

四足型ロボットによる脚部の制御

鳴門教育大学 技術教育講座
伊藤研究室

1. 制御対象とする四足型ロボット

高い完成度と取り扱い上の安全性及び容易性，ロボットの制御用プログラム開発環境を考慮し，本研究では，図1に示す四足歩行可能な犬型ロボット(ソニー製 AIBO ERS-7)を制御対象とする。図1に示すように各脚部には，付け根の関節に自由度2 (J_1, J_2)，膝の関節に自由度1 (J_3)を与える3個のモータを備え，合計12個の関節角を制御して四足歩行を実現する。各モータはPID制御によるサーボ機構を有している。

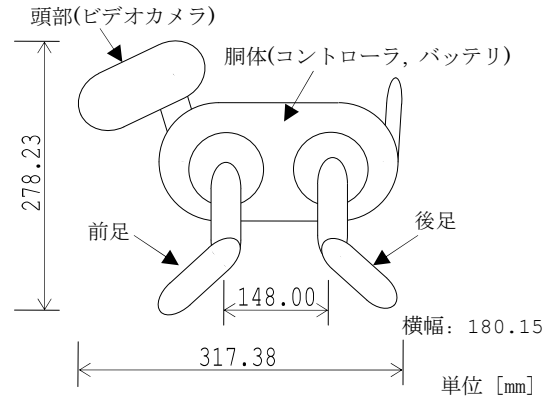


図1 四足型ロボットの標準姿勢における概略外形

2. 四足型ロボットの脚部に関する運動学

歩行パターン・データは脚部先端の座標値の集合であり，歩行制御用プログラムは規定された時間間隔で脚部先端を指定された座標位置に制御する。本節では，運動学に基づき脚部先端の接地点 P と脚部を構成する関節の制御角を求める。

図3に示す脚部は左側後足を示し， x 軸(前後方向)の後方， y 軸(左右方向)の左側(外側)， z 軸(垂直方向)の上方をそれぞれ正とする(図2参照)。 $\overline{OJ_3}$ と $\overline{J_3P}$ の長さをそれぞれ l_1, l_2 とし，関節 J_i ($i=1,2,3$) の関節角を θ_i とする。ここで， l_1 と l_2 が $x-z$ 平面にある状態 (OJ_3P') では， J_1 における l_1 の z 軸の負方向(下向き)からの回転角度を θ_1 ， J_3 において l_1 に対する l_2 の回転角度を θ_3 とし， J_1 と J_3 で脚の角度を範囲内で変えることができる。 J_1 と J_3 で構成される可動面は， J_2 を用いて x 軸を中心として回転でき， θ_2 はその可動面と $x-z$ 平面のなす角度である。本ロボットの機構上，各関節角は $-135^\circ \leq \theta_1 \leq 120^\circ$ ， $-15^\circ \leq \theta_2 \leq 93^\circ$ ， $-30^\circ \leq \theta_3 \leq 127^\circ$ に制限されている。

接地点 P が $x-z$ 平面にある状態を P' とし，それぞれの座標値を (x_p, y_p, z_p) ， $(x'_p, 0, z'_p)$ とする。 P から $\overline{OJ_3}$ の延長線上にひいた垂線の足を Q とし， Q が $x-z$ 平面にある状態を Q' とする。 Q と Q' の座標値をそれぞれ (x_q, y_q, z_q) ， $(x'_q, 0, z'_q)$ とする。さらに， $L = \overline{OQ} = \overline{OQ'}$ $= l_1 + l_2 \cos \theta_3$ と定義する。

順運動学により3つの関節角をそれぞれ $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ に制御するとき， $x'_q = L \sin \theta_1$ ， $z'_q = -L \cos \theta_1$ より

$$x_q = L \sin \theta_1 \cos \theta_2, \quad z_q = -L \cos \theta_1 \cos \theta_2 \quad (1)$$

となる。 P' と Q' の座標差は，

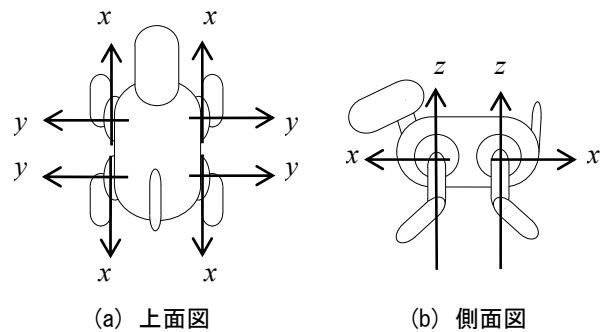


図2 各脚部の座標系

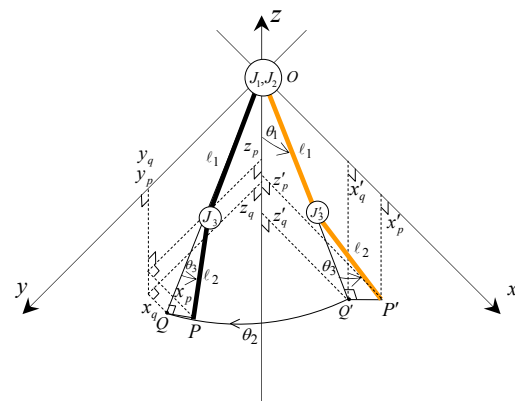


図3 脚部の関節 (脚部 $\overline{OJ_3P}$ は， θ_1, θ_3 を一定にした状態で， J_1 と J_3 で構成される可動面を y 軸側(外側)に開くように $x-z$ 平面上の $\overline{OJ_3Q'}$ を θ_2 だけ回転している。)

$$\Delta x_{pq} = x'_p - x'_q = \ell_2 \sin \theta_3 \cos \theta_1 \quad (2)$$

$$\Delta z_{pq} = z'_p - z'_q = \ell_2 \sin \theta_3 \sin \theta_1 \quad (3)$$

であり, $\angle J_3QP$ は直角であるから, P の座標は,

$$x_p = x_q + \Delta x_{pq} = L \sin \theta_1 \cos \theta_2 + \ell_2 \sin \theta_3 \cos \theta_1 \quad (4)$$

$$z_p = z_q + \Delta z_{pq} = -L \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \ell_2 \sin \theta_3 \sin \theta_1 \quad (5)$$

$$y_p = y_q = L \sin \theta_2 \quad (6)$$

で与えられる。

一方, 接地点 P を (x_p, y_p, z_p) に位置決めする関節角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ を求める逆運動学問題は, 式(4)~(6)で示される非線形連立方程式となる。脚部関節の構成 ($\overline{OJ_3P}$) が図3に示す幾何学的配置の場合, 式(7)~(9)のように解析的に関節角を求めることができる。

$$\theta_3 = \pm \cos^{-1} \left(\frac{x_p^2 + y_p^2 + z_p^2 - \ell_1^2 - \ell_2^2}{2\ell_1 \ell_2} \right) \quad (7)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{y_p}{L} \right) \quad (8)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{x_p}{-z_p} \right) \mp \cos^{-1} \left(\frac{L \cos \theta_2}{\sqrt{x_p^2 + z_p^2}} \right) \quad (9)$$

ここで, 複号は同順である。

以上.