

# ロボットの直線移動のための軌道生成に関する基礎研究 (第2報)

日高良和\*

## Study on Trajectory Generation for Linear Motion of Robot (2nd Report)

Yoshikazu HITAKA

### Abstract

A PTP (point to point) control is used for a trajectory control of a robotic manipulator. When a robotic manipulator moving between work points, the trajectory of a robotic manipulator has an indefinite path. This paper presents a rectilinear interpolation method for a trajectory generation of a robotic manipulator points of which all joints are rotational. The coordinates of interpolation points are given by dividing a segment which between a start point and a end point of an extreme robot arm, into N equal-length portions. The trajectory generation is applied to the two-degree of freedom articulated robot driven by step motors trajectory control. Through experiments, it is verified the proposed approach.

### 1. はじめに

ロボットアームの手先をある点から目標点まで移動させる場合の経路制御方式として、目標点への到達のみを目的として、その途中の動作経路については問題としない PTP (Point to Point) 制御と全経路が連続的に指定されている CP (Continuous Path) 制御がある。また、ロボットを実際に動作させるためには、ロボットの動作に必要な作業ポイントや作業順番などのデータをロボットコントローラに記憶させるティーチング (教示) という作業が必要である。CP 制御方式のロボットコントローラではロボットの作業経路をすべて指定しなければならないので、ティーチングに多くの時間とティーチング作業者の熟練が必要になる。それに対して、PTP 制御方式では、作業に必要な最低限の位置情報を入力すればよいのでティーチング作業の低減が図れる。しかしながら、この PTP 制御方式では、実際にロボットアームを動作さ

せたとき、どのような軌跡を描くかがわからないため、ロボットアームがロボットの周辺に配置された装置や治具に衝突するという危険性がある。このような場合は、作業ポイント以外に衝突回避のためのポイントを取る必要があり、やはり、ティーチング作業者の熟練が必要になる。

そこで、作業位置のティーチング回数が少なく、しかもロボットアームの経路が想定しやすい経路制御が必要となる。この経路制御方式として、我々は、経路の想定が容易であり、始点と終点の取り方によっては曲線に近い経路も実現可能である直線経路を対象にし、ロボットアームが直線移動する場合に、その直線の始点と終点との間に中間目標点を用意して、ロボットアームが順番に、この中間目標点へ向かうように PTP 制御を行う経路制御を提案した。<sup>(1)(2)</sup>その結果、中間目標点のある程度の個数取れば、ロボットの手先は直線移動できることがシミュレーションで確認できた。本論文では、オープンループ制御可能なステッピングモータを用いた 2 自由度水平多関節ロボットを試作して、この直線経路制御方式による直線移動動作を行った。この制御方式には、ロボットの

\*宇部工業高等専門学校電気工学科

ダイナミクスをまだ考慮していないため、ロボットの関節角度を十分な時間間隔をおいたステップモータの間欠動作によって変化させた。ロボットは中間目標点数の増加によって、ほぼ直線的に動作することが確認できた。

## 2. ロボットの関節角度と手先位置

図1に示すようなX-Y平面内を動く2自由度のロボットアームの各関節の角度とアーム先端位置との関係は、

$$\left. \begin{aligned} x &= R_1 \cos \theta_1 + R_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \\ y &= R_1 \sin \theta_1 + R_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

となる。ここで、 $R_1$ 、 $R_2$ は第1、第2アームの長さ、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ は関節 $J_1$ 、 $J_2$ の回転角である。

関節角度が与えられたときには、それに対応する手先位置が(1)式により一意に定まる。しかし、ロボットで作業をするためにティーチングを行うとき、その入力データは関節角度やアーム長ではなく、手先位置や姿勢であることが一般的である。したがって、与えられた手先位置に対して、(1)式を満足する関節角度を求めなければならない。

(1)式から関節角度を求める式を導出する。このとき、手先位置が

$$(R_1 - R_2)^2 \leq x^2 + y^2 \leq (R_1 + R_2)^2 \quad (2)$$

$$x^2 + y^2 \neq 0 \quad (3)$$

を満足するならば関節角度が存在する。しかしながら、この条件だけではアームの姿勢(手先の方角)は指定できず、各関節の回転角度が2組得られる。そこで、回転角度が1組だけ決定できるように、次のような動作条件を付ける。

- I) 座標系は右手系座標とする。
- II)  $\theta_1$ のとれる範囲を  $-\pi \leq \theta_1 \leq \pi$  とする。
- III)  $\theta_2$ のとれる範囲を  $0 \leq \theta_2 \leq \pi$  とする。

条件II)、III)は、ロボットの構造で決まる条件であり、実際のロボットではアームやアクチュエータの干渉、配線、配管の都合から上記の条件を満たすことは難しいが、ここではロボットアームの運動のみに注目するとして、この条件を用いる。

これらの条件を考慮して(1)式から回転角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ を求めると次式のようになる。

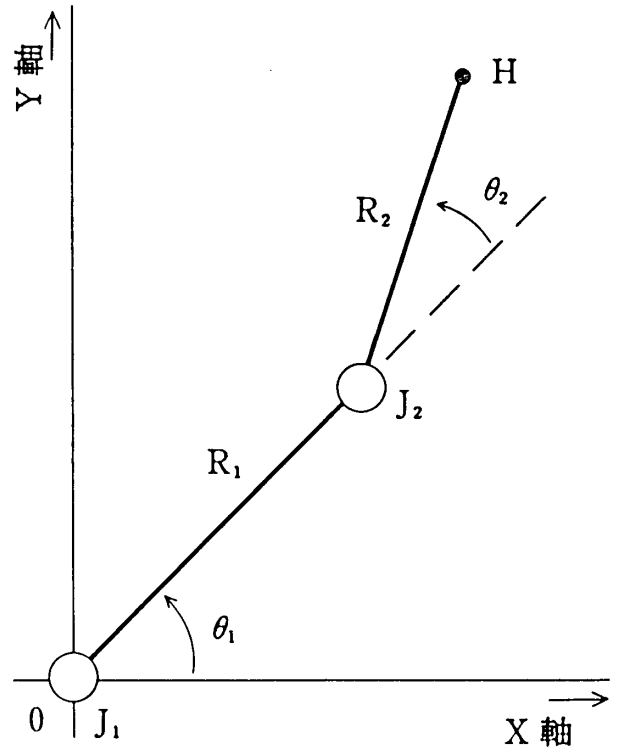


図1 2自由度水平多関節ロボットモデル

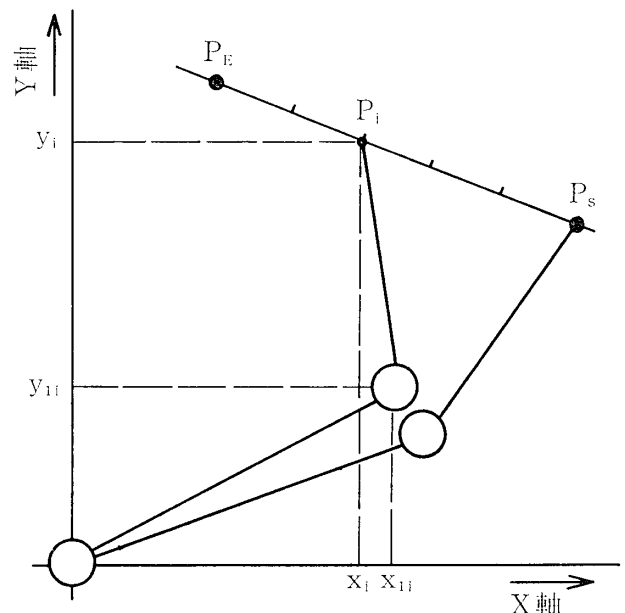


図2 ロボットの直線移動

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{y \cdot p - x \cdot q}{p(x \cdot p + y \cdot q)} \quad (4)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{x^2 + y^2 - R_1^2 - R_2^2}{2R_1 \cdot R_2} \quad (5)$$

ただし、 $p=R_1+R_2\cos\theta_2$ 、 $q=R_2\sin\theta_2$

### 3. 経路生成方法

ロボットアームが直線移動する場合に、その直線の始点と終点との間に中間目標点を用意して、ロボットアームが順番に、この中間目標点へ向かうようにPTP制御を行う。ここでは、その移動に必要な中間目標点の算出方法とその中間目標点を実現するための第1アームの座標及び、各関節角度の算出方法について述べる。

#### 3.1 中間目標点の算出方法

図2に示すように、現在位置 $P_s(x_s, y_s)$ から最終目標位置 $P_E(x_E, y_E)$ まで直線移動するために2点間を直線で結び、この区間を $N$ 等分割して中間目標点 $P_i$ として新しい座標 $(x_i, y_i)$ を生成するとその値は、

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_s + \frac{x_E - x_s}{N} \cdot i \\ y_i &= y_s + \frac{y_E - y_s}{N} \cdot i \\ (i &= 0, 1, 2, \dots, N) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

と求められる。そして、ロボットアームは現在位置から順次つぎの中間目標点をめざして移動すれば最終目標位置 $P_E$ まで直線移動ができる。

#### 3.2 第1アーム先端座標の算出

ロボットアームの手先位置座標は $(x_i, y_i)$ と求められているので、次に第1アーム先端の座標を求める。第1アーム先端の座標 $(x_{11}, y_{11})$ は、第1アームの根元の点 $(0, 0)$ を中心とする半径 $R_1$ の円と点 $(x_i, y_i)$ を中心とする半径 $R_2$ の円との交点であるから、つぎの連立方程式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} x_{11}^2 + y_{11}^2 &= R_1^2 \\ (x_{11} - x_i)^2 + (y_{11} - y_i)^2 &= R_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

よって、第1アーム先端の座標 $(x_{11}, y_{11})$ は、

$$\left. \begin{aligned} x_{11} &= \frac{-Kx_i \pm y_i \sqrt{K^2 - 4R_1^2(x_i^2 + y_i^2)}}{x_i^2 + y_i^2} \\ y_{11} &= \frac{K + 2x_{11}x_i}{-2y_i} \\ K &= R_2^2 - R_1^2 - x_i^2 - y_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

と求められる。(8)式の座標 $(x_{11}, y_{11})$ は、2つの値を取るが、2章の動作条件から、+符号の値をとることにする。

#### 3.3 各関節角度の算出方法

第1アーム先端の座標 $(x_{11}, y_{11})$ と、第2アーム先端の座標 $(x_i, y_i)$ はすでに求めてあるので、図2からわかるように第1関節角 $\theta_1$ および、第2関節角 $\theta_2$ は次のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= \tan^{-1} \frac{y_{11}}{x_{11}} \\ \theta_2 &= \tan^{-1} \frac{y_i - y_{11}}{x_i - x_{11}} - \theta_1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

## 4. 実験

### 4.1 実験装置

図3に実験に使用した2自由度水平多関節型ロボットの外観を示す。各アームの駆動にはステッピングモータを使用しており第2アームはタイミングベルトを介して駆動される。ロボットのコントロールはパソコンで行っており、モータはオープンループ制御されている。主なシステムの仕様を表1に示す。

### 4.2 実験結果

移動開始位置 $P_s=(10, 10)$ 、最終目標位置 $P_E=(60, 60)$ とし、分割数 $N$ を5, 15, 20, 30とした場合のロボット手先の軌跡を描いたものが図4である。このとき、各中間目標点への移動はモータを間欠駆動して行っており、ステッピングモータによる振動をなるべく抑えるようにした。図からわかるように、分割数が大きくなるほどロボットの手先軌跡が直線に近づいている事が確認できる。しかしながら、 $P_s-P_E$ 間を等分割にしたにもかかわらず軌跡を見る限り等分割にはなっていない。その原因としては、第1アームと第2アームとの移動がハードウェア的に同時に行えないため移動量が一定とならないのではないかと考えられる。

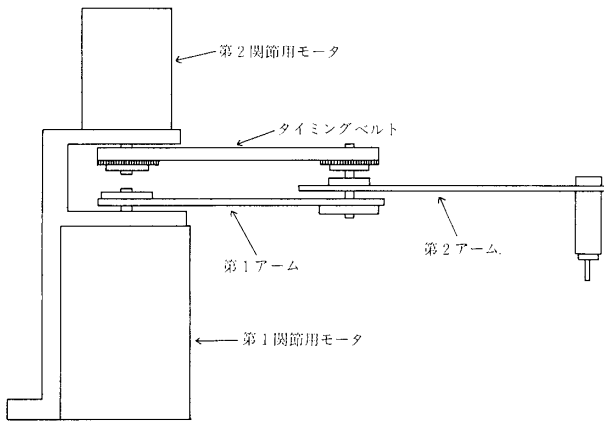
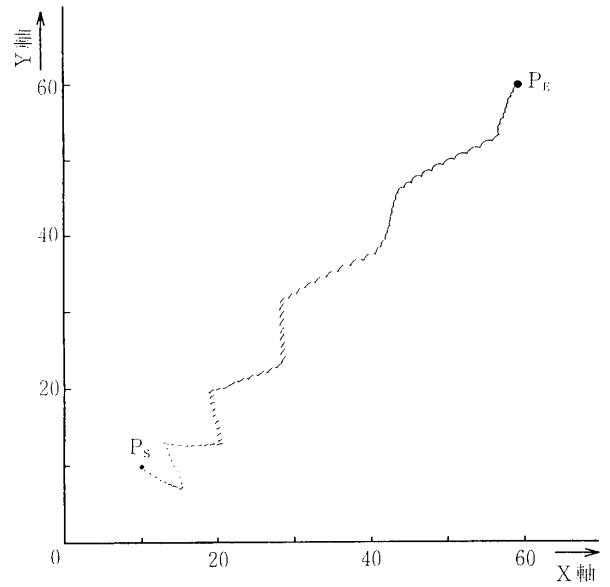
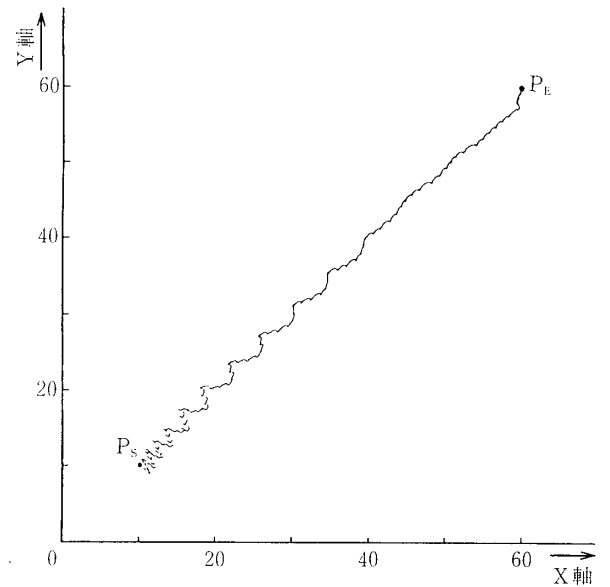


図3 2自由度水平多関節型ロボット

表1 実験装置仕様

モータ	第1関節	第2関節
フルステップ角 [°]	0.72	0.72
巻線電流 [A/相]	0.75	0.75
ホールディングトルク [kg cm]	22.8	4.6
ロータイナージャ [kg cm]	1.8	0.235
パルスコントローラ		
SPEED 範囲	5pps~40kpps (188段階設定)	
RATE 範囲	1000ms/1000PPS ~3.0ms/1000PPS (19段階設定)	
アーム		
第1アーム長さ [cm]	19.7	
第2アーム長さ [cm]	17.7	

図4-1 ロボット手先の軌跡  
(分割数 5)図4-2 ロボット手先の軌跡  
(分割数 15)

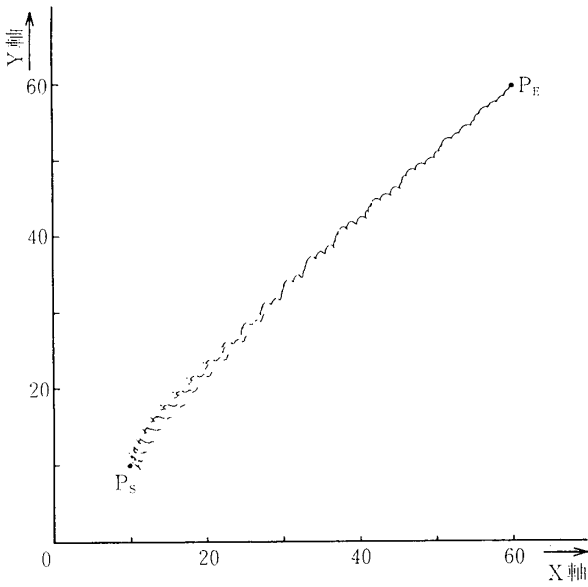


図4-3 ロボット手先の軌跡  
(分割数 20)

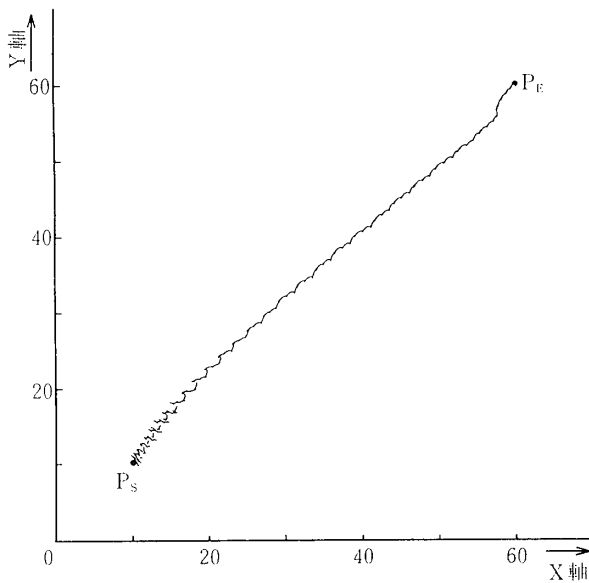


図4-4 ロボット手先の軌跡  
(分割数 30)

### 5. まとめ

ロボットアームを直線移動させるために、目標点間に中間目標点を設けて経路生成する方法について、ステップモータによって駆動される2自由度の水平多関節ロボットで検討を行った。その結果、2点間の分割数が大きくなるほどアームの手先軌跡は直進に近づく事が確認できた。しかしながら、各モータが同時にスタート、ストップできないために等分割の制御ができていない。また、ロボット動作時の振動発生が大きいためアームが振動して十分な位置制御ができない事がわかった。今後は、これらの問題を解決し十分な位置精度が得られるようなシステムを構築したい。

### 参考文献

- 1) 日高：2自由度水平多関節ロボットの直線移動に関する基礎研究，宇部高専研究報告，第37号，平成3年
- 2) 日高：ロボットの直線移動のための軌道生成に関する基礎研究，宇部高専研究報告，第38号，平成4年（平成4年9月1日受理）