

4 節回転機構シミュレーションプログラムの開発

— 2 画面同時表示による —

大西研治* 有ヶ谷亮介¹

*技術教育講座

Development of quadric crank mechanism simulation program

— Two picture display simultaneously —

Kenji OHNISHI* and Ryosuke ARIGAYA¹

*Department of Technology, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

1 緒 言

中学校技術・家庭科, 機械領域においてリンク機構を学習する際に, 動く模型を観察せること, 厚紙及びプラスチック等で機構模型を自作させることなどにより, 生徒にリンク機構を理解させている。

しかし, これらの自作の機構模型は, 生徒に節の長さの変化による節対偶の運動, 機構の変化を理解させるためには適当でないと考えられる。なぜなら機構模型が任意の長さに対応しにくく, 動作の比較をするために2つの機構模型を同時に動かすことが難しいためと考えられる。

また, 2002年度改定の新学習指導要領において, 現行の木材加工・金属加工・機械・電気・栽培の領域が, 技術とものづくりという形に統合され, エネルギー変換を用いた動く製作品等に対する自由度は増す一方で, 授業時数の減少により基礎基本を十分に学習することが困難になることが考えられる。

コンピュータによるシミュレーションは, 体験が困難である事象を表現でき, 原理の理解, 概念の形成を助けることができる。そこで, 厚紙, プラスチックの機構模型で難しい学習内容に, コンピュータでのシミュレートを利用することとし, 生徒が効率良くリンク機構を学習できるシミュレーションプログラムの必要性に着目した。

リンク機構の一例として, てこクランク機構を取り上げ, クランク節の長さの変化によって, てこの運動範囲が変化すること, 各リンクの長さを変えたり固定節を変えることで機構が変化することを生徒が学習するために, 4 節回転機構の2画面の同時表示機能を持つプログラムとすることとした。

本研究では, Visual Basic が現在の標準的な OS である Windows 用のアプリケーション開発言語の一つであること, Visual Basic では Basic を発展させた言語を使用するために, これまでの Basic プログラミングにおけるノウハウが生かせること, Visual Basic ではユーザーインターフェイスの作成, インターフェイスの各要素の使用が容易であること等の理由より, Visual Basic を用いリンク機構学習用プログラムである4 節回転機構シミュレーションプログラムの開発することとした。

2 4 節回転機構プログラム

2・1 4 節回転機構の考え方

棒状の節(link)を次々と対偶で連結した連鎖をリンク装置と呼ぶ。そして, それぞれ2つの回り対偶(turning pair)を持つ4つの節からなる連鎖を4 節回転機構と呼び, あらゆるリンクしかけを誘導する重要な機構である。

4 節回転機構における節の中で, 固定節に対して回転運動をする節をクランク節, 揺動する節をてこ節, 主動節と従動節をつなぐ節を連結節と呼び, 固定する節を変えることで, てこクランク機構, 両クランク機構, 両てこ機構, 平行クランク機構とそれぞれ異なる機構に変化する。

これら4 節回転機構の4つの機構は, 1つの節に運動を加えた場合, 他の節はすべて一定の運動をし, それ以上の運動をしない限定連鎖である。つまり, 互いの対偶の運動は節の長さにより限定されている。4 節回転機構シミュレーションプログラムでは, この共通点を用いて4 節回転機構の各機構における座標の演算ができると考えた。

図1に示すように, 節Aが主動節, 節Bが連結節, 節Dが固定節であり, 対偶Bの座標が(0, 0), 対偶

1 愛知教育大学大学院学生 (Graduate Student, Aichi University of Education)

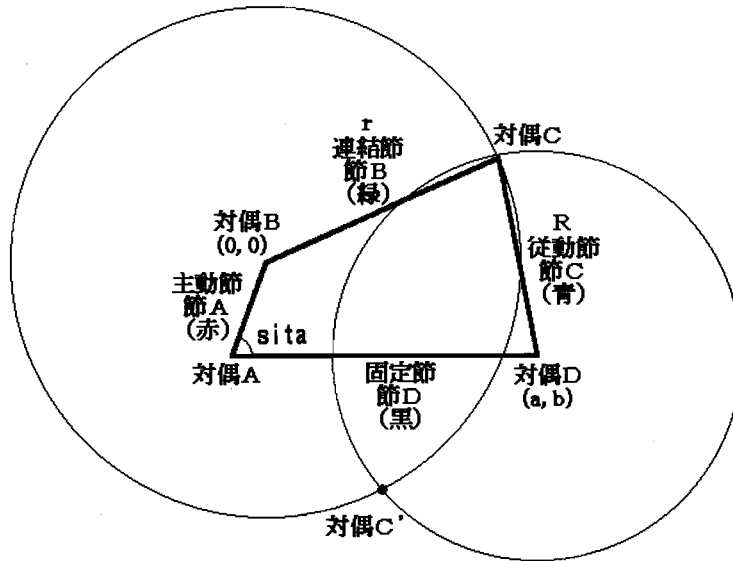


図1 4節回転機構の各部名称

Dの座標が (a, b) である。この時、対偶Cの座標は対偶Bから節Bの長さである r の距離、対偶Dから節Cの長さである R の距離に限定される。つまり、対偶Cの座標は、対偶Bの座標を中心とした半径 r の円と対偶Dを中心とした半径 R の円の交点に存在する。

そこで、対偶CのX座標を x、Y座標を y として実際に式に表すと、この場合の2円の交点X座標は、

$$x^2 + y^2 + r^2 = 0$$

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 - R^2 = 0 \text{ より、}$$

$$x = (-b/a)y + (a^2 + b^2 + r^2 - R^2)/2a$$

となる。

次にY座標に関する2次方程式を求めると、

$$(a^2 + b^2)y^2 - \{b(a^2 + b^2 + r^2 - R^2)\}y + \{(a^2 + b^2 + r^2 - R^2) - 4a^2r^2\}/4 = 0$$

となる。

しかし、求めるY座標は2次方程式であるため2つの解が求められる。これは、図1に示す対偶Cと対偶C'である。ゆえ、対偶Cと対偶C'の解を吟味する必要が生じる。

また、本プログラムにおいては、各節をより区別しやすくするために、主動節を赤色、連結節を緑色、従動節を青色、固定節を黒色として表示した。

2・2 機構判別方法

4節回転機構は各節の長さにより、4つの機構に分かれる。図2において最短節は a であり、最長節は d である。最短節が完全回転するためには、a, b が伸び切った状態と a, b が重なった場合が存在する。

伸び切った状態からは、 $a + b \leq c + d$

重なった状態からは、 $a + d \leq b + c$

$$a + c \leq b + d$$

という条件からも存在することがわかる。(グラスホフ

の定理)

ゆえに、このクランク機構は、最短リンクと他のリンクの長さの和が、残りの2つのリンクの長さの和を超えない場合、a を主動節、b または d を固定節という条件の元に成立する。

さらに上記の節の条件において、b を固定節とした場合は両てこ機構、a を固定節とした場合は両クランク機構と固定する節によって機構が変化する。

固定する節、節の長さにより機構は変化するのであるから4節回転機構のシミュレーションプログラムでは、対偶Cの2つの座標を4節回転機構の各機構に分けて吟味する必要がある。

また、 $a = c, b = d$ の条件下における平行クランク機構、 $a = d, b = c$ の条件下におけるシルベスターてこ機構は、両クランク機構であるともいえるが、平行クランク機構は1つの機構のとして区別されていること、シルベスターてこ機構は主動節1周に対して従動節が2周するため、特殊な解の吟味を行うことから区別をした。

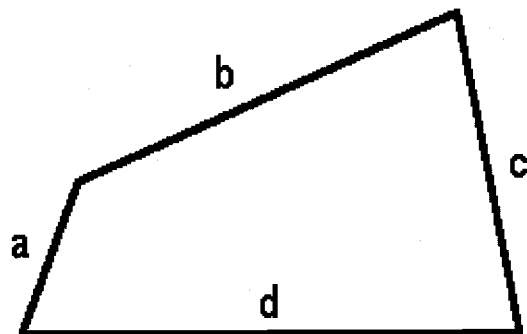


図2 4節回転機構

2・3 座標演算方法（吟味方法）

図1に示した節A～Dの長さを LinkA～LinkD, 対偶A, B, DのX座標, Y座標を, APairX, BPairX, DPairX, APairY, BPairY, DPairY, 節Aと節Dの角度を Sita, 対偶Cと対偶C'のY座標を CPairYGinmi(0), CPairYGinmi(1), それぞれにより求められるX座標を CPairXGinmi(0), CPairXGinmi(1)とする。

そして, 対偶Bを原点, X軸を固定節Dと平行な向きで対偶Dを正方向, 画面上部をY軸の正方向とし, Sitaと節A, Bの長さより対偶Dの右端の座標を求めた後, 対偶Bより節Bの長さの半径, 対偶Dより節Cの長さの半径の円の交点のY座標を求め, 大きな方を CPairYGinmi(0) 小さな方を, CPairYGinmi(1)とし, それぞれについて, 対応するX座標を CPairXGinmi(0), CPairXGinmi(1)の計算を行う形とした。CPairYGinmi(0), CPairYGinmi(1)の対応は以下のプログラムリストのようになる。

座標演算プログラムの基礎のプログラムリスト

・対偶Bを原点とした時の対偶C以外の座標

$$APairX = -LinkA * \cos(Sita)$$

$$APairY = -LinkA * \sin(Sita)$$

$$BPairX = 0$$

$$BPairY = 0$$

$$DPairX = LinkD + APairX$$

$$DPairY = APairY$$

・解の公式で使用する要素

$$KaiM = DPairX^2 + DPairY^2 + LinkB^2 - LinkC^2$$

$$KaiA = DPairX^2 + DPairY^2$$

$$KaiB = -(DPairY * KaiM)$$

$$KaiC = (KaiM^2) / 4 - DPairX^2 * LinkB^2$$

$$CPairYGinmi(0) = (-KaiB + \sqrt{KaiB^2 - 4 * KaiA * KaiC}) / (2 * KaiA)$$

$$CPairYGinmi(1) = (-KaiB - \sqrt{KaiB^2 - 4 * KaiA * KaiC}) / (2 * KaiA)$$

$$CPairXGinmi(0) = (-DPairY * CPairYGinmi(0) + KaiM / 2) / DPairX$$

$$CPairXGinmi(1) = (-DPairY * CPairYGinmi(1) + KaiM / 2) / DPairX$$

4つの機構における対偶Cの2つの座標のどちらを選択すべきかの吟味は, CPairYGinmi(0), CPairYGinmi(1), CPairXGinmi(0), CPairXGinmi(1)が1周期中でとる値は, 機構の種類と, 原点である対偶Bに対し対偶Dが存在する象現との2つに分けすることができる。

てクランク機構については, 対偶Dは第1象現と第4象現に限られ, 第1象現, 第4象現においても対偶Cは CPairYGinmi(0)より求めることとなる。

同様に, 両クランク機構と平行クランク機構は対偶Dはすべての象現をとり, 両クランク機構は第1象現と第4象現では CPairYGinmi(0), 第2象現と第3象現では CPairYGinmi(1)より, 平行クランク機構は第1象現と第3象現では CPairYGinmi(1), 第2象現と第4象現では CPairYGinmi(0)より, 対偶Cを求められる。両てこ機構の対偶Dは, 最大揺動角と最小揺動角の範囲内において, 第3象現, 第4象現をとり, 第3象現では CPairYGinmi(1), 第4象現では CPairYGinmi(0)より対偶Cを求められる。実際の両てこ機構は最大揺動角, 最小揺動角を越え, 主動節と従動節が揺動する。この場合は別途吟味が必要となる。シルベスターてこ機構は, 1周期目が CPairYGinmi(0), 2周期目が CPairYGinmi(1)により対偶Cを求められる。

3 シミュレーションプログラムの作成

3・1 プログラムの構成

上述したように, 4節回転機構の機構であるてこクランク機構, 両クランク機構, 平行クランク機構, 両てこ機構及びシルベスターてこ機構の対偶Cの座標演算は共通の演算方法とそれにより求められるY座標の2解の吟味の違いにより求められ, 統一した座標演算モジュールにまとめる事ができた。

プログラムの流れは, 節の入力と機構の吟味, 座標演算, 描画となる。これらの主要な処理もプログラムのパーツとして独立させることで, プログラム改良を容易とする構造を持つ4節回転機構シミュレーションプログラムを開発することとした。

入力方法, 操作上における情報の表示方法, 機構の表示方法に関して, 中学校技術・家庭科の機械領域で使用することを考慮した。

3・1・2 ZOrder による動画

本プログラムでは, 主動節の回転による節と対偶の位置の変化を Timer イベントにより次々と描画することでアニメーション表示するものであるが, 1つのピクチャーボックスを用いた描画はアニメーションのパターンを描画し直すために, 一度ピクチャーボックスを消すことで新しいパターンを描画する事となり, ちらつきが発生するため, 機構の観察, 比較を行う教材としては適当ではない。よって, ピクチャーボックスを2枚重ねて表示し, 後方のピクチャーボックスに事前に次の表示パターンを描画した後, 前面のピクチャーボックスと ZOrder 命令によって切り替えることで, ちらつきを押さえる方法を用いた。

3・2 プログラムの概要

3・2・1 節の長さの入力方法

節の長さの入力方法としては, ①任意に入力させる

方法、②機構ごとの基本値を持たせ、それを参考にさせて入力する方法、③画面上よりマウスをクリックした座標を取得し、節の長さを入力する方法、これら3つを考え、これらの中から吟味することにした。

入力させる節の長さは、本プログラムが中学校の技術・家庭科の機械領域の内容の一部である「簡単な動く模型の設計と製作ができるようにする」を達成する中で補助的な役割を目指していることから、mmを単位とした入力が入力適当であり、中学校の授業の中で作られる動く模型を考慮した値を考えた場合、最小10mm、最大300mm程度が適当であると考えられる。しかし、ディスプレイのサイズや解像度等が本プログラムを使用する環境に依存するため、入力された値に対し表示される節の長さを実感することは難しい。

①による入力は、機構の条件に関する知識が必要であり、自由度はあるが4節回転機構の学習が十分でない場合には不向きである。③による入力は、表示される機構の形を直感的に理解できるが、節の長さによる機構の変化を意識させることを考慮すると適当では無いと判断し、①と②の入力方法が可能のように、図3に示すような機構ごとに基本値を入力する場合と自由入力により機構が決まる場合の2パターンを入力を設け、学習の習熟の程度に対応できるよう配慮した。

3・2・2 回転機構の2画面表示方法

節の長さによる機構の変化を観察させる方法として、2つの機構を同時に表示させることが効果的であると考えられる。これに対し、①同一画面に2つの機構

を表示する。②別々の画面に2つの機構を分けて表示する。2つのパターンが考えられたが、見易さと新規に入力した機構が判別しやすいことから、②の上下の2画面表示を目指した。2画面表示の方法としては、プログラム上2画面の機構それぞれについて4節の長さ、機構と座標の情報、回転方向と1周期のパターン数の情報を持たせており、2画面を完全に独立してアニメーションさせることも可能であったが、比較することを考慮すると、主動節の角度が上下の2画面でシンクロすることが適当であると考え図4に示す2画面表示画面を作成した。

2画面表示による機構の比較の際に各々の画面に表示している機構全体の動きを把握しやすくするために、対偶Bと対偶Cの軌跡を1周目の表示は既に通過した軌跡を灰色で、2周目の表示は1周期の軌跡を灰色で、既に通過した軌跡を対偶Bについては赤色で、対偶Cについては青色で表示した。

3・2・3 2画面表示時の情報表示方法

主動節、連結節、従動節、固定節の役割を明確にするために4節回転機構中の各節を色分けすることは既に述べたが、図4に示すように節の長さを入力するためのテキストボックス内の文字色、ラベルの文字色を節の色に対応させた。さらに、上下画面共通の主動節の操作に関わるコマンドボタン、各節の長さの入力に関わるテキストボックスとを明確に分けて表示することで、学習者の操作のしやすさと各節の役割の理解を図ることに配慮した。

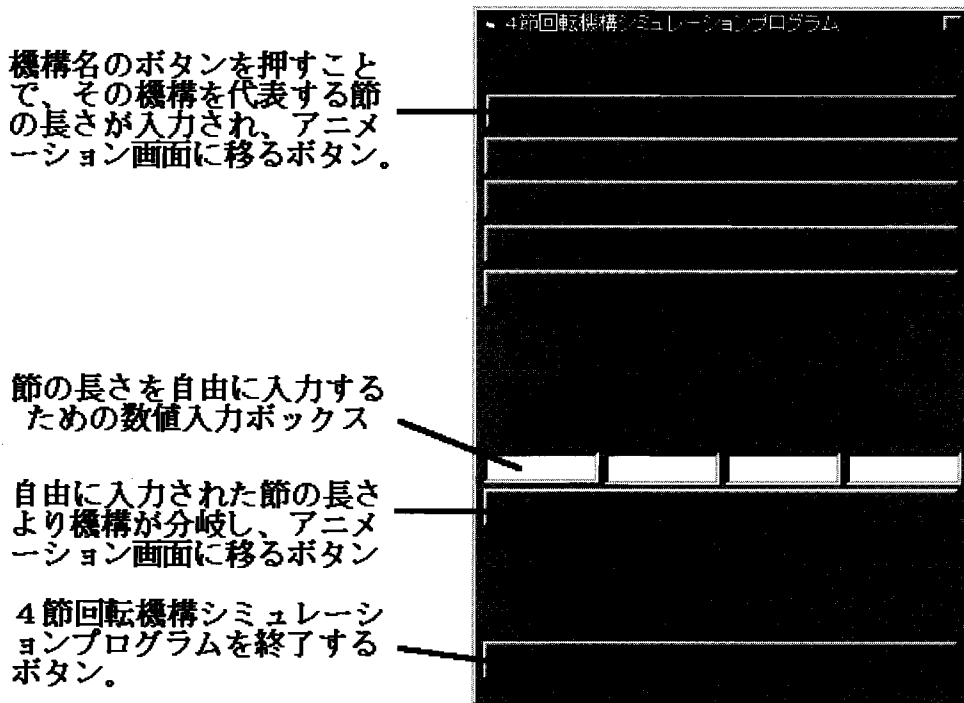


図3 機構選択画面

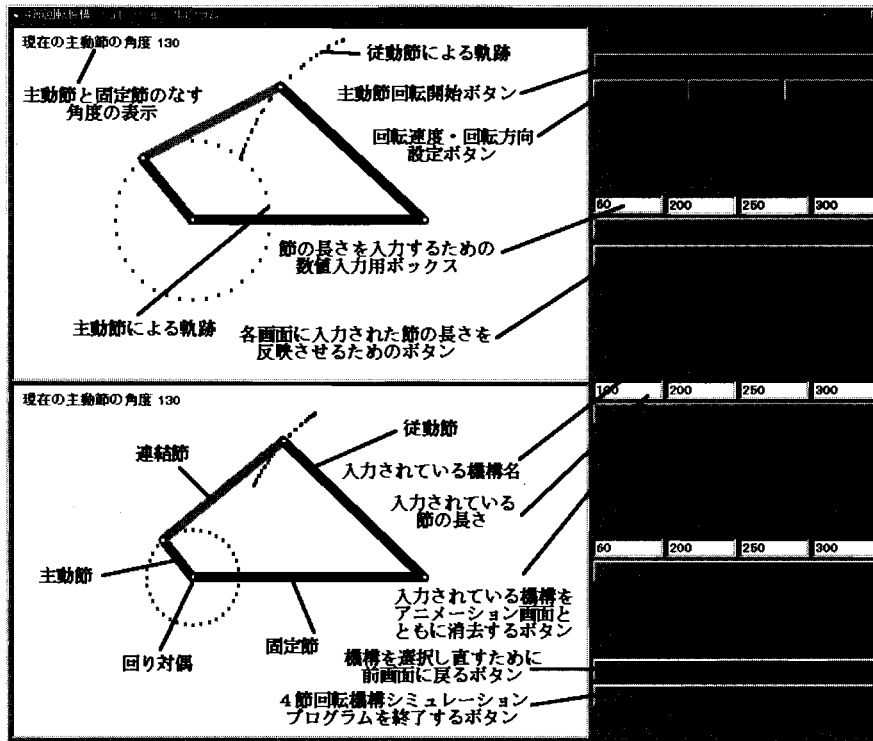


図4 2画面同時表示画面

3・2・4 プログラムの手続き

本プログラムの手続きは、節の長さの入力と機構の判別、座標の演算、画面への描画と大きく分かれる。よって、節の長さや判別された機構情報を格納する構造体、演算された機構の座標情報を格納する構造体、画面への機構の連続した描画を行うための情報を格納

する構造体を定義し、上下2画面分を配列を持たせることで宣言した。また手続き別に、機構の判別、座標演算、描画に関する関数を作成し、各々を標準モジュールに置いた。本プログラムを構成するファイルと概要は以下の通りである。

構成モジュール

- ・SubGamen フォームモジュール

最初にロードされるフォームモジュールで、機構の選択と節の長さの自由入力を行うためのフォームである。フォームとフォーム上のオブジェクトの初期状態の設定、配置し、押されたボタンに対するイベントを処理する。

- ・MainGamen フォームモジュール

入力された節情報をもとに、演算、2画面表示部への描画を行う。また、節の長さの自由入力も行うためのフォームである。フォームとフォーム上のオブジェクトの初期状態の設定、配置し、押されたボタンに対するイベントを処理する。描画を連続して行うためのイベントを連続して発生させるためのTimerを持つ。

- ・Hanbetu 標準モジュール

節の長さより機構を判別し、機構の種類を機構情報の構造体に格納する Hanbetu 関数が記述されている。Hanbetu 関数は判別結果をもとに MainGamen の機構情報の表示を更新する。

- ・Enzan 標準モジュール

節の長さや機構の種類より座標の演算を行い演算結果を座標情報の構造体に格納する Enzan 関数が記述されている。

- ・Byouga 標準モジュール

座標情報を元に2画面表示部の各画面に対して、ZOrder を用いて節と軌跡を描画する Byouga 関数が記述されている。Byouga 関数は機構情報が無い場合は呼び出されても描画は行わない。

- ・Kouzoutai 標準モジュール

構造体の定義を行う。

本プログラムの手続きの流れ

・機構選択画面における手続き

① SubGamen がロードされる

・オブジェクトの配置と初期化

機構の選択, 節の長さの自由入力と終了の配置をする

・ボタンに対するイベント

a) 機構名のボタンが押された場合

機構名に対応する節の長さを節の長さで機構判別情報の構造体に格納し, MainGamen をロードし, SubGamen を閉じる。

b) 自由入力からの節の長さ入力ボタンが押された場合

Hanbetu 関数を呼び出して機構を判別し, MainGamen をロードし, SubGamen をアンロードする。

c) 終了ボタンが押された時

SubGamen をアンロードする。

・2画面同時表示画面における手続き

② MainGamen がロードされる

・オブジェクトの配置と初期化

SubGamen で入力された節情報を元に Enzan 関数を呼び出し, 座標演算を行った後に Byouga 関数を呼び出し機構を描画する。

・ボタンに対するイベント

a) スタート・ストップボタンが押された場合

スタートボタンが押されると Timer イベントが発生する状態となり, ボタン名がストップに変更する。

ストップボタンが押されると Timer イベントは発生されなくなり, ボタン名はスタートに変更する。

b) 自由入力からの節の長さ入力ボタンが押された場合

Hanbetu 関数を呼び出して機構を判別し, Enzan 関数, Byouga 関数と呼び出し, 画面に描画される機構を変更する。

c) 機構をクリアするボタンが押された場合

節の長さで判別された機構情報を格納する構造体の機構情報をクリアし Byouga 関数による描画を行わない状態にし, 画面を消す。

d) 機構選択画面に戻るボタンが押された場合

節の長さで判別された機構情報を格納する構造体の内容をクリアし, SubGamen をロードした後, MainGamen をアンロードする。

e) 終了ボタンが押された時

MainGamen をアンロードする。

・Timer イベント

Byouga 関数を呼び出し, 画面に機構を描画する。

4 考 察

4節回転機構のプログラムでの表現に関しては, Timer による動画面切り替え処理の遅さに課題は残るが, 各機構を一貫した演算方法で表現すること, 今後の改良を考慮した変数の構造体とプログラムの構造化を行うことにおいてほぼ達成されている。さらに, 今後, 同一画面での2つの機構の比較の教育的効果についての検討する必要がある。

一方で, 生徒に4節回転機構に対する基本的知識が備わった上で使うことが, 本プログラムの教育的効果を増すものと考えられる。よって, プログラムの冒頭に4節回転機構の説明を加えたり, 入力に対し何らかの適切なアドバイスを加えるように改善する必

要があるものと考えられる。

また, 生徒が利用する場合, 本プログラムの教育的効果を向上させるため, ユーザーインターフェイスのレイアウトについても, さらに検討する余地があると考えられる。

5 結 言

今後, 教育の場での意見をもとに, 生徒に対するアドバイス, 機能, ユーザーインターフェイスをより教育的効果のあるものとし, よりよい教材として完成することが今後の検討課題であると考ええる。

而てこの機構の対偶Dは, 最大揺動角と最小揺動角の範囲内において, 第3象現, 第4象現をとり, 第3象現では CPairYGinmi(1), 第4象現では CPairYGin-

$m_i(0)$ より対偶 C を求められる。実際の両てこ機構は最大揺動角, 最小揺動角を超えて, 主動節と従動節が揺動する。この場合は別途吟味が必要となる。

参 考 図 書

1) 福永節夫, 大久保義男, 生田潔, 図説機構学, 理工学社,

(1972)

2) 稲田重男, 林則行, 窪田雅男, 北郷薫, 機構学, 朝倉書店, (1961)

3) Evangelos Petroutsos, Visual Basic 5.0 パーフェクトガイド, 翔泳社, (1997)

(平成13年 9 月11日受理)