

第27回衛星設計コンテスト

アイデア概要説明書

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名 「ねじれない折り」を用いた立体建造物
副題
学校名 長崎県立長崎西高等学校物理部

2. ミッションの概要

宇宙空間や月面上で使用する円筒形居住スペースの新たな建設方法について提案する。コンパクトに折りたんで宇宙空間に運び、圧縮空気を用いて伸展し、これらを複数組み合わせることで宇宙ステーションを建築する。また、バンパーを同時に展開し、デブリに対する安全性も確保する。従来の宇宙ステーション建築では数十回にわたって軌道の上に部品を運搬してきたが今回の方法では、短期間、低コストでの宇宙ステーションの建築が可能になる。

3. 目的と意義

(a) 目的

現在の国際宇宙ステーションは、軌道上への部品打ち上げを40回ほど繰り返し建設したものであり、スペースシャトルを1度打ち上げるのに600億円、日本のH2ロケットでおよそ200億円と莫大な予算と期間が必要になる。本研究は、1度の打ち上げで大きな居住スペースを運搬および建設できる方法の考案を目的としており、折り紙の立体構造を用いた、宇宙空間で使用できる安全な円筒型居住スペースの伸展方法を提案する。

(b) 重要性・技術的意義等

本研究で参考とした立体構造の先行研究「反転らせん折り^[1]」は、折り紙工学の一分野として数学的解析が進んでおり、コンパクト化可能な立体構造物としての活用が見込まれている。本校物理部では、反転らせん折りで作製した伸展可能な巨大な金属円筒の内側を居住スペースとして活用する方法について研究し、その実現可能性について検討した。宇宙空間での使用において必要不可欠なデブリ対策となるバンパーも備え、居住スペースとバンパーが同時伸展できる、二重の円筒構造の作製方法の決定を目標とした。

宇宙ステーションを、反転らせん折りで作製した円筒構造の集合体で作製することができれば、建設の際の大きさや形がより自由になり、低コスト、短期間での宇宙空間での居住スペースの建設が可能となる。

4. アイデアの概要

本研究で参考とした先行研究「反転らせん折り」は、平行四辺形を互い違いに並べた展開図（図 1）をしており、伸展可能な円筒を作製することができる（図 2 の①～④）。

人が入ることができるサイズの反転らせん折り円筒を金属板で作製し、出入り口となる両端を平板で閉じることで、密閉された円筒状の居住スペースが作製できる。宇宙への運搬時は小さく折りたたんでおくことで、一度にたくさん運ぶことができる。軌道上へ運搬後は、圧縮空気を用いることで膨張し、円筒内の与圧と円筒の伸展を同時に行うことができるため、伸展のためのアームなどの動力を必要とせず、伸展後は支柱も不要である。

このときの円筒を構成する金属板に必要な板厚 t [m] は、内圧 p [Pa]、容器直径 D [m]、材料強度 σ [Pa] を用いて $t = \frac{pD}{2\sigma}$ で計算できる^[2]。素材は 2219-T87 高力アルミニウム合金（温度 300K における引張極限荷重 434.4MPa）を用いるものとし、直径 4m、内圧 1.013×10^5 Pa の居住空間を建設するときに必要な板厚は 0.93mm となる。

さらに、金属板の結合部には、空気の入りがないようにすることと、折りたたみ時のコンパクトさを重視し、探査船外活動ユニット「xEMU」で利用されている素材を使用する。この素材は気密性、柔軟性ともに優れている。

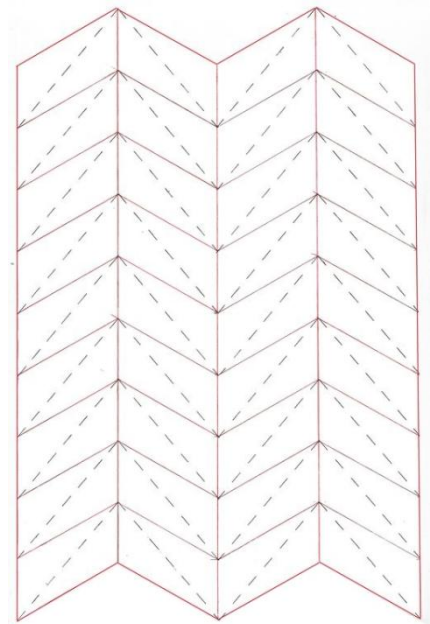


図 1：「反転らせん折り」の展開図
実線が山折り、点線が谷折り

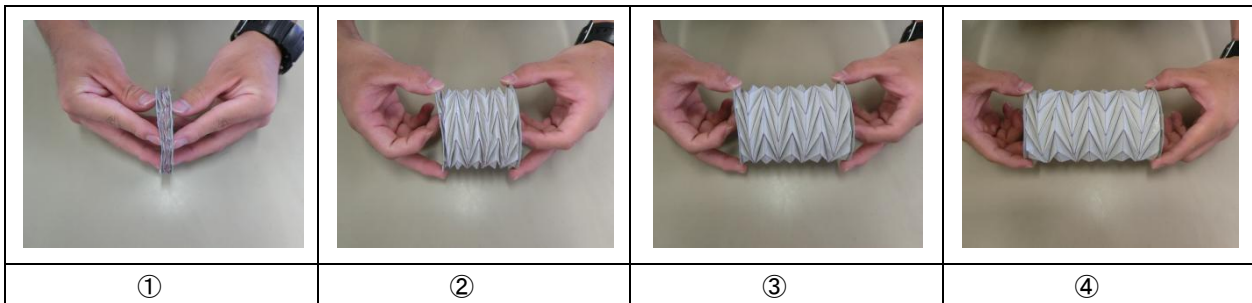


図 2：「反転らせん折り」の伸展の様子

円筒の軸方向（図 3）への伸展過程で、両端が円周方向へ回転しないことも反転らせん折りの特徴である。実際に、図 2 の①～④は、円筒の両端が回転せずに伸展しており、これは互い違いに並べた平行四辺形の各列が段ごとに逆向きに回転をすることで、全体のねじれが打ち消されるためである。

両端がねじれずに伸展するという特性は精度の高いドッキングを成功させるうえで大きなメリットとなる。仮に両端がねじれながら伸展する構造を用いると、ドッキング時に軸方向の距離が少しでもずれるだけで結合部がうまくかみ合わずに、失敗してしまう恐れがあるためである。

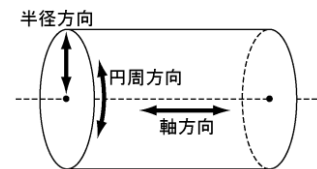


図 3：円筒の 3 方向の定義

以上の居住スペースを宇宙空間で使用するうえで必要不可欠なのが、デブリ対策となるバンパーである。本研究において、バンパーも反転らせん構造で組み立てて、居住スペースの外側を取り囲むような二重の円筒構造とし、同時伸展できる構造を考案した。

図1の展開図において平行四辺形の角度を 60° にして作製すると、折りたたんだ状態の円筒は軸方向から見ると正9角形となり、円筒の内周の直径は、外周の直径のちょうど半分となる。そこで、バンパーの板のサイズを居住スペースの板に対して相似比2倍（すなわち面積比4倍）の大きさで作製すると、居住スペースの外周とバンパーの内周が同じ形となり、折りたたんだときに無駄なスペースができない。また、同時伸展しても互いが干渉せず、噛み合うことがないため、スムーズな伸展が可能な二重円筒構造を作製することができた（図4）。伸展時にねじれないため、2種類の円筒を共通の平板に接着しても伸展に支障がないことがわかる。高さを合わせるために、バンパーの折りたたみの段数は半分にした。バンパーには、国際宇宙ステーションと同様に厚さ1.27mmの6061アルミニウム合金を用いるものとする。

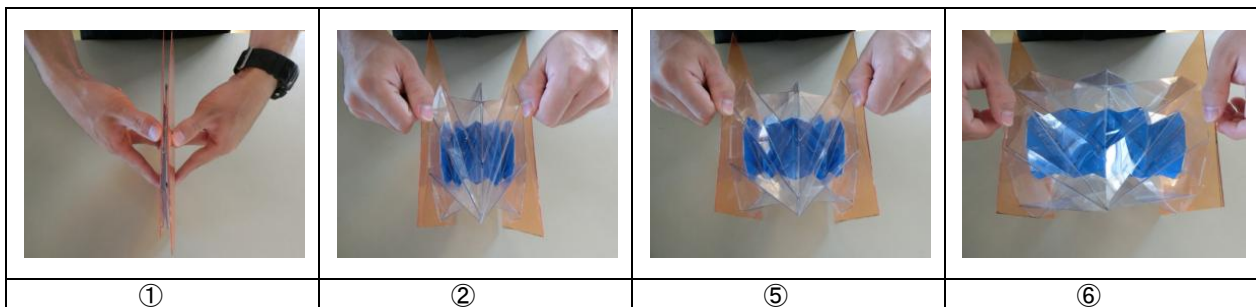


図4：二重にした「反転らせん折り」の伸展の様子（2種類の円筒は共通の平板に接着してある）

これらの大きな円筒1つ1つをモジュールと考え、複数のモジュール間は、両端同士をドッキングさせて自由につなぐことができるため、低コスト、短期間で宇宙空間での居住スペースの建設が可能になる新技術になると考える。

5. 得られる成果

- ・ 小さく折りたたんで運搬し、宇宙空間で大きく伸展することができる。
- ・ ロケットやスペースシャトルの打ち上げ回数を減らすことができる。
- ・ 建設や打ち上げのコスト、建設に必要な期間を大幅に削減、短縮できる。
- ・ 必要に応じて大きさや形が柔軟に変更できる。
- ・ バンパーも展開することで安全性も確保できる。
- ・ 火星などでも居住空間として利用することが可能である。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

- ・ バンパーを同時に展開できるため安全な居住空間である。
- ・ 反転らせん構造を居住空間に用いるアイデアは前例のない用途である。
- ・ 圧縮空気を用いることで、伸展に動力をほとんど必要としない。

7. 参考文献

- [1] 日本機械学会論文集(A編)70巻689号(2004-1) 論文No.03-0706
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaia1979/70/689/70_689_36/_pdf
 萩原 一郎・山本 千尋・陶 鑫・野島 武敏
- [2] 「宇宙ステーション入門」第2版 補訂版 東京大学出版会 327頁
 狼 嘉彰・富田 信之・中須賀 真一・松永 三郎 著

以上

第27回衛星設計コンテスト アイデアに関する説明資料
「ねじれない折り」を用いた立体建造物

長崎県立長崎西高等学校物理部

■ (図1) 「反転らせん折り」の展開図——赤(実線)が山折り、青(点線)が谷折り

