

K4-55 EC-5 ハニカム構造を用いた宇宙用軽量ロボットアームの提案

Proposal of lightweight robot arm for astronomical development by using honeycomb structure.

渡辺研究室
Watanabe lab

加藤 洋佑
Yosuke Kato

This paper proposes a novel lightweight robot arm for astronomical development by using honeycomb structure. In astronomical development, all the launched objects should possess lightweight and compact to save launch cost. For this purpose various lightweight materials have been developed. Honeycomb structure is one of such lightweight material and already used in astronomical field mainly for large panels. In this study, we propose to apply honeycomb structure to realize lightweight and compact arm.

1. 諸言

ロボットアームは人間の手に代わって、掴む、放す、運ぶなどの作業を行う機械の腕である。人間では危険な作業を正確に素早く行うため、産業の発展と共に様々な場所で使用されている。近年、それは地上だけではなく宇宙空間でも使用されていて、国際宇宙ステーションへの補給機の把持や宇宙飛行士の船外活動のサポートなどにも使われる。

宇宙航空分野では操作性の良さ以外にも、軽量であることや省スペースであるということが重要になる。特に宇宙分野では重量が 1kg 増えるだけでも打ち上げコストが 100 万近く増えてしまうと言われている。

軽量であるフレキシブルロボットアームの研究は様々な場所で行われている。しかし、軽量化による剛性の低下が問題となっている。そこで、人工衛星の構体やアンテナなどの様々な場所で使われているハニカムサンドイッチ構造のパネルをロボットアームとして使用する。それにより、軽量であり高剛性のロボットアームを作成する。

上記の事を踏まえ、この論文では軽量かつ高剛性の軽量宇宙用ロボットアームの提案を行う。

2. 目的

本研究では、従来主として板材に用いられて来たハニカム構造をロボットアームのアーム部に適応することで、軽量かつ高剛性なアーム部材を提案することが目的である。このため、以下のような検討を行い本提案の有効性を検証することが本年度の目的である。

- ① 既に実在する宇宙用ロボットアームをベンチマークとし、そのアーム部材よりコンパクトかつ軽量となるハニカム構造ベースのアーム部材を提案する。
- ② 両者の縮小モデルを用いた模型実験により、提案するハニカム構造アーム部材の優位性を検証する。

3. ハニカム構造を用いた小型軽量アームの提案

軽量をするにあたりハニカムサンドイッチ構造に着目した。ハニカム構造とは“Honeycomb”つまり、ハチの巣状の構造体である。強度をあまり損なわずに材料を減らすことが可能であり、軽量化するのに適している。ハニカム構造は既に人工衛星の構体、アンテナ、飛行機や F1 などのさまざまな場所で使用されている。¹⁾

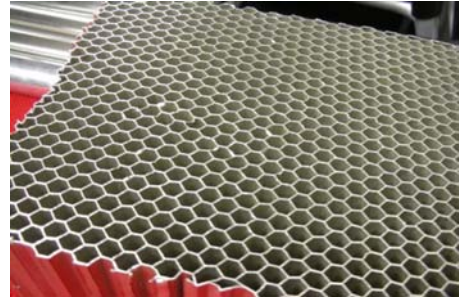


Fig1. Honeycomb structure

ハニカムサンドイッチ構造の板材は CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) を使用する。

一方、CFRP とは、炭素繊維強化プラスチックのことである。炭素繊維にプラスチック材料を含浸した後、熱して硬化させて形成した複合材料である。強度に優れており、金属と比べると同じ強度や剛性であっても軽量である。ロケットのフェアリングや 2011 年に運航を開始した B787 (ドリームライナー) の半分近くが CFRP などの複合材料で構成されているように、宇宙航空分野で多く使用されている。

しかしながら、これまでのハニカム構造の使用は平板のような比較的平たい物体に限られており、細長いアーム状の物体に適用された例は少ない。そこで、ハニカム構造を CFRP で挟み、ハニカムサンドイッチ構造としてそれをロボットアームとして使用することを提案する。



Fig.2 CFRP

4. ハニカム構造アームの評価

試験を行うための設計評価モデルの作成を行う。設計評価モデルは実際に宇宙で使用された SRMS. (Shuttle Remote Manipulator System: カナダアーム) をベンチマークとした。ベンチマークとする SRMS. のアームの大きさを以下に示す。

Table.1 Dimensions of SRMS. (2)

	Length[mm]	Diameter[mm]	Bore[mm]
SRMS.	5800	330	328.6

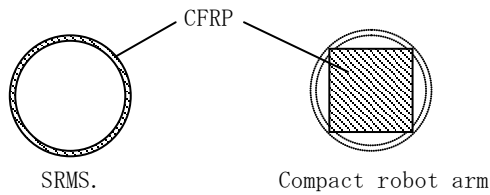


Fig.3 SRMS. and Compact robot arm

まず、省スペース化を行うために Fig.3 のように SRMS. の外形に内接する正方形の断面を考えた. どちらも CFRP で構成されているものとして, それぞれの断面二次モーメント, 重量, 断面積サイズを比較すると次の Table.2 のようになる.

Table.2 Compare SRMS. with Compact robot arm

	SRMS.		Compact robot arm
Geometrical moment of inertia	I_s	<	I_c
Weight	W_s	<	W_c
Area of cross section	S_s	>	S_c

断面二次モーメントでは Table.1 に記述した通り SRMS. の肉厚が 1.4 mm と薄いため内接するコンパクトなロボットアームの方が大きくなる. しかし, 剛性の向上の代わりに重量が増えるという欠点が出てしまう. そこで, Fig.3 の中実のロボットアームを Fig.4 のようにハニカム構造に変更することを考える.

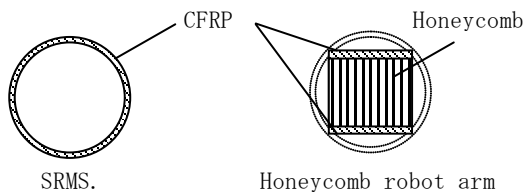


Fig.4 SRMS. and Honeycomb robot arm

これにより剛性をあまり落とさずに省スペース化が出来ると共に, 重量を減らすことが可能となる. しかしながら, ハニカム構造の等価剛性がどの程度 (具体的にはベンチマークであるカナダアームのそれ以上) 得られるかは理論的な解析は困難である. そこで, ハニカム構造でどれだけの剛性を得られるかを実験的に調べる必要がある.

完成構想図としては Fig.5 のようになる.

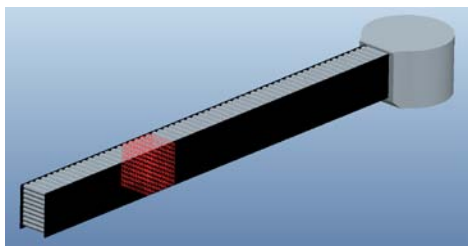


Fig.5 Honeycomb robot arm

5. 設計評価用縮小実験モデル

Fig.6 のようなロボットアームの設計評価モデルを作成しハニカム構造でどれほどの剛性が得られるかなどの試験を行う. しかし, 実際の寸法と同じ物を作るのは困難であるので, 縮小モデルでの試験を行うことにした. 剛性に影響を与える断面の縮尺を 10 分の 1 スケールとして両者のモデルを作成する. ロボットアームとして機能するアームの長さとして研究室で作成できる CFRP の長さを考慮した結果, 500mm をアームの長さとした.

以上のことより縮小モデルの設計評価モデル寸法を次のようにした.

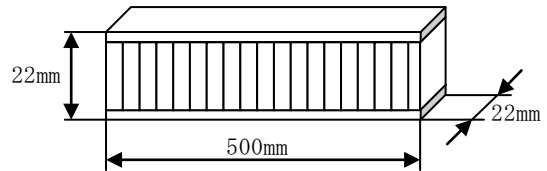


Fig.6 Mock-up

長さ 500mm, 奥行き 22mm, 厚さ 22mm を設計評価モデルの寸法とした.

まずは曲げ試験によって, ハニカムサンドイッチ構造の幅, コアサイズや個数の違いなどの特性や剛性を測り有効性を確認する. その上で実際に Fig.6 の設計評価モデルを作成して振動特性, モデル化, 制御法を考え, ロボットアームとしての問題点の発見, 追求を行っていく.

6. 試験片の製作状況

現在の製作状況としてはハニカムを CFRP で挟んだ Fig.7 に示す試験片を作成した.



Fig.7 Honeycomb sandwich panel

試験片を利用して今後はハニカムサンドイッチ構造の有効性を確認するため実験を行う.

7. 結言

実際に宇宙で使用されたロボットアームより設計評価モデルの寸法を考え, ハニカムサンドイッチ構造を用いたロボットアームの提案を行った. この提案を基に試験を行い, ハニカムサンドイッチ構造の有効性を確認した上で, 実際のカナダアームと比較検証する.

参考文献

- 1) 佐藤 孝, 1995, ハニカム構造材料の応用, 株式会社シーエムシー出版, 125-158
- 2) The Shuttle Remote Manipulator System - The Canadarm, http://www.ieee.ca/millennium/canadarm/canadarm_technical.html