

新ラピッドプロトタイピング法の開発(第4報)

近藤幸治

Development of A New Rapid Prototyping method(report4)

Koji Kondo

This paper describes inverse and direct kinematics of some new parallel mechanism of robot arm, those have been developed in the Technology Center of Fukui Prefecture. The displacement & velocity & acceleration Are carried out, and simulated by developed software that has been opened in internet H.P.

1. はじめに

3次元ロボット機構はシリアル方式としてスカラ型と垂直多関節型、パラレル方式としてスチュワートプラットフォームが有名であるが、当センターでは剛性に有利なパラレル方式と動作領域が広いシリアル方式の長所を合わせ持つ新たな機構を提案している。新たな機構であるため、機構の持つ特性を解析する必要が生じている。

今回は機構の運動学の解析法を確立しようとするものである。これにより、機構の運動に伴う軌跡から加速度までのデータが算出され、アームの強度計算やモーター所要トルクの推測する動力学解析の基礎となる。

2. 解析の内容

運動学の解析には直運動と逆運動の2種類がある。直運動は、モーター等の動作点がある運動をした時の機構の各点の運動を解析するものである。逆運動は機構のある点の運動を規定した時に、各動作点がどう動けばよいかを解析するものである。

一般にシリアル方式は直運動が容易に解け、パラレル方式は逆運動が容易である。容易でない方も、他方が解けていれば後述するニュートン・ラブソン法により近似解を求めることが可能である。

以降、3つの機構の運動学解析について記す。

3. スライダー型パラレルメカニズムの解析

スライダー型は図1および写真1のとおり、複数のスライダーを移動することにより動作点の位置や姿勢を決める機構である。

図1において、上テーブルとリンク棒を連結する球対偶の中心をA点、スライダーとリンク棒を連結する球対偶の中心をB点とすると、次式が成り立つ。

$$|A - B| = L \quad \dots \text{式}$$

スライダーの進行方向をx軸にとれば、Bxは以下の2つの解を持つ。

$$Bx = Ax + \sqrt{L^2 - (Ay - By)^2 - (Az - Bz)^2}$$
$$Bx = Ax - \sqrt{L^2 - (Ay - By)^2 - (Az - Bz)^2}$$

機械・金属部

機構の構成により+・-を決めれば、逆運動学の基本式が得られた。式を微分すれば、速度、加速度の式が得られ、逆運動が解けた。

一方、直運動は次の方法で近似解を求めることができる。操作ベクトル $S = (Px, Py, Pz, \dots)$ とし、求める解ベクトルを $S' = (Bx1, Bx2, Bx3, Bx4, Bx5, Bx6)$ とする。

$$S = [J] \cdot S' \quad \dots \text{式}$$

ヤコビ行列は S' 式に $S' = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$ 、 $(0, 1, 0, 0, 0, 0)$ 等を代入することにより得られる。

今、ある操作ベクトルが $S=0$ のとき、解ベクトルが $S'=0$ であるとし、解ベクトルの目標値を S' とすると、 $S=0$ となる S' を式から求めれば、 $S=0 + S'$ は S に近づくはずである。

S' は式からガウスの消去法で求めることができる。この操作を誤差が十分小さくなるまで繰り返すことで近似解が得られ(ニュートン・ラブソン法)、直運動が解ける。速度は式から、加速度は式から求められる。

$$S' = [J] \cdot S'' + [JJ] \cdot S \quad \dots \text{式}$$

$$S = (s1' * s1', s2' * s2', s3' * s3', s4' * s4', s5' * s5', s6' * s6', s1' * s2', s1' * s3', s1' * s4', s1' * s5', s1' * s6', s2' * s3', s2' * s4', s2' * s5', s2' * s6', s3' * s4', s3' * s5', s3' * s6', s4' * s5', s4' * s6', s5' * s6')$$

行列 $[JJ]$ は、6行21列の行列で、式に $S'' = 0$ でかつ $S' = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$ 等と $S' = (1, 1, 0, 0, 0, 0)$ 等を代入して得られる。
以上のとおり、直運動が加速度まで近似解で求めることができる。

TOMBO機構

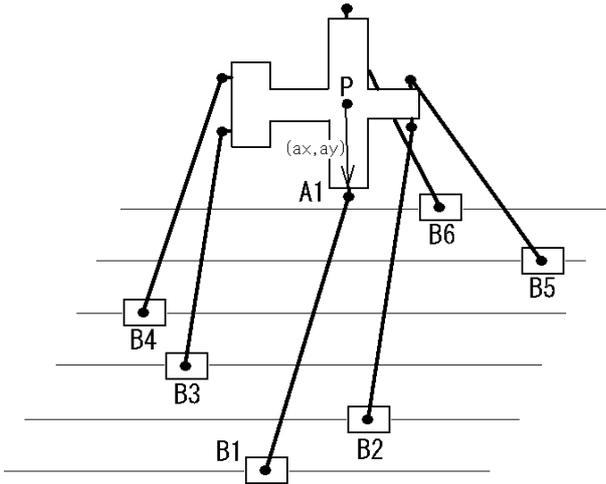


Fig.1 the TOMBO mechanism

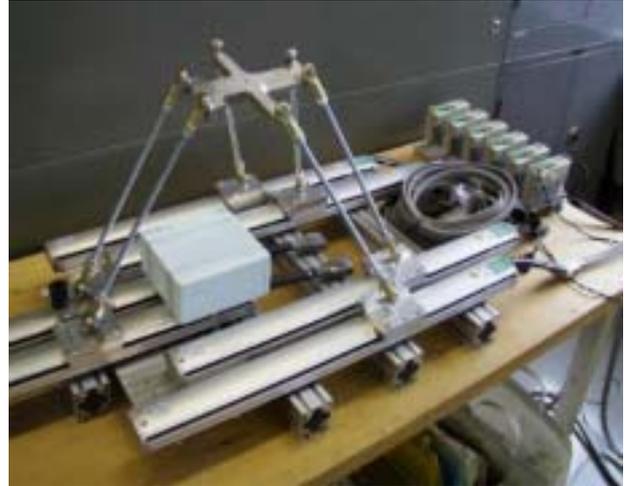


写真1

4. 脊椎型パラレルメカニズム (Termy) の解析

脊椎型パラレルメカニズムは図2および写真2のとおり、複数の段がシリアルに連結される。各段には3つの伸縮機構が両端を球対偶で上下テーブルに連結され、その伸び量により、下テーブルに対する上テーブルの姿勢角が変化する機構である。

TERMY機構

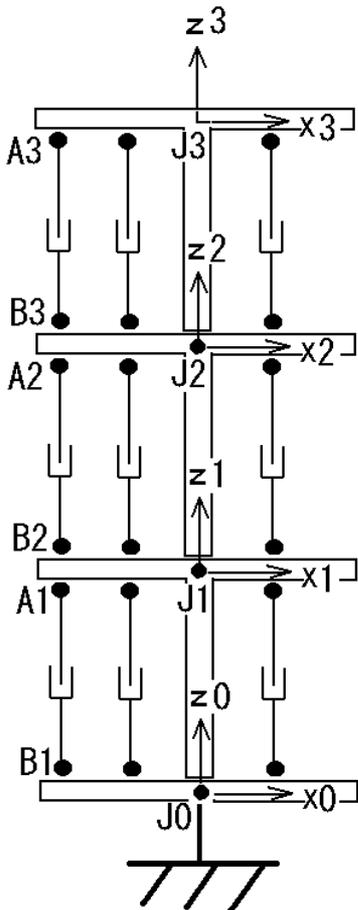


Fig.2 the TERM Y mechanism



写真2

各段をつなぐ球対偶の中心を原点として、上の段に動座標系、下段に静止座標系をおく。任意の点Pの座標を動座標で p 、静止座標で P 、下段の原点から上段の原点へのベクトルを動座標で表し h 、静止座標から動座標への回転行列を $[T]$ とおくと、次式が成り立つ。

$$p + h = [T] \cdot P \quad \dots \text{式}$$

$$P = (p + h) \cdot [T] \quad \dots \text{式}$$

式を各段ごとにたどることで先端の位置と姿勢を静止座標で表すことができる。各段の $[T]$ が決まれば先端の位置と姿勢が決定でき、順運動が解けたことになる。

回転行列 $[T]$ と伸縮機構の伸び量との関係については参考文献1と2を参照願いたい。

逆運動については、今回は解析を見送った。ここでは基本的な考え方を示すにとどめる。

この機構の自由度は $3 \times$ 段数であるため、段数が多くなると冗長性が生じる。

2段の場合は6自由度であるが、先端の位置と姿勢には5自由度しかなく、他の1つは中間節のねじれ角として存在する。

3段の場合は先端の位置と姿勢には6自由度があるが、他は中間節2つのねじれ角と下の中間節の回転として存在する。(図3の角度 γ_{012})

そこでN段の場合、各段のZ軸方向の回転角 γ が等しいという条件を付加する。すると、自由度が $(N - 1)$ 減る。3段以上では先端に6自由度があるので、冗長自由度 $m = 3 \cdot N - (6 + N - 1) = 2 \cdot N - 5$ ただしNは3以上とする。...

$$N = 3 \text{ のとき冗長自由度} = 1$$

$$N = 4 \text{ のとき冗長自由度} = 3$$

操作ベクトル $S = (1, 1, \dots, N, N, c)$ とし、求める解ベクトルを $H = (P_x, P_y, P_z, \dots, \dots, F_1, F_2, \dots, F_m)$ とする。 $F_1 \sim F_m$ は冗長項である。

先述のスライダー型と同様に式および式により、ニュートン・ラプソン法を用いて逆運動が近似解で解けるはずである。冗長項 $F_1 \sim F_m$ と物理量との対応については今後の課題とする。

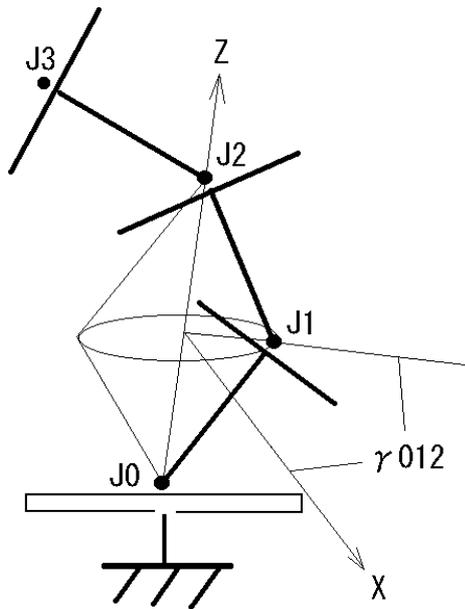


Fig.3 3stage TERMY mechanism

5. 手足型パラレルメカニズム (Kondo) の解析

手足型パラレルメカニズムは図4のとおり、2段のTermy機構の中間に1自由度の回転機構がバインドされた機構であり、人の腕や足に近い機構である。

図4において、下から段1、段2、段3とする。段1と段3はTERMY機構で、段3では方向が逆に配置されている。段2は1自由度の回転機構であり、便宜上、回転軸をy軸

とし、2のみの回転とする。

図3のとおり、静止座標系と4つの動座標系を設け、
 J_0 を原点とする静止座標系で点Pの座標を P_0 、
 J_1 を原点とする動座標系で点Pの座標値を p_1 、
 J_2 を原点とする動座標系で点Pの座標値を p_2 、
 J_3 を原点とする動座標系で点Pの座標値を p_3 、
 J_4 を原点とする動座標系で点Pの座標値を p_4

段1の回転行列を $[T1]$
 段2の回転行列を $[T2]$
 段3の回転行列を $[T3]$
 J_3 から見た J_2 の位置を (h_{x3}, h_{y3}, h_{z3})
 J_1 から見た J_2 の位置を (h_{x1}, h_{y1}, h_{z1})
 J_1 から見た J_0 から J_1 へのベクトルを $(0, 0, L)$
 J_3 から見た J_3 から J_4 へのベクトルを $(0, 0, L)$
 とすると次式が成り立つ。

$$p_3 = p_4 \cdot [T3] + (0, 0, L) \dots$$

$$p_2 = p_3 (h_{x3}, h_{y3}, h_{z3}) \dots$$

$$p_1 = p_2 \cdot [T2] + (h_{x1}, h_{y1}, h_{z1}) \dots$$

$$P_0 = (p_1 + (0, 0, L)) \cdot [T1] \dots$$

式を順にたどることで全て位置を静止座標系で表すことができる。つまり、各段の $[T]$ が決まれば位置が決定できるので、順運動が解けたことになる。ただし、 $[T2]$ はy軸回りだけの回転行列である。

逆運動については前述のスライダー型と同様にニュートン・ラプソン法を用いて近似することができる。ただし、機構の自由度が7つあるので、 $1 = 3$ 等の条件を加える。

操作ベクトル $S = (1, 1, 1, 2, 3, 3)$ とし、求める解ベクトルを J_4 から見たP点の変位と姿勢とし、 $H = (P_x, P_y, P_z, \dots, \dots)$ とする。

スライダー型と同様に、式と式と式から、逆運動が加速度まで近似解で求めることができる。

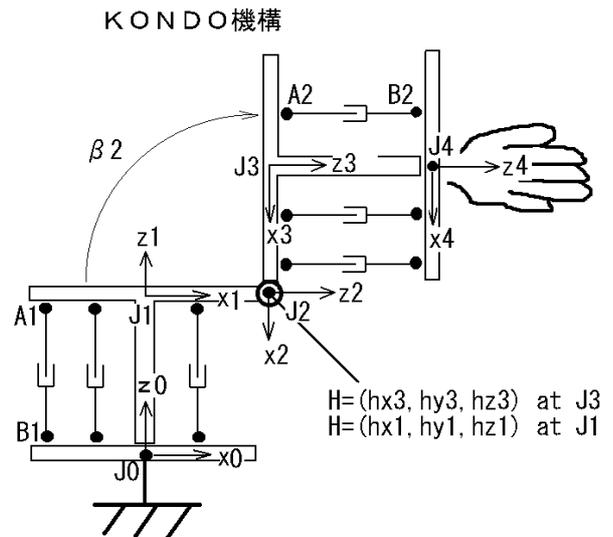


Fig.4 the KONDO mechanism

6. ソフトウェアのツール化

これまで述べてきた3次元機構の順運動解析および逆運動解析をソフトウェアツールとして整備拡張を行った。ソフトはVBを用い、機構の寸法や動作条件等を変えてシミュレーションができる。また、機構の動作を3次元でアニメーション表示することで直感的に理解できるものとした。なお、今回のソフトは成果普及を目的に、インターネット上のダウンロードページ Vector にフリーソフト「3次元機構運動学」として公開している。
(<http://www.vector.co.jp/vpack/filearea/win/edu/science/engineer/index.html>)

以下に、同ソフトによる3つの機構の運動シミュレーション例を示す。ウィンドウの左辺が設定項目で右側がx-yグラフ。グラフは3次元動画(図5)または変位と速度と加速度の曲線(図6)としている。

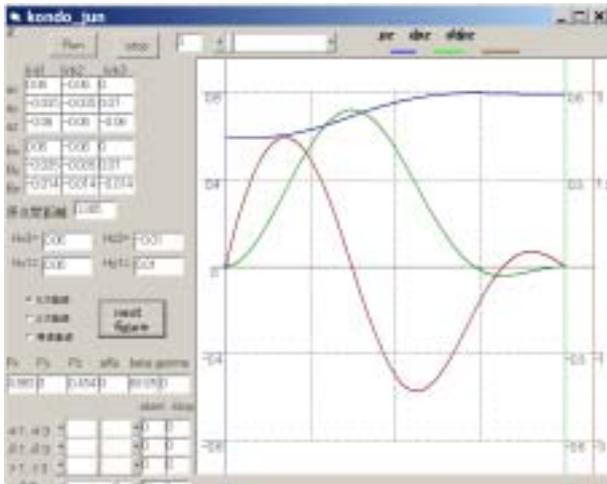


Fig.6 a Graph of the displacement & velocity & acceleration

7. まとめ

新しく提案している3次元ロボット機構の運動学について、順運動学および逆運動学の解析を行い、加速度までの同定が可能となった。

また、機構の寸法や動作条件等を変えてシミュレーションができるよう、ソフトウェアをツール化して公開した。

<参考文献>

- 1) 近藤幸治: 福井県工業技術センター研究報告書、18、14(2001)
- 2) 近藤幸治: Robomec2002 講演会 2P1-F05
「多段パラレルメカニズムによる柔軟ロボットアーム」

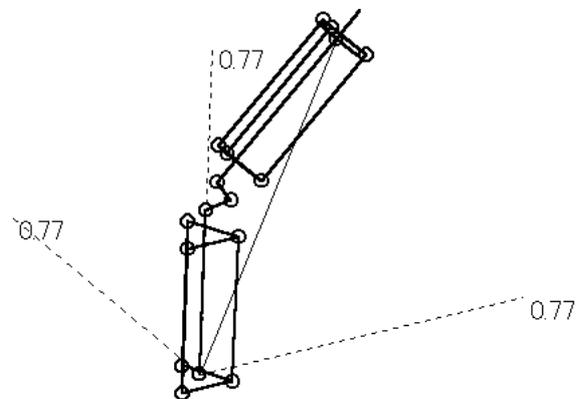
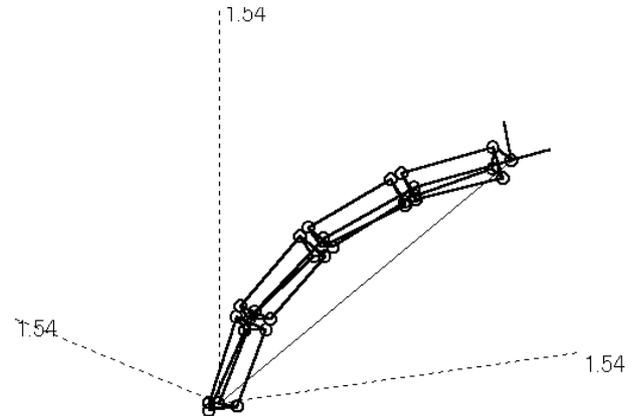
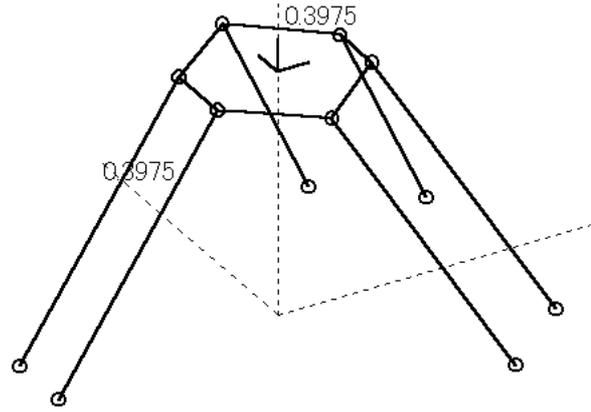


Fig.5 an Animation of the Mechanism