

K-011

## 平面－立体の可逆変化が可能な立体設計手法による教育教材の開発

Educational material by reversible structure changing plane to solid

中山 弘敬<sup>†</sup> 伊藤 智義<sup>†</sup>

Hirotaka Nakayama Tomoyoshi Ito

## 1. はじめに

折りたたまれた平面から、2つの端点を引っ張るだけで強固な立体形状を形成する手法を開発した[1]. 構造は可逆的であり、立体から平面に戻すことも可能である. 本手法の応用としては、例えば、キャラクター商品やパッケージ、緊急時の簡易テント、内視鏡手術における視野拡大のためのスペーサ、可搬型の大型スクリーンシステムなどが検討されている. 本発表では、もっとも直接的な応用として、学習教材への利用を議論する.

## 2. 提案手法の特長

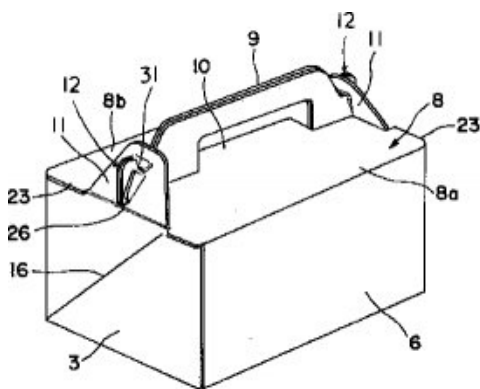


図 1. 商品パッケージ等で使われている折りたたみ式多面体の例

単純にある多面体を作成するには、紙や板などの平面を多面体の展開図に沿って切り抜き、糊付けなどで固定すればできる. ただし、一度固定してしまうと、それを分解して再び平面に戻すことは容易ではない. そこで、図 1 のような折りたたみ可能な多面体も様々に考案され、商品のパッケージ等に応用されている. しかし、そのほとんどは直方体や正多角柱等の単純な形状である. また、一般に折りたたむ工程は複雑である.

本研究で提案する手法にもとづいて作成された構造は、一定方向に力を加えるだけで平面－立体の可逆変化をする. 作成可能な立体図形の例を図 2 に示す. ここで図 2(c), (d) に示される図形は、平面（台形）で構成されているが、多面体で近似された球体や卵型とみなすことができる. 本手法の最大の特長は、一般に紙での成形が困難であるとされる球体・回転楕円体・卵型などの曲面体を瞬時に構成し、またそれを平面に戻すことが可能という点である.

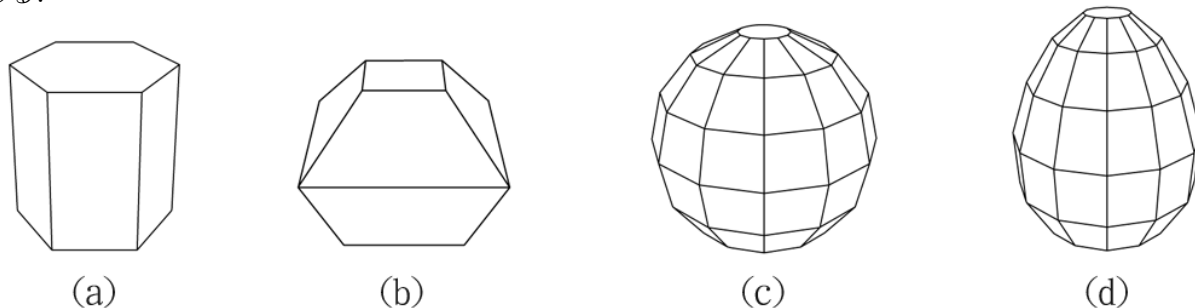


図 2. 本手法によって作成可能な立体図形の例

<sup>†</sup> 千葉大学大学院工学研究科

従来の紙パッケージ技術の難点を整理する。

(1) 組み立てに複数の工程が必要となるため、一度立体に組み立ててしまうと平面に戻すことが容易ではない。

(2) 一般に単純な形状がほとんどであり、球体のような曲面体を形成することが困難である。

これに対して本手法は、次の利点を持つ。

(1) 平面から立体、立体から平面への変化を瞬時に行うことが可能である。

(2) 球体や卵型、回転楕円体など、曲面で構成され、しかも密封された立体を形成することが可能である。

(3) 構造が単純なため、応用への発展が容易である。

本発表では、応用技術として、小中学校での教材に焦点を合わせる。近年、苦手意識の強い空間把握を理解する一助になることが期待される。本手法による試作例を図 3~5 に示す。いずれも、複数枚の平面紙から作られているため、プリンタで多部数を用意することができ、しかも、はさみとのみだけで手作りが可能である。

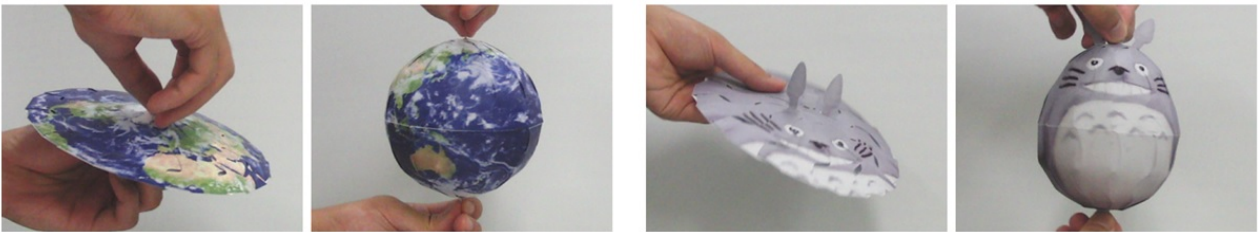


図 3. 地球儀 (球体)

図 4. キャラクタ (楕円球体)



図 5. 組み合わせによる雪だるま

### 3. 提案手法のアルゴリズム

平面に折りたたむことが可能な立体構造にはいくつかの条件がある。図 6 を用いて、条件を満たす立体構造の設計手順を示す。

図 6(a) に示すように、 $y$  軸上に適当な 2 点 (A, B) を取り、線分 AB と、A, B を端とする曲線 (あるいは線分の組み合わせ) から成る図形 S を  $y$  軸に平行な平面 ( $u$ - $y$  平面) 上に考える。AM=BM となる点を M とおき、M の  $y$  座標を  $My$  とする。この際、内角 A および内角 B は  $90^\circ$  以下で、図形 S は凸図形である必要がある。

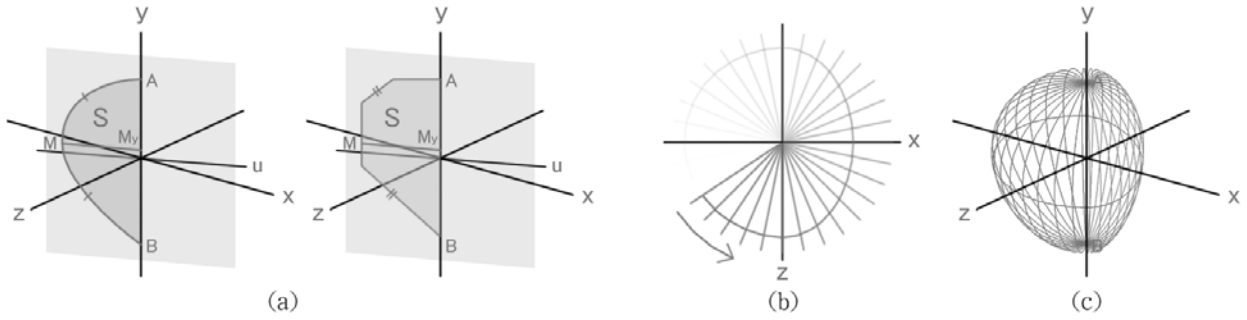


図 6. 折りたたみ可能な図形的设计条件

次に図形  $S$  を  $y$  軸中心に回転させた立体を考える.  $A, B, M_y$  の座標を変更しなければ ( $AM=BM$ ),  $S$  は  $u$  方向へ連続的に拡大・縮小を行うことができる (図 6(b), (c)). この手順で作成可能な立体図形の例を図 7 に示す.

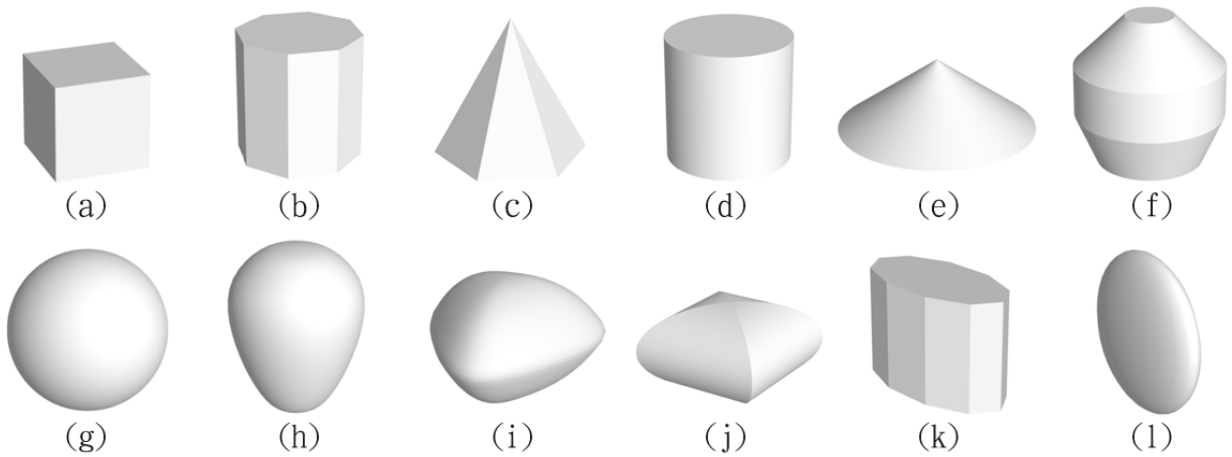


図 7. 折りたたみ可能な立体図形の例

続いて, 図 8 を用いて, 本手法で球体を作成する具体的な手順を示す.

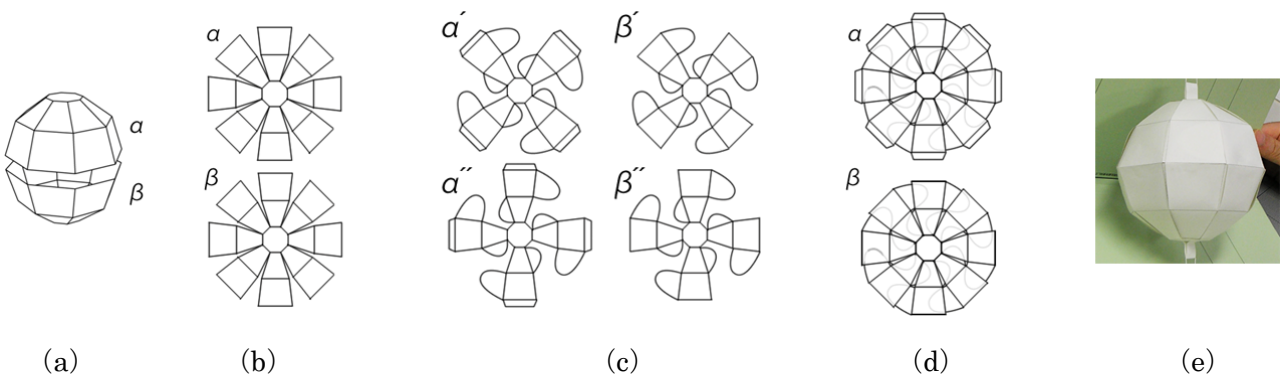


図 8. 本手法による立体構造の作成手順

- (1) 球体に近似した多面体の北半球 ( $\alpha$ ) と南半球 ( $\beta$ ) に分けて考える.
- (2) 北半球と南半球をさらに 2 つに分け, (c) のようなはねを交互に取り付ける.
- (3) 北半球と南半球を組み立てる. (d) のように, はねが重なる平面の下に入るようにする.
- (4) 北半球と南半球を接着することで完成する (e). 上下に取り付けた取手を引っ張ることで球形に固まり, 押し込むと平面に戻る.

(c) におけるはねの形状では工夫が必要である. きれいな球形にするためには, 図 9(a) のような単純な平面分割ではなく, 図 9(b) のような工夫をした方がよいことが, 試作を通してわかっている. また, はねの形状は強度にも関わってくる.

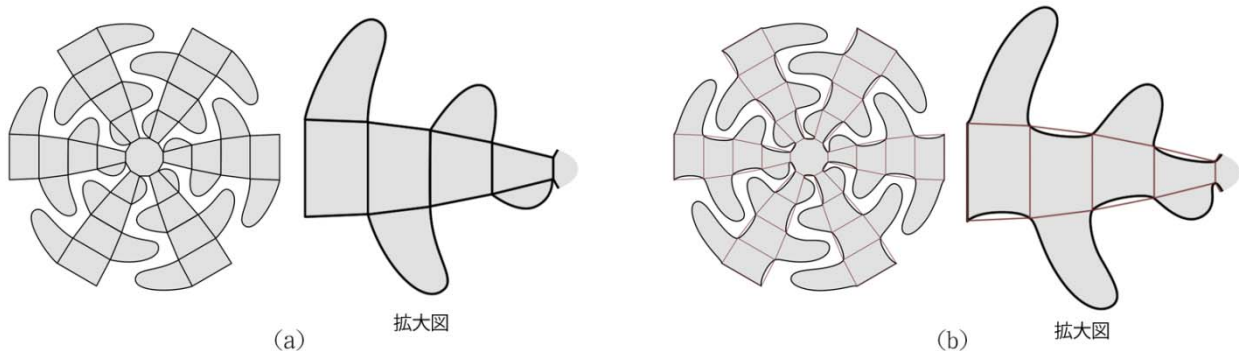


図 9. はねの形状

展開図に図を貼り付ければ, 様々な教材を手作りできる. 図 10 に, 地球儀の展開図を示す.

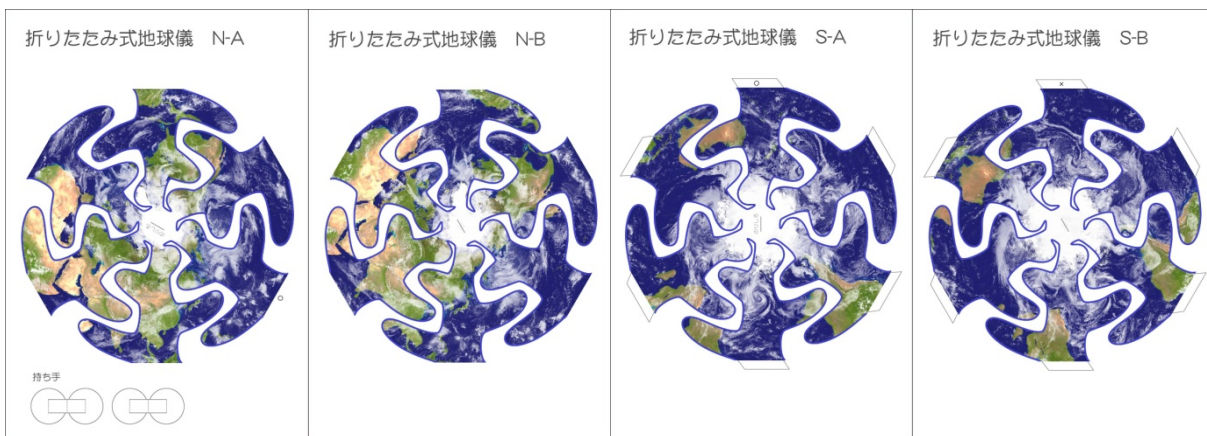


図 10. 本手法による地球儀の展開図 (4 枚で 1 つの立体を形成する)

#### 4. まとめ

折りたたまれた平面から, 2 つの端点を引っ張るだけで強固な立体形状を形成する手法を開発した. 本手法を述べるとともに, 学習教材への利用を提案した. 具体例として, 本手法による地球儀の展開図を作成し, 教材への応用の可能性を示した.

本研究は科研費 (挑戦的萌芽) 26560081 の助成を受けたものである.

#### 参考文献

- [1] 伊藤智義, 中山弘敬, 千葉大学, “折りたたみ可能な立体構造物及びその製造方法”, 特願 2012-102510 (2012)