

# 多段パラレルメカニズムによる柔軟運動ロボットアーム

Flexible motion robotic arm composed of multi stage parallel mechanisms

近藤 幸治(福井県工業技術センター) 正 岩附 信行(東工大)

Koji. KONDO, Industrial Technology Center of Fukui Prefecture, 61Kawai washizuka Fukui-city Fukui-prefecture

Nobuyuki IWATSUKI, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo

Keywords: parallel mechanism, robotic arm, multi stage, flexible motion

This paper describes development of a new flexible robot arm of multi stage parallel mechanisms. A single unit which is composed of two stages connected with three linearactuators and center rod with spherical joints is proposed. A flexible robot arm can be built by serially connecting the proposed units. Inverse and direct kinematics of a single unit is formulated and then direct kinematics of a robot arm with four units are carried out. A prototype of a single unit is built and experimentally examined.

## 1. 緒言

現在、多様な人間型ロボットが提案されているが、その機構には直列機構が使われることが多い。直列機構は動作範囲が広いものの、パラレル機構に比して剛性が低い。剛性の向上のために、リンク、アクチュエータの重量が増し、動作速度も人間に及ばないものとなる。

そこで本研究は、軽量でかつ高速、柔軟な動作が可能な人間型ロボットの実現を目指し、直列機構とパラレル機構の両者の長所を併せ持つ、多段パラレルメカニズムによるロボットアームを開発することを目的とする。

## 2. 提案する機構の構造

提案する機構の1ユニットを図1に示す。両端に球対偶を配した直動アクチュエータ3本と1本の中心棒とで上下のステージを支える構造をとる。中心棒の一端は上部ステージに固定され、下部テーブルとは球対偶で連結する。

図1の上部ステージにさらに3つの球対偶を配置し、さらにその上部のステージとの間を3本の直動アクチュエータで連結し、その中心棒を最初の上部ステージの球対偶と連結すれば、2段のパラレルメカニズム構造となる。さらに同様に、順次、複数ユニットを接続することにより、直列機構と同等の動作範囲を持つロボットアームが得られる。

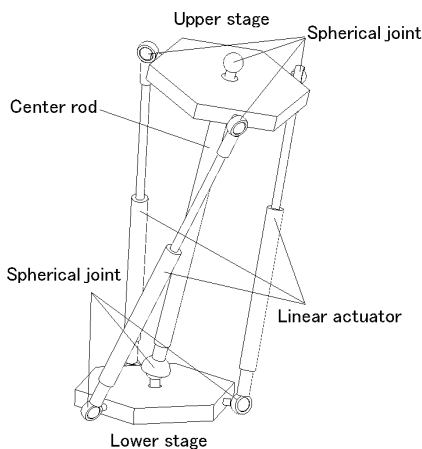


Fig.1 A single unit of parallel mechanism

## 3. 機構の自由度

空間機構の自由度  $f$  は次式で表される。

$$f = 6n - (6 - m)J_m \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $n$ は動節数、 $m$ は対偶の自由度、 $J_m$ はその数である。図1のユニットの下部ステージを静止節として、 $m = 7$ 、 $J_3 = 7$ 、 $J_1 = 3$ を式(1)に代入すれば、 $f = 6$ となり、このうち、直動アクチュエータの軸周りの回転自由度3を除外すれば、1ユニットは3自由度を持つことになり、直動アクチュエータの3入力により下部ステージに対する上部テーブルの姿勢角(ロール・ピッチ・ヨー角)の3自由度を制御できる。さらに  $n$ 個のユニットを接続したロボットアームは  $3n$ の自由度を持つ冗長ロボット機構となる。

## 4. ユニットの逆運動学解析

まず、ユニットの上部ステージの姿勢角(ロール角、ピッチ角、ヨー角)から各アクチュエータの入力変位  $\delta_i$  を求める逆運動学解析を行う。

図2のように、ユニットの中心棒に連結する球対偶の球中心を原点とする静止座標系  $0 - XYZ$  を、下部ステージの垂直方向を  $Z$  軸として設定する。当該ユニットの上に位置するユニットにも同様に動座標系  $P - xyz$  を設定する。点  $A_i$  と点  $B_i$  は直動アクチュエータ  $i$  に接続する上下の球対偶の球中心点とする。

静止座標系における点  $P$ 、 $A_i$ 、 $B_i$  の位置ベクトルをそれぞれ  $P$ 、 $A_i$ 、 $B_i$  とする。また、動座標系における点  $A_i$  へのベクトルを  $a_i$  とする。

動座標系  $P - xyz$  から静止座標系  $0 - XYZ$  への回転座標変換行列  $[T]$  は次式で与えられる。

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

位置ベクトル  $A_i$  は次式で与えられる。

$$A_i = [T] a_i + P \dots\dots\dots (3)$$

点  $P$  は中心棒の長さ  $L$  を半径とし、点  $0$  を中心とする球面上に存在し、中心棒の方向は  $z$  軸方向に等しいので、位置ベクトル  $P$  は次式で与えられる。

$$P = [T] (0 \ 0 \ L)^T \dots\dots\dots (4)$$

アクチュエータ入力変位  $\delta_i$  は次式で得られる。

$$\delta_i = |A_i - B_i| = |[T] \{ a_i + (0 \ 0 \ L)^T \} - B_i| \dots\dots\dots (5)$$

式(5)により、アクチュエータ入力変位は上部ステージの姿勢角の関数として与えられた。

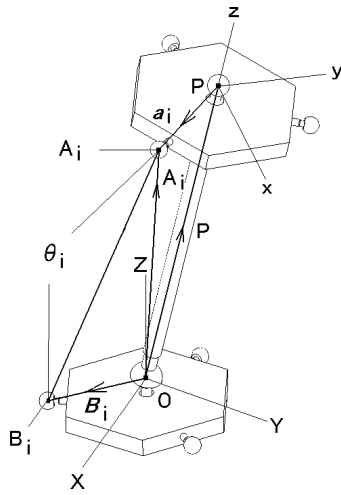


Fig.2 Inverse kinematics of a single unit

### 5. 中間ステージの姿勢角を指定する ロボットアームの順運動学解析

複数のユニットの逐次接続したロボットアームの順運動学解析を行う。ユニットは上部ステージの姿勢角を与えて、アクチュエータ入力変位と上部ステージの動座標系原点を求める逆運動学解析が可能なので、ロボットアーム内のユニットの上下のステージの相対姿勢角を入力変位とみなし、それらを与えてアーム先端のユニットの上部ステージの位置、姿勢を求める順運動学解析を行うこととする。

アーム中の  $k$  番目のステージをステージ  $k$ 、その上部ステージをステージ  $k+1$  とする。それぞれのステージに、それらの中心棒連結用の球対偶  $P_k, P_{k+1}$  を原点とする動座標系  $P_k, x_k, y_k, z_k, P_{k+1}, x_{k+1}, y_{k+1}, z_{k+1}$  を設定する。  $P_k, x_k, y_k, z_k$  系に対する  $P_{k+1}, x_{k+1}, y_{k+1}, z_{k+1}$  系の相対姿勢角を  $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k$  とし、それらを式 (2) に代入して得られる  $P_{k+1}, x_{k+1}, y_{k+1}, z_{k+1}$  系から  $P_k, x_k, y_k, z_k$  系への座標変換行列を  $[T_{k,k+1}]$  とする。

$P_k, x_k, y_k, z_k$  系から静止座標系  $O - XYZ$  への回転座標変換行列を  $[T_k]$  とし、  $P_k$  の静止座標系  $O - XYZ$  における位置ベクトルを  $P_k$  とすれば次式が成立する。

$$[T_k] = [T_{k+1}][T_{k,k+1}] \dots \dots \dots (6)$$

$$P_{k+1} = [T_k][T_{k,k+1}](0 \ 0 \ L_k)^T + P_k \dots (7)$$

ここに  $L_k$  はステージ  $k$  と  $k+1$  を接続する中心棒の長さである。

初期値として、  $[T_1]$  を単位行列、  $P_1$  を零ベクトルを与え、式 (6) (7) の漸化式を用いれば、最下位の静止座標系から順次、中間のステージの位置  $P_k$ 、座標変換行列  $[T_k]$  が計算され、先端のステージ (出力節) の位置  $P_{n+1}$ 、座標変換行列  $[T_{n+1}]$  が求められる。出力節の姿勢角は  $[T_{n+1}]$  から、各ユニットのアクチュエータ入力変位は式 (5) から求められる。

4ユニットからなるロボットアームの解析例を示す。この機構のユニットはすべて同じで中心棒長さ 385mm、直動アクチュエータを連結する球対偶は半径 70mm の外接円をもつ正三角形の頂点に配置した。

図3はすべての中間ステージの相対姿勢角を

$$(\alpha_k \ \beta_k \ \gamma_k) = (- \ 1/4 \ - \ 1/4 \ - \ 1/4) \sim ( \ 1/4 \ \ 1/4 \ \ 1/4)$$

へ両停留5次関数に従って駆動した場合のロボットアームのスケルトン図であり、図中の直線は中心棒、  $\circ$  は球対偶を表す。12自由度を利用した柔軟な運動が可能になることがわかる。

### 6. ユニットの試作および基礎実験

提案した平行メカニズムユニットを試作した<sup>(1)</sup>。その外観写真を図4に示す。ユニットの中心棒長さ  $L=385$ mm、直動アクチュエータを連結する球対偶にはヒーハイト社製 SRJ012C を使用し、半

径70mmの外接円をもつ正三角形の頂点に配置した。直動アクチュエータは最小長さ350mm、最大長さ450mmである。基礎実験の結果、上部ステージのロール角 $\pm 30^\circ$ 、ピッチ角 $\pm 30^\circ$ 、ヨー角 $\pm 60^\circ$ の可動範囲を確認した。今後は、多段ステージのロボットアームを試作、性能試験を行う予定である。

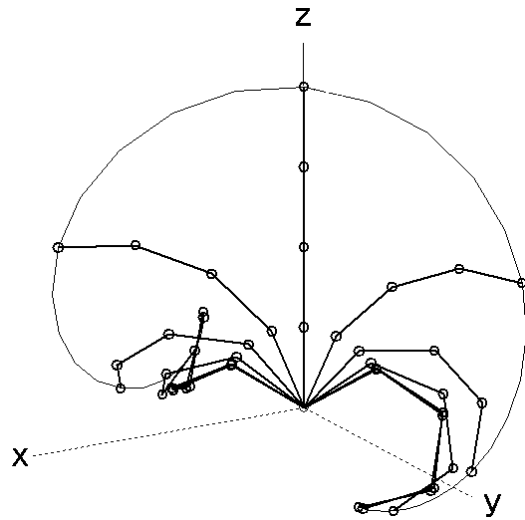


Fig.3 Motion of a robot arm with four units



Fig.4 Prototype of a single unit

### 7. 結 言

多段平行メカニズム型の柔軟ロボットアームを提案した。得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) 上下のステージを両端に球対偶をもつ3本の直動アクチュエータと中心棒で連結する3自由度平行メカニズムユニットの逆運動学解析を定式化した。
- (2) 複数のユニットを直列に接続したロボットアームについて、中間ステージの姿勢角を入力変位とする順運動学解析法を提案し、4ユニット機構の解析例を示した。
- (3) 3自由度平行メカニズムユニットを試作し、その可動範囲を確認した。

### 文献

- (1) 福井県工業技術センターHP

<http://www.vcnet.fukui.fukui.jp/~koji-kon/>