

K4-68

ハニカム構造を用いた超軽量宇宙用ロボットアームの研究 Study on astronomical Ultra Lightweight Robot Arm by Using Honeycomb Structure .

○横田一太¹,池上成彦²,渡辺亨³Kazuhiro Yokota¹, Naruhiko Ikegami², Toru Watanabe³

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. Honeycomb structure is one of such lightweight material and already used in astronomical field mainly for large panels. Besides, Carbon-Fiber Reinforced Plastic (CFRP) is already known to be a lightweight and strong material. In this study, we propose to apply honeycomb structure with CFRP to realize lightweight and compact arm. A prototype using CFRP plates and aluminum honeycomb is produced and its mechanical property is investigated experimentally. The effect of cross-sectional shape and size of honeycomb core onto the mechanical property is also investigated.

1. 諸言

宇宙分野では軽量, 高強度, 省スペースであるということが重要になる。

軽量であるロボットアームの研究では軽量化による剛性の低下による破損や振動が問題となっている。そこでハニカムサンドイッチ構造をロボットアームのアーム部材に使用することを提案する。^[1]これにあたって最適と考えられる形状と, 重量を対象とした, 軽量ロボットアームの優位性を調べる。

2. 目的

ハニカムサンドイッチ構造ベースのアーム部材を提案する。また, ハニカムサンドイッチ構造の試験片による曲げ試験により, 適した形状でのアームの優位性を検証する。

3. 部材構造

本研究ではハニカムサンドイッチ構造を用いる。芯材には強度をあまり損なわず軽量化が可能なハニカム構造を, 板材は軽量で剛性が高い CFRP を用いる。^{[2][3]}

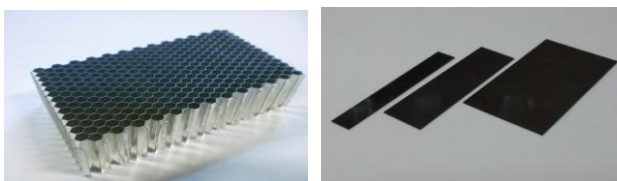


Figure.1 Honeycomb structure, CFRP

ハニカムサンドイッチ構造を細長い棒状にして

Figure.2 のようなアームを提案する。

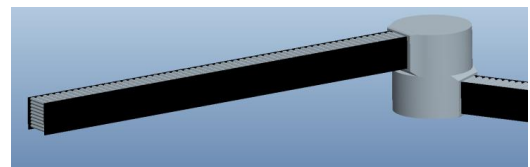


Figure.2 Honeycomb robot arm

4. ハニカムロボットアーム形状の提案

今回提案するロボットアームの断面形状について実際に宇宙で使用された SRMS (カナダアーム) を基準に考える。

まず, 省スペース化を行うために Figure.3 のように SRMS の外形に内接する正方形の断面を考えそれを Compact arm とし, 中実である Compact arm を Honeycomb arm のようにハニカム構造に変更する。これにより剛性をあまり落とさずに省スペース化すると共に, 重量を減らす。

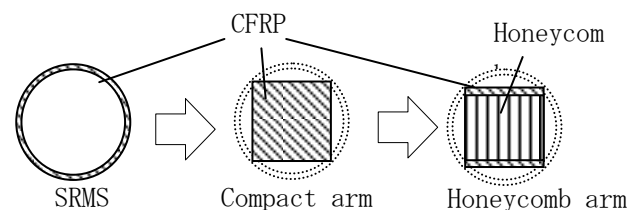


Figure.3 SRMS and Compact arm and Honeycomb arm

5. 検証試験

ハニカム構造でどれだけの剛性を得られるかを 3 点

1 : 日大理工・学部・機械 2 : 日大理工・院(前)・機械 3 : 日大理工・教員・機械

曲げ試験によって調べる。本研究で使用する試験片の寸法を以下に示し、コアサイズ 3.2mm，幅 22mm，厚さ 22mm を基本形状として検証結果を論ずる。

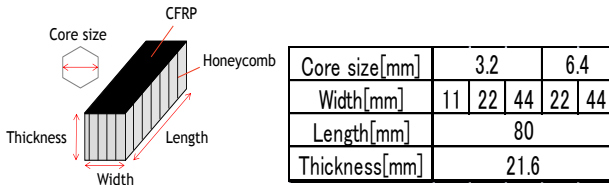


Figure.4 Test piece

引張圧縮試験機により曲げ試験を行う。試験は 1 パターンの試験片につき 3 回行い、試験片にたわみを与える速度は 1mm/min とする。

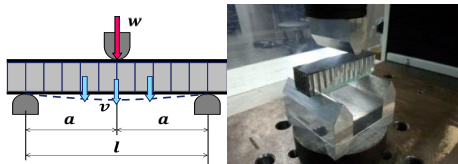


Figure.5 Bending test

曲げ剛性EI，荷重w，たわみvの関係は次式で表され、この式を用いて曲げ剛性を求める。^[4]

$$v = \frac{\sqrt{3}}{27} \times \frac{wa(l^2 - a^2)^{3/2}}{EI \times l} \quad (1)$$

6. 試験結果

1 つの結果として、基本形状での試験結果を以下に示す。

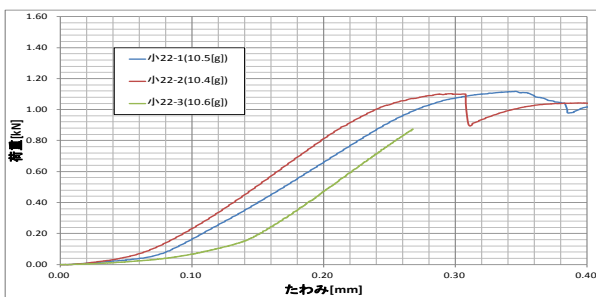


Figure.6 Core 3.2[mm],Width 22[mm] result

次に、Figure.6 の結果から導き出した表を以下に示す。

Table.1 Test result

Core size[mm]	3.2		6.4		
Width[mm]	11	22	44	22	44
Thickness[mm]	21.6				
Aspect ratio[-]	0.51	1.02	2.04	1.02	2.04
Weight[g]	4.93	10.5	22.07	9.03	19.77
Bending stiffness[N·m ²]	7.87	25.54	45.26	12.96	24.97
Bending stiffness par weight[N·m ² /g]	1.6	2.43	2.05	1.44	1.26

まず、基本形状の試験片を基準として幅と曲げ剛性の関係を見ると、幅 11mm では曲げ剛性は約 70%減少、幅 44mm では約 77%増加となった。コアサイズ 6.4mm の場合、幅が2倍になると曲げ剛性も約2倍になった。ここで、アスペクト比と単位重量当たりの曲げ剛性の関係を Figure.7 に示す。

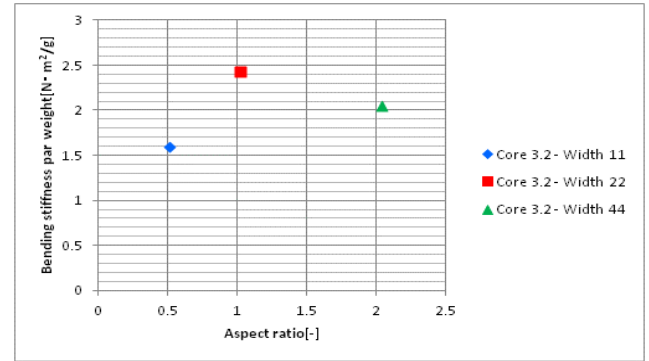


Figure.7 Relation between Bending stiffness and Weight

コアサイズ 3.2mm のときのアスペクト比の比較を行う。単位重量当たりの曲げ剛性の結果を見ると、アスペクト比が 1(正方形)に近い方が単位重量当たり高い曲げ剛性を得ることがわかった。コアサイズ 6.4mm のときも同様のことがいえる。

これらの結果から、ハニカムアームにおいて断面が正方形であることの優位性が確認できたことから、ハニカムサンドイッチ構造をアームとして用いることは合理的であると考えられる。ただし、アスペクト比が 1 に近いと効率的となる力学的な理由は不明であり、かつ実験条件も完全には一致していないため、今後理論的ならびに厳密な実験的検討が必要である。

7. 結言

検証試験より、ハニカムサンドイッチ構造のアスペクト比と単位重量当たりに得られる曲げ剛性の特性を得る事ができ、その結果、アスペクト比が 1 に近いと剛性/重量比が最も高くなる事が確認された。

今後はコア端部の影響なども考慮したより厳密な実験を行い、この効果を検証していきたいと考えている。

8. 参考文献

- [1] 宮入 裕夫：サンドイッチ構造，養賢堂，P21，2008
- [2] 佐藤 孝：ハニカム構造材料の応用，株式会社シーエムシー出版，P125-158，1995
- [3] 石崎 澁雄：軽量構造の力学，コロナ社，P356，1966
- [4] 新沢 順悦 他，例題演習 材料力学，P75，1985