

## スカラロボットによる惑星探査ローバーの重心制御

機械航空システム制御研究室 1170174 米田 政耶

## 1. 緒言

現在本研究室には Fig.1.1 のような惑星探査ローバーの試作機が存在する。月や火星等の地表は低重力であり、細かな砂で覆われた軟弱地盤に岩等が点在する不整地である。そのため、サスペンション機構などを用いて走行安定性を高める必要がある。本試作機では、アクティブサスペンションとして重りを用いた二次元重心位置能動制御機構を採用している。

実際の惑星探査を想定した場合、重りによる機体の重心制御は実現的でない。重心部として新たに重量のあるものを搭載するのであれば、ローバーに必要な機構を重りとして移動させることが望ましい。本研究はマニピュレータによる機体の重心制御機構を構想し、実機の開発を目的とする。

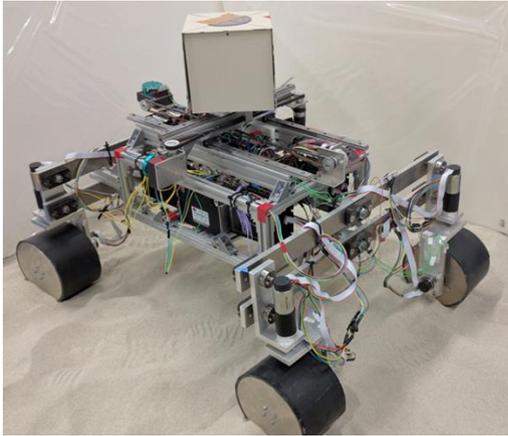


Fig.1.1 Prototype of Planetary Exploration

## 2. マニピュレータ型重心制御機構の開発

搭載するマニピュレータの形状を使用する際以下の3点を基準に考えた。

1. 構造が簡単である機構
2. 重心が高くならない機構
3. 先端に質量が掛かっても耐えられる機構

以上3点を考慮した結果マニピュレータの形状をスカラロボット型にしようと考えた。スカラロボットの特徴は並進機構のため構造が複雑でなく、高さ方向の変化がない。また、手先に部品が集中しているため先端に質量が集中しても耐えられる機構である。

設計仕様については以下に決定した。

- 1 リンクの数2リンク
- 2 重心可動域は  $x, y = \pm 0.0714\text{m}$  以上
- 3 アーム重量は  $15\text{kg}$  以下

次に仕様2を満たすため、スカラロボットによるの重心移動の最大値の計算を行った。計算には(1)、(2)式を使用した。なお各パラメータは Table. 2.1 に示す

$$G_x = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4}{m_0 + m_1 + m_2 + m_3 + m_4} \quad (1)$$

$$G_y = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + m_4 y_4}{m_0 + m_1 + m_2 + m_3 + m_4} \quad (2)$$

次に Fig. 2.1 のようなスカラロボットの簡略図を考え、各リンクの回転角と各質点の位置との関係式を以下の (3)～(10) 式の様考えた。なお今回リンクの重心位置は各リンクの中心部とした。

$$x_1 = \frac{L_1}{2} \cos(\theta_1) \quad (3)$$

$$y_1 = \frac{L_1}{2} \sin(\theta_1) \quad (4)$$

$$x_2 = L_1 \cos(\theta_1) \quad (5)$$

$$y_2 = L_1 \sin(\theta_1) \quad (6)$$

$$x_3 = L_1 \cos(\theta_1) + \frac{L_2}{2} \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (7)$$

$$y_3 = L_1 \sin(\theta_1) + \frac{L_2}{2} \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (8)$$

$$x_4 = L_1 \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (9)$$

$$y_4 = L_1 \sin(\theta_1) + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (10)$$

重心位置を計算するためには、リンクの長さや各部の質量が必要である。よって今回は、実際に入手可能な部材からリンクの長さや重さを選定した。なおリンクの長さは式(1)、(2)を、用いて求めた。計算条件は以下の3点である。

- 1 スカラロボットの姿勢は x 軸上でアームが伸びきった時
- 2 重心座標の x 成分の値が  $0.0714\text{m}$  以上
- 3 各リンクの長さは同じ ( $L_1=L_2$ )

その結果、全長  $0.74\text{m}$  以上のとき仕様を満たせた。

しかし中心部に重心をプロットすることができなかったよって、リンクの長さを再検討することでこの問題を解決した

スカラロボットの最小の重心位置となる姿勢は第2リンクの回転角が  $\pm 180^\circ$  の時である。またスカラロボットの全長は前文で定めた仕様と同値となる長さ  $0.74\text{m}$  とする。その結果、 $L_1=0.29\text{m}$   $L_2=0.45\text{m}$  となった。以上過程より、スカラロボットの各部の寸法と質量が決定した。

次に重心制御方法について検討した。Fig. 1.1 に示したローバー試作機の重心制御方法により、接地圧から目標とする重心位置を求める方法は存在するため、今回は既に目標の重心位置が求まっていると仮定する。スカラロボットによって機体の重心を目標位置に移動させるには、目標の重心位置から各リンクの回転角を導出する式が必要である。前述した(1)、(2)式から以下のように計算式を導出した。<sup>(2)</sup>

(1)～(8)式を(9)、(10)式に代入し、定数を(11)(12)(13)のように置いた。

$$A = 0.5m_1 L_1 + m_2 L_1 + m_3 L_1 + m_4 L_1 \quad (11)$$

$$B = 0.5m_3 L_2 + m_4 L_2 \quad (12)$$

$$M = m_0 + m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \quad (13)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{A \sin \theta_2}{A + B \cos(\theta_2)}\right) \quad (14)$$

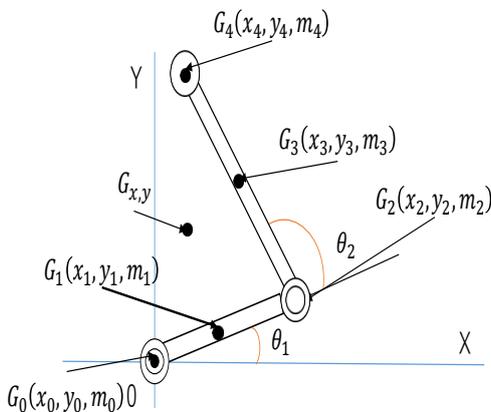
と定まった。右辺に第二リンクの回転角が含まれるため、それについて求める。(19), (20)式を2乗し、足し合わせた後整理する。

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{(M^2 G_x^2 + M^2 G_y^2) - (A^2 + B^2)}{2AB}\right) \quad (15)$$

本研究では機体重心制御の式を以上の様に決定した。

Table.2.1 Simplified diagram parameter

G <sub>0</sub>	Origin [m]
G <sub>1</sub>	First link center of gravity position[m]
G <sub>2</sub>	Center of joint position [m]
G <sub>3</sub>	Second link center of gravity position[m]
G <sub>4</sub>	Position of the center of gravity of the hand[m]
G <sub>x,y</sub>	Center of gravity of the aircraft[m]
m <sub>0</sub>	Weight of traveling part [kg]
m <sub>1</sub>	Weight of first link [kg]
m <sub>2</sub>	Joint weight [kg]
m <sub>3</sub>	Weight of second link [kg]
m <sub>4</sub>	Weight of the hand [kg]
L <sub>1</sub>	First link length [m]
L <sub>2</sub>	Second link length [m]
θ <sub>1</sub>	First link rotation angle [rad]
θ <sub>2</sub>	Second link rotation angle [rad]



3. スカ

ラロボット型重心制御機構の製作

Fig. 3.1 に示したものが今回製作した機体である。Fig. 3.2 に寸法を示す。また各部材の実際の寸法と質量を Table. 3.1 に示す。

今回各部の寸法、質量を前述した計算手順で求めたが、部品の加工限界や構造の関係上、設定した数値との誤差が生まれた。実際の寸法、質量から重心の最大、最小変化の値を計算した結果、最大=±0.0743m, 最小=±0.0032m となった。また関節を支持する機構をリンク上部に取り付けたため Fig. 3.3 に示すように、第2リンクの回転角に制限が生まれた。制限される角度は分度器を用いて測定を行った。その結果、回転可能角度=±165° となった。この制限により今回の機体では、最小の重心位置が x, y=±0.00835m となった。

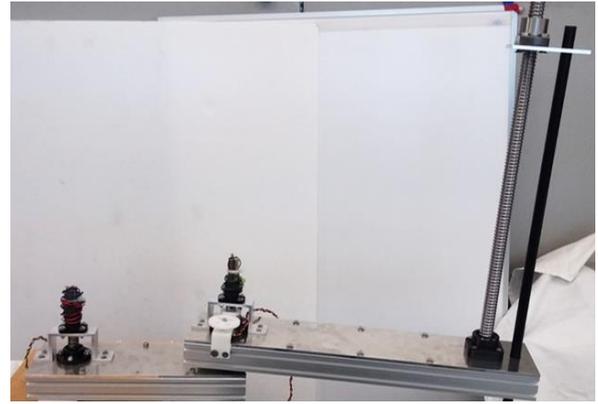


Fig.3.1 Produced SCARA robot

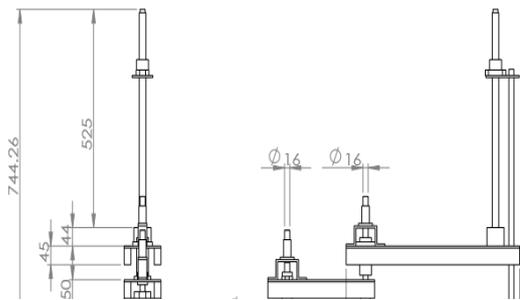


Fig.3.2 Overall dimensions of the manufactured SCARA robot

4. まとめ

本研究では、スカラロボットを用いた探索ローバーの重心制御の構想を示した。今回はその実現のため重心制御有効な機体の設計するために必要な計算式を示した後、それに基づき機体の重心制御機構を考案した。

本研究での最終目標は Fig. 1.1 に示した惑星探索ローバーの試作機に今回製作したものを搭載させ、環境の変化に応じた重心制御システムの開発に臨むことである。今回製作した機体は回転角度に制限があった。それにより、重心移動位置の最小値が中心部に持っていく事が出来なかった。今後は機体の回転機構を再検討し、回転角度の制限を無くす。

参考文献

(1). 田中 耕治 2017/02/09  
「2次元重心位置の制御が可能な不整地走行用ローバー」  
(2) 片岡 直之「三度の飯とエレクトロン」2017/02/09  
<http://blog.katty.in/390>  
<http://blog.katty.in/391>

Fig.2.1 Simplified drawing of SCARA robot