

解説

ものづくりのための2枚貼り折り紙

Pairing Origami for Monodzukuri

執筆者プロフィール



杉山 文子
Fumiko SUGIYAMA

◎1980年京都大学薬学部卒業、同年藤沢薬品工業(株)入社、1983年京都大学工学部航空学科技官任官、2008年京都大学大学院工学研究科助教、現在に至る

◎研究・専門テーマは、折紙工学、衝撃工学、構造力学

◎正員、京都大学助教 大学院工学研究科航空宇宙工学専攻

(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂CクラスターCⅢ棟)

E-mail: sugiyama@kuaero.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

野島武敏氏によって折紙工学という学問分野が提案されて、約15年が経過した。これによって、「折り紙の学術領域への適用」は大いに進展し、折り紙の数理的な取り扱い、特性評価など、基礎的な部分はほぼ出尽くしたと思われる。

近年は、さまざまな分野への実用化の可能性が検討されている。たとえば、宇宙開発関連では、展開収縮特性に着目した大型アンテナ、ソーラーセイル、宇宙構造物などへの適用、工学関連では、構造強化特性に着目したハニカム構造や強靱パネル、折り畳みハウス、医学関連では、ステントグラフト、ミートロボットなどが考えられている。しかし、これらを実用化するにはハードルが高いのが現状である。その原因としては、実用に供する材料特性と折り紙の材料特性との大きなギャップ、製作過程の複雑さから、機械による大量生産ができない、手作業による少量生産しかできず、コストがかかる、などが挙げられる。

材料特性による問題は、剛体折り、厚さを考慮した折りたたみ法として研究が進められている。一方、製作過程の複雑さに関しては、系統的な研究が行われてこなかった。むしろ、より複雑な折り方を研究する傾向がある。そこで、この点に焦点を当て、複雑な折り線を簡素化することで、実際のものづくりへの道を開く方法として、「対称2枚貼り折り紙」が考案、著作された(野島⁽¹⁾、野島・杉山⁽²⁾)。本文では、この新しい折り紙を紹介する。

「対称2枚貼り折り紙」は同じ折り線図からなる展開図を2枚対称に貼り合わせて立体を作る折り紙手法であり、貼り合わせ部においては自動的に折り畳み条件が成り立つ

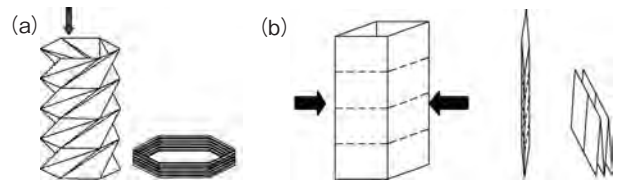


図1 筒状構造物の折り畳み法

(a) 軸方向に押しつぶす方法 (b) いったん平面状に折り畳んでからZ字型に折り畳む方法

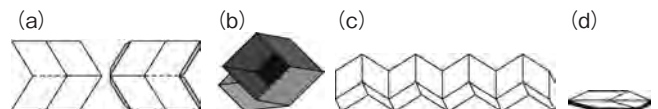


図2 (a) 対称2枚貼り折り紙の最小単位の展開図 (b) (a)を貼り合わせた模型 (c) 最小単位をつなぎ合わせた模型 (d) (c)を折り畳んだ模型

ているので、面倒な折り畳み条件を考慮する必要がないという点が、大きな特徴である。

2. 対称2枚貼り折り紙の基本構造

対称2枚貼り折り紙は円形の紙を用いたモデル、多面体モデル、筒状構造物モデル、円錐状モデル、など、さまざまな種類があるが、紙面の都合上ここでは、筒状構造物モデルに絞って紹介する。

2.1 筒状構造物のモデル

円筒、あるいは角筒状の構造物を折り畳む方法として代表的なものに、軸方向に押しつぶすように折り畳む方法〔図1(a)〕と、いったん平坦に折り畳んでからZ字型に折り畳む方法〔図1(b)〕がある。

図1(a)の場合、1回の動作で折り畳むことができるが、1節点に集まる折り線数が多いこと、剛体折りができないことから、実用化は難しいと考えられる。図1(b)の場合は、単純な折り線であることから容易に作製できるが、折り畳みに最低2回の動作が必要となり適用範囲が限られてくる。そこで、これらの折り畳み法を合わせた方法として対称2枚貼り折り紙法を用いた角筒の折り畳みを以下に示す。

最小単位は図2(a)に示すようにミウラ折りを対称に配置したものであり、糊付けすると図2(b)の形になる。展開図〔図2(a)〕の折り線は節点において折り畳み条件を満たしており、かつ、対称に2枚貼り合わせたことから、

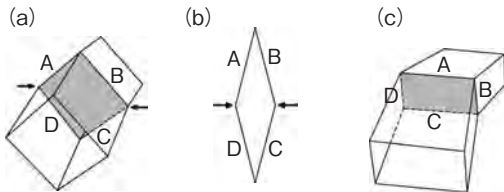


図3 (a) 基本形の断面 (b) 折り畳み時 (c) 長方形断面の折り畳み可能模型

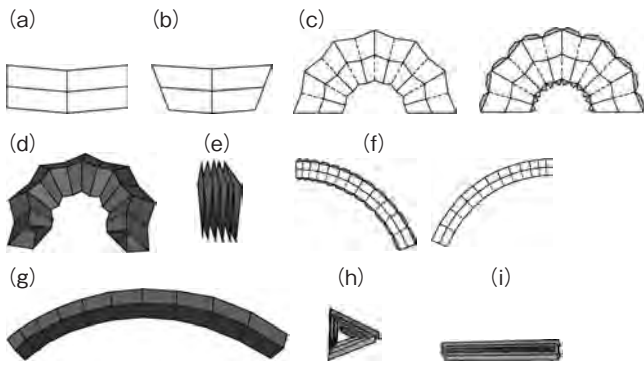


図4 (a) 基本形の1要素 (b) 基本形を斜めに切断した要素 (c) 湾曲した筒の展開図 (d) (c)を貼り合わせてできた湾曲した筒状構造物 (e) (d)を折り畳んだ模型 (f) 台形状に要素をつなげた展開図 (g) (f)を貼り合わせてできた湾曲した筒状構造物 (h) (f)を三角形に折り畳んだ模型 (i) (f)を二角形状に折り畳んだ模型

貼り合わせ部での折り畳み条件が成り立っていることから、図2 (b) は平坦に折り畳むことができる。

このように、対称2枚貼り折り紙は、次項で示す制約はあるが、節点での折りたたみ条件が成り立っている展開図を2枚対称に貼り合わせることで、接合部での幾何学的な考察をしなくても折り畳み模型を作ることができる方法である。

最小単位をつなぎ合わせると図2 (c) に示すジグザグ状の角筒ができ、折り畳むと図2 (d) のように平坦に折りたたむことができる。

2.2 対称2枚貼り折り紙の制約

本折り畳み法は折り畳み方向に対して閉じた形状であることから、幾何学的な制約を受ける。図3 (a) のように辺の長さを定めると、作図方法から $A+B=C+D$ である。矢印方向に $A+D=B+C$ でなければならない。この二つの関係式より $A=C$, $B=D$ でなければならないことがわかる。

この制約を満たすと断面は基本形で示した正方形でない、図3 (c) のような長方形断面でも折り畳むことができる。

3. 対称2枚貼り折り紙による応用構造

前章ではジグザグ状に折り畳める一軸方向に伸びた筒について述べたが、ここでは、湾曲した筒をジグザグ状に折り畳む方法および巻き取る方法について述べる。

3.1 湾曲した筒の折り畳み(端面が開放されている場合)

正方形断面の筒を対角方向に切断した場合、切断角度に

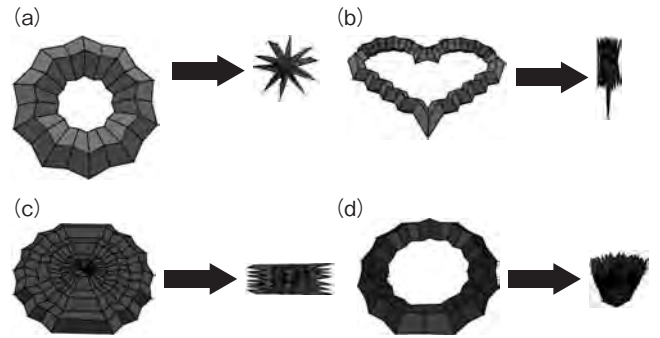


図5 (a) 円環状の折り畳み模型 (b) ~ (d) 意外な形で折り畳みができる応用模型

関係なく、切断面は平面を保ったまま平坦に押しつぶされる。このことから、上述の基本形 [図4 (a)] を図4 (b) のように斜めに切断して、つなげてできる湾曲した筒は折り畳み時に隣接する要素と乖離することなく平坦に折り畳むことができる。図4 (b) の要素をつなげていくと、図4 (c) に示すような円弧状に湾曲した筒の展開図が得られる。これを貼り合わせると図4 (d) のような湾曲した筒状構造物ができる。これを折り畳むと図4 (e) に示すようにジグザグ状に折り畳まれる。

また、図4 (f) に示すように、台形状にした要素をつなげても円弧状になり、これを折り畳むと巻き取るように収納できる。紙の厚さを考慮して台形の大きさを変化させる必要があるが、変化の割合によって、巻き取られたときの形状が変わる。図4 (h) は三角形に巻き取った場合であり、図4 (i) は二角形(平坦に)巻き取った場合である。

3.2 湾曲した筒の折り畳み(端面が閉じている場合)

3.1 節に端面が開放されている構造物を示したが、端面どうしをつなげると図5 (a) に示すような円環状の構造物ができる。端面が閉じている構造物を折り畳む際には剛体折りはできないが、弾性変形を許容すると折り畳むことができる。図5 (b) ~ (d) に意外な形で折り畳むことができる応用模型の例を示す。

4. おわりに

対称2枚貼り折り紙の基本的な考え方、作図方法、応用例について示した。紙面の都合上、多くのモデルを紹介できなかったが、本折り畳み法は折紙工学の実用化への大きな一歩となると確信している。

(原稿受付 2016年6月27日)

●文献

- (1) 野島武敏, ものづくりのための立体折紙, (2016), 日本折紙協会.
- (2) 野島武敏・杉山文子, ものづくりのための立体折紙練習帳, (2016), 日本折紙協会.