

ベクトル解析に基づく
平面リンク機構の適応的運動シミュレーション

高山 毅, 藤代 一成¹, 池辺八洲彦²

筑波大学理工学研究科, 1 お茶の水女子大学理学部情報科学科, 2 筑波大学電子・情報工学系

三角形は、有限の平面領域を細分化したときの空間の最小単位としてきわめて多くの分野にその応用がある。しかし従来の三角形の表現方法は、「辺の長さや角度に関しての、いくつかの既知量からの未知量の導出」や、「ある辺の長さ（角度）の変化に依存した他の辺の長さ（角度）の変化の調査」という基本的な要求に対して、不十分である。

本論文ではまず、従来の表現方法の1つとして、複素数表示を用いたものを取りあげる。次に、ベクトル解析の理論的な結果を用いて、より最適な三角形の表現法（BREC表現法）を提案する。その有用性は、機械系CADの重要なCAT機能の1つである運動シミュレーションへの応用の中で示される。

Adaptive Kinematic Simulation
of Planar Linkage Mechanisms
Based on Vector Analysis

Tsuyoshi Takayama, Issei Fujishiro¹, Yasuhiko Ikebe²

Program in Engineering Sciences, University of Tsukuba
Tenno-dai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

- 1 Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University
- 2 Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

In many applications, triangles are taken as the minimum unit of space for subdividing a finite planar area. However, the conventional representation schemes for those triangles are insufficient for solving some basic problems where the derivation/dependency relationships among triangle parameters, such as angles or edges, are to be explored.

This paper proposes to solve these problems by invoking theoretical results in vector analysis, and to provide with more convenient representation scheme called 'BREC'. The feasibility of our approach will be illustrated by showing an application to the kinematic simulation of planar linkage mechanisms.

1. はじめに

三角形は、有限の平面領域を細分化したときの空間の最小単位としてきわめて多くの分野にその応用がある。しかしながら、従来の三角形の表現方法では辺の長さや角度の間の関係を陽形式的関係式そのもので表現していた。そのため、「三角形の辺の長さや角度に関しての、任意の組合せによるいくつかの既知量からの未知量を導出」することや、「ある辺の長さ（角度）の連続的／離散的な変化に対する他の辺の長さ（角度）の影響を調査」すること、というような基本的な要求に対して、十分対処することができない。

本論文ではこれらの問題点を解決するために次のようなアプローチを採る。まず、三角形を表現する方法の1つとして、複素数表示を用いたものを取りあげる。これは、2つのベクトルの和とその合成ベクトルの3つによって三角形を表現するものである。次に、この3つのベクトルに対するベクトル解析の理論的な結果を用いて、より最適な三角形の表現方法を求める。そして新しい三角形の表現法として、BREC表現法を提案する。このBREC表現法の有用性は、機械系CADの重要なCAT機能の1つである運動シミュレーションへの応用の中で示される。

本論文の構成は次の通りである。2節では三角形の複素数表示とそれとともなう問題点について述べる。3節は本論文の中心であり、三角形の最適な表現方法としてBREC表現法を提案する。4節では、CADにおける平面リンク機構の運動シミュレーションへBREC表現法を適用し、その有用性を示す。5節は結論と今後の課題である。

2. 三角形とベクトル解析

2.1 三角形の複素数表示と各変数間の関係

$\triangle ABC$ について図1のように「2つのベクトルの和が残りの1つのベクトルに等しい」と考え、

$$a \cdot \exp(j\theta_a) + b \cdot \exp(j\theta_b) = c \cdot \exp(j\theta_c) \quad \cdots (1)$$

と複素数表示することができることはよく知られている。本論文ではこのように、2本のベクトルとその合成ベクトルによって構成される三角形のことをベクトル三角形と呼ぶことにする。ここで、3つの辺 a, b, c と3つの角 $\theta_a, \theta_b, \theta_c$ で合計6つの変数が存在する。い

ま、このうちのいくつかの変数値が既知で、残りの変数値が未知であるという状況を考えてみる。

(1) 既知が3つ、未知が3つの場合

(例1) 図1において3つの辺の長さ a, b, c が既知の場合。

三角形の形状は決定するが、その向きが決定しない。すなわち、3つの角 $\theta_a, \theta_b, \theta_c$ の値を決定することができない。

一般に(1)の場合としては、 $\circlearrowleft C_3 = 20$ 通り の場合が存在するが、いずれの場合も3つの既知の変数値から3つの未知の変数値を定めることができない。

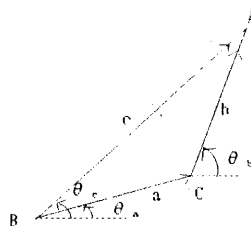


図1 三角形と複素数表示

(2) 既知が4つ、未知が2つの場合

(例2) 図1において3つの角 $\theta_a, \theta_b, \theta_c$ と一辺の長さ a が既知の場合。

(1)式より

$$b = -a \cdot \sin(\theta_a - \theta_c) / (\sin(\theta_b - \theta_c)) \quad \cdots (2)$$

$$c = a \cdot \sin(\theta_a - \theta_b) / (\sin(\theta_c - \theta_b)) \quad \cdots (3)$$

が得られ、これらの式に既知の変数値 $\theta_a, \theta_b, \theta_c, a$ を代入することによって未知の変数値 b, c を得ることができる。

文献[1]では(2)の場合として、4つの種類が存在することと、各場合の未知の変数値を導出する式（以降単に導出式と呼ぶ）を(1)式より図2のように解析している。実際、表1のように(2)の場合としては、 $\circlearrowleft C_4 = 15$ 通り 存在し、これらは図2中の4種類のどれかになっている。どの変数値が既知（未知）であるかによって図2中の導出式は若干変更する必要があるが生じるが、それらは既知の変数値を代入するときの符号の反転等によって解消できる。この点に関する詳しい説明は2.2項でおこなう。

パターン1: 2辺夾角既知

既知: a, b, θ_a, θ_b
未知: c, θ_c

```

if a*cos $\theta_a$ +b*cos $\theta_b$ >0
  then
     $\theta_c = \tan^{-1}((a \cdot \sin \theta_a + b \cdot \sin \theta_b) / (1 / (a \cdot \cos \theta_a + b \cdot \cos \theta_b)))$ 
  else
    if a*cos $\theta_a$ +b*cos $\theta_b$ <0
      then
         $\theta_c = \tan^{-1}((a \cdot \sin \theta_a + b \cdot \sin \theta_b) / (1 / (a \cdot \cos \theta_a + b \cdot \cos \theta_b))) + \pi$ 
      else
        if a*sin $\theta_a$ +b*sin $\theta_b$ >0
          then
             $\theta_c = \pi / 2$ 
          else
            if a*sin $\theta_a$ +b*sin $\theta_b$ <0
              then
                 $\theta_c = -(\pi / 2)$ 
              else
                no triangle exists.
    c = (a2+b2+2ab*cos( $\theta_a - \theta_b$ ))1/2

```

パターン2: 2角夾辺既知

既知: a, $\theta_a, \theta_b, \theta_c$
未知: b, c

$b = a \cdot \sin(\theta_a - \theta_c) / (\sin(\theta_b - \theta_c))$
 $c = a \cdot \sin(\theta_a - \theta_b) / (\sin(\theta_c - \theta_b))$

パターン3: 2辺と1角既知

既知: a, $\theta_a, \theta_b, \theta_c$
未知: b, c

$\theta_b = \begin{cases} \theta_c - \sin^{-1}((a/b) \cdot \sin(\theta_a - \theta_c)) \\ \theta_c + \pi + \sin^{-1}((a/b) \cdot \sin(\theta_a - \theta_c)) \end{cases}$

$c = a \cdot \cos(\theta_a - \theta_c) + b \cdot \cos(\theta_b - \theta_c)$

パターン4: 3辺既知

既知: a, b, c, θ_a
未知: θ_b, θ_c

$\theta_b = \begin{cases} \theta_a + \cos^{-1}((c^2 - a^2 - b^2) / 2ab) \\ \theta_a - \cos^{-1}((c^2 - a^2 - b^2) / 2ab) \end{cases}$

```

if a*cos $\theta_a$ +b*cos $\theta_b$ >0
  then
     $\theta_c = \tan^{-1}((a \cdot \sin \theta_a + b \cdot \sin \theta_b) / (a \cdot \cos \theta_a + b \cdot \cos \theta_b))$ 
  else
    if a*cos $\theta_a$ +b*cos $\theta_b$ <0
      then
         $\theta_c = \tan^{-1}((a \cdot \sin \theta_a + b \cdot \sin \theta_b) / (a \cdot \cos \theta_a + b \cdot \cos \theta_b)) + \pi$ 
      else
        if a*sin $\theta_a$ +b*sin $\theta_b$ >0
          then
             $\theta_c = \pi / 2$ 
        else
          if a*sin $\theta_a$ +b*sin $\theta_b$ <0
            then

```

$\theta_c = -(\pi / 2)$
else
no triangle exists.

図2 (2)の場合の4パターンとそれぞれの導出式
ただし各変数名は図1のそれに対応している。

表1 既知4つの場合とその分類

θ_a	θ_b	θ_c	a	b	c	型
○	○	○	○	×	×	②
○	○	○	×	○	×	②
○	○	○	×	×	○	②
○	○	×	○	○	×	①
○	○	×	○	×	○	③
○	○	×	×	○	○	③
○	×	○	○	○	×	③
○	×	○	○	×	○	①
○	×	○	×	○	○	③
○	×	×	○	○	○	④
×	○	○	○	○	×	③
×	○	○	○	×	○	③
×	○	○	×	○	○	①
×	○	×	○	○	○	④
×	×	○	○	○	○	④

○ … 既知 × … 未知
①: 2辺夾角既知 ②: 2角夾辺既知
③: 2辺と1角既知 ④: 3辺既知

(3) 既知が5つ、未知が1つの場合

既知の変数値のうち、任意の4つを用いると図2中の4種類のいずれかに帰着できる。従って未知の変数値(1つ)を求めることができる。

以上(1), (2), (3)より既知の変数値が

3つ以下: 未知の変数値の導出不可能。

4つ以上: 未知の変数値の導出可能。

であることがわかる。また導出可能な場合について、その導出式は図2の各式が有効である。

2.2 符号の反転と一般式の拡張

本項では図2で同一のパターンとして分類されるもの間で、どのベクトルの大きさ、あるいは偏角が既知(未知)であるかによって生じる導出式中の符号の

反転の必要性とその対処について述べる。4パターンすべてについて説明することは、紙幅の都合上無理なので、ここでは'2角夾辺既知'の場合を例にとって述べる。

'2角夾辺既知'の場合としては表1より

- ① $\theta_a, \theta_b, \theta_c, a \rightarrow b, c$
- ② $\theta_a, \theta_b, \theta_c, b \rightarrow c, a$
- ③ $\theta_a, \theta_b, \theta_c, c \rightarrow a, b$

の3通りが存在する。ここで「A→B」は、

A: 値が既知の変数のリスト

から

B: 値が未知の変数のリスト

が導出可能であることを意味するものとする。①、②、

③の各場合の導出式は以下ようになる。

① (2)式および(3)式

$$\textcircled{2} c = b \cdot \sin(\theta_b - \theta_a) / (\sin(\theta_c - \theta_a)) \quad \dots (4)$$

$$a = -b \cdot \sin(\theta_b - \theta_c) / (\sin(\theta_a - \theta_c)) \quad \dots (5)$$

$$\textcircled{3} a = c \cdot \sin(\theta_c - \theta_b) / (\sin(\theta_a - \theta_b)) \quad \dots (6)$$

$$b = c \cdot \sin(\theta_c - \theta_a) / (\sin(\theta_b - \theta_a)) \quad \dots (7)$$

すなわち、文献[1]では'2角夾辺既知'の場合の導出式として(2)、(3)式を提示しているが、これは①の場合に限ってそのまま使えるのであって、②、③の場合にはいくつかの変数について符号の反転が必要ということになる。これではせっかく図2のように4つのパターンに分類しても、結局において表1中すべての15通りについて別個の導出式を使用することになってしまう。

そこで今回我々は1パターンについて1種類の一般化された導出式(仮引数により表現)とその実引数を用いることにする。具体的には(2)、(3)式を仮引数 $x, y, z, \theta_a, \theta_b, \theta_c$ を用いて

$$y = -x \cdot \sin(\theta_b - \theta_c) / (\sin(\theta_a - \theta_c)) \quad \dots (2)'$$

$$z = x \cdot \sin(\theta_c - \theta_b) / (\sin(\theta_a - \theta_b)) \quad \dots (3)'$$

と表現する。すると①~③の各場合の実引数は

$$\textcircled{1}: x = a, y = b, z = c$$

$$\theta_a = \theta_a, \theta_b = \theta_b, \theta_c = \theta_c$$

$$\textcircled{2}: x = -b, y = c, z = a$$

$$\theta_a = \theta_b, \theta_b = \theta_c, \theta_c = \theta_a$$

$$\textcircled{3}: x = -c, y = a, z = -b$$

$$\theta_a = \theta_c, \theta_b = \theta_a, \theta_c = \theta_b$$

となる。③の場合、

$$'z = -b' \quad \langle \Rightarrow \quad 'b = -z'$$

であるので、bの値が必要な場合は(3)'式によって得られたzの符号を反転させればよい。

以上は'2角夾辺既知'の場合について述べたが、他の3パターンについても同様に仮引数を用いた一般式と実引数によってその導出式を表現することができる。

2.3 ベクトル三角形の表現法とその問題

いま、図1のベクトル三角形において(例2)の状況であったとする。このベクトル三角形を表現する方法として次の2通りが考えられる。

(表現法1) 4つの既知の変数値から2つの未知の変数値を求めて、「6つの変数の変数名と値の組」として表現する。

(表現法2) 「6つの変数の変数名と4つの既知の変数値、および対応する導出式」で表現する。未知の変数値が必要な場合は、これらから導出する。

(表現法1)は図1のベクトル三角形を完全に表現している、という点では評価できる。しかし、値の組として表現しているので、

(例3) (例2)中でaの値が Δa 増えて、

$$a \rightarrow a + \Delta a$$

となったとき、b, cの値はどのように変化するだろうか。

という問題に対処することができない。この点、(表現法2)ではaの値を $a + \Delta a$ に変更することにより、十分対処可能である。

しかし、(表現法2)にもいくつかの問題点がある。

まず、ベクトル三角形が複数存在する場合について考えてみる。個々のベクトル三角形についてどの部分が既知(未知)であるか、ということから対応する導出式の一般式を調べ、それに変数名を割り当てていく必要がある。この作業はベクトル三角形の数の増加につれて非常に面倒になる。

次に、

(例4) (例3)のある時点で $b = b_1$ が得られた、

とする。このときのaはいくつであろうか?

という問題を考えてみる。いま、変化させているaを

「入力」、この入力と定数 $\theta_a, \theta_b, \theta_c$ から得られる b, c を「出力」と呼ぶ場合、(例4)は(例3)の逆問題に他ならない。この問題の解決のためには(2)式を直接用いることはできず、(5)式の形に解き直さなければならない。(例4)は逆関数が容易に求まる場合であるが、一方向関数[2]の場合には逆問題を解くことが非常に困難になる。また、

(例5) (例2)において、 θ_a, θ_b はそのまま
(定数値)で

$$a = a_1 \quad \text{のとき} \quad b = b_1$$

となるためには θ_c をいくつにすればよいだろうか?

という問題を解くのであれば、(2)式を θ_c が求まる形に変形しなければならない。(例5)のように、ある入出力関係を与えてそれを満たすように他の部分を調整することは設計に他ならない。

図1のベクトル三角形で何等かの機構を表現していると考えた場合、(例4)や(例5)のような問題を解く状況は十分起こり得る。しかし(表現法2)中の導出式は、直接これらの問題に対処することはできない。

ここでもう一度整理すると、(表現法2)は以下の問題点を含んでいる。

(問題点1) ベクトル三角形の個数が多い場合など、導出式の構築が面倒である。

(問題点2) 逆問題の解析、設計など、どの変数が既知であるか、ということに関する変更に対応しづらい。

3. BREC表現法と入出力関係の変更

本節では2.3項で掲げた2つの問題点を解決する新しいベクトル三角形の表現法としてBREC表現法を提案する。この表現法を用いれば、導出式の構築が不要となるばかりでなく入出力関係の変更が容易になる。

3.1 ベクトル三角形を構成する6つの要素

図1では各ベクトルの大きさ、およびその偏角を $a, b, c, \theta_a, \theta_b, \theta_c$ の6つの変数名を用いて表現した。一般に変数名は場合に応じて変化する。そこでまず、これらベクトル三角形を構成する6つの要素について、変数名とは独立した絶対的な名称を以下のように定義

する。

1 CS (1st Component Vector Size) :

図1中で a に相当する量。

2 CS (2nd Component Vector Size) :

図1中で b に相当する量。

RVS (Resultant Vector Size) :

図1中で c に相当する量。

1 CA (1st Component Vector Angle) :

図1中で θ_a に相当する量。

2 CA (2nd Component Vector Angle) :

図1中で θ_b に相当する量。

RVA (Resultant Vector Angle) :

図1中で θ_c に相当する量。

3.2 BREC表現法

次に、「既知/未知のパターン」と「導出式」の関係を図3に示す。いま、6つの変数の値に関する既知(未知)のパターンの例 A_1 があつたとする。このとき対応する導出式が一意に定まる(導出式 B_1)。(表現法2)ではこの導出式 B_1 が6つの変数名および4つの既知の変数値とともに図1のベクトル三角形を表現する。そして、未知の変数値が必要な場合はこれらから導出される。

ここで、(例4)や(例5)のような問題を解く必要が生じると、この導出式 B_1 を状況に応じた形に変形して導出式 B_2 を得る。ところがこの導出式 B_2 には当然、1対1に対応する6つの変数の値に関する既知(未知)のパターンの例 A_2 が存在するはずである。そしてこの、パターン A_1 と A_2 の間の差異は、既知/未知に関する情報のみである。

また、既知/未知のパターンの例 A_1, A_2, A_3, \dots

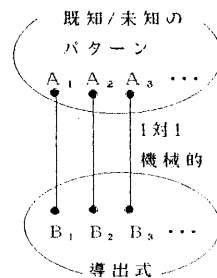


図3 既知/未知のパターンと導出式の関係

は複数の異なるベクトル三角形を表現している、と考えることもできる。この場合にもそれぞれに対して導出式 B_1, B_2, B_3, \dots が1対1に対応して存在し、これらの変換は機械的である。

以上のことから我々は（表現法2）における導出式の代わりに、それと1対1に対応する6つの変数の値に関する既知/未知のパターンを図1のベクトル三角形を表現する情報の一部として採用する。すなわち、

（表現法3）「6つの変数の変数名と4つの既知の変数値、および既知/未知のパターン」で表現する。未知の変数値が必要な場合は、まずこの「既知/未知のパターン」から1対1に対応する導出式を機械的に得て、そこに既知の変数値を代入することにより導出する。

これにより、複数のベクトル三角形を表現するためにすべての導出式を求めておく、という手間を省くことができる。

（表現法3）は、ベクトル三角形を構成する各要素の役割（既知/未知）に注目して（表現法その2）を改変した新しいベクトル三角形表現方法である。そこで我々はこれを、

BREC表現法 (A vector triangle representation scheme Based on the Role of Each of its Component)

と呼ぶことにする。いま、図1のベクトル三角形が（例2）の状況であるとする。BREC表現法に対応するデータ構造としては表2が考えられる。Ptrn#（入出力パターン識別子）は'1'～'4'の値によって4パターンのいずれかを表すもので、'2'は'2辺夾角既知'である。

表2 （例2）のベクトル三角形にBREC表現法を適用した場合のデータ構造の例。

	役割	変数名	値
1 CA	既知	θ_a	
2 CA	既知	θ_b	
RVA	既知	θ_c	
1 CS	既知	a	
2 CS	未知	b	
RVS	未知	c	
Ptrn#	2		

4. リンク機構の適応的運動シミュレーション

本節では3節で提案したBREC表現法の適用例としてリンク機構の運動シミュレーションをとりあげ、この表現法の有用性を示す。コンピュータ支援による運動シミュレーションは高品質な機械系製品の設計および製造工程において重要である。ここではとくに機械の対象をリンク機構に制限して話を進める。

4.1 平面リンク機構

平面リンク機構は4つまたはそれ以上の機素（リンク）から構成され、その運動は一定の平面上での回転と並進の組合せからなる[3][4]。要素となっているリンクのつりあいを変えることによって容易にたくさんの運動が構成でき、さらにそれらの組合せによって、より複雑な機構をも構成できる点で、リンク機構はもっともよく使われている機構の一つである[1]。

平面リンク機構の基本は図4に示される4節回転連鎖である。一般に4個のリンクの長さはそれぞれ異なり、これらのうちのどのリンクを固定して運動させるかによってリンク機構はいくつかに分類される（図5）[5]。複雑なリンク機構は、これらの全体あるいは一部の運動を組み合わせたものである。

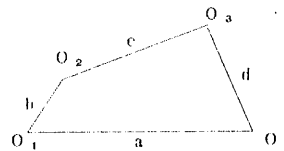


図4 4節回転連鎖

リンク機構

- 回転-揺動機構：最短リンクと対偶をなすリンクが静止節
- 二重回転機構：最短リンクが静止節
- 二重揺動機構：最短リンクに向き合うリンクが静止節

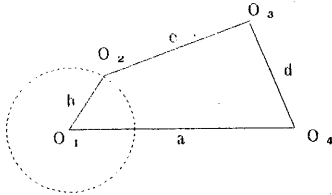
図5 リンク機構の分類
どのリンクを静止節とするかによる分類。
文献[5]による。

4.2 平面リンク機構の運動の解析

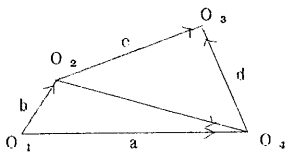
平面リンク機構の運動の解析にはベクトル解析が便利であることが知られている [1]。ここではリンク機構のうち回転-揺動機構を例にとってその運動の解析を考えてみる。

文献 [5]によれば回転-揺動機構とは以下のようなものである。「リンク機構のうち最短リンクと対偶をなすリンクを静止節としたもの」というのが定義であり、別名クランク-揺腕機構ともいう。図6(a)において、aを静止節とすると、最短リンクbは O_1 を中心として完全に回転するクランクであり、dは O_4 を中心とする往復角運動（揺動運動という）をする揺腕（ゆりうで）である。またcはbとdを連結して運動や力の伝達をする連結節である。このときcを静止節としても、やはり回転-揺動機構ができる。

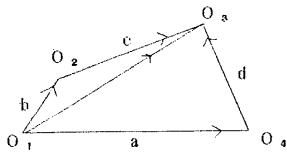
この運動を解析するために、図6(b)に示されるように平面リンク機構に対してベクトル解析を行い、2つのベクトル三角形をあてはめることができる。以降、このようなベクトル三角形のことをリンクベクトル三角形と呼ぶことにする。



(a) 回転-揺動機構



(b) リンクベクトル三角形への分割（順問題）



(c) リンクベクトル三角形への分割（逆問題）

図6 回転-揺動機構とその解析

表3 BREC表現を用いた図6の表現

($\Delta O_1 O_2 O_4$)

	役割	変数名	値
1 CA	入力1		
2 CA	出力1		
RVA	定数		
1 CS	定数	b	
2 CS	出力2		
RVS	定数	a	
P trn#	1		

($\Delta O_2 O_4 O_3$)

	役割	変数名	値
1 CA	入力1		
2 CA	出力1		
RVA	出力2		
1 CS	入力2		
2 CS	定数	d	
RVS	定数	c	
P trn#	4		

(a) 順問題の場合（図6(b)に対応）

($\Delta O_1 O_2 O_4$)

	役割	変数名	値
1 CA	定数		
2 CA	入力1		
RVA	出力1		
1 CS	定数	a	
2 CS	定数	d	
RVS	出力2		
P trn#	1		

($\Delta O_1 O_2 O_3$)

	役割	変数名	値
1 CA	出力1		
2 CA	出力2		
RVA	入力1		
1 CS	定数	b	
2 CS	定数	c	
RVS	入力2		
P trn#	4		

(a) 逆問題の場合（図6(c)に対応）

いま、このリンクベクトル三角形に3節で提案した BREC 表現法を適用することを考える(表3(a))。役割欄で '入力1', '入力2', '定数', '出力1', '出力2' 等があらわれているが、'入力1', '入力2', '定数' は '既知' の、また '出力1', '出力2' は '未知' のそれぞれ特化値として解釈される。この場合 $\Delta O_1 O_2 O_4$ は '2 辺夾角既知' であり、導出される未知量 $O_2 O_4$ の長さおよび偏角が $\Delta O_2 O_4 O_3$ の入力となって、最終的に出力の $O_3 O_4$ の偏角が求まる。

以上は順問題の場合の解析を示しているが、逆問題の場合には図6(c)に示されるように、やはり機構の射影に対してベクトル解析を行い、2つのベクトル三角形をあてはめて考える。この場合は、BREC 表現法を用いて表3(b)のようにあらわされる。出力値である $O_3 O_4$ の偏角は $\Delta O_1 O_3 O_4$ の '入力1' として与えられ、未知の変数値が順次評価されて、最終的に必要な入力値 $O_1 O_2$ の偏角が求まる。

4.3 適応的運動シミュレーションの実現

4.2項の例はリンク機構の中でももっとも基本的なものの1つである。ところで、複雑なリンク機構が与えられた場合にも、隣接する三角形が共ベクトルを持つようにいくつかのリンクベクトル三角形に分割して考える。いかなる平面リンク機構の運動もこのリンクベクトル三角形の組合せによって解析可能である[1]。

ここで我々は、要素となっている各ベクトル三角形に BREC 表現法を適用する。順問題用と逆問題用の2種類を用意しておくことにより、「逆問題」はもちろん、「機械の途中の部分動かしたときの各部分の呼応」など、さまざまなシミュレーションが可能となる。我々はこれらのシミュレーションを総称して「適応的運動シミュレーション」と呼んでいる[6][7]。

口頭発表ではこの複雑なリンク機構に関する適応的運動シミュレーションを、具体例に用いて詳しく説明する。

5. おわりに

我々の示した解決法によって(問題点1)、(問題点2)はいずれも解決した。適用例として示した「平面リンク機構の運動シミュレーション」について、我々はその数値シミュレータの実装を既に終えている。C

ADシステムへの実用的拡張を考えた場合、以下の4点が今後の課題として残されている。①ユーザフレンドリーな専用インタフェースの開発。②順問題用、逆問題用それぞれのベクトル三角形への自動分割のためのアルゴリズムの検討。③運動シミュレーション以外のCATへのBREC表現法の適用性の検討。④リンク機構以外の機構への検討。

参考文献

- [1] 高野政晴, 遠山茂樹: 演習 機械運動学, サイエンス社, 234pp., 1984.
- [2] 渡辺 治: 『一方向関数のお話し』情報処理学会誌情報処理, vol.32, no.6, pp.704-713, 1991.
- [3] Dougetie, V.L. and James, W.H: Elements of Mechanism, John Wiley & Sons, 1954.
- [4] Martin, G.H: Kinematics and Dynamics of Machines, McGraw-Hill, 1969.
- [5] 小川 潔, 加藤 功: 機構学, 森北出版, 195pp., 1971.
- [6] 高山 毅, 藤代一成, 池辺八洲彦: 『CAD/CAM情報モデルのCAT機能の拡充に向けて - 適応的運動シミュレーションへのアプローチ-』, 平成3年前期情報処理学会全国大会, 講演論文集(1) pp.297-298.
- [7] Takayama, T., Fujishiro, I., and Ikebe, Y.: "Product Database Modeling for Adaptive Kinematic Simulation of Planar Linkage Mechanisms," Proceedings ACM Symposium on Solid Modeling Foundations and CAD/CAM Applications, 549pp., 1991.