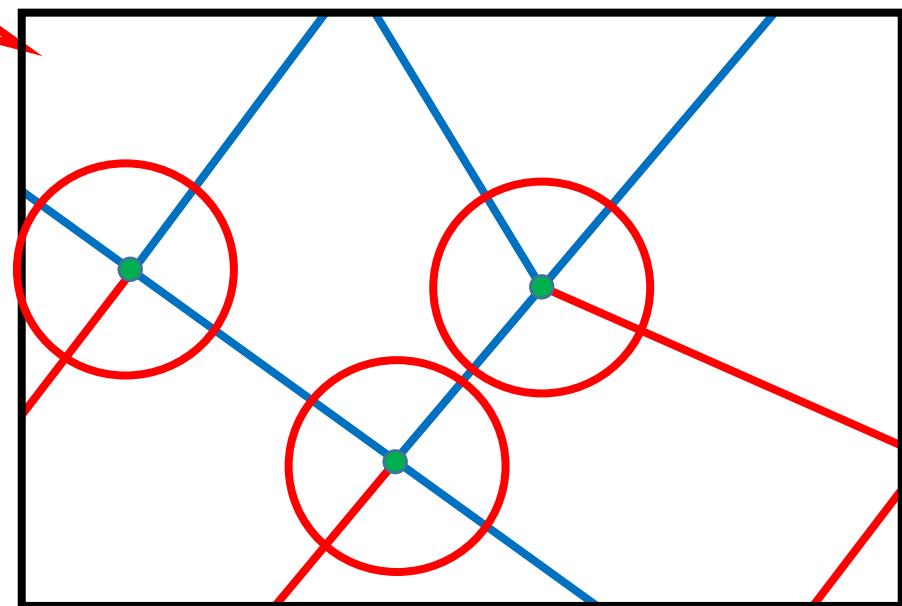
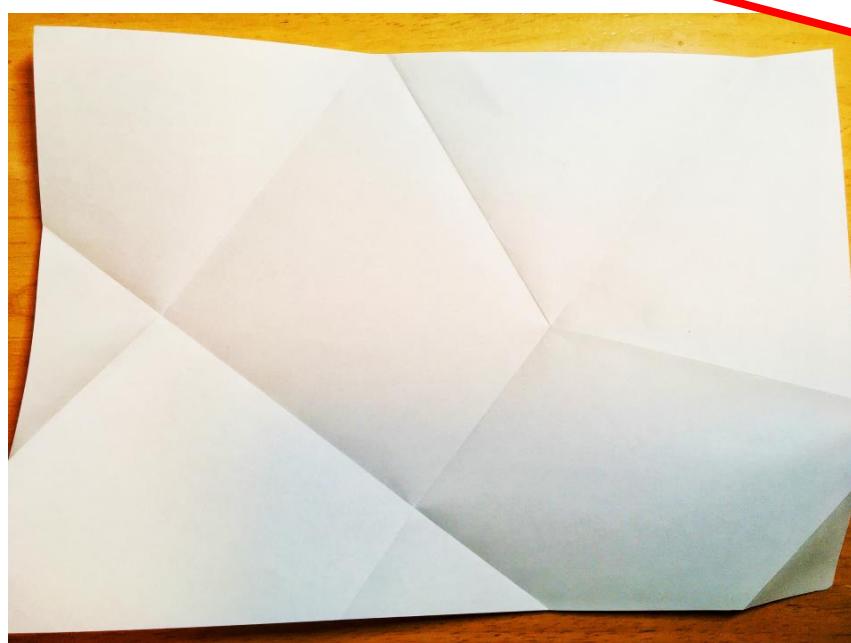
山折りと谷折りで色分けする

山折り:赤 谷折り:青

②平坦折りの理論

全ての頂点回りで 青－赤=2

折り目を観察する



山折りと谷折りで色分けする

山折り:赤 谷折り:青

②平坦折りの理論

折り紙が平坦に折りたためる



- ・頂点まわりの折り線は必ず**偶数本**
- ・折り線のなす角の一つおきの和は**180°**

折り紙が平坦に折りたためる



頂点から出ている山折り線の本数と
谷折り線の本数の差は**2**

【実践】折り紙を折りたたむ

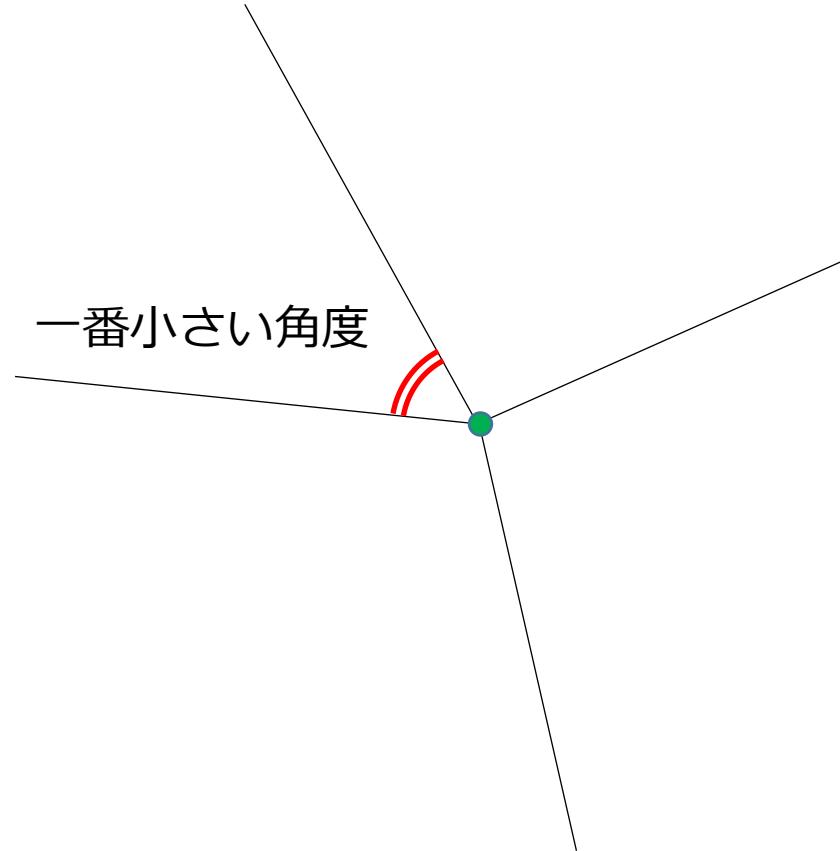
折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



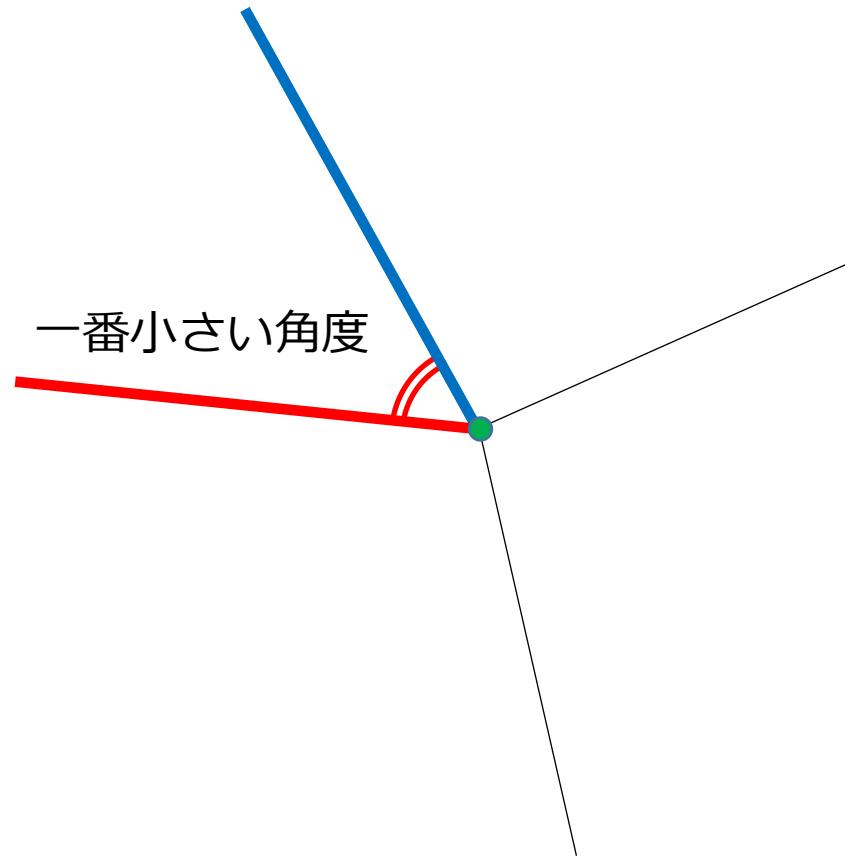
Q. 山折り線と谷折り線の角度は？



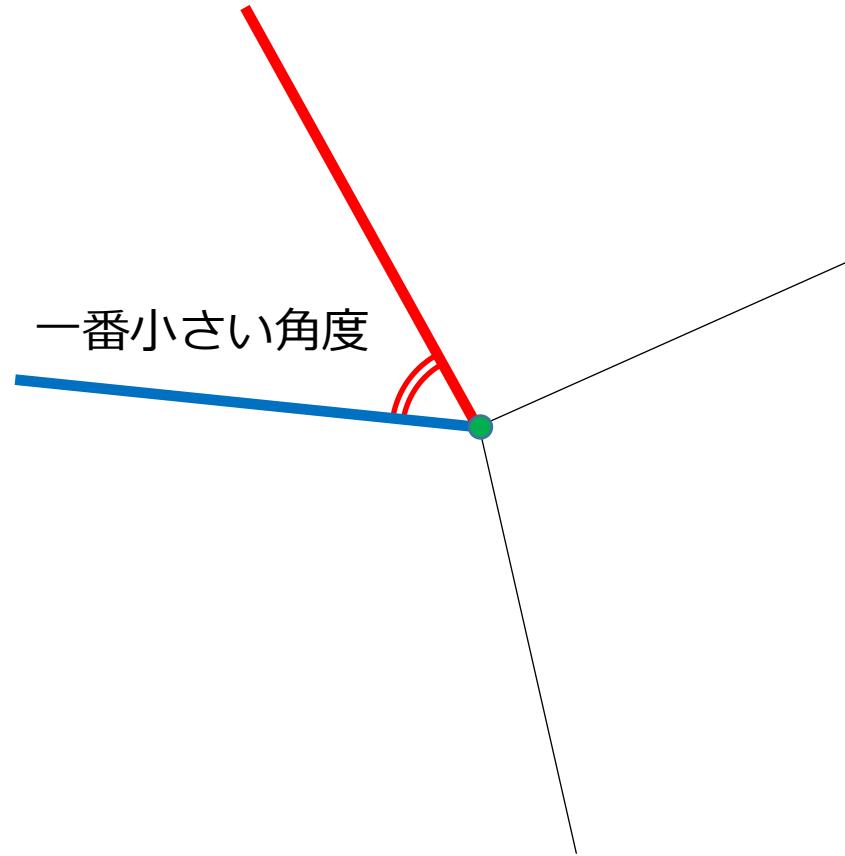
【実践】折り紙を折りたたむ



【実践】折り紙を折りたたむ

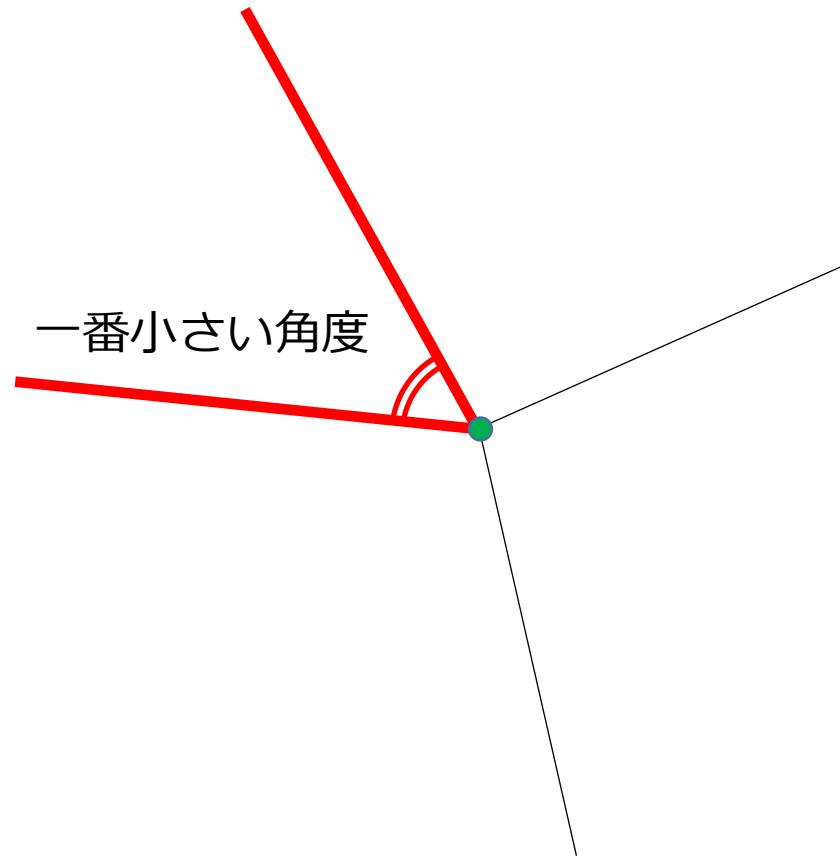


【実践】折り紙を折りたたむ



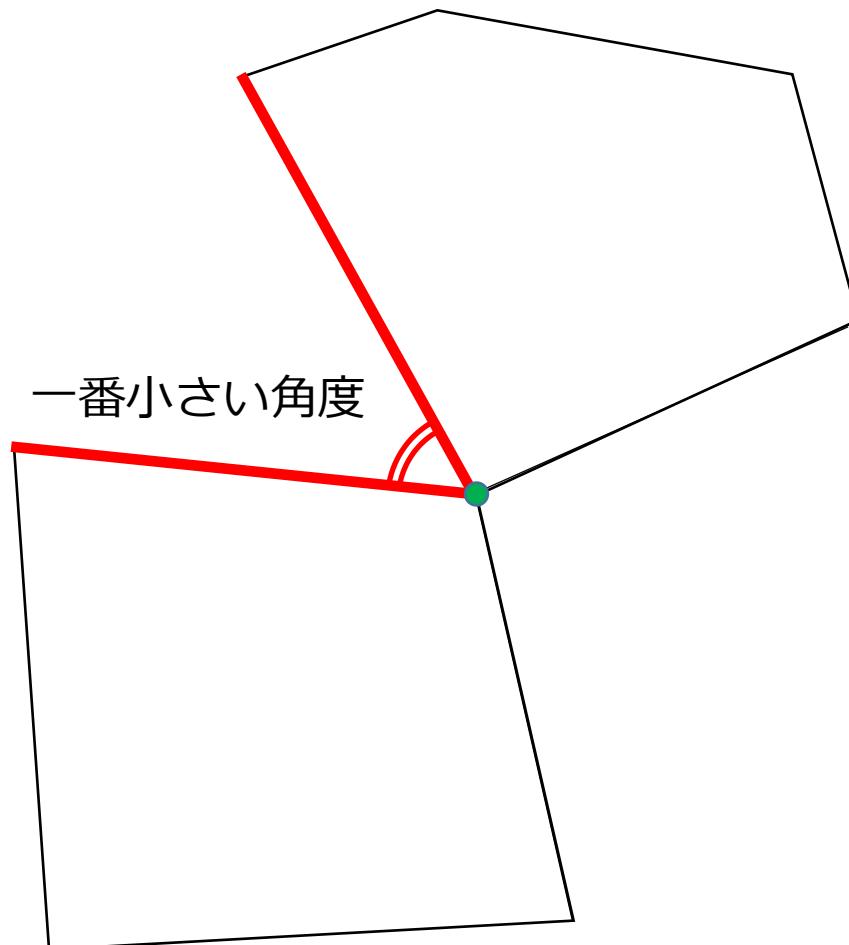
一番小さい角度の間で山折りと谷折りが切り替わる

【実践】折り紙を折りたたむ



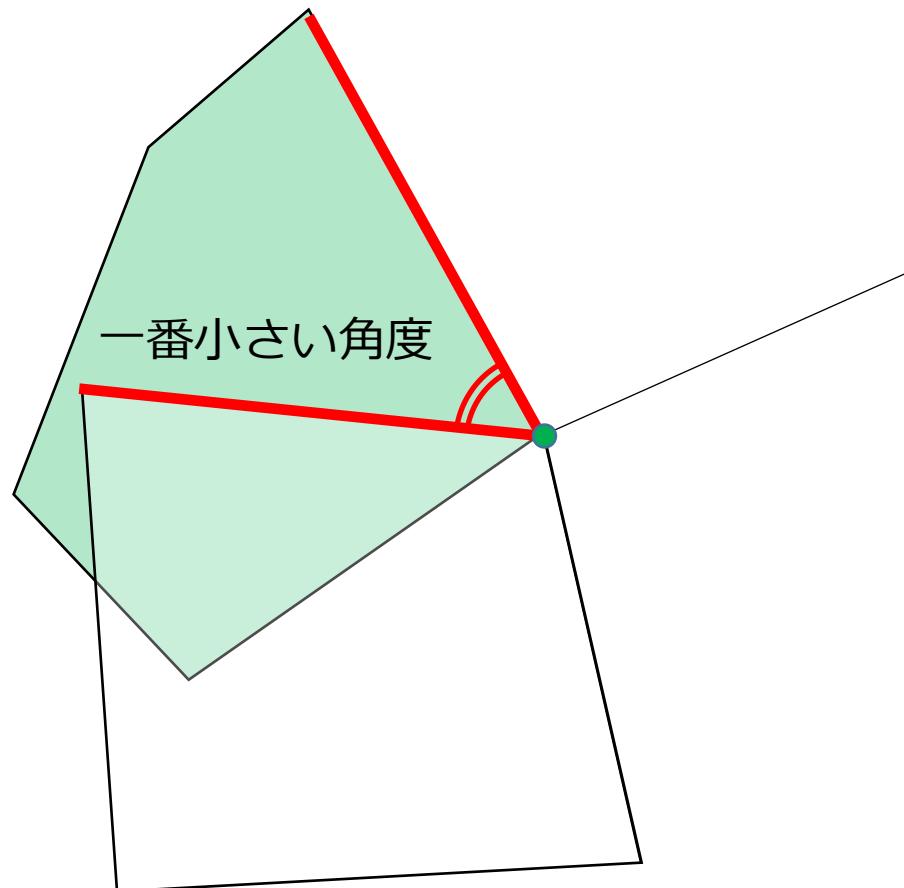
もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

【実践】折り紙を折りたたむ



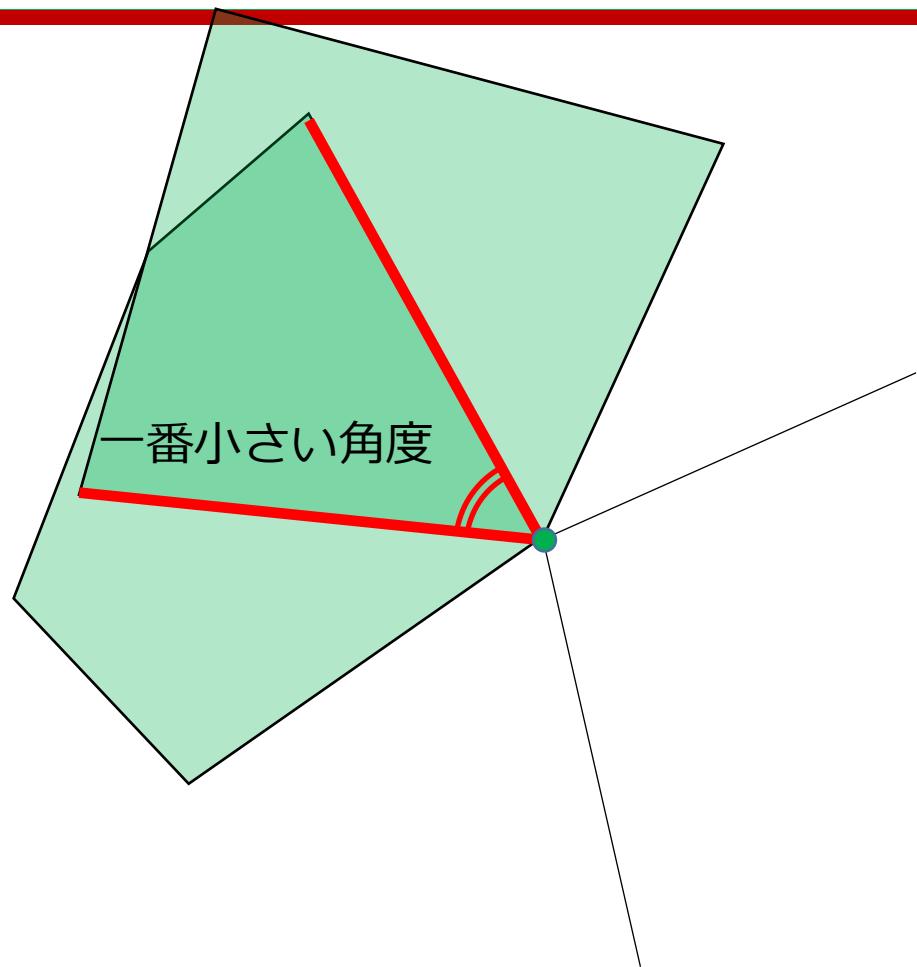
もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

【実践】折り紙を折りたたむ



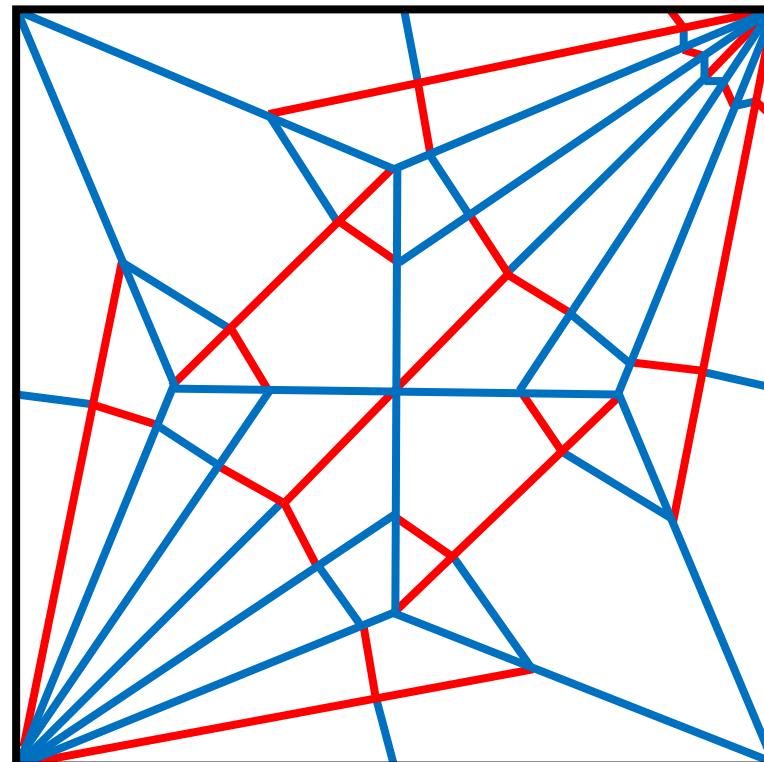
もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

【実践】折り紙を折りたたむ



もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

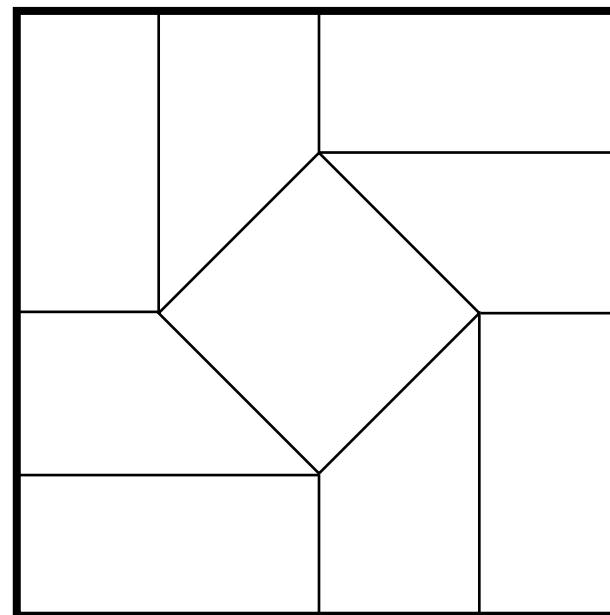
折り鶴の展開図



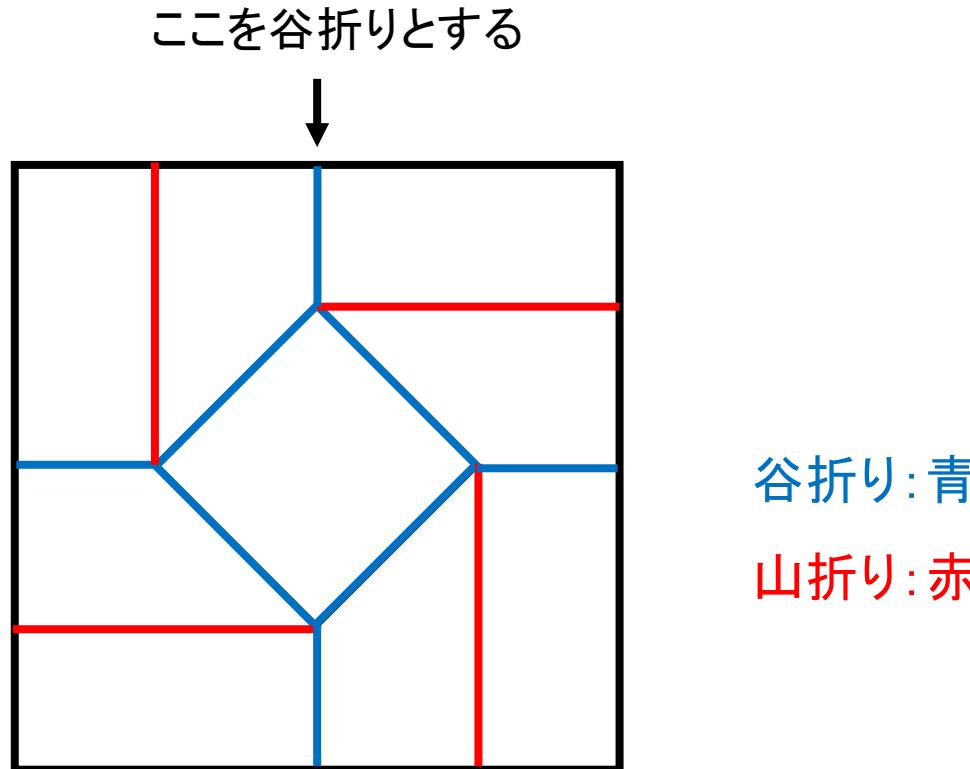
折り鶴の展開図で確認してみましょう。

②平坦折りの理論（応用）

折り目を線で表現した図を「形式的折り線図」といいます。

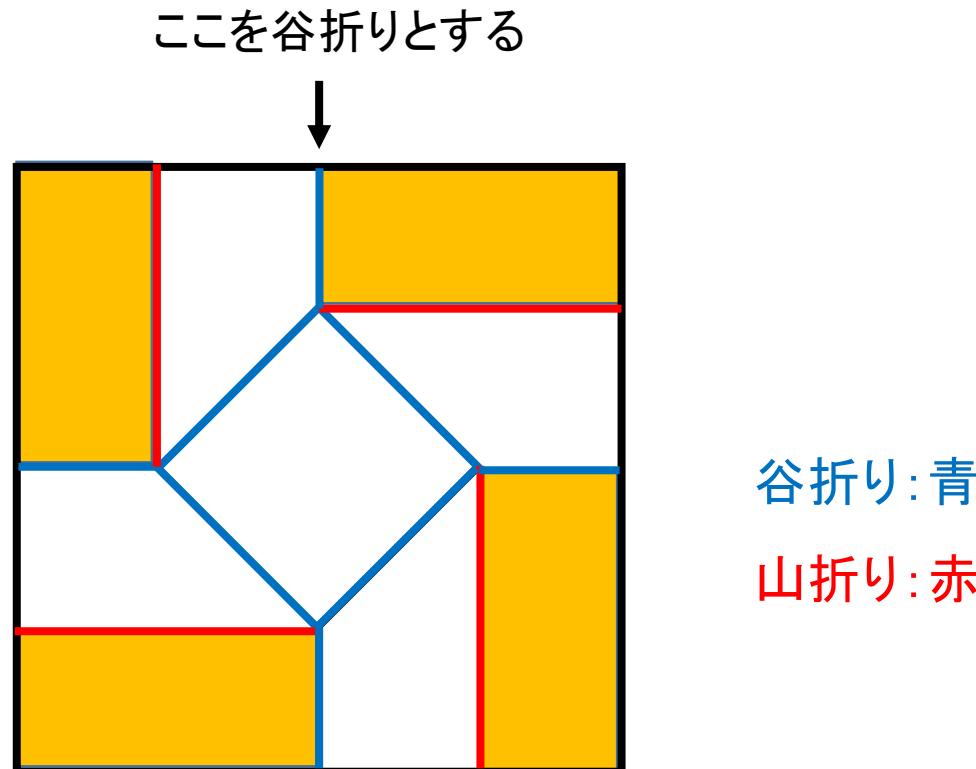


②平坦折りの理論（応用）

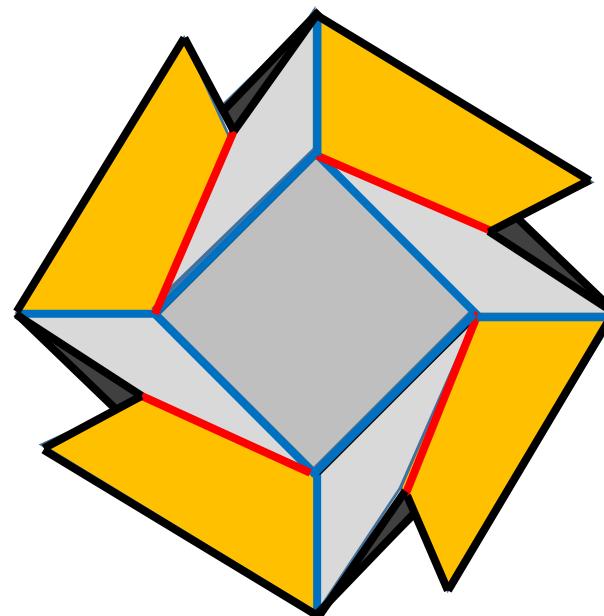


折り紙の基本定理を使うと、実は実現可能な折り線は1通りしかないことがわかる。

②平坦折りの理論（応用）



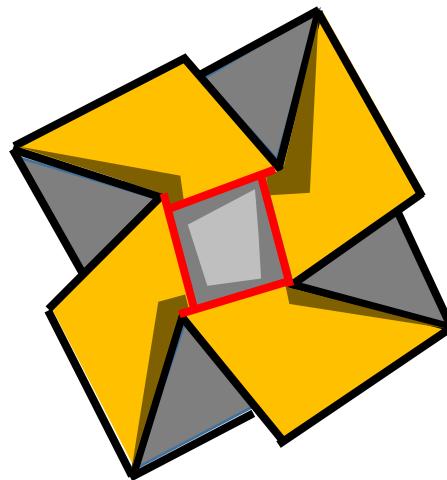
②平坦折りの理論（応用）



谷折り: 青

山折り: 赤

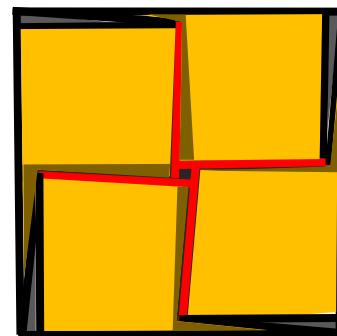
②平坦折りの理論（応用）



谷折り: 青

山折り: 赤

②平坦折りの理論（応用）

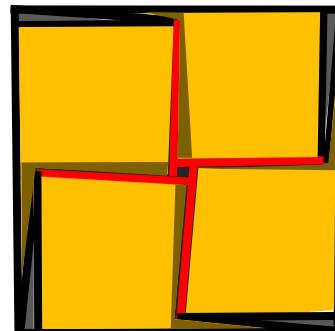


谷折り: 青

山折り: 赤

②平坦折りの理論（応用）

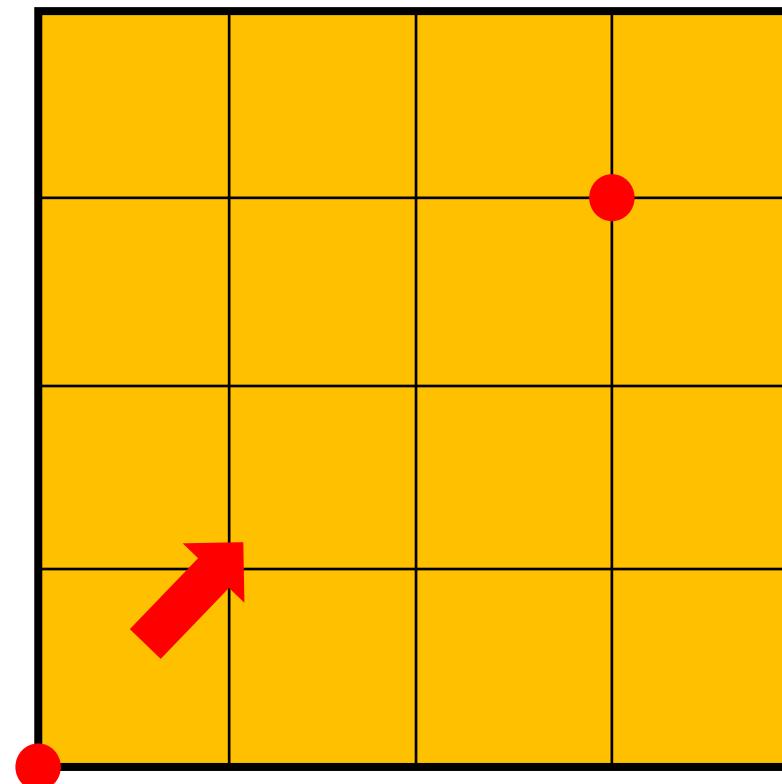
ねじり折り



谷折り: 青

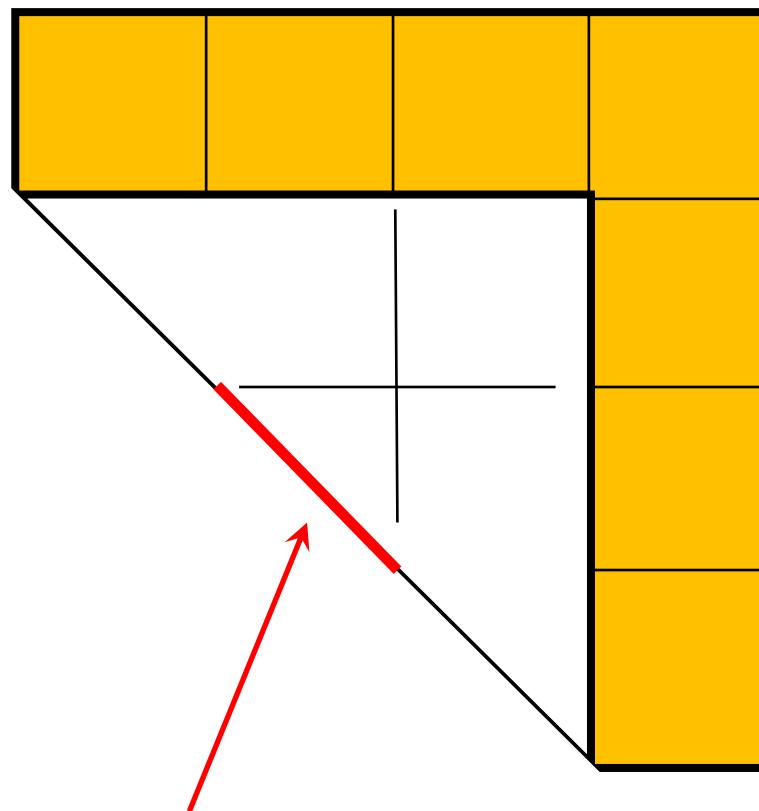
山折り: 赤

【実践】ねじり折りを折ってみる



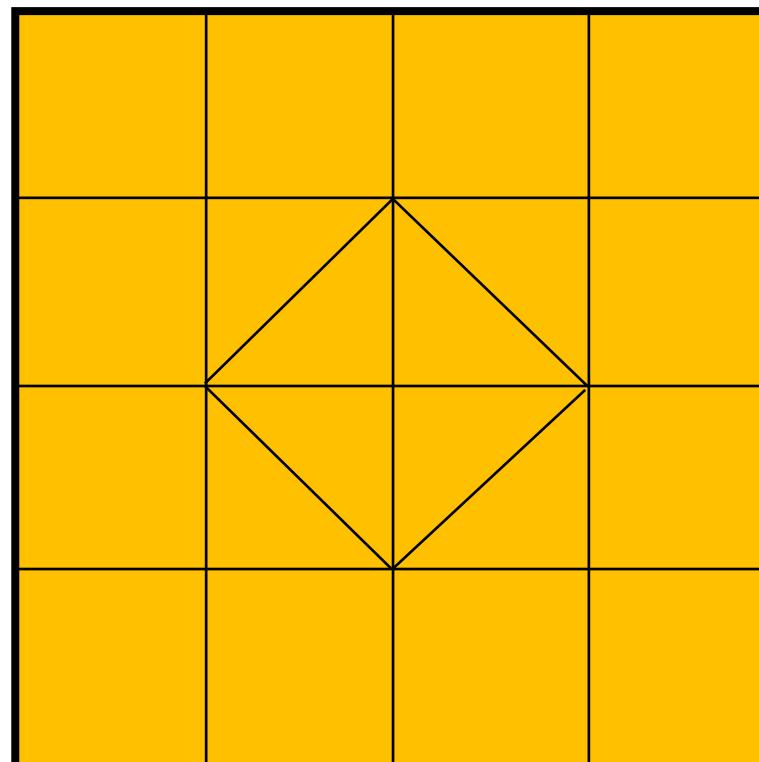
縦横で4等分の折り目を付けます。

【実践】ねじり折りを折ってみる



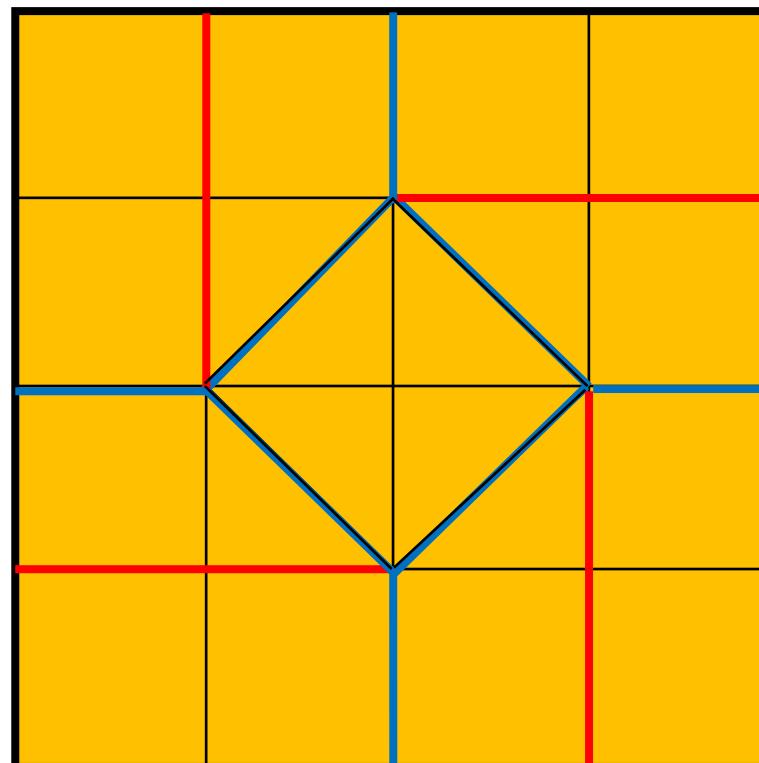
ここだけ折り目を付けます。

【実践】ねじり折りを折ってみる



4方向で同じ折り目をつけます。

【実践】ねじり折りを折ってみる

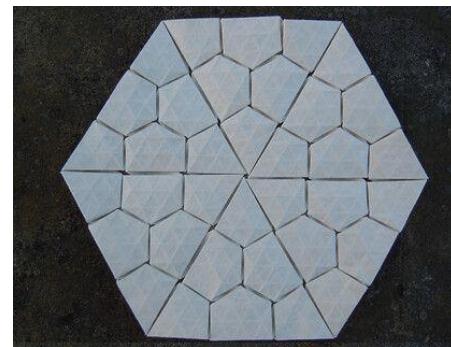


準備完了です。赤を谷折り、青を山折りとして
ねじり折りをしてみましょう。

②平坦折りの理論（応用）

ねじり折りの応用例

・結晶折り(平織り)



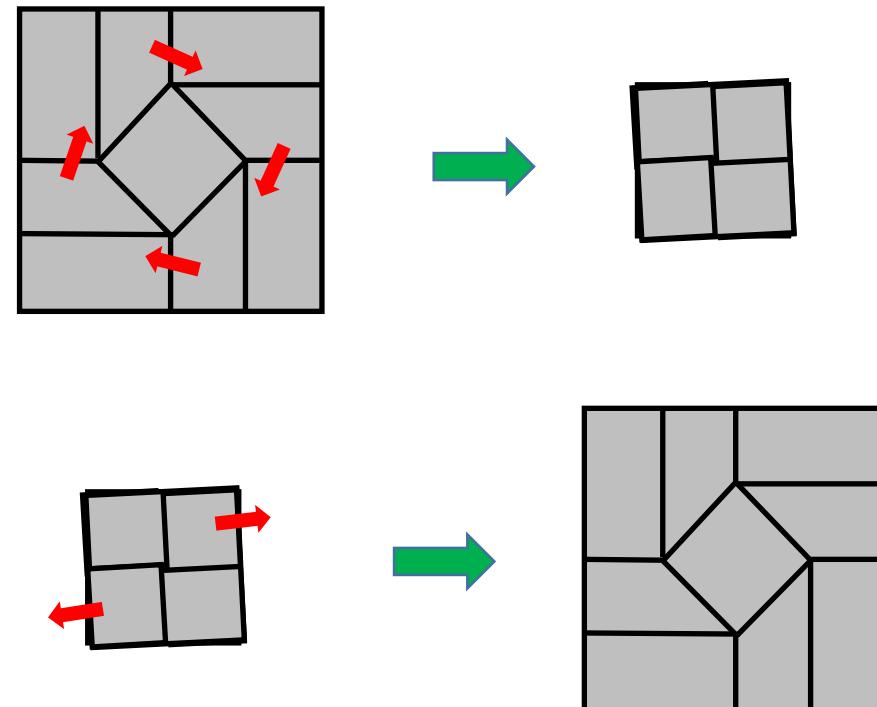
・川崎ローズ



②平坦折りの理論（応用）

ねじり折りの応用例

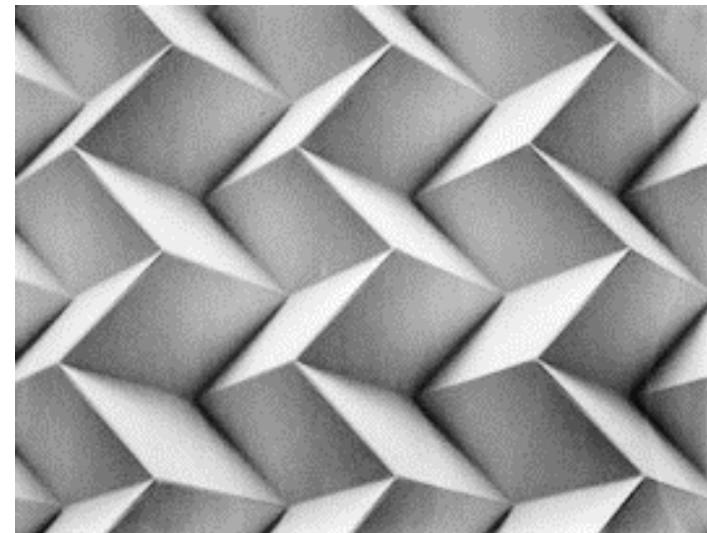
・昆虫の羽の構造



ねじれ折りの構造を利用して折りたたみが容易に

セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。



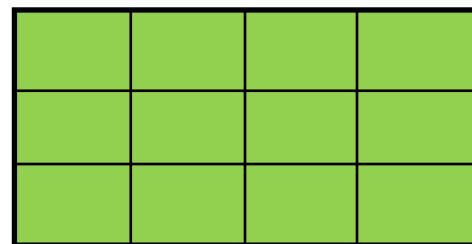
ミウラ折りの数理

ミウラ折りとは

紙を折りたたむとき

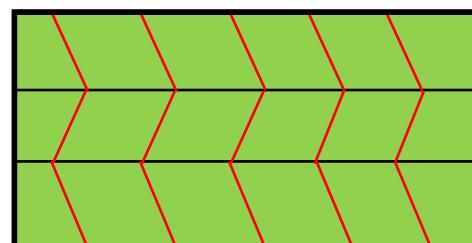
単純な方法

紙と垂直な直線で折り、一つ一つが長方形。



ミウラ折り

ジグザグな折り目で、1つ1つが平行四辺形。



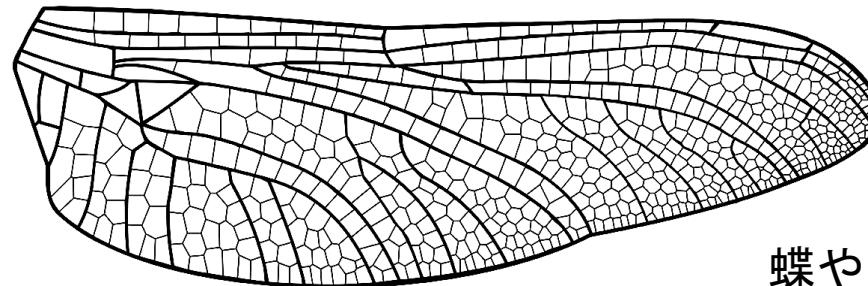
開閉に負担がない



地図やパンフレットに活用

ミウラ折りの応用

「折りたたみ」の
最も自然な構造



蝶やトンボなどの羽



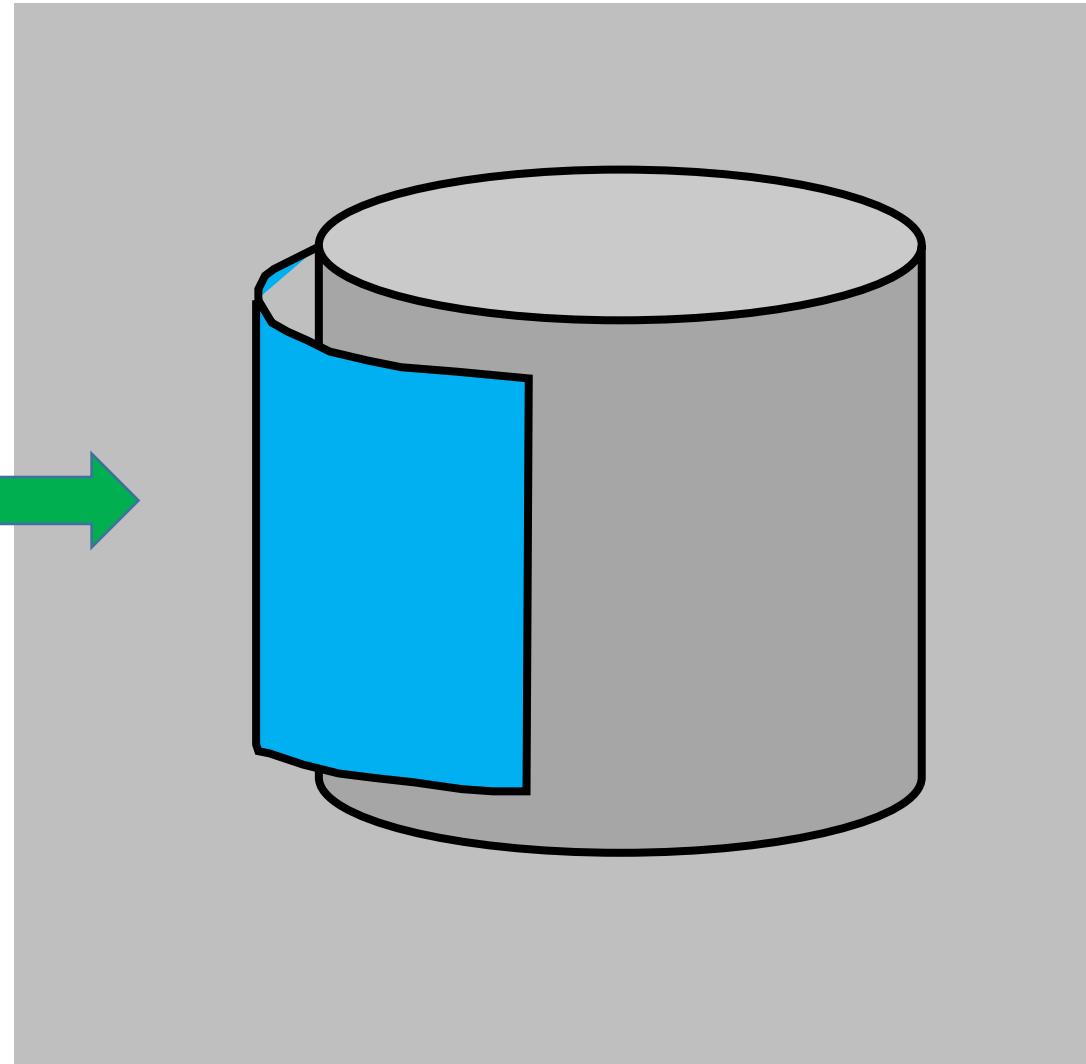
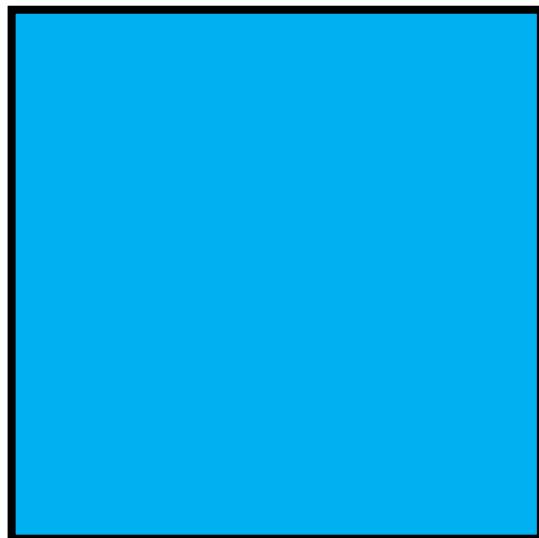
太陽光パネルの開閉に応用



若葉

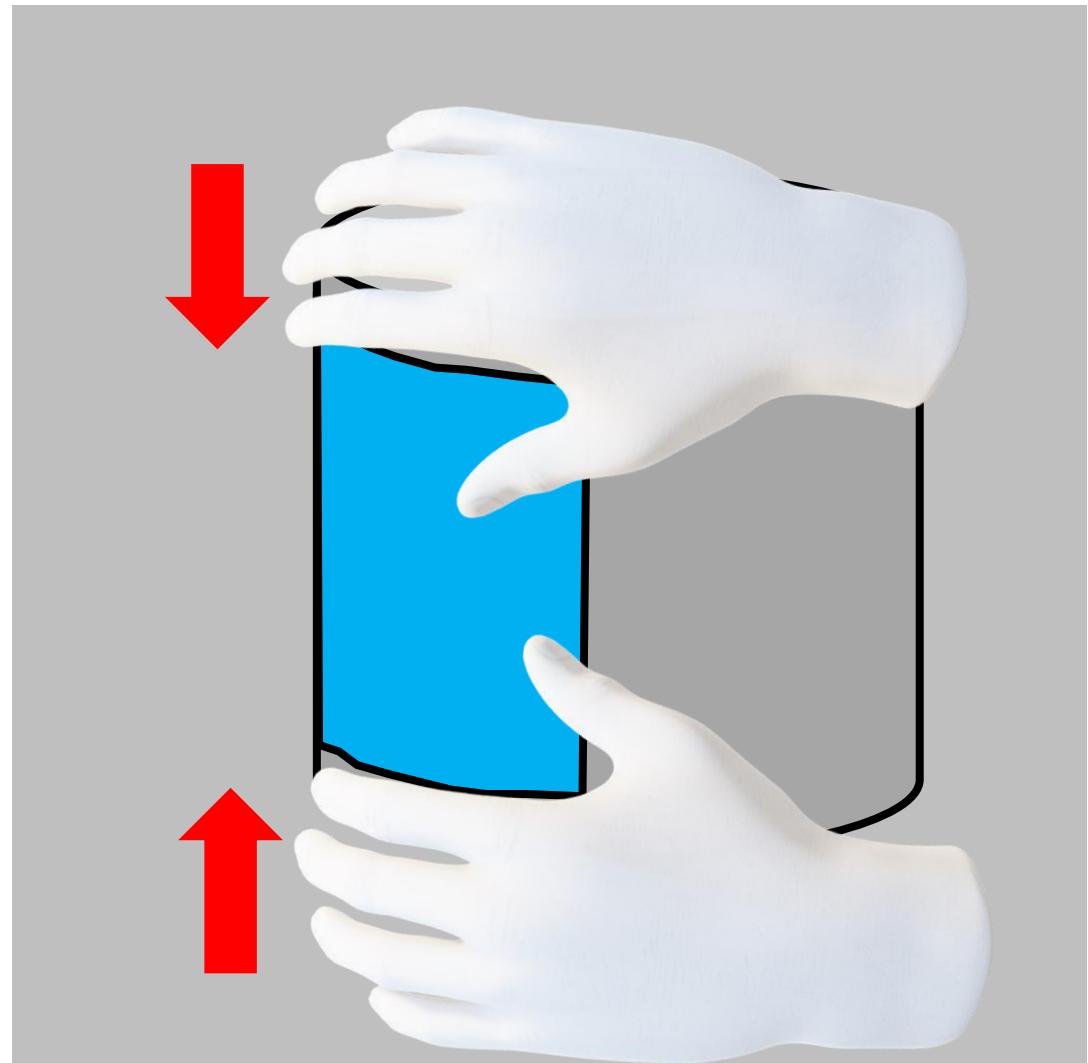
ミウラ折りができるまで

紙の構造を理解する

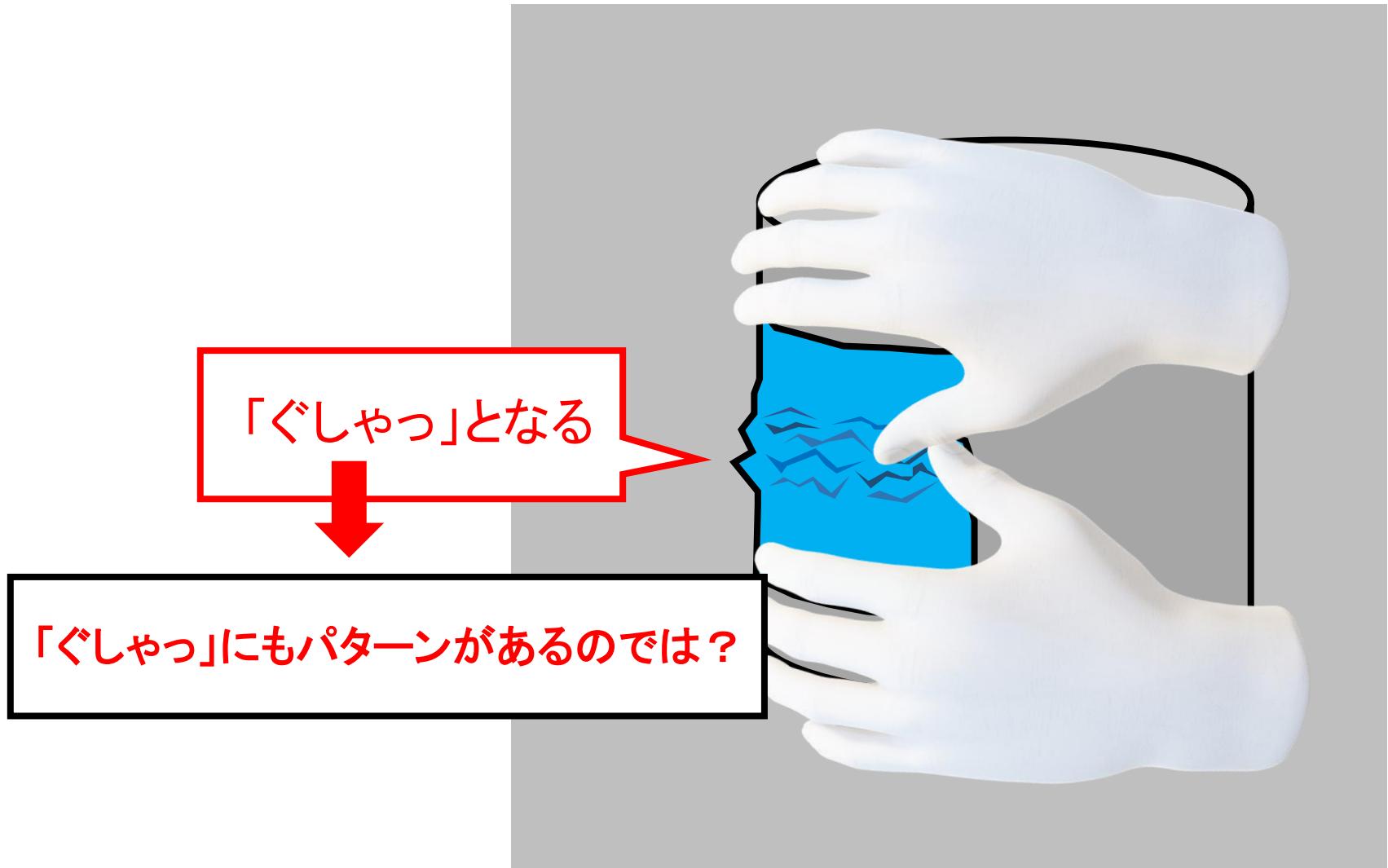


ミウラ折りができるまで

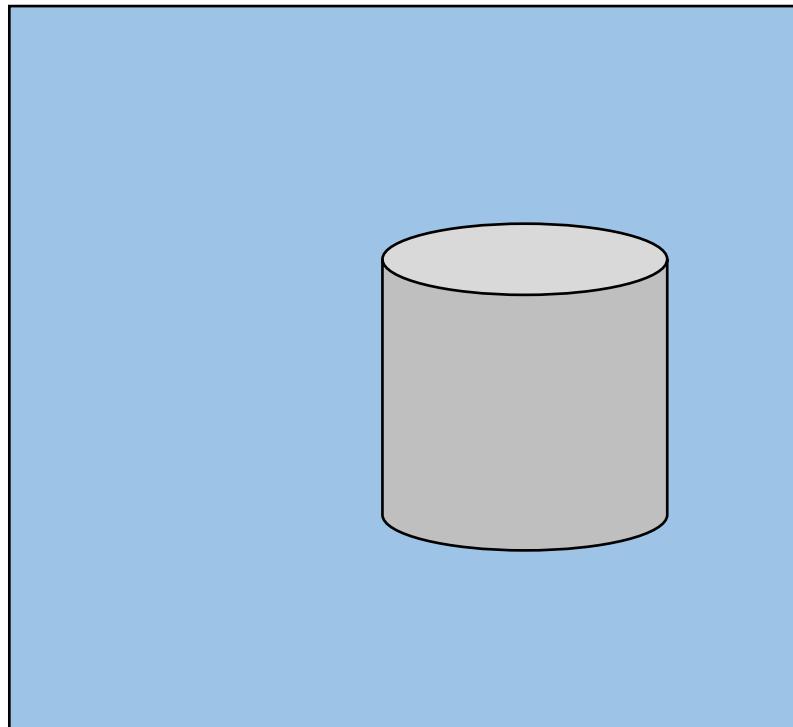
紙の構造が崩れる実験



ミウラ折りができるまで

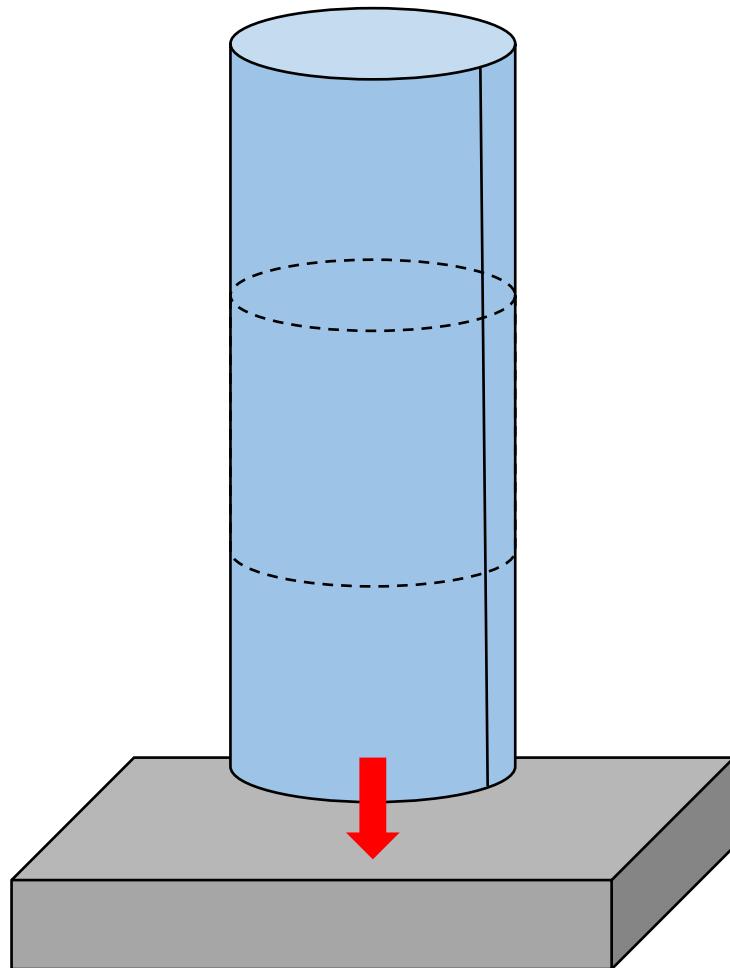


【実践】紙の構造破壊



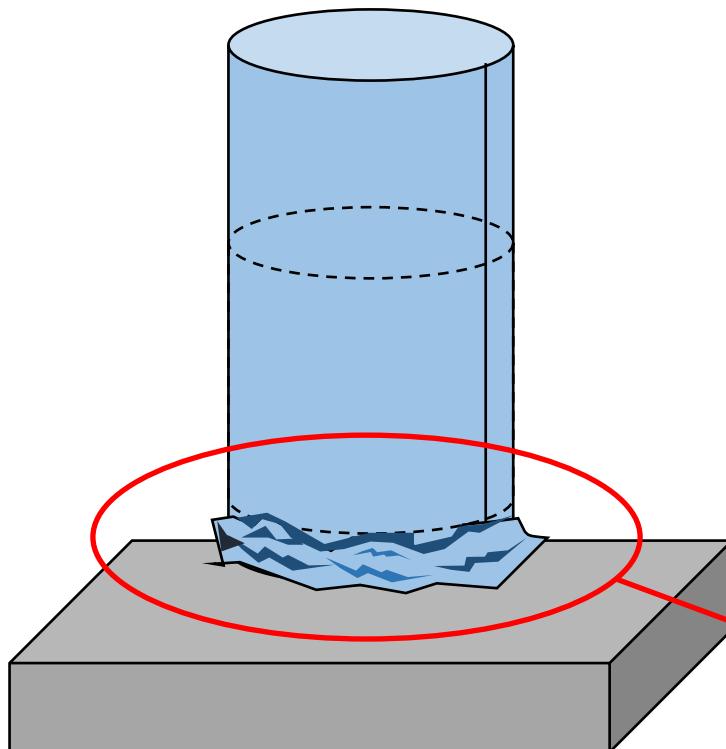
- ①円柱形のものを用意(コップなど)
- ②紙を巻き付ける

【実践】紙の構造破壊



- ①円柱形のものを用意(コップなど)
- ②紙を巻き付ける
- ③台にたたきつける

【実践】紙の構造破壊

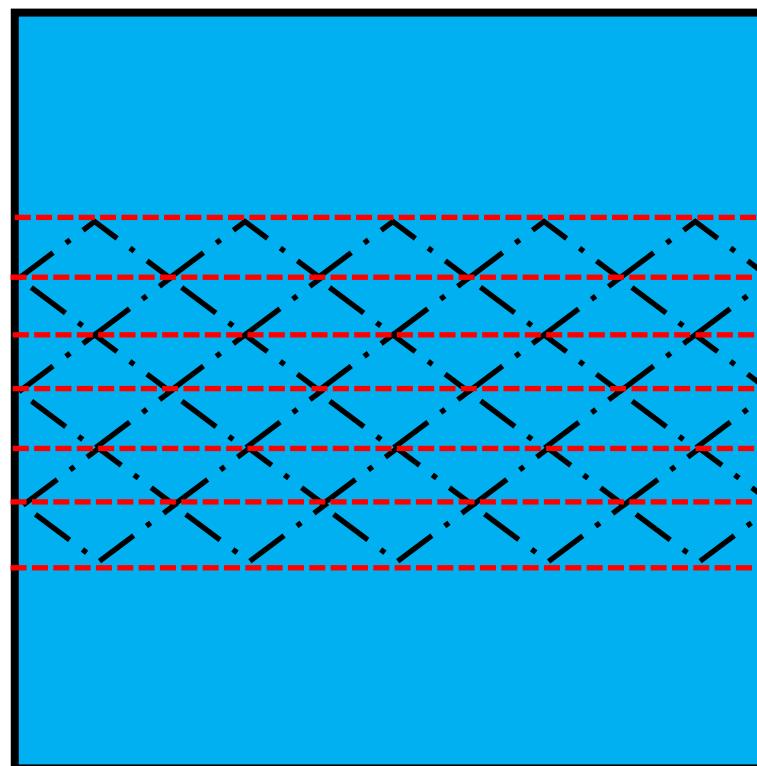


- ①円柱形のものを用意(コップなど)
- ②紙を巻き付ける
- ③台にたたきつける

どんな模様ができるでしょう？

ヨシムラパターン

円筒の破壊構造の研究を行っていた吉村慶丸教授にちなんで「ヨシムラパターン」と呼びます。



----- 谷折り

— · — 山折り

ヨシムラパターン

様々なヨシムラパターン



ジーパンの膝裏のシワ

横方向の圧縮に強く頑丈



ダイヤモンドカット缶

ミウラ折りの着想

三浦公亮教授の発想

円筒上で「ぐしゃつ」



ヨシムラパターン

平面上で「ぐしゃつ」



?

紙が崩れる物理法則は同じであるはずなので、何か規則的な模様ができるはず。



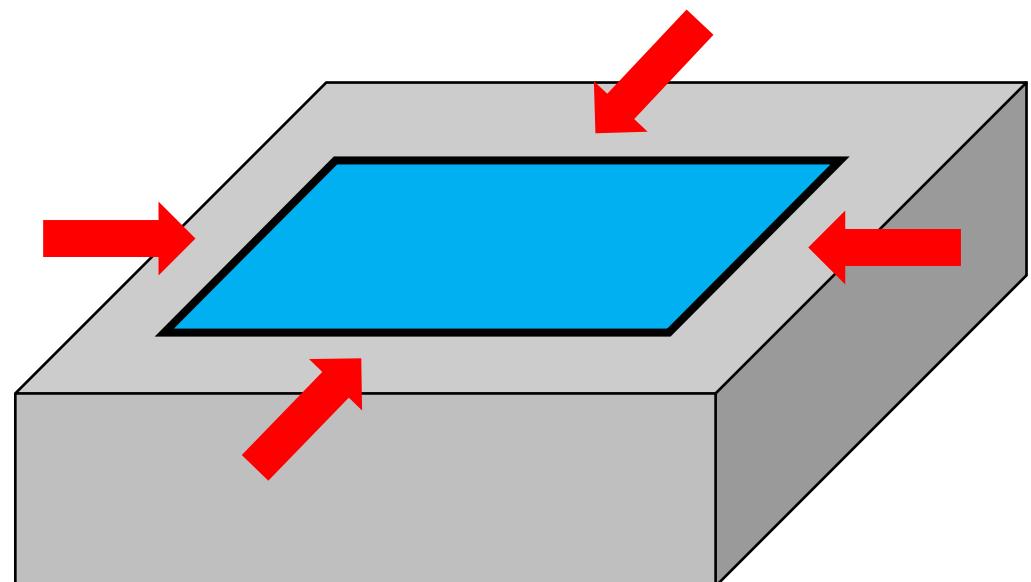
三浦公亮教授

1930~

NASAで宇宙ステーションの設計にも携わる

ミウラ折りの着想

平面上で「ぐしゃっ」とするイメージ

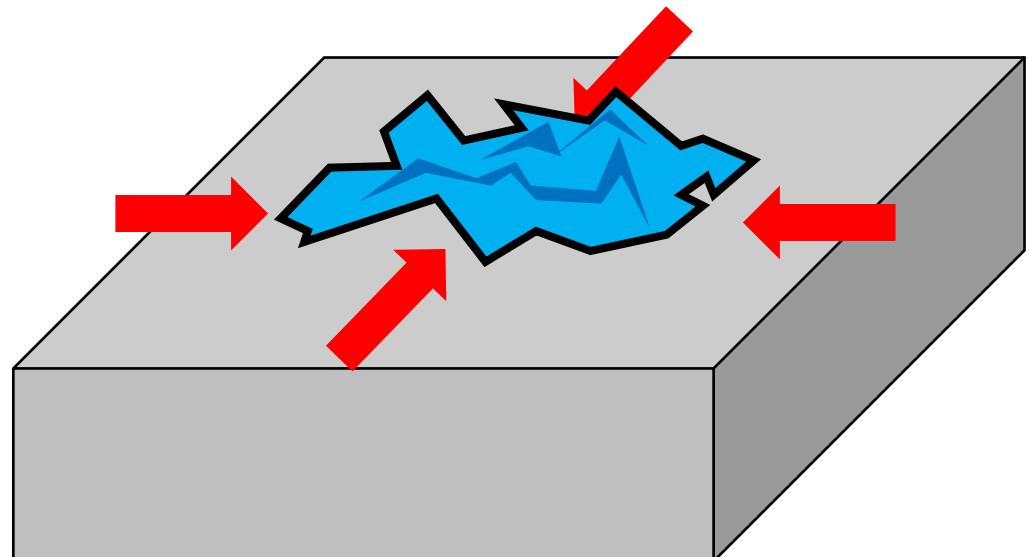


ミウラ折りの着想

平面上で「ぐしゃつ」とするイメージ

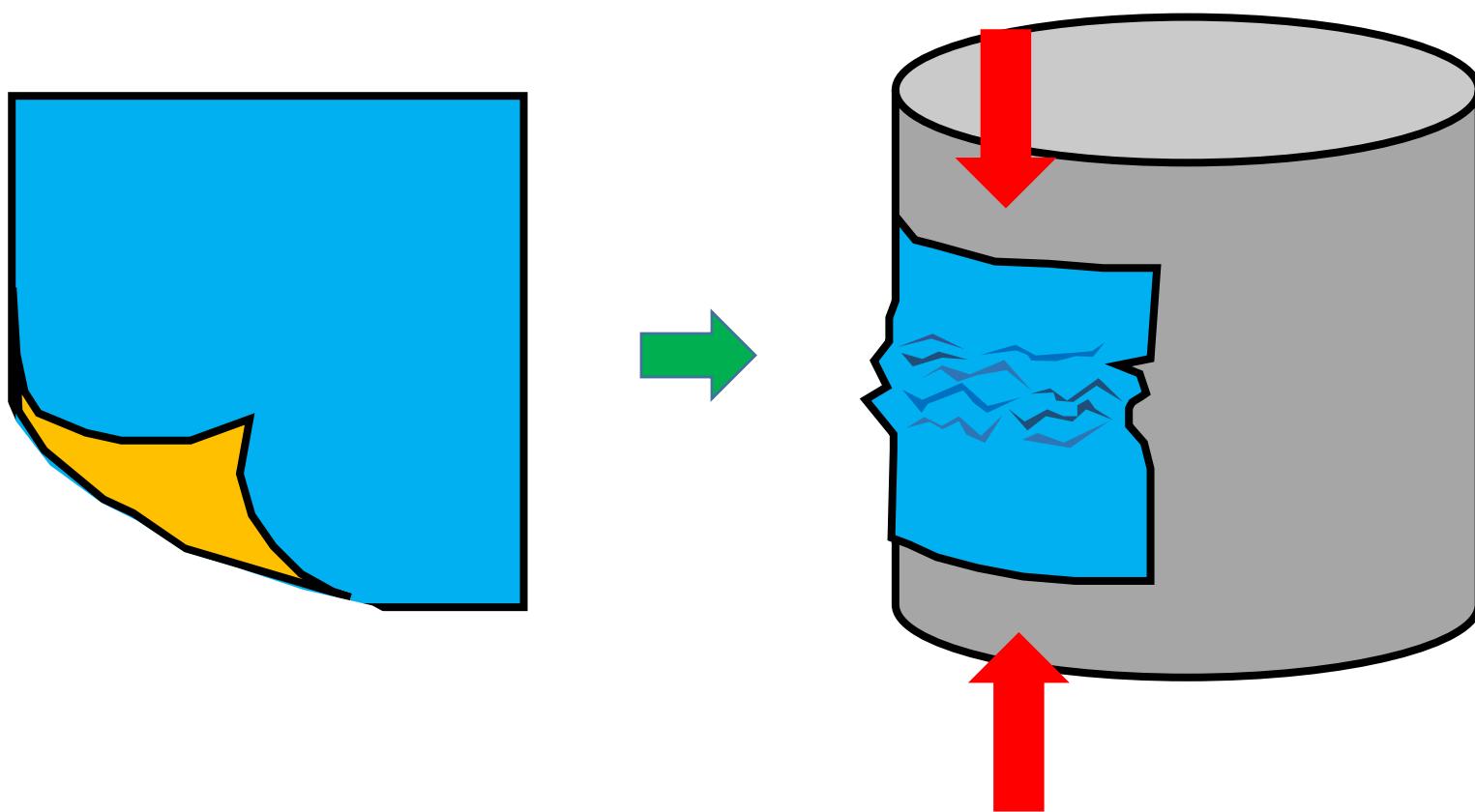


なかなかうまくいかない…。



ミウラ折りの着想

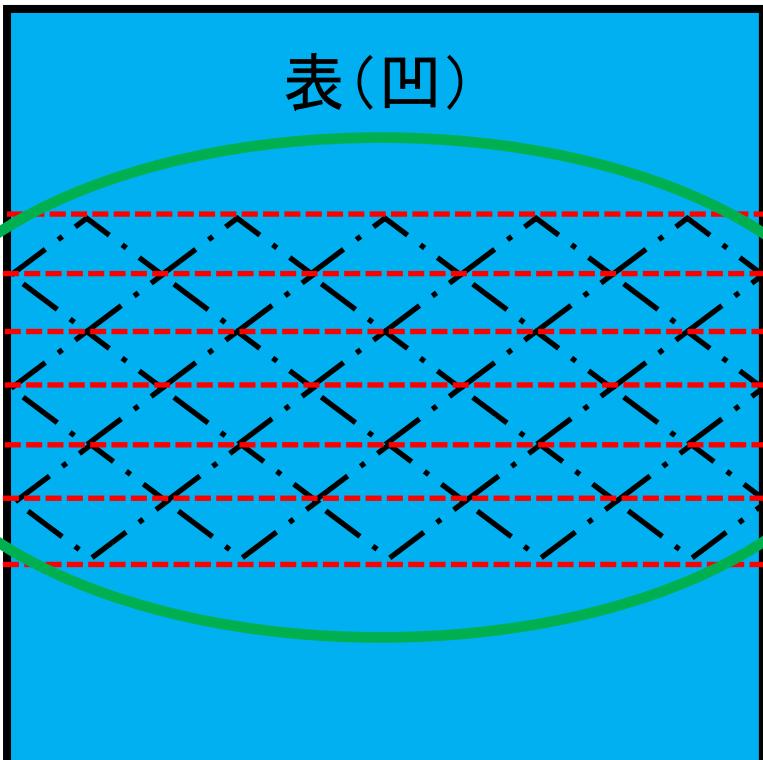
裏表のヨシムラパターンを観察する



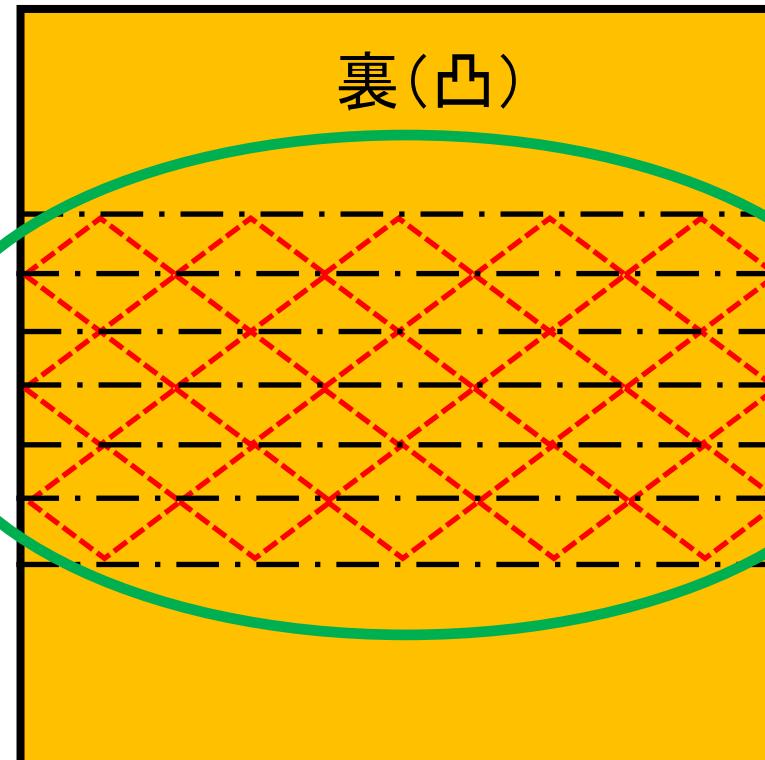
ミウラ折りの着想

山・谷が逆になっている2つのパターンをうまく合わせればいいのでは！

表(凹)



裏(凸)

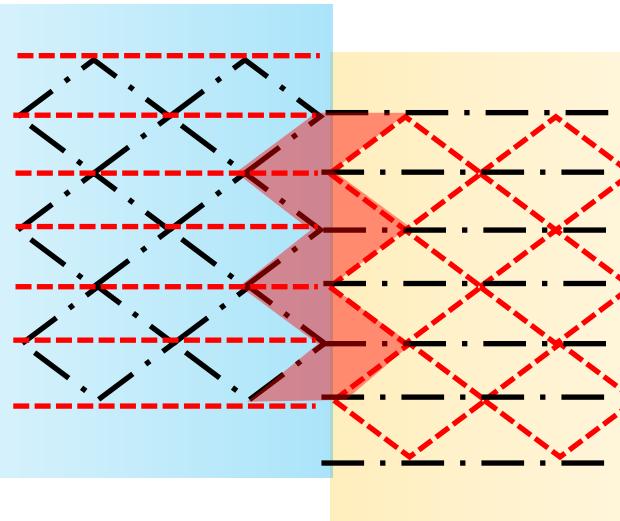


----- 谷折り —·— 山折り

----- 谷折り —·— 山折り

ミウラ折りの着想

1段ずらして組み合わせる

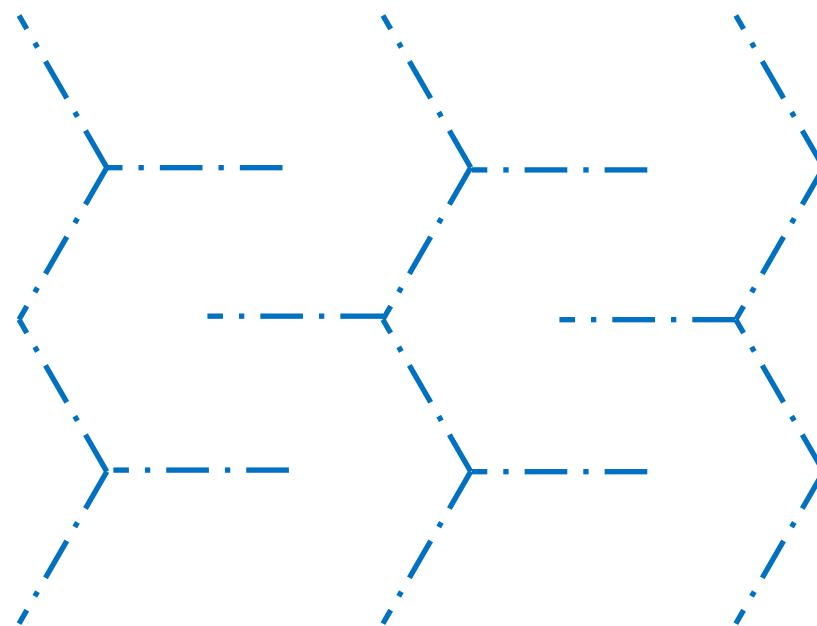


平行四辺形が現れる

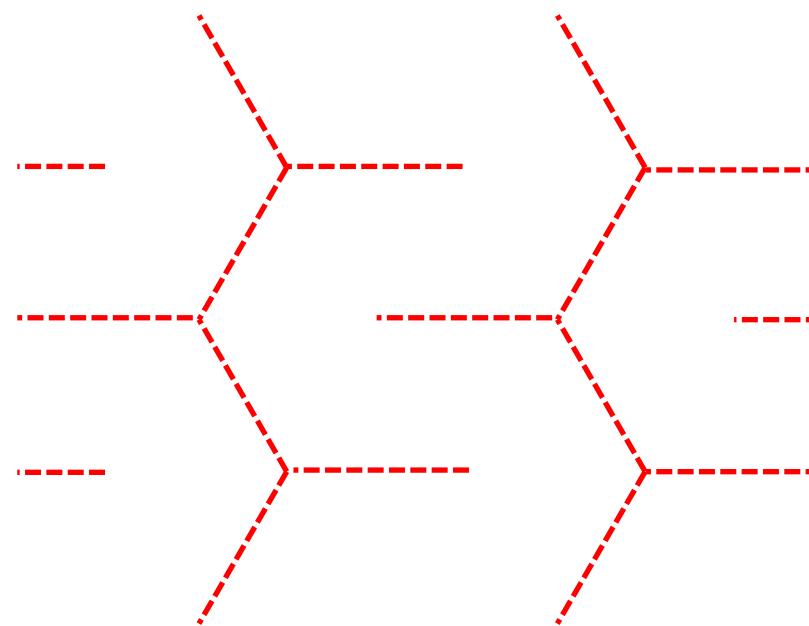


ミウラ折り誕生の瞬間

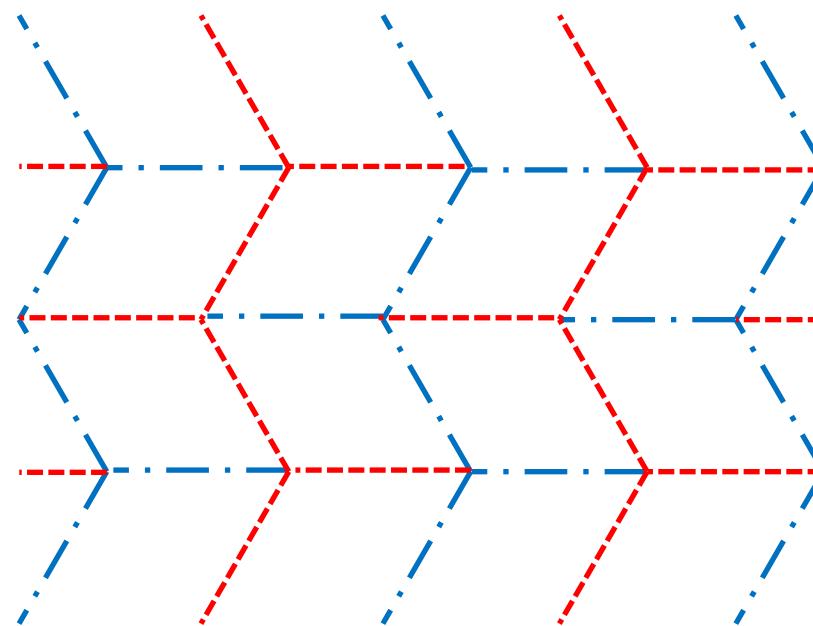
ミウラ折り



ミウラ折り

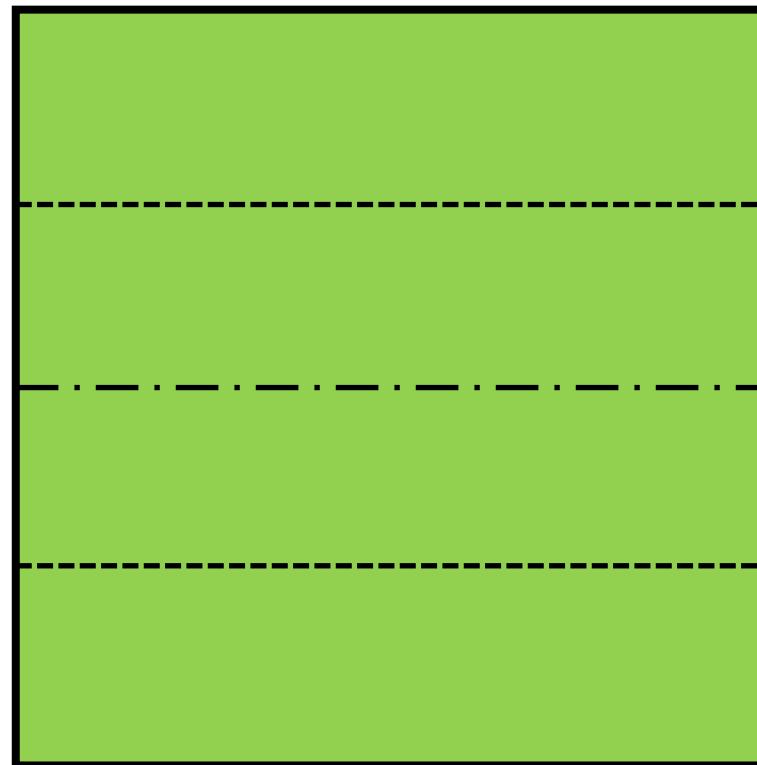


ミウラ折り



ミウラ折りの基本構造

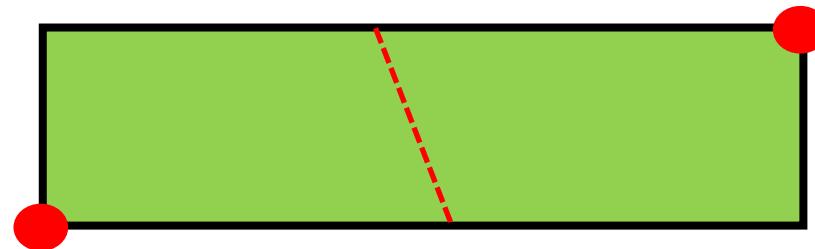
【実践】折り紙でミウラ折り



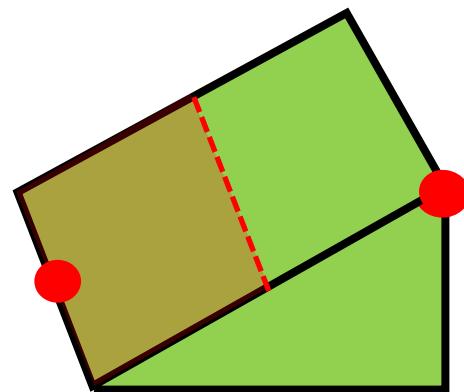
【実践】折り紙でミウラ折り



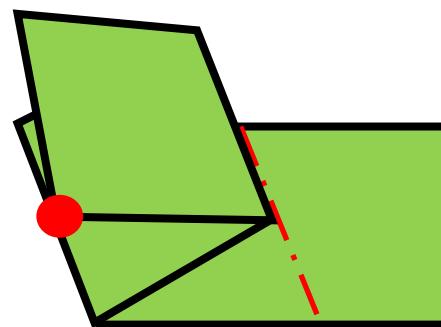
【実践】折り紙でミウラ折り



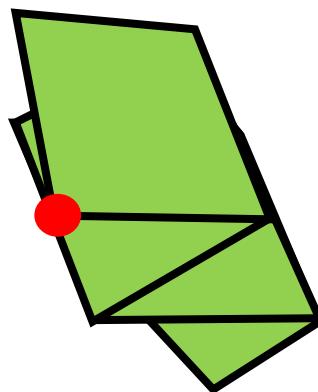
【実践】折り紙でミウラ折り



【実践】折り紙でミウラ折り

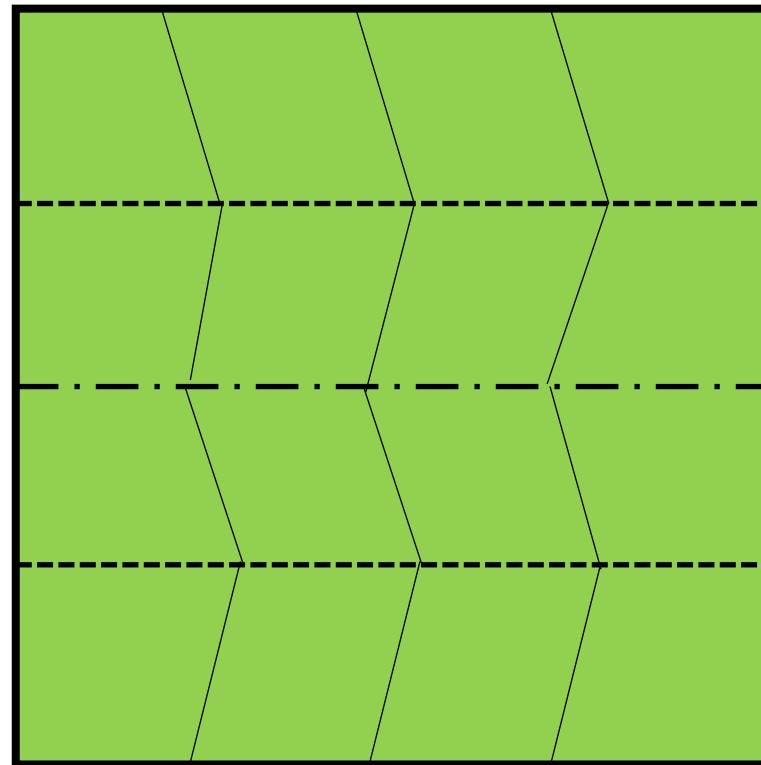


【実践】折り紙でミウラ折り



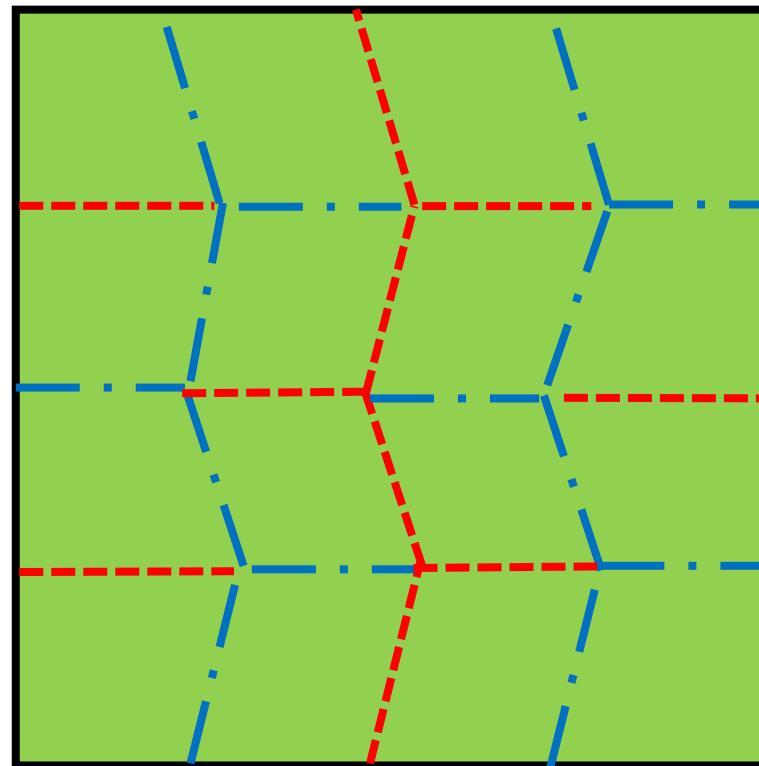
開く

【実践】折り紙でミウラ折り



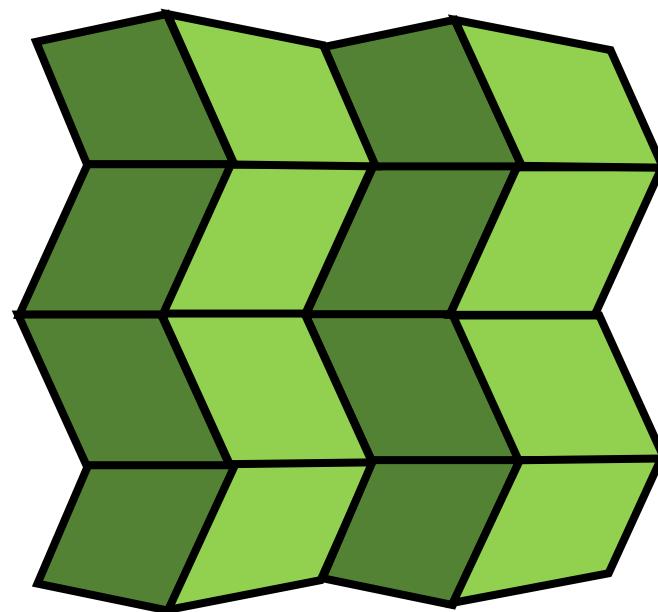
山折り谷折りを決める

【実践】折り紙でミウラ折り



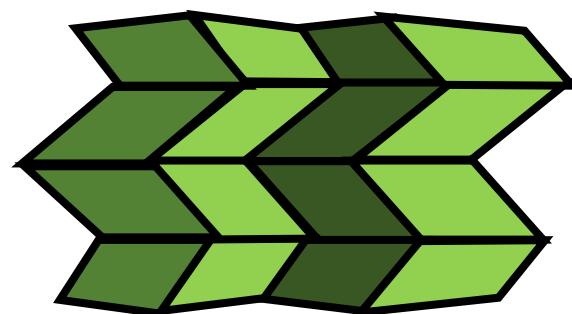
— · · 山折り
- - - 谷折り

【実践】折り紙でミウラ折り



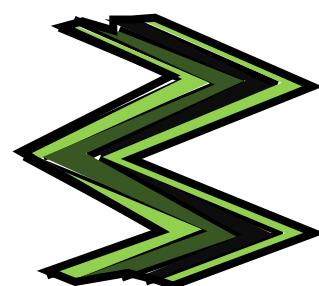
—・ 山折り
- - - 谷折り

【実践】折り紙でミウラ折り



—・・ 山折り
- - - 谷折り

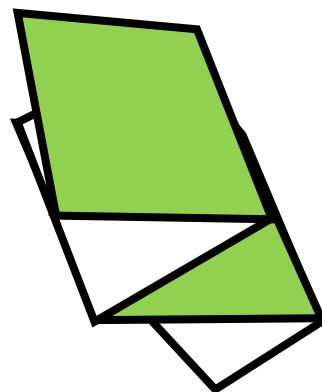
【実践】折り紙でミウラ折り



—・ 山折り

---- 谷折り

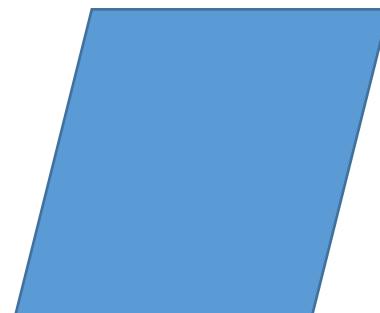
【実践】折り紙でミウラ折り



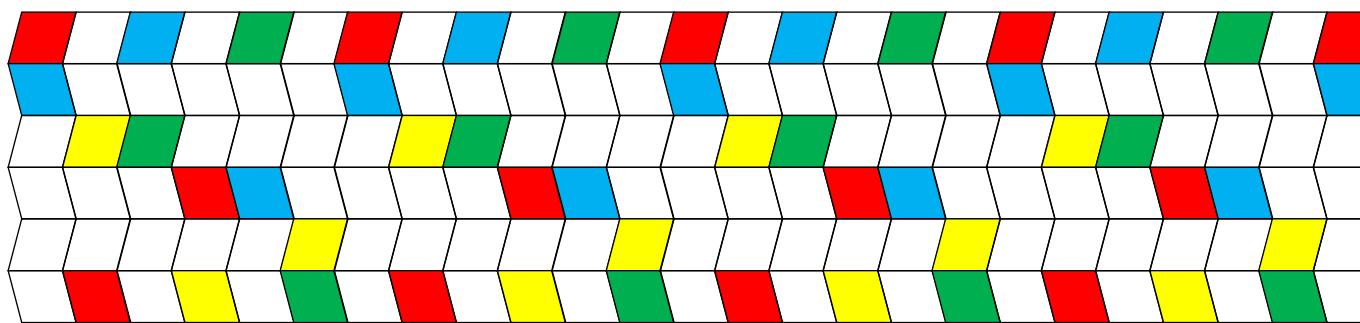
完成

注: 地図などでは利便性のため奇数等分で折られます

【実践】ミウラ折りデザイン方法



ミウラ折りのデザイン



ミウラ折りデザインのグッズ化



SUZURI グラス [Walker ミウラ折りデザイン グラス](#)

このアイテムについて
宇宙工学にも応用されている「ミウラ折り」の模様でグッズを作つてみました。

サイズ・素材について

配送・印刷について

■ オモイデに追加

ツイート 埋め込む

ミウラ折りデザイン

グラス
1,850円 (税抜)

およそ 6 日 で発送 (土日祝を除く)

このアイテムを購入する 0

デザインのグッズ化

① デザインを行う。

デザインのグッズ化

① デザインを行う。

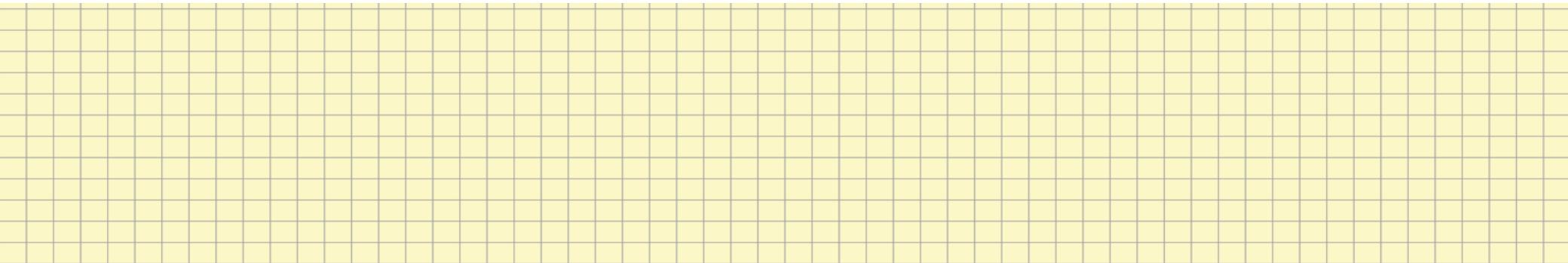
② 画像の加工（着色や透過）

デザインのグッズ化

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

透過加工

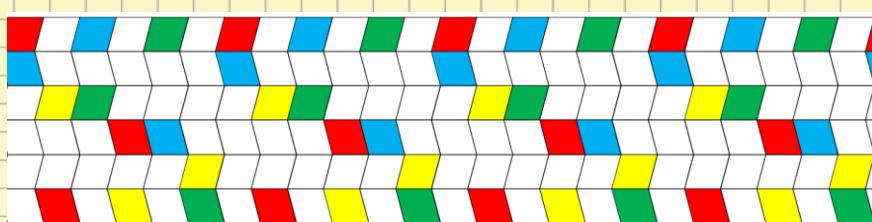


デザインのグッズ化

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

透過加工

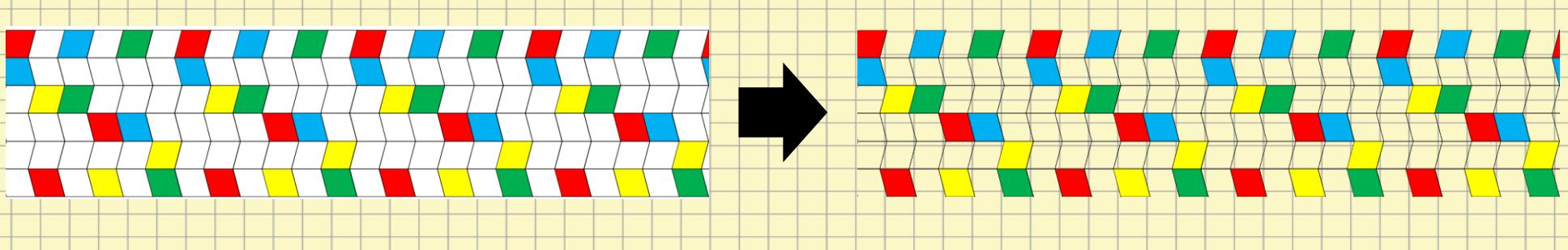


デザインのグッズ化

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

透過加工

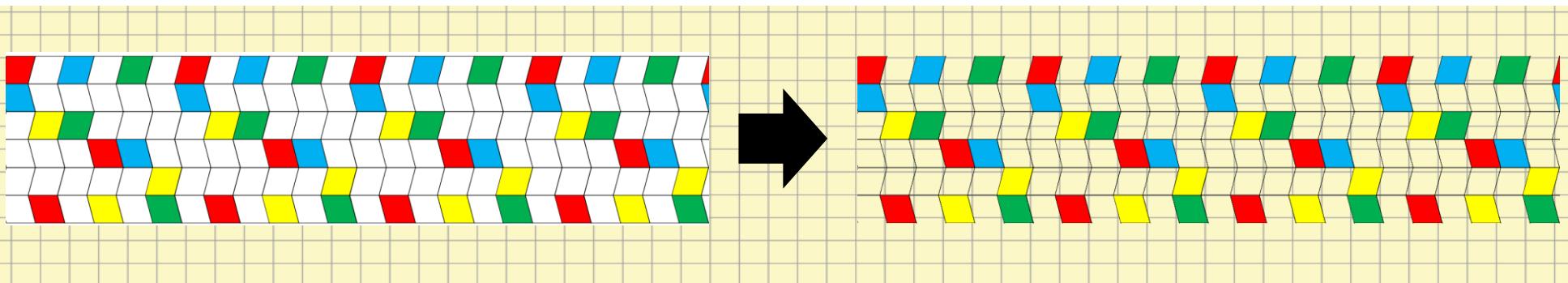


デザインのグッズ化

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

透過加工



③ グッズ作成サイトへアップロード

例：SUZURI, オリラボマーケット etc