RSCR 空間四節リンク機構の運動領域識別*

渡 辺 克 巳^{*1}, 関 根 武 志^{*2}, 南 後 淳^{*1}

Branch Identification of RSCR Spatial Four-Link Mechanisms

Katsumi WATANABE, Takeshi SEKINE and Jun NANGO

When a closed loop mechanism with one degree of freedom is assembled from its component links, several composition loops exist such that the functional relationships between the input and output variables differ. The parts of the functional relationship divided by the limit positions of the driving link, which are called branches, correspond to the composition loops of the mechanism. We derive the conditional equation of the limit positions of the RSCR spatial four-link mechanism and establish an identification algorithm of the composition loops. We show that the functional relationship between the input and output angles is classified into more than sixteen kinds.

Key Words: Kinematics, Spatial Four-Link Mechanism, Limit Position, Branch, Circuit, Branch Identification

1. 結 言

組立てられ、作動している自由度 1 の閉ループ機構は、静止節に対する原動節の位置が指定されると残りのリンクの位置が一意的に決まる。

ところで、複数のリンクをそれらの対応する対偶素を連結して閉ループ機構に構成しようとすると、いくとおりもの構成の仕方が存在することになる。機構の構成の仕方を識別し、その入出力関係を追跡することは、計算機を用いて機構を自動設計するときの基礎であるので、ブランチ・サーキットの問題として研究されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

変位解析が 4 次以上の代数方程式を解いて行われる機構のうち、ステューブソン形平面六節リンク機構の運動領域は成分四節リンク機構の伝達角と 2 連節のなす角の正弦の符号を用いて識別することができる⁽¹⁾⁽²⁾。また RSCR 空間四節リンク機構については四次方程式の根と係数の関係から運動領域の場合分けが行われている⁽³⁾が、識別はまだのようである。

本論文では、RSCR 空間四節リンク機構の運動限界

位置の算出式を与え、中間節と従動節の相対運動の特徴を抽出して、この機構の運動領域の識別手順を構築する。

2. 運動限界位置

閉ループ機構の原動節を一方に運動させたときに、これ以上運動ができない位置が運動限界位置である。運動限界位置が存在しない場合は原動節は連続回転できることになる。

機構の構成の仕方の一つにおいて原動節と従動節の変位が取得するすべての値の関数関係をサーキット(circuit)といい、運動限界位置が存在する場合にそれらの隣接する二つによって仕切られた関数関係の部分をブランチ(branch)という⁽¹⁾。

2・1 閉回路方程式 二つの回転対偶(R)、球面对偶(S)および円筒対偶(C)をもつ空間四節リンク機構(RSCR 四節リンク機構)の機構定数および隣接する二つのリンクの相対変位を図 1 に示すように定めるとき、この機構の閉回路方程式は次式となる。

$$-s_3 \cos \alpha_3 - a_2 \sin \alpha_3 \sin \theta_3 = x_B \cdots \cdots (1)$$

$$a_3 \sin \theta_4 + s_3 \sin \alpha_3 \cos \theta_4$$

$$-a_2(\cos \theta_3 \sin \theta_4 + \cos \alpha_3 \sin \theta_3 \cos \theta_4) = y_B$$

$$\cdots \cdots (2)$$

* 原稿受付 1996 年 7 月 22 日。

*1 正員、山形大学工学部 (〒992 米沢市城南 4-3-16)。

*2 学生員、山形大学大学院。

Fig. 1 RSCR spatial four-link mechanism

$$a_3 \cos \theta_4 - s_3 \sin \alpha_3 \sin \theta_4 - a_2 (\cos \theta_3 \cos \theta_4 - \cos \alpha_3 \sin \theta_3 \sin \theta_4) = z_B \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 (x_B, y_B, z_B) は球対偶の中心Bの座標であり、原動節角変位 θ_1 の値が与えられると、次に示すように既知量となる。

$$x_B = s_4 + s_1 \cos \alpha_4 + a_1 \sin \alpha_4 \sin \theta_1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$y_B = s_1 \sin \alpha_4 - a_1 \cos \alpha_4 \sin \theta_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$z_B = a_4 + a_1 \cos \theta_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

2.2 運動限界位置の条件 RSCR 四節リンク機構の原動節ABが一方向に回転できなくなる位置は、中間節BHと従動節DCの相対変位 θ_3 および s_3 が次の条件を満たす位置である⁽⁴⁾。

$$a_3 \cos \alpha_3 \sin \theta_3 - s_3 \sin \alpha_3 \cos \theta_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

2.3 運動限界位置の算出 式(2)、(3)から θ_4 を消去して得られる式に式(1)を用いると次式となる。

$$x_B^2 + y_B^2 + z_B^2 = a_2^2 + a_3^2 - 2a_2a_3 \cos \theta_3 + s_3^2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式(4)～(6)から θ_1 を消去すると次式が得られる。

$$4a_1^2(x_B - s_1 \cos \alpha_4 - a_1)^2 + \sin^2 \alpha_4(x_B^2 + y_B^2 + z_B^2 - 2s_4x_B - a_1^2 - a_2^2 - s_1^2 + s_4^2) - 4a_1^2a_2^2 \sin^2 \alpha_4 = 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(7)より、

$$s_3 = a_3 \cot \alpha_3 \tan \theta_3 \quad \dots\dots\dots (10)$$

式(10)を用いて s_3 を消去した後の式(1)、(8)を式(9)に代入すると、運動限界位置における θ_3 の値を決定する条件式が次のように求まる。

$$h_1 \cos^6 \theta_3 + h_2 \cos^5 \theta_3 + h_3 \cos^4 \theta_3 + h_4 \cos^3 \theta_3 + h_5 \cos^2 \theta_3 + \sin \theta_3 (h_6 \cos^5 \theta_3 + h_7 \cos^4 \theta_3 + h_8 \cos^3 \theta_3 + h_9 \cos^2 \theta_3 + h_{10} \cos \theta_3) + h_{11} = 0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに

$$\begin{aligned} b_1 &= 4a_1^2, \quad b_2 = a_3 \cos \alpha_3 \cot \alpha_3, \quad b_3 = a_2 \sin \alpha_3 \\ b_4 &= s_1 \cos \alpha_4 + s_4, \quad b_5 = \sin^2 \alpha_4 \\ b_6 &= a_1^2 - a_2^2 - a_3^2 + a_2^2 + s_1^2 - s_4^2, \quad b_7 = 2a_2a_3 \\ b_8 &= a_2^3 \cot^2 \alpha_3, \quad b_9 = 2s_4, \quad b_{10} = 4a_1^2a_2^2 \sin^2 \alpha_4 \\ h_1 &= -b_1b_3^2 - b_5(b_3^2b_5^2 - b_7^2) \\ h_2 &= -2b_1b_2b_3 - 2b_5(b_2b_3b_5^2 - b_6b_7 - b_7b_8) \\ h_3 &= -b_1(b_2^2 - b_3^2 - h_4^2) \\ &\quad + b_5(b_5^2 + b_8^2 - b_3^2(b_2^2 - b_3^2) + 2b_6b_8) - b_{10} \\ h_4 &= 2b_1b_2b_3 + 2b_5(b_2b_3b_5^2 - b_7b_8) \\ h_5 &= b_1b_2^2 - 2b_5(b_5^2 + b_6b_8) + b_2^2b_5b_8^2 \\ h_6 &= -2b_3b_5b_7b_9 \\ h_7 &= 2b_1b_3b_4 - 2b_5b_9(b_2b_7 + b_3b_6 + b_3b_8) \\ h_8 &= 2b_1b_2b_4 - 2b_5b_9(b_2b_6 + b_2b_8) \\ h_9 &= 2b_3b_5b_8b_9, \quad h_{10} = 2b_2b_5b_8b_9, \quad h_{11} = b_5b_8^2 \end{aligned}$$

運動限界位置の条件式(11)は、 $t = \tan(\theta_3/2)$ と置くことにより、 t に関する十二次方程式に帰着させて解くことができる。

角変位 θ_3 の値が決定されると、運動限界位置における直進変位 s_3 の値は式(10)で、球対偶の中心Bの座標は式(4)～(6)で与えられるので、角変位 θ_1 および θ_4 の値はそれぞれ次式で算出される。

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_1 &= \{(x_B - s_4)^2 + y_B^2 + z_B^2 - a_1^2 - a_2^2 - s_1^2\} / 2a_1a_4 \\ \sin \theta_1 &= (x_B - s_1 \cos \alpha_4 - s_4) / a_1 \sin \alpha_4 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_4 &= -\{(a_2 \cos \alpha_3 \sin \theta_3 - s_3 \sin \alpha_3)y_B + (a_2 \cos \theta_3 - a_3)z_B\} / (y_B^2 + z_B^2) \\ \sin \theta_4 &= -\{(a_2 \cos \theta_3 - a_3)y_B - (a_2 \cos \alpha_3 \sin \theta_3 - s_3 \sin \alpha_3)z_B\} / (y_B^2 + z_B^2) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (13)$$

3. 運動領域の識別

隣接する二つの運動限界位置に対応する原動節角変位 θ_1 の値をそれぞれ上限および下限とする θ_1 の領域を原動節の運動領域と呼ぶ。

RSCR 四節リンク機構においては、原動節角変位 θ_1 の指定された値に、従動節角変位 θ_4 の二つまたは四つの値が対応する。すなわち、機構の構成の仕方が2とおりまたは4とおり存在する。

機構の変位解析は原動節角変位 θ_1 の一価関数として機構の運動を記述することである。すなわち、原動節の運動限界位置の隣接する二つによって仕切られた入出力関係の部分(ブランチ)および運動限界位置が存在しないサーキットを識別することである。

本論文においては、機構の構成の仕方で識別され、

Fig. 2 Examples (a)~(o) of whole relationships between θ_1 and θ_3, s_3, θ_4
 [θ_4 : bold line, θ_3 : normal line, s_3 : fine line]

Table 1 Kinematic constants

	a_1	a_2	a_3	a_4	s_1	s_4	α_3	α_4
(a)	1.0	2.0	0.5	2.0	6.0	-5.0	80°	30°
(b)	5.0	7.0	3.0	3.5	4.5	3.5	180°	90°
(c)	3.0	4.0	2.0	3.0	7.0	-5.0	60°	30°
(d)	1.0	2.0	0.5	2.0	4.0	-3.0	60°	30°
(e)	5.0	2.0	3.0	2.5	1.5	-2.5	75°	15°
(f)	1.0	2.0	0.5	2.0	2.0	-1.5	160°	20°
(g)	1.0	2.0	0.5	2.0	2.0	-1.5	125°	35°
(h)	7.0	5.0	1.0	4.0	2.5	2.0	290°	150°
(i)	5.0	2.0	3.0	2.5	7.0	-5.0	80°	60°
(j)	5.0	2.0	3.0	2.5	4.0	-4.0	90°	10°
(k)	5.0	2.0	3.0	2.5	7.0	-6.0	80°	315°
(l)	5.0	2.0	3.0	-2.5	7.0	-5.0	80°	15°
(m)	5.0	2.0	3.0	2.5	4.0	-4.0	90°	30°
(n)	1.0	2.0	0.5	2.0	2.0	-1.5	125°	30°
(o)	5.0	2.0	3.0	-2.5	7.0	-6.0	80°	20°

ブランチに一一一対一対に対応付けられた原動節の運動領域を機構の運動領域と呼ぶことにし、それらの識別手順を与える。

3・1 機構の入出力関係 RSCR 四節リンク機構の入出力関係が何種類に分類されるかはまだ明らかにされていない。このため、機構の運動領域の識別法を一般的に構築することは難しい。そこで、本論文では、これまでに得られた入出力関係〔例えば図 2(a)～2(o)〕を基礎に運動領域の識別手順を構築する。図 2 中の太線、中太線および細線はそれぞれ $\theta_1-\theta_4$ 曲線、 $\theta_1-\theta_3$ 曲線および θ_1-s_3 曲線であり、曲線の部分に付けられている 1, 2, 3, …, 8 の数字はブランチの番号である。各場合の機構定数は表 1 のとおりである。

3・2 識別規則 1 RSCR 四節リンク機構の閉回路方程式 (1), (2), (3) の両辺を原動節角変位 θ_1 で微分すると、微分係数 $\theta_3^{(1)}$, $s_3^{(1)}$ および $\theta_4^{(1)}$ に関する連立方程式が得られる。これらの式の係数を要素とする行列式：

$$D(\theta_1) = a_2(a_3 \cos \alpha_3 \sin \theta_3 - s_3 \sin \alpha_3 \cos \theta_3) \dots\dots\dots (14)$$

が零になる位置は原動節の運動限界位置である。

原動節の運動限界位置は隣接する二つの運動領域の共通の上限または下限となっている。そしてそれらの二つの運動領域において $D(\theta_1)$ は異なる符号の値となる。よって、 $D(\theta_1)$ を用いれば、上限または下限を共有する二つの運動領域を識別することができる。

図 3 は、図 2(n) の機構の入出力関係と行列式 $D(\theta_1)$ の曲線である。運動限界位置で値が零となり、その内側で $D(\theta_1)$ の符号が正および負になっているので運動領域の識別が可能であることがわかる。

Fig. 3 Input-output relationship of the mechanism (n) and the coefficient determinant $D(\theta_1)$ of the velocity analysis equations

Fig. 4 Locus of the representative point of the cylindric pair

3・3 識別規則 2 RSCR 四節リンク機構の中間節と従動節を連結している円筒対偶の代表点 H は、従動節の回転軸を中心線とし、円筒対偶の軸を母線とする線織面(一葉双曲面)上を運動することになる。この一葉双曲面は、図 4 に示すように $s_3=0$ の場合の点 H の軌跡(最小半径円)を境にして二つの部分に分かれ、それらは s_3 の値が正であるか負であるかによ

Fig. 5 Four cases of relationships between θ_1 and s_3 for branch identification

って識別することができる。

ところで、従動節角変位 θ_4 の値が二つだけ求まる区間においては、それらの値がどの運動領域に属するかは、識別規則 1, すなわち $D(\theta_1)$ の値の符号で識別することができる。よって、それ以外の場合である、 θ_4 の値が四つ求まる区間において、それらの値が $D(\theta_1)$ の値の符号で識別される二つずつの組に分離することを識別規則 2 として与える。

従動節角変位 θ_4 の値が四つ求まる場合、すなわち機構の構成の仕方が 4 とおり存在する区間においては、原動節角変位 θ_1 に対する従動節と中間節の相対変位 s_3 の関係は図 5 に示す四つの場合に分類される。

図 5(a) は、機構の構成の仕方のすべてで原動節が 1 回転できる場合であり、図 5(b) は機構の構成の仕方の 2 とおりで原動節が 1 回転できる場合である。図 5(c) は、機構の構成の仕方のすべてで原動節が 1 回転できない場合である。この場合には円筒対偶の代表点 H が一葉双曲面の最小半径円を通過しない、図 5(d) は、機構の構成の仕方のすべてで原動節が 1 回転できないか、または 2 とおりで 1 回転できる場合である。これらの場合には点 H が最小半径円を通過する。

以上の四つの場合の機構の構成の仕方は次のような特性をもっている。

(i) 図 5(a) および (c) の場合の機構の構成の仕方の二つにおいては s_3 が正であり、残りの二つにおいては s_3 が負となる。また、それぞれの一方は $D(\theta_1)$ が正であり、他方は $D(\theta_1)$ が負である。

(ii) 図 5(b) の場合には、二つの運動限界位置の小さいほうを θ_{1l} 、大きいほうを θ_{1u} とし、そのときの s_3 の値をそれぞれ s_{3l} および s_{3u} とする。そして、 $s_3 = 0$ となるときの θ_1 の値を θ'_{1l} および θ'_{1u} とし、区間 $[\theta'_{1l}, \theta'_{1u}]$ 内の一つの値を θ_{1m} とする。さらに、 θ_1 が区間 $[\theta_{1l}, \theta_{1m}]$ 内の値であるとき s_{3l} を取り、 θ_1 が区間 $[\theta_{1m}, \theta_{1u}]$ 内の値であるとき s_{3u} を取る値を s_b とす

Fig. 6 One to one correspondence among four branches of the θ_1 - θ_4 and θ_1 - s_3 relationships

ば、機構の構成の仕方の二つにおいては $s_3 - s_b$ が正であり、残りの二つにおいては $s_3 - s_b$ が負となる。また、それぞれの一方は $D(\theta_1)$ が正であり、他方は $D(\theta_1)$ が負である。

(iii) 図 5(d) の場合には、二つの運動限界位置の小さいほうを θ_{1l} 、大きいほうを θ_{1u} とし、そのときの s_3 の値をそれぞれ s_{3l} および s_{3u} とする。そして、 s_{3l} および s_{3u} の絶対値の小さいほうを s_b とすれば、機構

の構成の仕方は $D(\theta_i)$ および s_3-s_b の符号の組合せと (ii) の場合と同様に対応する。

よって、機構の構成の仕方が 4 とおり存在する区間において、四つ求めた従動節角変位の値がどの運動領域に属するかは、 $D(\theta_i)$ の符号と s_3 または s_3-s_b の符号の組合せで識別することができることになる。

例えば、図 2(n) の機構の運動領域 1 と 5 および 2 と 6 は $[-108.263^\circ, 8.761^\circ]$ において $D(\theta_i)$ の符号はそれぞれ正と正および負と負であるが、 s_3-s_b の符号は、図 6 からわかるようにそれぞれ、負と正および正と負になって四つの領域が識別されている。

3・4 $s_3=0$ となる位置 識別規則 2 において必要となる、 $s_3=0$ となる位置の原動節角変位 θ_1 の値を求める。このとき、解が存在しなければ、それらの場合は図 5(a) または (c) の場合となる。

式 (1)、(2) および (3) において、 $s_3=0$ とすると次の条件式が得られる。

$$a_2 \sin \alpha_3 \sin \theta_3 = -(s_1 \cos \alpha_4 + s_4 + a_1 \sin \alpha_4 \sin \theta_1) \cdots \cdots (15)$$

$$a_3 \sin \theta_4 - a_2 (\cos \theta_3 \sin \theta_4 + \cos \alpha_3 \sin \theta_3 \cos \theta_4) = s_1 \sin \alpha_4 - a_1 \cos \alpha_4 \sin \theta_1 \cdots \cdots (16)$$

$$a_3 \cos \theta_4 - a_2 (\cos \theta_3 \cos \theta_4 - \cos \alpha_3 \sin \theta_3 \sin \theta_4) = a_1 \cos \theta_1 + a_4 \cdots \cdots (17)$$

式 (16) および (17) の両辺を二乗して加えると次式が得られる。

$$\begin{aligned} \cos \theta_3 = & -\{a_1^2(1-\sin^2 \alpha_4 \sin^2 \theta_1) \\ & -a_2^2(1-\sin^2 \alpha_3 \sin^2 \theta_3) - a_3^2 + a_4^2 \\ & + s_1^2 \sin^2 \alpha_4 + 2a_1a_4 \cos \theta_1 \\ & - 2a_1s_1 \cos \alpha_4 \sin \alpha_4 \sin \theta_1\} / 2a_2a_3 \cdots \cdots (18) \end{aligned}$$

式 (15) より、

$$\sin \theta_3 = -(a_1 \sin \alpha_4 \sin \theta_1 + s_1 \cos \alpha_4 + s_4) / a_2 \sin \alpha_3 \cdots \cdots (19)$$

式 (18)、(19) から θ_3 を消去して得られる式は次のように整理される。

$$\begin{aligned} \sin^2 \alpha_3 \{ & a_1a_4 \cos \theta_1 + a_1s_4 \sin \alpha_4 \sin \theta_1 + s_1s_4 \cos \alpha_4 \\ & + (a_1^2 - a_2^2 - a_3^2 + a_4^2 + s_1^2 + s_4^2) / 2 \}^2 \\ & + a_2^2(a_1 \sin \alpha_4 \sin \theta_1 + s_1 \cos \alpha_4 + s_4)^2 \\ & - a_2^2a_3^2 \sin^2 \alpha_3 = 0 \cdots \cdots (20) \end{aligned}$$

$s_3=0$ となる位置に対する原動節角変位 θ_1 の値に関する条件式 (20) は、 $t=\tan(\theta_1/2)$ に関する四次方程式に帰着させて解くことができる。

θ_1 の値が求まると、この位置における θ_3 の値は式 (18)、(19) を用いて決定される。

3・5 運動領域の確定手順 運動限界位置が存在しない場合には、その個数 N_1 を零とする。

運動限界位置が存在する場合には、小さい順に、そ

のときの θ_k の値と対にして、次のように表す。

$$(\theta_{1i}, \theta_{4i}) \quad (i=1 \sim N_1)$$

従動節に対する中間節の相対変位 s_3 または s_3-s_b は原動節角変位 θ_1 の関数であるので $S(\theta_1)$ と表すことにする。

[$N_1=0$ の場合の運動領域]

$\theta_1=0$ のときの θ_k の値を算出し、小さい順に $\theta_{4k}(k=1 \sim N_2)$ とする。運動領域の個数 N_2 は 2 または 4 である。

(i) $\theta_{4k}(k=1 \sim N_2)$ が属する 2π を周期とする $\theta_1-\theta_4$ 曲線(サーキット)を運動領域 k とする。これらのサーキットにおける係数行列式 $D(\theta_i)$ の符号 D_{0k} またはこの符号と $S(\theta_1)$ の符号の組合せ (D_{0k}, S_{0k}) を運動領域 $k(k=1 \sim N_2)$ の識別記号(ID)とする。

[$N_1 \geq 2$ の場合の運動領域]

$\theta_{1i}-\Delta\theta_1$ および $\theta_{1i}+\Delta\theta_1$ のときの θ_k の値を算出し、小さい順にそれぞれ $\theta_{4ij}(j=1 \sim N_{3i})$ および $\theta_{4ij}(j=1 \sim N_{4i})$ とする。ここで (N_{3i}, N_{4i}) は (0, 2), (2, 4), (4, 2) または (2, 0) である。

運動領域の個数 N_2 を初期値 0 として、 $i=1 \sim N_1$ に対して次の手順を繰返す。

(ii) $N_{3i}=0$ の場合

$\theta_{4ij}(j=1, 2)$ が属する $\theta_1-\theta_4$ 曲線の部分(ブランチ)を運動領域 $k(k=N_2+j)$ とする。これらのブランチの $D(\theta_i)$ の符号 D_{ik}^* を運動領域 k の区間 $[\theta_{1i}, \theta_{1(i+1)}]$ における ID とする。そして、 $N_2=N_2+2$ 、 $i=i+1$ として手順(ii)へ戻る。

(iii) $N_{3i}=2$ の場合

(a) $i=1$ の場合 $\theta_{4ij}(j=1, 2)$ が属するサーキットまたはブランチを運動領域 $k(k=j)$ とする。これらのサーキットまたはブランチの $D(\theta_i)$ の符号 D_{ik}^* を運動領域 k の区間 $[0, \theta_{11}]$ における ID とする。そして、 $N_2=2$ として手順(iii・b)へ進む。

(b) $N_{4i}=4$ の場合 $\theta_{4ik}(k=N_2-1, N_2)$ に対して、 $|\theta_{4ik}-\theta_{4ij}^*| < \Delta\theta_4$ が成立する場合の θ_{4ij}^* の添字 $j(j=1 \sim 4)$ の値を $j(k)$ とする。 $\theta_{4ij(k)}^*$ が属するサーキットまたはブランチの $D(\theta_i)$ と $S(\theta_1)$ の符号の組合せ (D_{ik}^*, S_{ik}^*) を運動領域 $k(k=N_2-1, N_2)$ の区間 $[\theta_{1i}, \theta_{1(i+1)}]$ における ID とする。

さらに、 $\theta_{4ij}^*(j=1 \sim 4)$ から $\theta_{4ij(k)}^*(k=N_2-1, N_2)$ を除いたものの添字を $j(k)(k=N_2+1, N_2+2)$ とする。 $\theta_{4ij(k)}^*(k=N_2+1, N_2+2)$ が属するサーキットまたはブランチを運動領域 $k(k=N_2+1, N_2+2)$ とし、ID を同様に定める。そして、 $N_2=N_2+2$ 、 $i=i+1$ として手順(ii)へ戻る。

(c) $N_{4i}=0$ の場合 $i=i+1$ として手順(ii)へ

Fig. 7 Basic examples of the identified branches

Fig. 8 Schematic relationships between θ_1 and θ_4 belonging to sixteen classified circuits

戻る。

(iv) $N_{3i}=4$ の場合

(a) $i < N_1$ の場合 $\theta_{4ij(k)} (k=N_2-3 \sim N_2)$ に対して, $|\theta_{4ij(k)} - \theta_{4ij}^*| < \Delta\theta_4$ が成立する場合の運動領域の番号を $k(j) (j=1, 2)$ とする。 θ_{4ij} が属するサーキットまたはブランチの $D(\theta_1)$ の符号 $D_{ik(j)}$ を運動領域 $k(j)$ の区間 $[\theta_{1i}, \theta_{1(i+1)}]$ における ID とする。そして, $i=i+1$ として手順(ii)へ戻る。

(b) $i=N_1$ の場合 運動領域 $k(j) (j=1, 2)$ のうちの番号が1または2でない運動領域の番号を2または1に改める。そして, $i=i+1$ として手順(ii)へ戻る。

以上の手順を用いて確定された運動領域の例を図7の(a)~(j)に示す。図7の縦軸の $\bar{\theta}_4$ は各運動領域内での従動節角変位 θ_4 の代表値である。

例えば, 図7の(d)および(j)は, 上記の手順をそれぞれ次のように適用して運動領域が確定される。

(d)の場合: 手順(iii・a)→手順(iii・b)→手順(iv・b)

(j)の場合: 手順(ii)→手順(iii・b)→手順(iv・a)→手順(iii・b)→手順(iv・a)→手順(iii・c)

4. 機構の分類

最も基本的なリンク機構である平面四節リンク機構は, 隣接する二つのリンクが相対的に1回転することができるか否かによって, グラスホフ機構と非グラスホフ機構に分けられる。さらに, グラスホフ機構は, 原動節および従動節が1回転できるか, 揺動するかによって, 回転揺動機構, 二重回転機構, 揺動回転機構および二重揺動機構に分類される。

RSCR 四節リンク機構は, その特別な場合として平面四節リンク機構を含んでいるので, 上記の五つの機構およびそれらから発展した機構として分類するのが実用的であると考えられる。

隣接している運動領域を接続すると, 機構の入出力関係を表す 2π を周期とする曲線または閉曲線であるサーキットとなる。よって, 機構の分類はサーキットの分類として取扱うことができる。

図2(a)~(o)までの入出力関係の曲線を参照することにより, RSCR 四節リンク機構は次の16種類に分類される。

(i) 回転・揺動形

(a) 回転・揺動機構, (b) 回転・二揺動機構, (c) 往復回転・揺動機構, (d) 二往復回転・揺動機構

(ii) 二重回転形

(e) 二重回転機構, (f) 二重往復回転機構

(iii) 揺動・回転形

(g) 揺動・回転機構, (h) 二揺動・回転機構, (i) 二揺動・往復回転機構

(iv) 二重揺動形

(j) 二重揺動機構, (k) 二重往復揺動機構

(v) 非グラスホフ形

(l) 二重揺動機構, (m) 往復揺動・揺動機構, (n) 二重往復揺動機構, (o) 二往復揺動・揺動機構, (p) 往復揺動・二往復揺動機構

これらの機構の入出力関係の模式図を図8に示す。

5. 結 言

(1) RSCR 空間四節リンク機構の運動限界位置の条件式を, 従動節に対する中間節の角変位に関する十二次方程式として導出した。

(2) 原動節角変位の値に対して従動節角変位の値が二つ求まる場合には, それらが属する運動領域は係数行列式 $D(\theta_1)$ の符号で識別できる。出力角変位の値が四つ求まる場合は, それらが属する運動領域は $D(\theta_1)$ の符号と中間節の相対変位 $S(\theta_1)$ の符号で識別することができる。

(3) (2)の識別規則を用いることにより, 原動節が連続回転できる場合の入出力関係(サーキット)および運動限界位置で仕切られた入出力関係の部分(ブランチ)である運動領域を自動的に確定する手順を与えた。

(4) RSCR 空間四節リンク機構は, 現段階では, 原動節および従動節が1回転できるか否かなどによって16種類に分類された。

文 献

- (1) Chase, T. R. and Mirth, J. A., Circuits and Branches of Single-Degree-of-Freedom Planar Linkages, *Trans. ASME, J. Mech. Des.*, **115**-2 (1993), 223-230.
- (2) 渡辺克己・舟橋宏明, スティーブソン形平面6節機構の運動特性(第1報, 構成回路および運動領域の識別), 機論, **50**-452, C (1984), 653-661.
- (3) Kohli, D., Cheng, J. -C. and Tsai, K. Y., Assemblability, Circuits, Branches, Locking Positions, and Rotatability of Input Links of Mechanisms with Four Closures, *Trans. ASME, J. Mech. Des.*, **116**-1 (1994), 92-98.
- (4) 渡辺克己・関根武志・南後淳, RSCR 空間4節リンク機構の運動特性解析, 機論, No. **96**-1, Vol. IV (1996), 13-14.