

# 滑らかな補間関数に関する一考察

—デジタル処理による曲線及び曲面の描画—

梶谷 哲也\*

## A Study of Data Management Method Using Topological Information and Interpolating Spline Function for Graphical Design Systems

Tetsuya Kajitani

要 旨 前回までの紀要で、2次元図形に関するデータ構造の提案をし<sup>1)</sup>、あわせて2次元のスプライン関数の検討も行なった<sup>2)</sup>。

そこで、本紀要では、まず一般化円筒法をもとにした3次元データ構造の提案を行う。さらに、3次元図形の描画効率向上のため、内挿補間点数に関する評価式を3次元用に拡張した。そして、3次元データ描画技術の習得のために、パラメータ型スプライン関数の曲面補間プログラムを用いて人体(男子胸部)の描画を試みた。最後に、このデジタル処理による曲線及び曲面の描画能力をもとにしたデザイン支援システムの具体的な提案をする。

### 1. はじめに

生体を対象としたデザイン支援システムでは、位相情報にもとづいて3次元図形を規定するデータ構造および描画技術が必要となる。さらに、そのデータ構造は、例えば、被服における立体裁断<sup>1)</sup>等のために3次元データと2次元データ間の変換が容易に行える必要がある。

本紀要では、3次元データのうちデータ構造として記述できる範囲を“体積記述法の一手法である一般化円筒法<sup>3)</sup>をもちいて、事前に規定した一定の補間点で表現できるもの”に制限したデータ構造とその処理方式を提案する。この提案で、被服の分野ではマルチン計測法<sup>4),5)</sup>による計測データを有効に利用できると考えられる。また、今後、人体データベースが完成すればより広範な応用も期待できる。

また一方で、3次元図形の描画効率の向上は、2次元図形の描画時よりもその描画点数の

量から、さらに重要な課題となるために内挿補間点数に関する評価式を3次元用に拡張し、新たに提案する。

さらに、上記データ構造の人体への適合性を検証するため、医療用X線CTより人体の背骨(円筒の軸に相当)を認識して作成した、人体の断面形状(円筒の表面)と背骨との円筒図形情報を使用して、人体の3次元描画を試みる。

最後に、“3次元図形は、人間が自然に立体として認識できる環境で提供されるべきである。”という立場から、より自然な3次元図形の表示環境を調べる目的で2つの予備テストを行なった。1つは、データ表示機器に関するもので、バーチャル・リアリティを使用した3次元図形の表示とその知覚に関する試験の実験である。2つめは、表示された画像データを認識する人間に関するもので、画像を知覚する時の人間の眼球運動に関する試験の実験である。いずれも、良好な結果が得られたため、本紀要の今後の課題として、これら2つの予備テストの結果をふまえたデザイン支援システムの提案を

\* 本学講師 人工知能

行なう。なお、このシステムは従来よりも高いインタフェースを持つものと考えられる。

## 2. 3次元図形表示の意義

3次元表示された図形は、一般に、2次元図形よりも情報量を多く持っている。従って、3次元図形は未経験（未学習）な事柄をより正確に他者に伝達するためには有効な手段となっている。これは、特定の情報の伝達時において、情報の送り手が持っている情報全体を特定の媒体を通して伝達した時に、情報の受け手にできるだけ正確に送り手の情報を伝達するためには3次元表示は有効であるからである。ただし、各分野（例えば被服）で、両者がその分野に精通すればするほど、送り手から受け手に対して送り出されるシンボルの量（一般で言う情報量）は少なくなる。このことは、送り手と受け手の間に多くの共通な知識が、事前に多くあることを意味している。言い替えれば、図2-1のように、情報の受け手は少ないシンボルから多くの情報を正確に抽出し、送り手が持っていた全体の情報を再構成するだけの知的データベースを学習によって獲得しなければならないと言える。

その例として、服の肩の部分を含め肩やいかり肩のように変更した場合があげられる。この場合、それにもなって発生する寸法変更は、前身頃、後ろ身頃、最終的には袖にまで必要となる。その結果、立体図形として発生した寸法変更を2次元図形にもれなく反映させることは、素人にとって困難な作業となる。ここで、

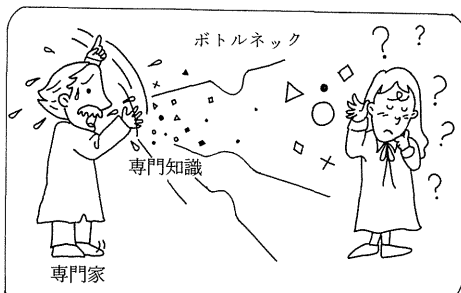


図2-1 専門家と素人のコミュニケーション

仮に、3次元表示された服であるならば、素人でも、スタンを支援装置でいかり肩に変形すれば服の肩（身頃や袖まわり）の部分を変形させてゆくことは可能であると考える。以上のような差異は、素人が立体のスタン上で発生した形状変更を前、後ろ身頃、袖などの別々の2次元図形（パターン）の変更内容として、頭の中で再構成出来ないことに原因がある。但し、このように素人の支援を行なうためには、通常、その分野に対する専門的なエキスパートシステムの助けが必要になる場合が多く、安直に3次元図形だけで素人がデザイン活動を行なうことは望ましくない。

そこで、初心者にも有効なデザイン活動<sup>6)</sup>を展開するには、以下のような手順でデザイン活動を行なうことが望ましいと考える。

### ① 個人の体型測定

（できれば、3次元非接触型の測定装置で短時間に測定）

### ② 個人（顧客）別のスタン作成、被服の仮想的な着付け

（できれば、仮想的なスタンばかりでなく、現実に作成することが望ましい。）

### ③ 3次元図形上でデザイン活動

（被服及びスタンに関する形状の変更や追加、テキスチャー・マッピング、動画化<sup>7)</sup>等）

### ④ 3次元図形としての被服を2次元展開して以後のCAD, CAM等の工程に移る。

（但し、このようにして生成された2次元図形には、被服のパターンとして適切なゆとり等をさらに反映させなくてはならない。）

ここで、一般に、3次元のサーフェスモデルを2次元に展開するには、それぞれの目的に最適な一定のルールに従った裁断法が必要となる。しかし、被服業界では、裁断方式にもデザインの要素が多く含まれるため、裁断部位については3次元モデル上でデザイナーが個別に決定していくことが望ましい。そうすることによって、デザイナーのデザインセンスを最大限に生かした被服の試作が可能となると考えられる。

ここで、上記のようなデザイン活動の中に、従来の被服に関する知見を有効に反映させるためには、以下のような手順が望ましいと思われる。

① 個人の体型測定（できれば、一定の測定点で簡便に標準体型を変形して対応）。これには、人体データベース等の多数のデータとそれらのデータの統計学的処理結果のうらづけが必要となる<sup>8)</sup>。

② 過去に作成し、蓄積したパターン（2次元図形）から類似パターンを選択し、必要な変形を加える。

③ さらに、この変形処理を終了したパターンに対して3次元的な属性を与える。

（①で作成した3次元簡易スタンプ上で、各パターン“前、後ろ身頃、袖”を再構成する。）

④ 3次元でのデザイン活動（デザインの変更や追加、テキスチャー・マッピング等）。

⑤ 再び、3次元データから、2次元データ“前、後ろ身頃、袖”に再変形して、蓄積データ（データベース）の一部として有効に活用する。

### 3. 3次元データ構造

3次元図形を記述する基本的構造は、図3-1のような円筒形状モデルの変形とした。さらに、この円筒図形の記述には2次元図形の記述時と同様に、図形の位相情報をもとにする方式をとった。その結果、本方式で記述されたデータは、必要に応じて視覚的に分かりやすくするために再処理（例えば、隠面処理やレイトレーシング等）をする必要がある。

ここで、一定の静止画を描画、または保存する目的で、3次元データを円筒の中心軸とその周辺データとして表現する必要はない。但し、標準体型などを個別の体型へ速やかに変形する場合や静止画をもとにして動画を作成する（例えば、キーフレーム法を使用する等）場合に、図形を記述する多数の補間点に対して自然な変換処理を行なうためには上記のようなデータ記

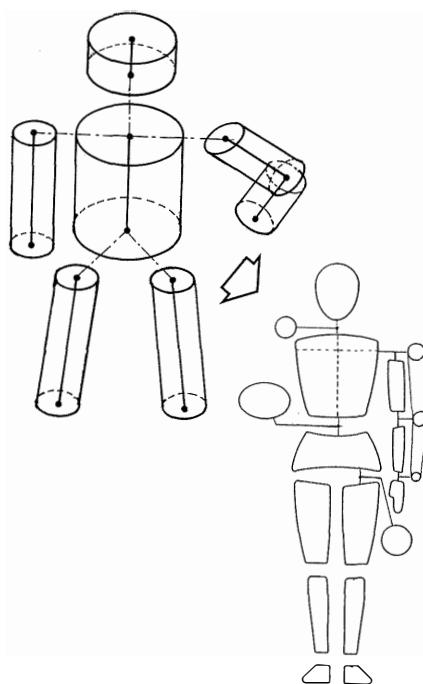


図3-1 人体の円筒表現

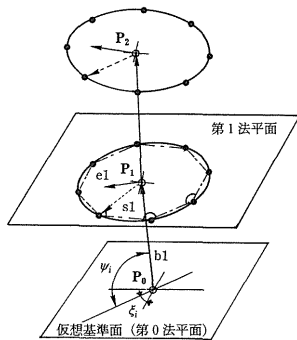
述法が必要となる。特に、被服のような人体の形状に強い相関を持つ図形などは、円筒の中心軸を人体の背骨の中心と等しくしておくことは、自然な図形処理をするための有効な処置と考える。

本紀要では、円筒図形を図3-2のような厚さのない円盤の積層体として表現する。その結果、マルチン計測法から得られるデータをデータ構造に有効利用できる。なお、その計測方法により測定された身体各部のデータはJIS（日本工業規格）などの基礎データともなっている。

ここで、図3-2の各円盤（円筒断面）上の2次元図形は、すでに規定したデータ構造で表現できる<sup>1)</sup>。ただし、3次元に拡張した場合には、各断面上での基本的な位相情報（基準ベクトル、基準ベクトル長）は式(1)のように各断面ごとに連続的に算出するものとした。（詳細は付録）

$$e_{i+1} = e_i - (e_i \cdot b_{i+1}) b_{i+1} \quad (1)$$

但し、 $e_0$  は基準ベクトル



- $P_0$ : 仮想基準点 ( $x_0, y_0, z_0$ )
- $b_0$ : 円筒軸ベクトル ( $\xi_0, \psi_0, b_0$ )
- $b_i$ : 円筒軸ベクトル ( $\xi_i, \psi_i, \alpha_i$ )
- ここで,  $\xi_i, \psi_i$  は各方向余弦,  $\alpha_i$  は線長
- ( $i$  は, 法平面の番号:  $i=0, 1, 2, \dots, n$ )
- $e_i$ : 各法平面の基準ベクトル
- $s_i$ : 各法平面上の基準点から法平面上の第1ノードまでの基準ベクトル
- ( $\delta_i, e_i, n_i$ ): ここで,  $\delta_i, e_i$  は各方向余弦,  $n_i$  は線長

図 3-2 立体図形の基本的表現

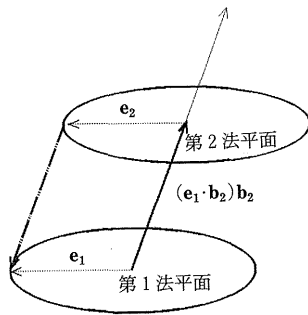


図 3-3 ベクトル算出図

また,  $i$  は法平面の番号 ( $i=0, 1, 2, \dots, n$ )

$b_i$  は円筒軸方向ベクトル

ここで,  $i=0$  は, 絶対平面。

#### 4. 3次元図形の記述

円筒図形で表現できる図形は, 各円筒断面上で一定数の補間点を用いて表現できるものとした。そのため, 円筒上で一部を詳細に記述する場合は, 円筒上の補間点をそこに集中させて表現する。その結果, この表現方法に従って図形を記述して行くと, 描画できる図形の円筒断面

に対する補間点の数が不足して図形が不自然に平滑化されることが起こりうる。

そこで, 本紀要では, 初めからその図形の描画に十分なだけの補間点 (コントロールポイント) を持っていると仮定する。さらに, 初めに決定した補間点が不必要になった場合は, 同一点を表わす補間点とする。但し, 同一点を多数の補間点で記述しすぎるとその点で異常な凸点や凹点が発生する原因となるため, 円筒断面の補間点数の決定には注意しなくてはならない。

さらに, 本記述方式は3次元図形の記述のために, 実際の図形にはない不可視の絶対平面を図3-2のように仮定している。この絶対平面とその平面上の基準ベクトルで, それ以外の円筒断面の基準ベクトルを順次導出する (詳細は付録)。その結果, 円筒図形全体は相対表現された円筒軸と, その軸に直交し, かつ相対的に記述された円筒断面からなる。

#### 4.1 補間点とリスト構造

3次元図形を図4-1-1のような一連のリスト構造で表現する。

これは図3-2にあるように, 円筒軸上の位置とその垂直断面 (円筒断面) に関する情報をもった層ノードとその円筒断面に関する基準情報を記述した基準ノード, さらに円筒断面上のそれぞれの線分の相対的信息を記述したノードからなる。

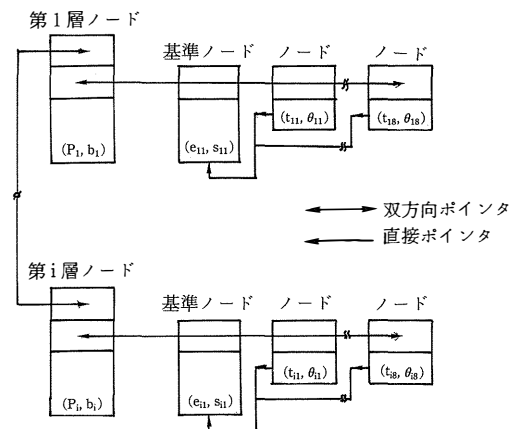


図 4-1-1 全体のリスト構造

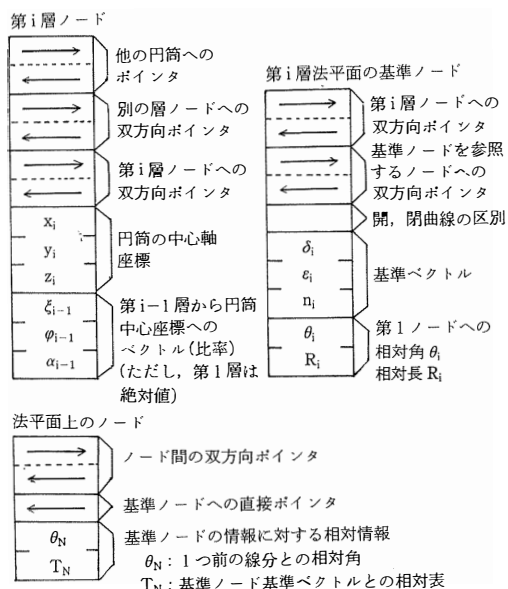


図 4-1-2 各ノードの詳細内容

それぞれのノードに関する詳細な内容は、図 4-1-2 のようになる。

層ノードには、円筒上の絶対座標とその座標までの3次元相対ベクトル(極座標ベクトル)からなる。但し、第1層ノードに限って3次元ベクトルは絶対値となる。これら層ノードを追跡することで、3次元立体の中心軸の形状を把握することが出来る。

基準ノードには、円筒断面上のノード全体が閉曲線か開曲線かの記述と円筒断面の基準ベクトルに関する情報と第1線分(第1ノード)までのベクトルを基準ベクトルをもとした情報とが記述されている。基準ノードの情報からは、円筒軸上の層ノードに関する基準主法線ベクトルの情報を把握できる。また、層ノードの円筒軸に関するベクトルと基準ノードの基準法線ベクトルとから従法線ベクトルが算出できる。これら、2つの主、従法線ベクトルによって法平面(円筒断面)の座標系を規定し、さらに適用する補間関数の種別を規定できる。

ノードには、法平面の基準ベクトルをもとした各線分の長さの一つ前の線分との相対角が記述されている。ここで、第1ノードは、基準

ノードで求めた円筒軸から第1ノードまでのベクトルとのなす角度を記述するが、他のノードと同様に線分長は法平面の基準ベクトルとの相対比を記述する。

## 4.2 図形処理とリスト構造

ここで、3次元図形の個々の基本的な処理内容を列挙し、以下にその詳細な内容について述べる。

円筒図形に対する基本的な図形処理内容は以下の通りであるが、その際に円筒の中心軸の座標は、各法平面上で変化しないものとする。

- 図形の移動、回転
- 図形の拡大、縮小
- 図形の追加
- 図形の削除
- 図形の複写
- 図形の分割
- 図形の部分的なひねり

### 4.2.1 図形の移動、回転

図形の移動及び回転は、図 4-2-1 のように仮想平面を3次的に移動(回転)させれば、図形全体がその移動量に従って移動する。

具体的には、絶対平面から第1法平面までのベクトル ( $b_1$ ) とそのベクトルが表わす円筒軸座標 ( $P_1$ ) を移動量に従って決定する。その結果、移動した円筒軸に直交する全ての法平面に関する基準ベクトル ( $e_{i1}, s_{i1}$  :  $i$  は法平面の番号) が、基準ベクトルの変化量に応じて変化する。

### 4.2.2 図形の拡大、縮小

図形の拡大及び縮小は、図 4-2-2 のように円筒軸のベクトルを拡大(縮小)して変更する。変更したベクトルより以後の円筒図形はその変更量に従って拡大(縮小)する。

具体的には、仮に、絶対平面から第1法平面までのベクトル ( $b_1$ ) を変更した場合は、変更したベクトル以後の円筒軸の座標 ( $P_i$  :  $i$  は変更以後の法平面の番号) に直交する全ての法平面に関する基準ベクトル ( $e_{i1}, s_{i1}$ ) が、円筒軸ベクトルの変化量に応じて変化する。

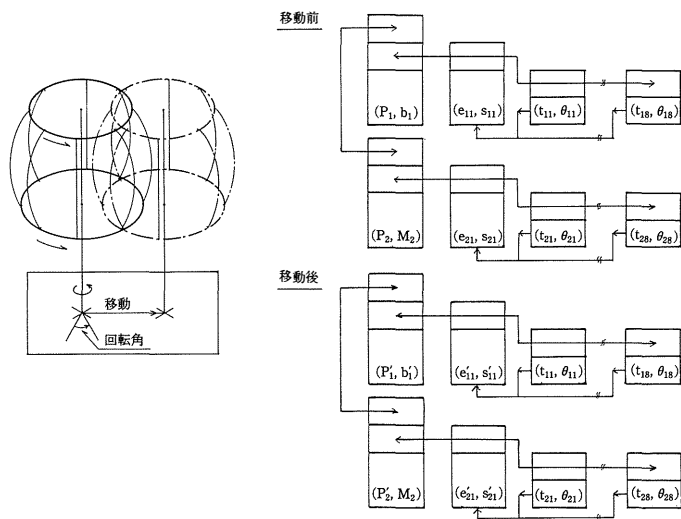


図 4-2-1 図形の移動

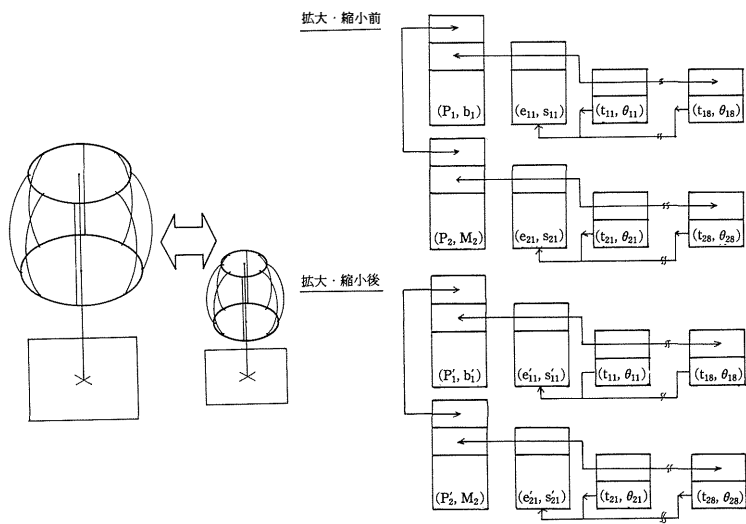


図 4-2-2 図形の拡大，縮小

### 4.2.3 図形の追加

円筒図形に新たな図形を追加する場合は，補間点数を一定にするとした記述方式であるために追加できる図形は図 4-2-3 のように円筒全体に付加できる図形のみ制限する。

そこで，図形は追加するのではなく，新形状を表現するために必要なだけの補間点（形状のコントロールポイント）を移動することによって全体の形状を表現していく。仮に，部分的に

図形を追加すると，追加図形に関係している法平面以外で補間点が同一点を表現するために不自然な補間点が増加し，異常な凸点や凹点が発生する可能性が大きくなる。また，法平面が部分的にひねられていた場合は，法平面上のどのノード間に追加図形に関するノードを追加するかも一般的な手順を定めていないため，データ構造に追加図形の情報を十分に反映できない可能性がある。

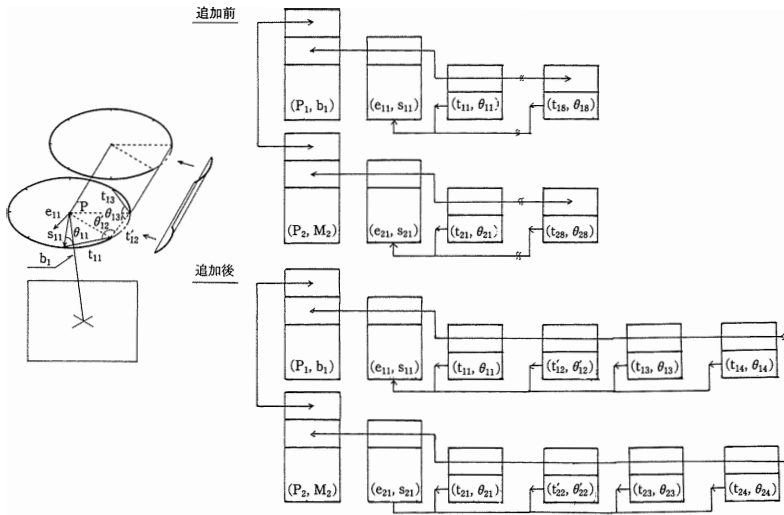


図 4-2-3 図形の追加

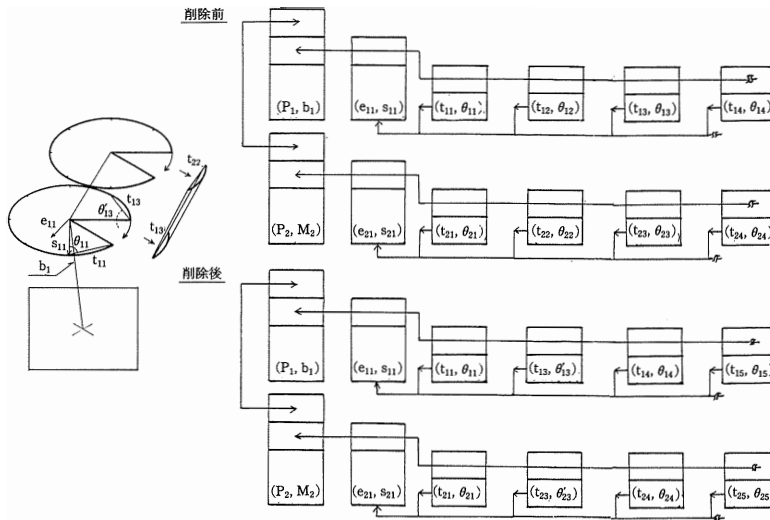


図 4-2-4 図形の削除

上記の問題については、今後、一般化円筒法の拡張過程を参考にして、一般化を計る必要がある。

具体的に図形を追加する場合、図 4-2-3 のように、円筒図形に対する追加点を決定し、各筒断面の各法平面の基準ベクトル ( $e_i$ ) に対する相対長、相対角 ( $t_{ij}, \theta_{ij}$ ;  $i$  は法平面の番号,  $j$  はノード番号) で表わし、適当なノード間に図形の記述ノードを追加する。なお、各法平面上

での線分の追加方式は 2 次元図形と同等である。

#### 4.2.4 図形の削除

円筒図形から一定の図形を削除する場合は、図形を追加する時と同様、補間点数を一定にするとした記述方式であるために削除できる図形は図 4-2-4 のように円筒全体にから削除できる図形のみに制限する。

従って、図形は削除するのではなく、新形状

を表現するために必要なだけの補間点（形状のコントロールポイント）を移動することによって全体の形状を表現していく。仮に、部分的に図形を削除すると、削除図形に関係している法平面で補間点が同一点を表現するために不自然な補間点が増加し、異常な凸点や凹点が発生する可能性が大きくなる。また、法平面が部分的にひねられていた場合は、法平面上のどのノード間から削除図形に関するノードを消去するかも一般的な手順を定めていないため、データのリスト構造に削除する図形の情報をも十分に反映できない可能性がある。

上記の問題についても、今後、一般化円筒法の拡張過程を参考にして、一般化を計る必要がある。

具体的に図形を削除する場合、図 4-2-4 のように、円筒図形に対する削除点を決定し、適当なノード間の図形の記述ノードを削除し、削除した一つ後ろのノードの相対角 ( $\theta_{ij}$  :  $i$  は法平面の番号,  $j$  は削除した一つ後ろのノード番号) を変更する。各法平面上での線分の削除方式は 2 次元図形と同等である。

#### 4.2.5 図形の複写

図形の複写は、図 4-2-5 のように、図形の移動と図形処理内容は同等となる。

具体的には、複写する座標に絶対平面の円筒軸座標 ( $P_0$ ) を決定する。その結果、複写した円筒軸に直交する全ての法平面に関する基準ベクトル ( $e_{i1}, s_{i1}$  :  $i$  は法平面の番号) と円筒軸座標 ( $p_i$  :  $i$  は法平面の番号) がすべて変化する。

#### 4.2.6 図形の分割

図形の分割は、円筒図形を必要な数に分割する。

本処理は、後に図形の 2 次元展開で多用する重要な図形処理である。

円筒図形から図形を分割する場合は、補間点数を一定にするとした記述方式から分割できる図形は図 4-2-6 のように円筒全体を分割できる図形のみ制限する。

従って、分割される図形は形状を表現するために必要なだけの補間点（形状のコントロールポイント）で必要な形状を表現している必要がある。仮に、部分的に図形を分割すると、分割されて残る図形に関係している法平面で補間点が同一点を表現するために不自然な補間点が増加し、異常な凸点や凹点が発生する可能性が大きくなる。また、法平面が部分的にひねられていた場合は、法平面上のどのノードから分割するかも一般的な手順を定めていないため、デー

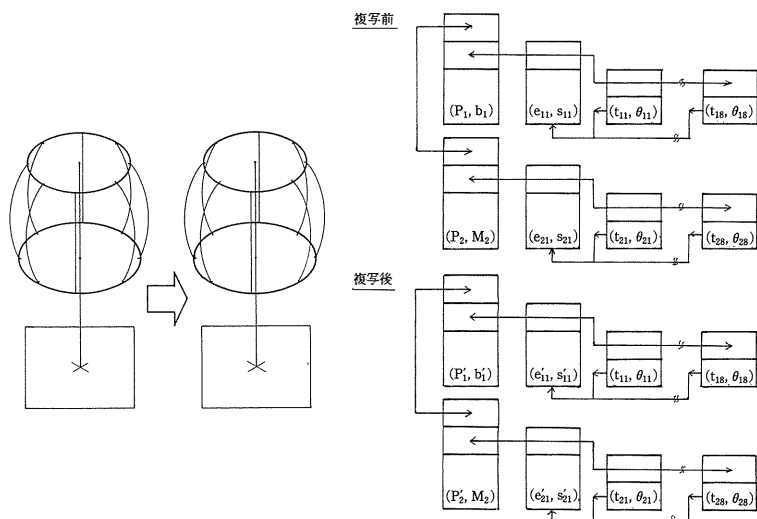


図 4-2-5 図形の複写



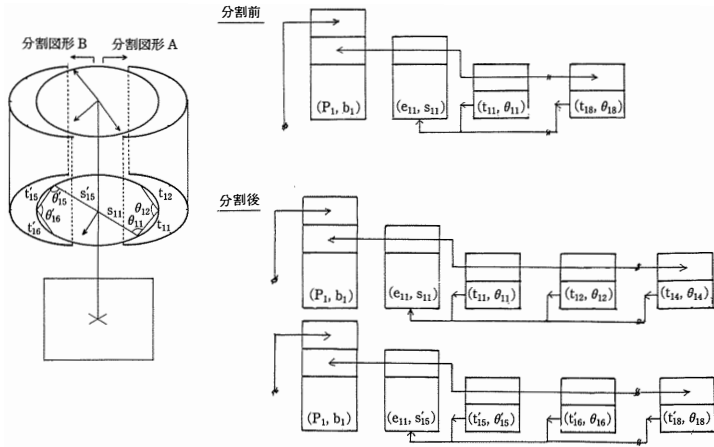


図 4-2-6 図形の分割

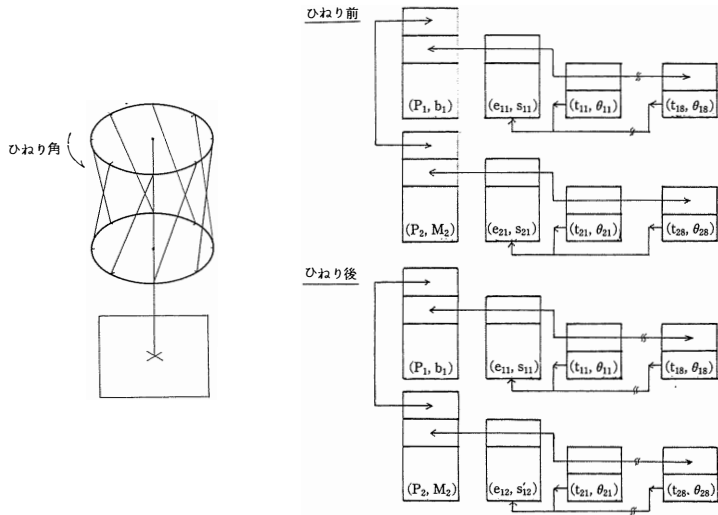


図 4-2-7 図形のひねり

タのリスト構造に分割する図形の情報を十分に反映できない可能性がある。

上記の問題を解決するためには、その他の図形処理内容にさらに制限を加えてでも一般化を計り処理能力を向上させる必要がある。

具体的には、図 4-2-6 のように、円筒図形に対する分割点 ( $j$ ) を決定し、適当なノードで分割し、分割した図形の円筒軸に直交する全ての法平面に関する第 1 ノードへのベクトル ( $s_{ij}$ :  $i$  は法平面の番号,  $j$  は分割点のノード番号) を再定義する。次に、分割した円筒図形の法平

面の相対線分 ( $t_{ij}$ :  $i$  は法平面の番号,  $j$  は分割した後のノード番号) を変更する。さらに、分割した円筒図形の第 1 ノードの相対角を新たなベクトル ( $\theta_{ij}$ : 分割点のノード番号) に対応するものに変更する。最後に、分割した図形の層ノードどうしをポインターでむすぶ。

#### 4.2.7 図形のひねり

本紀要で採用した、円筒の軸とその法平面上の補間点で図形を記述する方式から、各円筒断面(法平面)に各々ひねり角を加えることができる。

この図形処理は、3次元図形を動画として処理する場合や人間の自然な動作を工学的に再現するために重要な処理となる。

今後、とくに人間の自然な動作が各法平面間のベクトル ( $z_i$ :  $i$ は法平面の番号) と各法平面に対するひねり角 ( $\Delta\theta_i$ ) にどのように反映しているのか ( $F(z_i, \Delta\theta_i)$ ) を十分調査して、人間の自然な動作を再現する検討を進める必要がある。

具体的に図形を部分的にひねる場合、図4-2-7のように、ひねり角を加える法平面番号 ( $i$ ) を決定し、その平面に加えるひねり角 ( $\Delta\theta_i$ ) を加え、新たな法平面に関する第1ノードへのベクトル ( $s_{i1}$ :  $i$ は法平面の番号) を決定する。

ひねり角の付加により、下記のように、各法平面座標が変換される。

$$F(e_i, \Delta\theta_i) = e_i \cdot \cos \theta_i + (t_i \times e_i) \cdot \sin \theta_i \quad (2)$$

ここで、 $t_i$ は正規化円筒軸方向ベクトルで

$$t_i = b_i / |b_i| \quad (3)$$

である。

## 5. 3次元補間に関する誤差

3次元図形(立体)を人間が作成した場合の誤差を検討した。

まず、図5-1のように、指定した図形(3次元形状)を紙粘土で立体として作成する試みを講義の課題<sup>9)</sup>として家政学部造形学科3、4年生それぞれ約20人におこなってもらった。その結果、指定された形状を忠実に具現化することと、同一形状を2つ以上作成することのどちらも不可能に近いことが確認できた。しかしながら、その形状誤差が空間的に1ミリ以内<sup>9)</sup>であるかどうかについては3次元測定装置を使用して計測していないため定量的には不明である。今後、作成済みのサンプルを精密に測定しその値で確認しなくてはならない。

ここで、今後の補間関数の評価のための誤差判定用の計測点として、図5-2のような測定点を規定する。

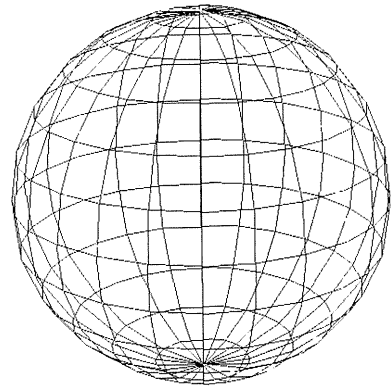


図5-1 作成を試みた形状

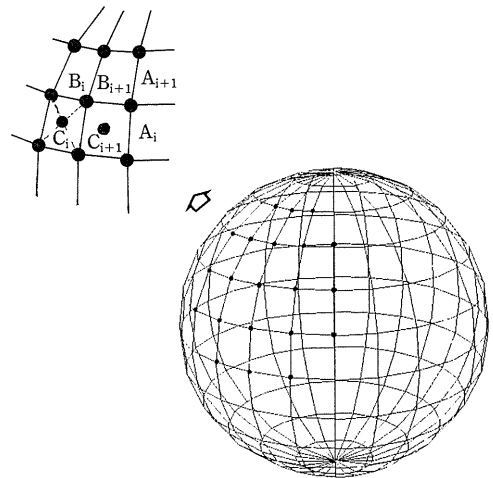


図5-2 図形の誤差判定点

図5-2にあるように、描画図形に対する誤差の判定の内容を以下の3種類とした。第1に円筒の円周方向(点  $B_i$ )、第2に円筒軸の方向(点  $A_i$ )と最後に補間曲面の中心部分(点  $C_i$ )の誤差を別々に判定し、最終的にその誤差の最大値が1ミリ以内であることを確認する。

但し、最終的には、一般的な最小2乗法による判定方式を導入し、より詳細な検討を行わなくてはならない。

## 6. 内挿点と評価式

3次元図形の描画でも、一定の精度を保ったまま高速描画を実現させる必要がある。そこで、2次元図形描画時に提案した内挿補間点数に関する評価式を3次元に拡張して、以下のようにならに新たに定義する。

まず、内挿補間点数に関する評価式を円筒軸方向 ( $N_v$ ) と円筒断面方向 ( $N_r$ ) とに区別して定義する。

ここで、円筒軸方向の内挿補間点数に関する評価式を式(4)のように定める。

$$N_v = a_1 \cdot (L(a_2) / ds_1) \cdot [\text{曲率} 1] + b_1 \cdot (L(a_2) / dn_1) + c_1 \cdot [\text{歪率}] + 1 \quad (4)$$

同様に、円筒断面方向の内挿補間点数に関する評価式を式(5)のように定める。

$$N_r = a_2 \cdot (L(b_2) / ds_2) \cdot [\text{曲率} 2] + b_2 \cdot (L(b_2) / dn_2) + c_2 \cdot [\text{歪率}] + 1 \quad (5)$$

但し、

$N_v$  : 円筒軸方向の内挿補間点数

$N_r$  : 円筒断面方向の内挿補間点数

$L(a_2)$  : 円筒軸方向のつぎの補間点までの直線距離

$L(b_2)$  : 円筒断面方向のつぎの補間点までの直線距離

[曲率 1] : 現在の補間点から円筒軸に沿った2つ先までの補間点の2次差分商

[曲率 2] : 現在の補間点から円筒断面に沿った2つ先までの補間点の2次差分商

$ds_1, ds_2$  : 制御曲線距離(円筒軸, 円筒断面)

$dn_1, dn_2$  : 制御直線距離(円筒軸, 円筒断面)

$a_1, a_2$  : 曲率定数 (円筒軸, 円筒断面)

$b_1, b_2$  : 直線定数 (円筒軸, 円筒断面)

$c_1, c_2$  : 歪率定数 (円筒軸, 円筒断面)

[歪率] : 円筒軸方向にたいして、各円筒断面に与えられるひねり角

( $0^\circ \leq \Delta\theta \leq 360^\circ$  : 歪率 =  $(\Delta\theta/360)$ )

この評価式を2次元と同様に、描画する区間とその1つ先の区間との内挿補間数との平均値をその区間の内挿補間点数とする。

この評価式の特徴、効果については前回の紀要で定量的に検討した<sup>2)</sup>。

具体例として、 $N_v$  の値は、 $a_1=5, b_1=0.25, dn_1=0.5, ds_1=0.25, c_1=20$  とした場合に、その内挿補間点数は与えられたひねり角に応じて2次元の評価式に内挿補間点数を一律に加算したものとなる。仮に、ある円筒断面のひねり角が $180^\circ$ である場合にはひねり角が $0^\circ$ の内挿補間点数よりも一律に10点ずつ多い値となる。

## 7. 3次元図形の描画

3次元図形の描画技術習得のため、図3-1のように円筒で表現された一連のデータとパラメータ型スプライン関数による曲面補間によって、実際の人体(成人男子胸部)の描画を試みた。まず、基本的な人体の3次元データを医療用X線CT画像から、人体の体表面に関する断面画像とそのときの背骨の位置情報をもとに図7-1のように作成した。

しかしながら、本来、図7-1のデータは医療関係者に人体の内臓の説明をするために撮影されたものであるため、それらの資料からでは等間隔の人体の断面に関する情報を得ることが出来なかった。また、新たに上記のような資料を等間隔に作成することは被験者の被爆量が問題となり、撮影は許可されなかった。特に、女性に関しては、前述の理由から実現性がない。

そこで、図7-1から得られた不等ピッチの断面情報を用いて、胸部の曲面描画を試みた結果が、図7-2、図7-3である。

図7-2は、肩から胸の上部までを、円筒断面の補間点を5点( $72^\circ$ 間隔)として、内挿補間点数を4点とした場合である。

図7-3は、胸の上部から腹部までを、上記の条件で描画したものである。

少ない資料からの試験的な描画から、円筒断面の補間点の数を9点( $40^\circ$ 間隔)とし、内挿

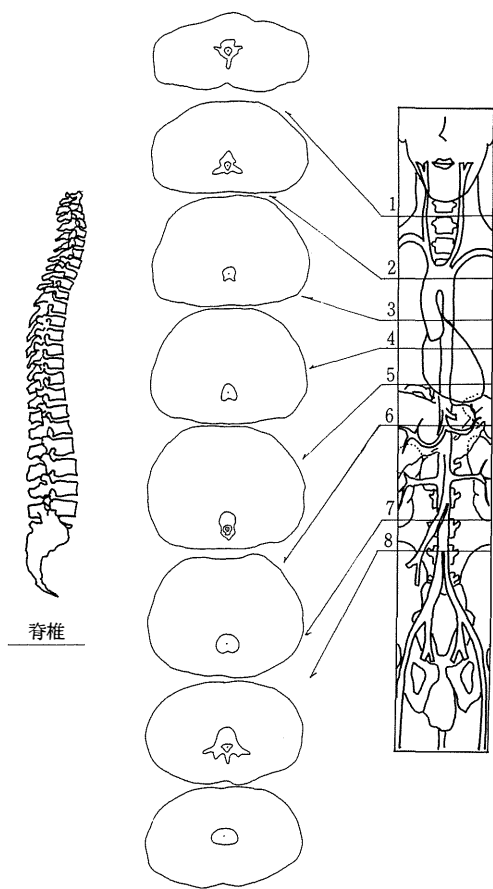


図7-1 成人男子の断面図

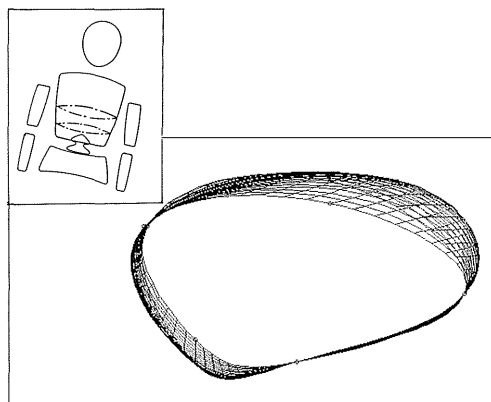


図7-3 男子胸部から腹部の描画結果

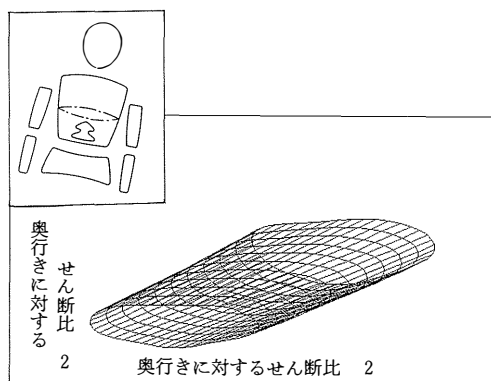


図7-4 補間点と内挿補間点を調整した成人男子胸部の描画図形

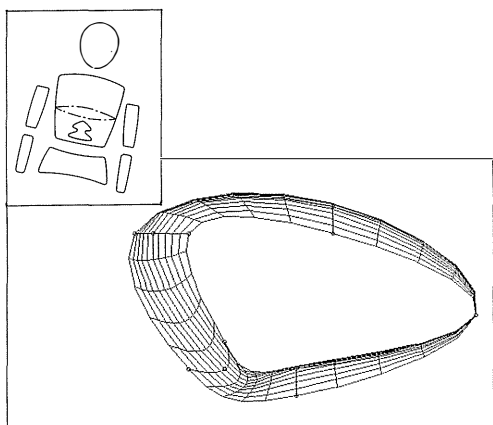


図7-2 男子胸部の描画結果

補間点の数を5点以上にすれば、図7-4のような定性的には分かりやすい図形を描画できることが分かった。但し、図7-4は、各断面形状を分かりやすくするために、奥行きに対する横方向のせん断比を2とし、同様に縦方向のせん断比も2として、円筒図形を斜めに歪めて表現してある。

今回の実験では、座標データを既存の印刷物から取り出したために、描画の精度について検証することが出来ない。

今後、人間の作成する立体形状の誤差測定と平行して、3次元の描画図形に関する誤差測定を行う必要がある。この時の立体の測定精度は、人体データベースの持っている測定精度と

同等の測定をおこなえば、有効な誤差の検討ができるものと考ええる。

## 8. 今後の課題

3次元図形を描画することが可能となった場合、それを立体として自然に人間が認識出来るような図形の表示方式を検討しなくてはならない<sup>2)</sup>。

ここで、立体視の研究は古くからなされている<sup>10)</sup>。ところが、近年、コンピュータの計算能力の急激な発達や小型フルカラー液晶テレビおよび、3次元被接触測定装置などの実用化とともに、立体視（バーチャル・リアリティ：VR）を実用レベルで体験できる装置が幾つか開発され市販されている<sup>11),12)</sup>。これらの装置では、従来のステレオグラムから取り込める立体知覚の情報とともに、使用者本人の動作にもなる運動知覚やさらには、手などの外部制御要素の動作（処理）の情報までをリアルタイムで使用者に提供することで、従来では得られなかった運動をともなった現実感（環境）を提供している。この特性から、従来では考えられなかった情報の伝達や架空の体験（シミュレーション）が可能となる。以上の特徴は、被服などの、同時に複数の情報を多量に必要とする分野には有効活用できるものといえる。さらに、仮想現実空間内に2人の使用者を同時に存在させることを可能としたVR装置<sup>11)</sup>もあるため、被服のデザイン活動に応用した場合、図8のような新たな学習環境の提供が可能となる。この環境下では、運動知覚をともなった3次元の立体デザインを、教官とともに体験しながら学習し、さらには、両者の共同作業でデザイン活動を展開し、その結果をそのままC.G.などにより生成した3Dの環境（背景：服を着用する場面）に送り込み（あるいは、初めから）自らもその環境下で総合的な評価をしつつ、作品の手直しを効率的に実行することが可能となる。

このことは、実際に一通りの経験をした初級者の学習効率を向上させるには有効な手段であ

ると考えられる。また、被服構成全体を実際に一通り体験し、VR上でさらに、同様の経験を数倍することにより現実には服を作成する過程で一度しか体験（教師→生徒への伝達）できなかった教育内容も、より発展的展開を期待できる。現在、被服の試作段階でその全体のバランスを整える工程を習熟することは、被服構成の学習過程全体の教育効果と深く関係していると考ええる。

ここで、VRの世界では、使用者である本人の主観的尺度での大きさ（空間）の認識しかなく、いわゆる服飾CAD的使用方法には無理がともなう場合が有りそうなのがこれまでの予備テストで分かった。上記の状況が発生する場合は、日常生活で学習（知覚）してある長さ（大きさ）の手がかりが充分提供されない時であって、その状況下でVRの世界から取り出せる内容は、大きさ（長さ）に対する相対尺度しかないことが分かり始めた<sup>13)</sup>。しかしながら、人間はそのような制限された空間でも、平均的な時間さえかければある程度までVR空間内での（運動）知覚学習が可能であることも分かった。結論として、今後は、人間は人間の大きさを事前に強く学習している事を利用して、上記のような状況の発生をできるだけ少なくできる仮想的な空間の構成方法について詳細な検討が不可欠であるといえる。

さらに、現在、市販されているVR機器では、図8のように仮想現実空間内に2人に人間が存在する場合、相手の人間が空間内のどこを見ているのかが明確に分からない。そこで、両者の視線を測定し、その結果を空間内の相手によくわかる形式で相互に表示できる新たな装置の開発が必要となる。ここで、視線情報がたとえ片目からの情報であっても、デザイン活動の参考になる事は別の予備テストから分かっている<sup>14)</sup>。

今後は、被服の分野で、3次元CADと視線情報測定装置とVR機器とを立体デザイン（及び評価）から立体裁断にいたる被服の試作工程の支援システムとして有機的に利用することを



図8 将来の3次元デザイン環境（予想図）

目的として、より詳細で具体的な手法の研究および機器開発を進めていく必要がある。

## 9. ま と め

本紀要では、3次元図形に対応したデータ構造とその基本的な処理方式を提案した。データ処理方式は、立体裁断（狭義には、体表面展開）への応用を考慮した場合に、多くの課題を残したものとなった。次に、3次元図形（人体）の描画を試みたが、そのもととなる人体（体表面と背骨）の形状データの不足もあって、十分な検討が出来なかった。また、同様に、人間が作成する立体図形やデジタル処理による描画図形の誤差判定も行うこともできなかった。今後、上記の内容について検討を進めるには、測定精度の保証された3次元の形状測定装置の利用が不可欠なものとなる。

### 参考文献（使用機器）

- 1) 梶谷哲也：位相情報を用いたリスト構造による図形表現に関する一考察，文化女子大学研究紀要23, p. 223-230, (1992.1)
- 2) 梶谷哲也：滑らかな補間関数の検討，文化女子

大学研究紀要22, p. 213-220, (1991.1)

- 3) 高木幹雄，ほか：マシビジョン，昭晃堂，1990.5
- 4) 文化女子大学被服構成学研究室：被服構成理論，文化出版局，(1990)
- 5) 三吉満智子，磯崎明美：非接触三次元人体測定装置の改良とその精度について，文化女子大学研究紀要23, p. 1-18
- 6) 梶谷哲也，若林絵里子，楊 国林：近傍系を用いた柄合わせ，文化女子大学研究紀要21, p. 387-392, (1990.1)
- 7) 三井章友：体操をしている人間の人体各部の追跡，画像電子学会，年次大会予稿，1992
- 8) 広田源太郎，ほか：体形モデルと双3次スプライン曲面フィッティング，日本コンピュータグラフィックス協会，第3回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集，s 62. 11
- 9) 内井乃生，長山洋子，梶谷哲也：CAAD 教育の現状，日本建築学会，1992.8
- 10) 安田 稔：立体視と大きさの恒常性，テレビ誌，33, (1979)
- 11) RB2 システム：VPL Reserch 社，(輸入) 日商エレクトロニクス(株)
- 12) Virtualty: W. industries 社，(輸入) (株)電通プロックス
- 13) 小笠原慈英：実体視に於ける「大きさ」について

て、益田博士謝恩最近心理學論文集

14) 梶谷哲也：人工知能を用いた画像処理について、文化女子大学学内研究発表会，1992.9

## 謝 辞

本紀要は、工学院大学 高橋助教授及び高橋研究室の皆様、東京都立大学 田中平八先生にご指導、御協力をいただき、さらに、杏林大学医学部付属病院 司茂幸英先生に、人体への円筒データ構造の適用について臨床医学的見地から貴重なご指導いただいで初めて実現致しました。感謝致します。

予備テストでは、NHK 放送技術研究所 視覚情報部の皆様のご協力で、眼球運動（視線情報）の測定をすることができました。感謝いたします。

同じく、日商エレクトロニクス(株)殿のご配慮でVR 装置を使用した実験をさせて頂きました。感謝いたします。

また、本学園の香川幸子助教授、鈴木直恵講師、ならびに長山洋子講師には、予備テスト等でご協力いただきました。感謝いたします。

## 付 録

本紀要で、3次元図形を円筒図形の位相変形として捕らえ、位相情報を基本とした相対的表現をするためには以下のような系統的な絶対線分（平面）の表現を用いなければならない。

まず、3次元データを2次元データと同様に、 $x, y, z$ の座標情報を方向余弦と各方向への線文

長として表現する。

$$(x_1, y_1, z_1) = \alpha_1 \cdot (l_1, m_1, n_1) \quad (\text{付 1})$$

ここで、

$$\alpha_1 = (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2)^{1/2} \quad (\text{付 2})$$

方向余弦

$$l_1 = (x_1/\alpha_1) \leq 1 \quad (\text{付 3})$$

$$m_1 = (y_1/\alpha_1) \leq 1 \quad (\text{付 4})$$

$$n_1 = (z_1/\alpha_1) \leq 1 \quad (\text{付 5})$$

ここで、仮想的基準面（基準ベクトル）を規定する。

すると、初期3次元規定ベクトルは、

$$e_0 = [1, 0, 0] \text{ となる。}$$

但し、 $|e_0| = |e_1| = |b_1| = \dots = 1$  とする。

従って、次の規定ベクトル  $e_1$  は、

$$e_1 = e_0 - (e_0 \cdot b_1) b_1 \quad (\text{付 6})$$

以下、同様に、

$$b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ \dots$$

円筒軸ベクトル

$$e_0 \ e_1 \ e_2 \ e_3 \ e_4 \ \dots$$

法平面上の基準ベクトル

$$\Delta\theta_0 \ \Delta\theta_1 \ \Delta\theta_2 \ \dots$$

各法平面基準ベクトル間のねじれ角（↑基準絶対平面に付き、ねじれ角  $\Delta\theta_0 = 0^\circ$ ）と導出できる。

ここで、ねじれ角は  $360^\circ$  表示とし、時計と反対方向を正の方向とする。

さらに、正規円筒軸方向ベクトル  $b_i$  に対するねじれ角は、一般に以下の式で規定できる。

$$F(e_i, \Delta\theta_i) = e_i \cdot \cos \Delta\theta_i + (b_i \times e_i) \sin \Delta\theta_i \quad (\text{付 7})$$

但し、 $\Delta\theta_i$ ；円筒断面（法平面 $i$ ）の基準ベクトル対するねじれ角