

Basic Experiment of the Automatic Assembly robotics for SPS

Kimiko Kimata ¹⁾, Hirohisa Kojima ¹⁾, Makoto Nagatomo ²⁾

1) Department of Aerospace System Engineering
Tokyo Metropolitan Institute of Technology

2) Space Power System Research Section
Space Application Division
Institute of Space and Astronautical Science

E-mail: kimata@spss.isas.ac.jp

Fax:042-759-8464

Abstract:

Large space structures of the future like solar power satellites will be built in space by robotics for safety and cost reduction. Among various problems to be considered for designing this type of robotic assembly system, we studied two critical problems. One is verification of the functions of these systems on the ground. Robots for assembling work in weightlessness condition of space will have to be tested on the ground under the earth gravity condition, generally using huge and expensive equipments. Our study was intended to make it possible without such simulators. The other is concerning effective power utilization systems consisting of a solar power and assembly and control subsystems. We tried to apply a pneumatic system for actuators for assembly.

We made an automatic assembly robot that can be applied for an actual system to be used in space. The robot has three features. First, it had a weight-balancing-mechanism that can compensate gravity forces caused by masses of moving elements of the assembly system. Second, we made a pneumatic system provided with closed pressure system with gas bottles to store energy in the form of pressure. Third, it was designed to be operated solely with solar power supplied by solar cells as in space.

This report summarizes some results of experiments that demonstrated effective operations of the weight-balancing-mechanism and pneumatic actuators.

太陽発電衛星をモデルとした自動組立装置の基礎実験

木俣喜美子¹⁾、小島広久¹⁾、長友信人²⁾

1)東京都立科学技術大学工学部、2)文部省宇宙科学研究所

E-mail: kimata@spss.isas.ac.jp

FAX: 042-759-8464

1. 序論

太陽発電衛星 SPS2000 ような大型宇宙構造物は軌道上での建設が必要となる。経済性・安全性を考慮すると、その建設は自動組立ロボットを用いることが想定されている[1]。このような自動組立ロボットには様々な問題点が考えられているが、本研究では、特に以下の2点について研究を行った。

第1点は、地上動作試験における微小重力状態の模擬である。自動組立ロボットに限らず、宇宙空間のような無重量環境で用いられる機械システム(以下宇宙機械システムという)は、ミッション達成のために高信頼性が要求されることから、実際に軌道上で運用される前に地上で動作確認試験が必要である。動作確認試験での宇宙環境の模擬のうち重要なもののひとつとして微小重力環境の模擬がある。通常、地上動作試験における重力補償には、例えば水中に装置を沈める浮力方式、ワイヤーで装置の各部分を吊り下げる吊り下げ方式、飛行機の弾道飛行による慣性補償方式、カウンターマスで重力を補償するカウンターマス方式などの方法がある。しかし、これらの方式ではたいていの場合、複雑で大掛かりな外部の実験装置が必要となってしまう。

第2点は、宇宙機械システムの問題点の1つとしてエネルギー供給法・利用法である。打ち上げコストを抑えるため、宇宙機械システムは質量や容積をできるだけ小さくする必要がある。そこで、システムには大きくて重いバッテリーを積まず、またシステムの大型化を避けるため太陽電池もできるだけ小さくすることが望ましい。そこで、システムの消費エネルギーをできるだけ小さくすることが必要である。また、バッテリーを積まないことから、宇宙機械システムは単位時間あたりの消費電力を平均化して余剰電力を作らず、また、その時々が発電量に応じて仕事量に変化するようなシステムであることが望ましい。

以上をふまえて、本研究では太陽発電衛星 SPS2000 をモデルとした大型宇宙構造物自動組立装置の基礎的な実験のための装置を製作し、各機能の実証試験を試みた。装置には、第一に「重力キャンセル機構」と呼ぶ、滑車の原理を用いた重力補償機構を装置内部に組み入れた。この機構を採用すると、外部実験装置を使わずに地上動作試験時に無重量状態を模擬することができる。また、地上動作試験時の設備をそのまま軌道上でも使えるので、システムに高い信頼性が期待できる。第二に、バッテリーは使用しないシステムとし、軌道上での動作を模擬するため装置の動力源を太陽電池のみとした。また、動作制御においても、軌道上での動作を模擬して、外部から信号入出力独立したシステムとした。第三に、アクチュエータの一部に圧縮空気を用いたシステムを採用した。従来、宇宙用機器には用いられてこなかった空気圧を使ったシステムの宇宙での利用について考察する。太陽電池で発電した電気エネルギーを空気圧エネルギーに変換することにより、単位時間あたりの消費電力を平滑化することが期待できる。

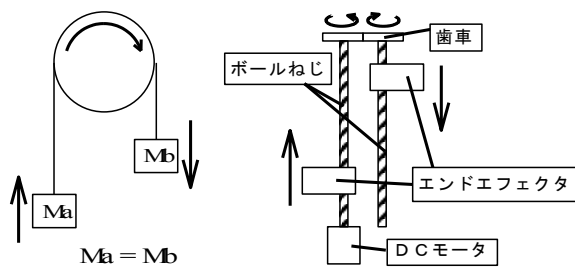
本報告では、特に、重力キャンセル機構の効果と、空気圧システムを用いたことによる消費電力の平滑効果について述べる。

2. 自律型太陽発電衛星自動組立装置

2.1 重力キャンセル機構の原理

図1に重力キャンセル機構の原理を示す。図1(a)に示すように、定滑車の両端に同重量のおもりをつるし上下に動かすとき、滑車の回転トルクには重力による影響は現れない。この原理を図1(b)のように2本の平行なボールねじと歯車からなる機構で実現した。一方のボールねじの下端に取り付けたDCモータでボールねじを回転させ、ナットと一体化しているエンドエフェクタを上下に動かす。重力の影響をすべてキャンセルできていれば、エンドエフ

ェクタにかかる荷重に関わらず、モータの発生トルクは常に等しい。



(a) 滑車の原理 (b) 実現方法

図1 重力キャンセル機構の原理

2.2 装置の概要

開発した装置を「自律型太陽発電衛星自動組立装置」と呼び、図2に概観を示す。本装置は、約3.5m×2.5m×2.0m(H×W×L)の大きさであり、直径22mm×長さ1.0mの棒状の部材を長手方向へ接続・伸展する。組立はシーケンス制御で行い、図3のように、まず部材接続準備のためのカートリッジを移動し、次にエンドエフェクタで部材をつかみ、つかんだままでカートリッジ内の部材と接続、最後に伸展という順序を5回くり返す。部材同士の結合部分には押しつけるだけで接合可能なジョイントを採用した。装置が消費する電力はすべて太陽電池で発電し、全3個のモータへ配分する。

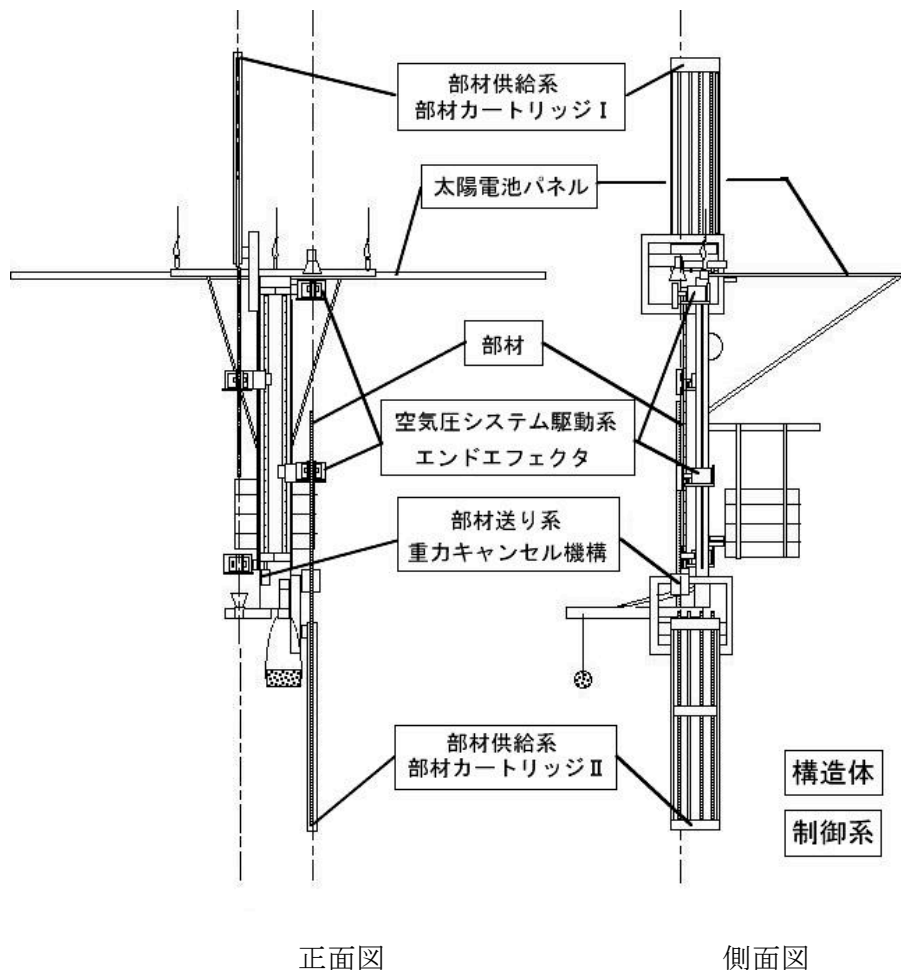


図2 自律型太陽発電衛星自動組立装置の概観図

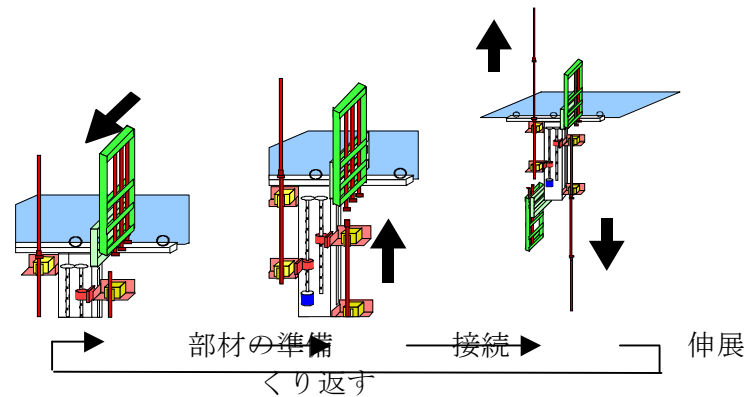


図3 組立シーケンス

空気圧システムは図4に示すように、空気圧縮機で、電気エネルギーを空気の圧力エネルギーに変え、圧縮空気を高圧タンクに蓄積して必要に応じてエンドエフェクタの開閉にエネルギーを用いる。宇宙空間での状態を考察するため、全体を閉回路にした。

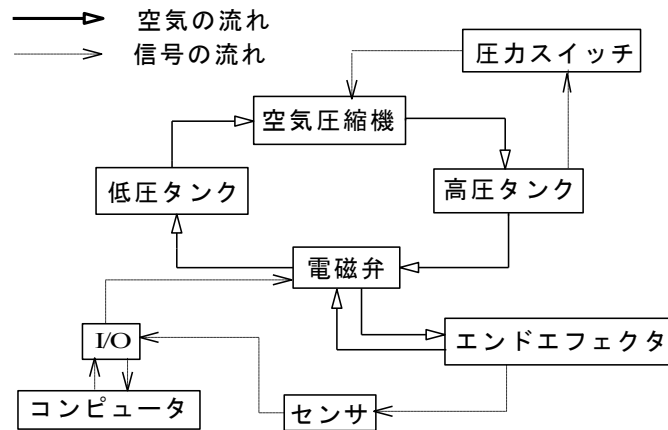


図4 空気圧系系統図

3.実験と結果

3.1 重力キャンセル機構の効果

図5に重力キャンセル機構の効果を現すグラフを示す（文献[3]より抜粋）。一般にDCモータの消費電流 I [A]と発生トルク T [Nm]には、トルク定数を K_m [Nm/A]とすると次のような比例関係がある^[4]。

$$T = K_m \cdot I \quad (1)$$

従って図5の縦軸はモータの発生トルクに置き換えてみる事ができる。重力の影響が全く現れなかった時の値を理論値とする。このグラフから荷重をバランスさせたときは明らかに重力の影響を軽減できていることがわかる。また、理論値と比べやや重力の影響が残るが、これはボールねじとナットなどの構成要素間に働く重力に起因する摩擦力の影響と思われる。

3.2 全体の消費電力と電力配分

図6に全体の消費電力と電力配分のグラフを示す。黒い部分が空気圧系の消費電力、その中の白矢印

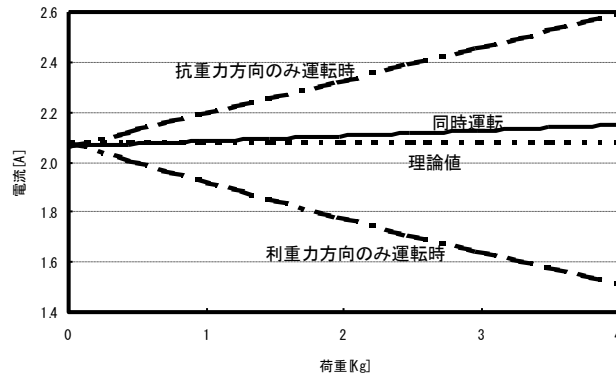


図5 重力キャンセル機構の効果

はアクチュエータの動作点である。灰色の部分には図5で示したDCモータの消費電力、白い部分はビーム供給装置とコンピュータを含めた制御系の消費電力である。電力消費は図5のDCモータの動作点において、急激に大きくなっていることがわかる。空気圧システムを用いた部分では突発的な電力消費がない。このことから、空気圧システムは消費電力のピーク値を押さえる効果があるといえる。

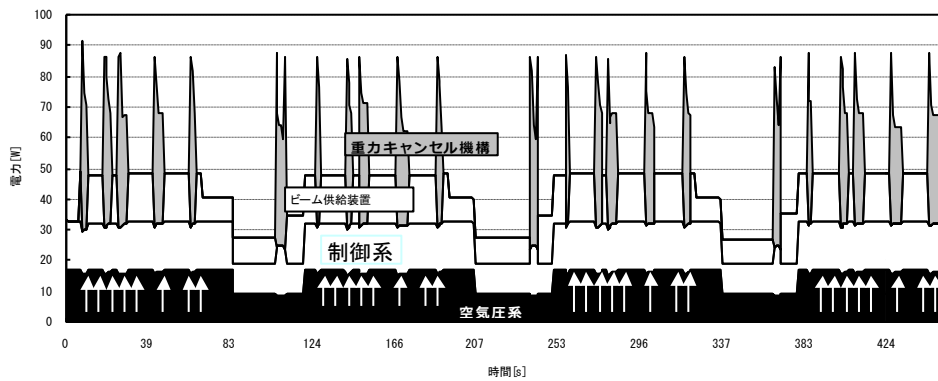


図6 組み立てを行ったときの全体の消費電力

4. 結論

重力キャンセル機構を取り入れた大型宇宙構造物自動組立装置の地上実験装置を製作し、その効果を確かめることができた。空気圧システムを用いることにより、消費電力の平滑化をはかることができた。また、電力供給を太陽電池のみとし、外部からの信号入力なしで決められたシーケンスでの組み立てを行う自律制御を実現することができた。今後、軌道上で同様な機能を持つ機械システムの実現方法について検討する予定である。

参考文献

- [1] 太陽発電衛星ワーキンググループ SPS2000 タスクチーム "SPS2000 概念計画書 暫定盤" 宇宙科学研究所 1993年7月
- [2] 稲垣直寛 "重力を内部でバランスさせる機構を持つトラスビーム自動組立機械の試作と評価" 東京大学修士論文 1997年2月
- [3] 長川智憲 "重力相殺型太陽発電衛星自動組立機械の地上実験" 東京都立科学技術大学卒業論文 1999年3月
- [4] 谷腰欣司 "モータをまわすための回路技術" 日刊工業新聞社 1993年11月