

特別研究

1 地域人材不足対策技術開発事業(要素技術研究開発事業)

(1) ヒューマンインタフェース技術の研究

機械電子部 大塚 裕 俊 後藤 幸 臣
水 江 宏 重 光 和 夫

要 旨

弾性材製品のような剛性のない素材を対象として、これらの材質特性に合った形状計測・検査技術等について研究した結果、接触を利用した新しい検査方法やそのための効果的機能材を考案しそれについて非常に有効な結果を得た。また数値計算による弾性体の変形予測も同技術の今後の応用にとって有効な知見を与えることがわかった。

1. 緒 言

本研究では、変形その他不特定な要素を持っている対象物をその特性に合った方法により認識・計測するとともに、合理的に輸送・移動等を行うための各種センシング技術やシステム制御技術及びその周辺支援技術の研究開発を行う。また必要に応じて、対象物の特性（欠陥、異物等の良・不良の判定を含む）や各種物理量を認識・計測する技術について研究を行い、自動化装置の開発に資することを目的とする。

「変形その他不特定な要素を持っている対象物」には多種多様な生産物や加工製品が該当するが、なかでもゴム等の弾性材製品は、素材自体に剛性がないため機械部品等を対象とした既成の自動化技術の適用を阻む多くの不確定性を有しており、自動化のための新しい技術開発が必要となっている。そこで本技術開発により自動化技術の適用範囲を拡張することを目標として研究を実施した。

今年度の本研究開発では「変形その他不特定な要素を持っている対象物」としてゴム等の弾性材製品に焦点を絞り、これらの材質特性に合った形状計測技術や合理的な輸送・移動技術の研究を実施した。

2. 研究内容

ゴム等の弾性素材からなる製品は、通常の品物と異なり、剛性の欠如に由来するさまざまな不確定性を有するため従来の自動化技術の適用が困難な場合が多く、その

形状計測・検査技術や搬送技術等を含め生産や検査工程の省力化・合理化の隘路となっている。

従来、弾性材製品の表面形状の計測は、対象となる弾性材製品がその材料特性のため外力により容易に変形し、一般の接触式による計測方法を適用することが難しいことから、主にレーザー光を用いた非接触の計測方法等により行われている。しかし必ずしも合理的な計測方法とは言いがたいので、弾性材製品の材料特性に見合った合理的な表面形状の計測方法が求められている。

そこで本研究では、硬質の押圧部材を用いて対象となる弾性材製品を外力付加により押圧し、その押圧部材表面上に形成される弾性材製品との接触部の形状データ（接触面パターン）を利用して変形前の表面形状を計測するという原理に基づき、弾性材製品の材料特性（弾性）を十分に利用した新しい計測技術について研究を行った。

この原理とは弾性材製品の表面に硬質の押圧部材を押し付けた場合、弾性材製品の変形前の表面形状とその材質の物理的特性、及び押圧部材の相対的な押圧変位量と形成された接触部の形状データには物理的原理にしたがって相互に特有の相関が存在しており、この相関関係を利用することによりこの接触部の形状データ（接触面パターン）を適切な計測方法によって計測することで対象となる弾性材製品の押圧による変形前の表面形状に関するデータを得ることが出来るということである。

この新しい計測技術は従来の技術に比較して以下の利点を有する。

(1) 基本的に3次元データである表面形状データを、弾性材製品の材質特性を利用した極めて単純な原理と簡便な設備によって接触面上の2次元データに変換して利用し表面形状の計測や検査を行うことが出来るため、設備コストの低減や計測データの入力及び処理プロセスでの作業量の圧縮による処理時間の短縮が可能となる。

(2) 押圧部材の押圧面の形状は単純な近似的な平面形状に限らずどのような形状でも可能であり、なおかつ被計測対象としての弾性材製品の表面形状を選ぶことがないので極めて汎用性の高い計測方法となる。

本研究ではこの新しい弾性材製品の形状計測技術等に関連した要素技術について、以下の研究を実施し成果を得た。

- ・接触フィルターの利用と機能向上に関する研究(2.1)
- ・弾性材製品の変形予測・評価技術に関する研究(2.2)
- ・空気流を利用した搬送技術に関する研究(2.3)

これらについて各研究テーマ毎に次項以下述べる。

2. 1 接触フィルターの利用と機能向上に関する研究

本研究における弾性材製品の形状計測手法の実施の概略を図1と図2に示す。図1の例では押圧部材の押圧面上の接触部形状のデータ入力方法として、カメラによる画像データの入力という手段を用いているが、データ入力方法としてはもちろんこれに限られるわけではない。接触センサあるいは圧力センサを押圧面上に十分な密度で格子点状に配設した押圧部材等によって接触部のデータ入力を行うことも可能である。しかし本研究では光学的な画像データ入力の効率化という点から以下に示す「接触フィルター」の利用を考案し、その機能向上の視点から研究を行った。

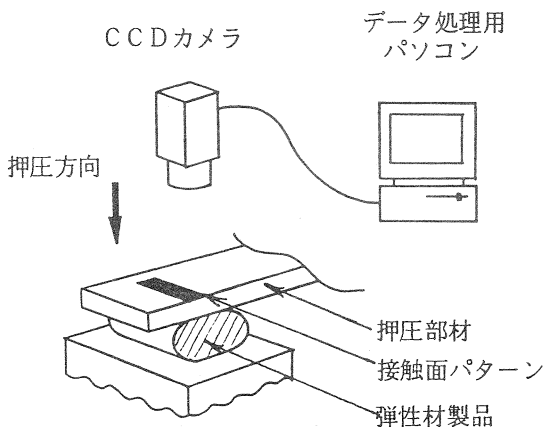


図1 弾性材製品の形状計測技術の実施例の概略図

図1に示すような形状計測に利用される押圧部材は、例えばガラスのような単純な硬質透明材ではさまざまな問題点が生じるため、本計測技術の目的に応じた特殊な機能をもった新しい押圧部材が必要となる。「接触フィルター」はこれらの条件を満たし問題点を全て解決するものである。

「接触フィルター」は従来の技術に比較して以下の利点を有する。

(1) 簡潔な設備と簡単な原理で、前述した新しい弾性材製品の形状計測方法を効率的に実現できる。

(2) 単純な硬質透明材製の押圧部材では検査に不必要な入力画像データが増大し、データ処理能力が低下してしまう。これは全体が透明な押圧部材を用いることで検査対象として注目する部分（押圧部材と弾性材製品表面の接触部分）とそれ以外の周囲の画像が、透明材を透過することですべて同時に得られてしまうことによる。この欠点を克服し画像入力部で接触部分の形状データ（接触面パターン）を周囲と比較してコントラストの高い状態で得ることができ、以降のプロセスでのデータ処理の効率化を実現できる。

(3) 従来技術では押圧部材と接触した弾性材製品表面をカメラによって均一な照度の画像を得るために、照明光の照度や照明光とカメラの位置関係について常に適切な選択と配置が必要となり、これが非常に煩雑になると同時に照明機材など設備面のコスト上昇を招く恐れがあった。この欠点を克服し周囲の照明光等の条件によらず常に安定した画像データ（接触面パターン）を得ることができる。

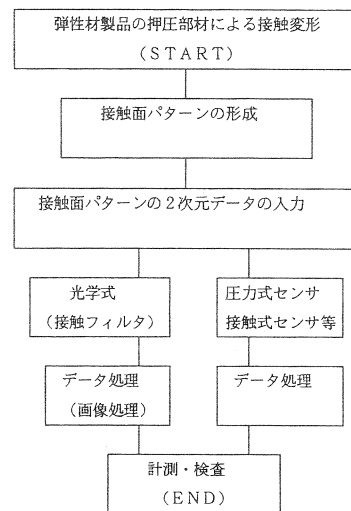


図2 弾性材製品の形状計測技術

「接触フィルター」とは例えば磨りガラス等のように透明材製の押圧部材の片側の面を極微小な凹凸による不透明な面として形成したものであり、図3に示すような原理により押圧部材として用いたとき弾性材製品と接触した部分のみを鮮明なコントラストの高い像として表示できる機能をもつものである。

接触フィルターの極微小な凹凸による不透明な面を接触面として弾性材製品の表面に押し付けると、その部分に親密に接触が生じて反対側の透明部分から見ると接触部のみが鮮明な像を呈するようになる。そのとき周辺部の像は、極微小な凹凸による不透明な面のフィルター作用によって全てもしくは大部分カットされてしまうため検査対象部分（押圧部材と弾性材製品表面の接触部分）とそれ以外のコントラストが非常に大きい画像データを簡単に得ることができ、以後の処理プロセスの大幅な簡素化が可能となる。また照明光等の環境条件の影響を受けにくい安定した画像データを常に得ることが出来る。

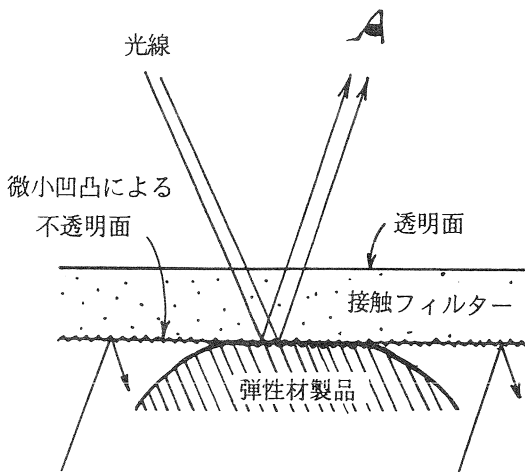


図3 接触フィルターの原理図

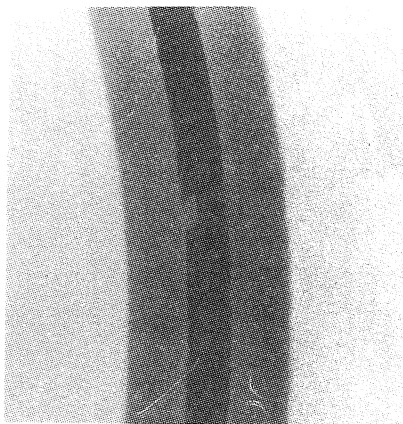


図4 接触フィルターによる接触画像の例
(接触面パターンの例)

図4に接触フィルターを用いた弾性材製品の接触面の像（接触面パターン）を例として示す。

本研究ではこの接触フィルターとして機能する可能性のある数種類の素材を選び、その表面形状の観察・計測と実際に得られる接触面の像についてデータを収集し、その相関や接触現象の解明と接触フィルターの機能向上を目指して研究を行った。

実験では接触フィルターとしての機能する可能性のある数種類の素材（焼付けガラス、研磨処理焼付けガラス、汎用磨りガラス）について表面形状の観察・計測を行い、得られる接触面パターンの観察・比較を行った。

なお焼付けガラスとは通常の透明板ガラス表面にセラミック層を焼付けたものである。研磨処理焼付けガラスとはそのセラミック層をさらに研磨処理したものである。汎用磨りガラスは通常の市販品の磨りガラスを用いた。図5に観察・計測に用いた材料について示す。((A)～(E))

同時に表面形状の計測結果と得られた接触面パターンについて示す。(図7・図8)

接触フィルターの表面粗さを研磨によって小さくすると、接触パターンの解像度が上がりエッジが明瞭になる。しかし接触パターンの本体部（背景）とのコントラストは若干後退する。

接触フィルターの効果は表面の微小な凹凸と表面セラミック層（アルミナ粒子含む不透明層）の相乗効果によるものであるが、表面の微小な凹凸のみではコントラストは悪化する。これは(E)の磨りガラスの結果によって明らかである。

これらの結果により適度な不透明層の存在と、フィルター表面粗さの向上が機能向上に関係すると考えられる。

不透明層とフィルター表面粗さの2点が、フィルター機能に与える影響をさらに検討し、接触フィルターの機能向上をめざす。

なお接触フィルターによる接触面パターンの観測や、押圧変位と弾性材製品の変形の関係の把握等の実験のため、図9・図10に示すような弾性変形・姿勢制御実験装置を製作し利用した。

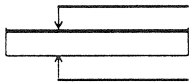
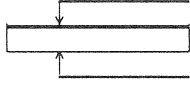
材 料	種 類	構 成	備 考
(A)	焼付けガラス		
(B)	研磨処理 焼付けガラス	(A)と同じ セラミック層を研磨機 (#600) で手作業研磨	中仕上げ研磨 まで
(C)	”	(A)と同じ セラミック層を研磨機 (#600) で手作業研磨	仕上げ研磨 まで
(D)	”	(A)と同じ セラミック層を自動研磨機 (#500) で研磨	
(E)	汎用 磨りガラス		

図5 接触フィルター実験材料(A)~(E)

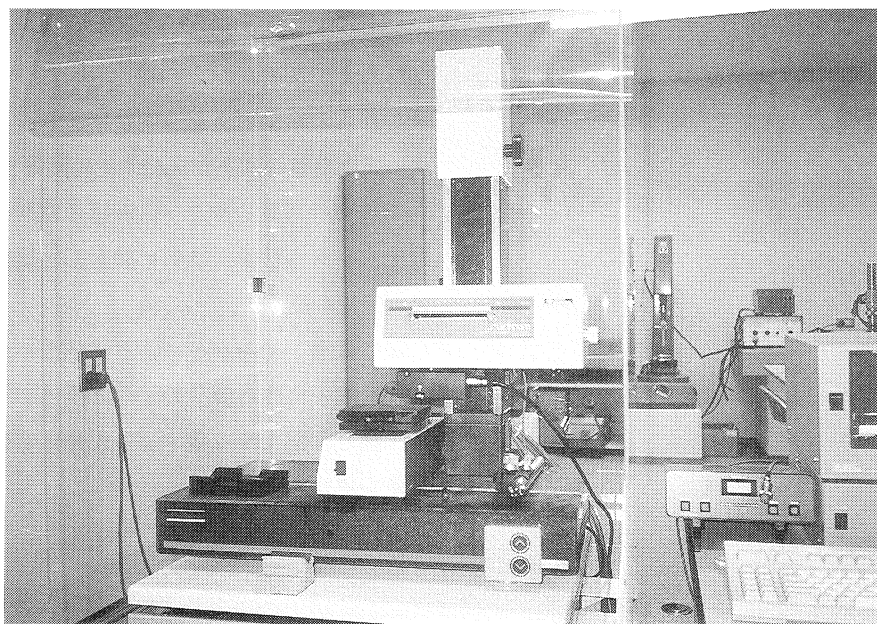


図6 3次元表面粗さ測定機

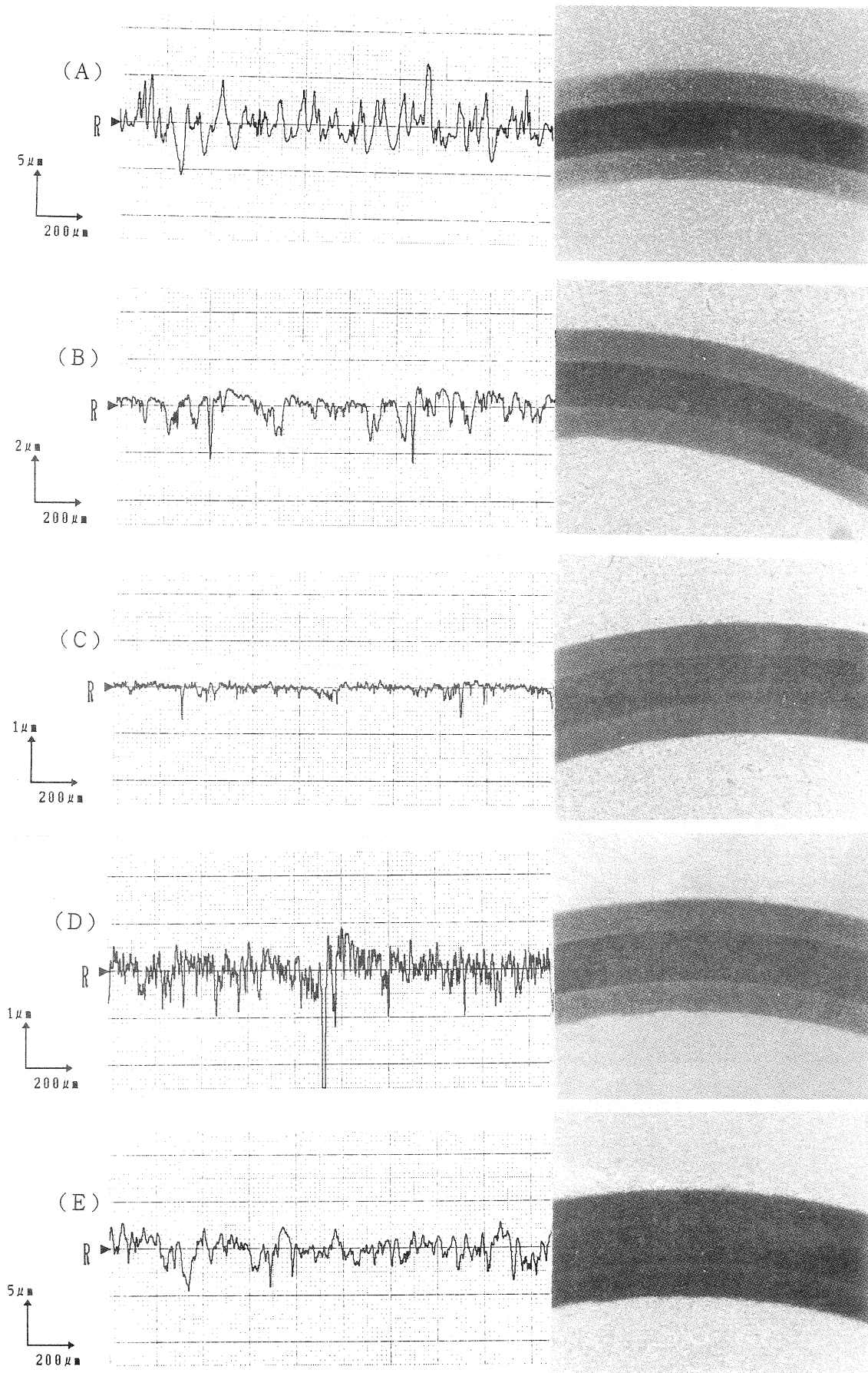
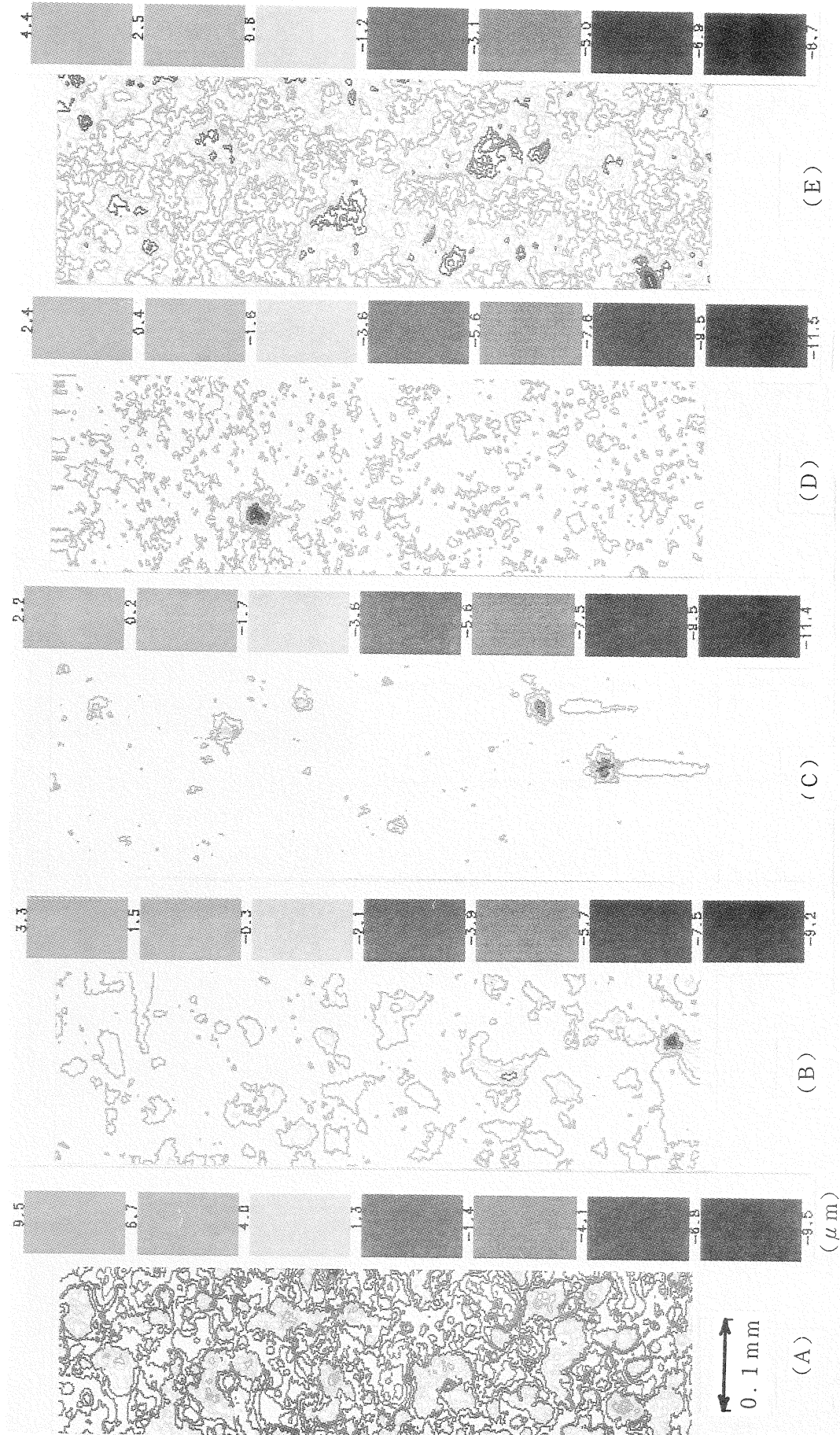


図7 表面粗さ測定結果（接触フィルター材料）と接触面パターン



等高線間隔は1 μm

図8 表面粗さ測定結果 (接触フィルター材料)

弾性変形実験装置の仕様について

- 本体昇降部
垂直軸昇降式とし、十分な剛性をもつこと。
- 昇降位置測定表示装置
レーザー式接触測定機を利用し、解像度0.01mmとする。



図9 弾性変形・姿勢制御実験装置本体部

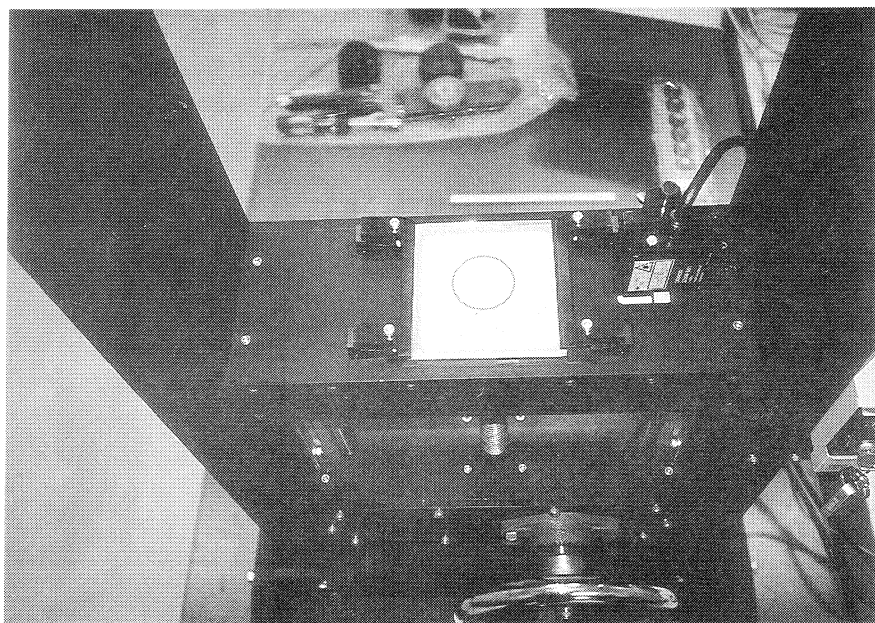


図10 弾性変形実験装置接触フィルター取付け部

2. 2 弾性材製品の変形予測・評価技術に関する研究

前節までの研究の結果により、硬質の押圧部材を用いて対象となる弾性材製品を外力付加により押し、その押圧部材表面上に形成される弾性材製品との接触部の形状データを利用して変形前の表面形状を計測するという原理に基づいた弾性材製品の新しい計測技術が有効であり、またこの計測技術を実施する上で考案された「接触フィルター」が押圧部材として非常に有効に機能することが示された。

この計測手法によれば弾性材製品の表面形状（3次元データ）は接触フィルター上に接触面パターンとして2次元データ化されて得られる。このとき弾性材製品の押圧による変形前の表面形状（3次元データ）と材質の物理的特性や押圧部材の押圧変位量、接触面の摩擦係数、そして形成された接触面パターン（2次元データ）等の間には物理的原理に従って特有の相関がある。

例えば被計測対象である弾性材製品が正しい標準面形状（設計値）をもつ場合についての上記の相関関係を既知のデータとすることにより、弾性材製品の表面形状に標準面形状（設計値）からのずれや歪みがあれば、それは接触フィルター表面上に形成される接触面パターンのずれや歪みとして反映されるから、接触面パターンの形状を計測することで弾性材製品の表面形状の標準面形状（設計値）からのずれや歪みを評価し計測することができる。つまり標準面形状（設計値）に対応する接触面パターンの偏差量はこの弾性材製品表面形状のずれや歪みによる表面形状の形状誤差に対応した偏差量として評価しうる。同時に被計測物である弾性材製品の表面形状に

欠肉や傷など局所的な欠陥がある場合でも局所的な表面形状の変化として同様に把握し評価することが可能となる。

円柱形状を有するゴム状弾性材製品を被計測物の簡単な例として、接触フィルターによる弾性材製品の表面形状の計測を行った例を以下に示す。弾性材製品の表面形状が正しい標準面形状（設計値：円柱面形状）をもつ場合には、接触面パターンの形状は押圧変位が小さい範囲では図11に示すように近似的な長方形となる。これに対し押圧変位や材質が同じで弾性材製品の表面形状に不正があり、その長手方向中央部付近で直径がやや大きくなった形状（たる型）であったとすれば、概略的に図12に示すような接触面パターンが得られる。また弾性材製品表面上の欠肉や傷など局所的な欠陥も図12のように局所的な接触面パターンの不正な変化として把握し評価することが可能となる。

前述した押圧と接触面パターンの相関関係は実験的に求めることも可能であるが、有限要素法等の手法により弾性材製品の押圧時の変形状態を数値計算（シミュレーション）により理論的に求める方法によっても把握できる。接触面パターンの理論的な解析とアプローチを行うことで、接触フィルターを用いた計測技術をより一般的・普遍的な手法とするための端緒とすることができる。また弾性材製品表面の欠陥パターンに対する接触面パターンの理論的なデータベースの構築等が可能となる。

それでは以下でゴム・エラストマー等の弾性体を超弾性体（HYPERELASTICITYをもつ材料）としてモデル化し数値計算する手法について紹介するとともに、得られた計算結果や実験値との比較などについて述べる。

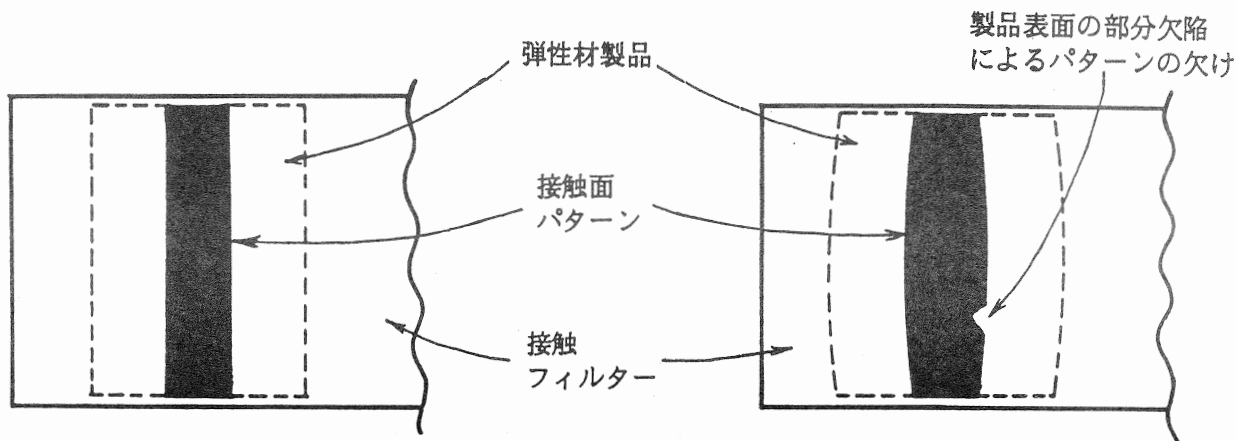


図11 接触面パターン（円柱形状の場合）

図12 接触面パターン（たる型形状の場合：不正品）

2.2.1 超弾性体の理論的取扱いについて

ひずみもしくは変位テンソルによるスカラ量として、弾性ポテンシャル関数（ひずみエネルギー密度関数） W を定義できる材料を超弾性材（HYPERELASTIC）と呼び、 W のひずみ成分についての勾配（DERIVATIVE）がその応力成分となる。

$$S_{ij} = \frac{\partial W}{\partial E_{ij}} \quad (1)$$

S_{ij} … キルヒホフ応力テンソル

W … ひずみエネルギー密度関数（単位体積あたり）

E_{ij} … ラグランジュひずみテンソル

$$E_{ij} = (C_{ij} - \delta_{ij}) / 2 \quad (2)$$

$$\begin{cases} \delta_{ij} = 1, & 0 & (i = j) \\ \delta_{ij} = 0 & & (i \neq j) \end{cases}$$

なお変位テンソル C_{ij} は変形勾配テンソル f_{ij} の積で表され

$$C_{ij} = f_{ki} f_{kj} = f^+ f \quad (3)$$

C_{ij} … 右コーシー・グリーンひずみテンソル
ここで

$$f_{ij} = \frac{\partial x_i}{\partial X_j} \quad (4)$$

X_i … 質点の変形前の位置（ i 方向）

x_i … “ 変形後の位置（ “ ） = $X_i + u_i$

u_i … “ 変位（ “ ）

W は材料の等方性により C_{ij} の関数として定義される。

（ C_{ij} は定義より対称行列）

$$W = W(C) \quad (5)$$

ここで C_{ij} による3つのスカラ量（基礎ひずみ変数）を仮定する。

$$I_1 = C_{ii} = \text{tr} C \quad \dots \text{対角成分和} \quad (6)$$

$$I_2 = ((\text{tr} C)^2 - \text{tr} C^2) / 2 \quad (7)$$

$$I_3 = \text{det} C_{ij} \quad \dots \text{行列式値} \quad (8)$$

これによって

$$W = W(I_1, I_2, I_3) \quad (9)$$

なお I_3 は物体の変形前と変形後の体積比の二乗をあらわし、非圧縮性が仮定でき変形前後で体積変化がない場合、 $I_3 = 1$ である。以下 $I_3 = 1$ を仮定する。（ポアソン比 = 0.5）

W と真応力（コーシー応力） σ の関係式は、 f_{ij} によって

$$\sigma = f \frac{\partial W}{\partial f^+} \quad (10)$$

$f^+ \dots f$ の転置行列

となる。(10)式より

$$\sigma = 2 \left((W_1 + I_1 W_2) c - W_2 c^2 \right) \quad (11)$$

$$c_{ij} = f_{ik} f_{jk} = f^+ f \quad (12)$$

c_{ij} … 左コーシー・グリーンひずみテンソル

$$W_1 = \frac{\partial W}{\partial I_1} \quad ; \quad W_2 = \frac{\partial W}{\partial I_2}$$

W_1, W_2 は I_1, I_2 のみの関数となる。理想的な弾性や非圧縮性からのずれが小さい場合、この関数は実験などにより求めることができる。なお真応力（コーシー応力） σ_{ij} とキルヒホフ応力 S_{ij} はともに対称行列であらわされ、 f_{ij} を用いた変形前後の座標変換により結びつけられる。

2.2.2 ムーニー・リブリン材料定数の測定

次に対象とする材料の単純引張り試験を行う。

この場合、引張比（引張長さ／初期長さ）を λ とする
と他の2方向は非圧縮性仮定により $\lambda^{-1/2}$ となり、(6)

(7) (11)式などから引張力 T と I_1, I_2 は

$$T = 2 A \left(\lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right) (W_1 + \frac{1}{\lambda} W_2) \quad (13)$$

$$I_1 = \lambda^2 + \frac{1}{\lambda} \quad ; \quad I_2 = \frac{1}{\lambda^2} + 2 \lambda \quad (13)$$

A … 初期断面積

となる。ムーニー・リブリン構成則によればゴムなどの非圧縮性材料において、そのひずみエネルギー密度関数は

$$W = C_1 (I_1 - 3) + C_2 (I_2 - 3) \quad (15)$$

の式であらわされる。 C_1, C_2 はムーニー・リブリン材料定数であるがこの仮定により(13)は以下の形となる。

$$T = 2 A \left(\lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right) (C_1 + \frac{1}{\lambda} C_2) \quad (16)$$

実験により変位-荷重曲線をもとめ、

横軸に $\frac{1}{\lambda}$ を、縦軸に $T / (2A(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}))$

をとれば C_2 はグラフの傾きとして $C_1 + C_2$ は $1/\lambda = 1$ での軸切片として求めることができる。

なお (16) 式は λ の大きくない範囲で成立する。

図13・図14の測定結果によりこのOリング線材の場合、 $C_1 = 0.03$ 、 $C_2 = 0.1$ が得られた。

以上により求められた C_1 、 C_2 により、ムーニー・リブリン構成則モデルによる構造解析コードを用いて非線形問題（材料非線形性、幾何的接触問題を含む）として数値計算し、モデルのひずみ-応力-変位等を求めることができる。

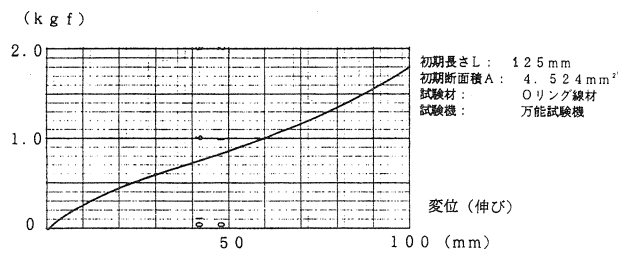


図13 単純引張試験による変位-引張荷重曲線 (弾性材製品：Oリング線材)

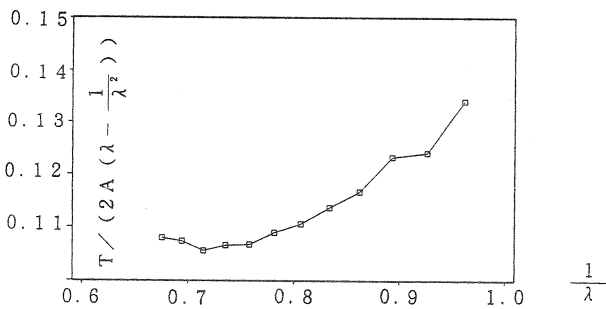


図14 $1/\lambda$ による $C_1 + \frac{1}{\lambda} C_2$ の変化 (上図よりプロット)

2.2.3 数値計算結果と実験結果の比較

円形断面をもつ弾性材製品について、2次元モデルによる数値計算結果と実験結果の比較を図16に示す。

図15に示すように押圧部材（接触フィルター等）により円形断面に対し、押圧量 ΔD を与えた場合をモデル化したものである。

また変形時の全体形状等の数値計算結果と実験結果の比較についても図17～図19に示す。

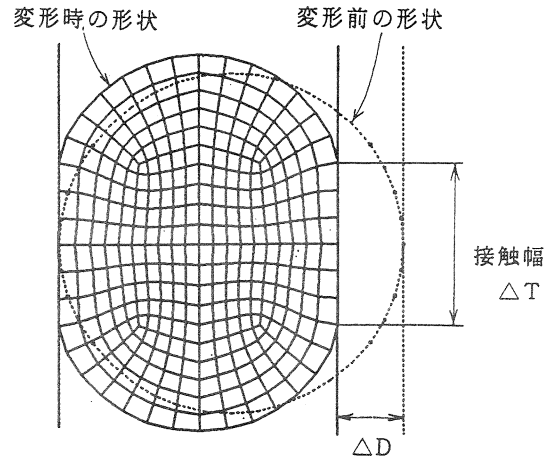


図15 弾性材製品(円形断面)の押圧シュミレーションの概要図

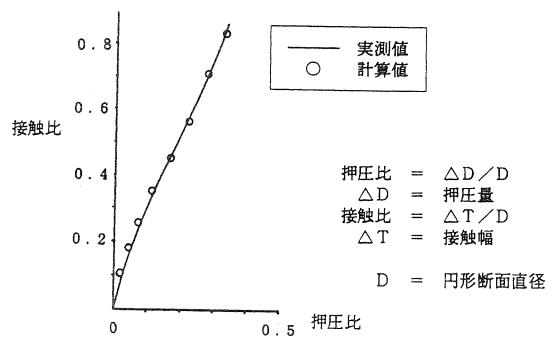
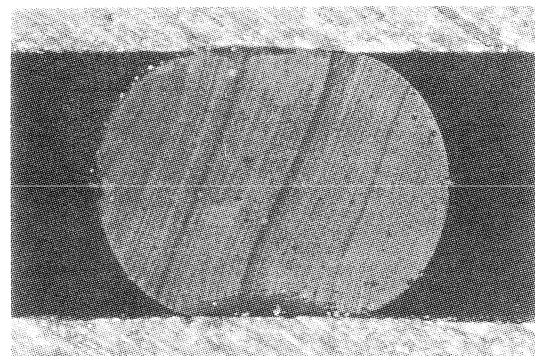
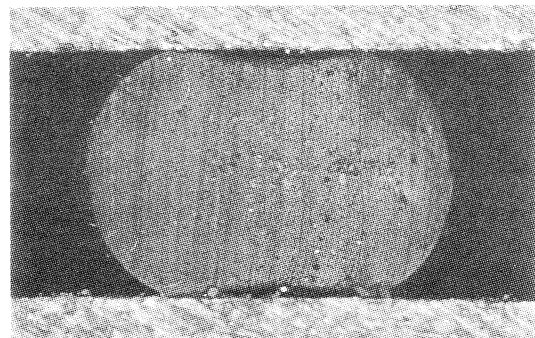


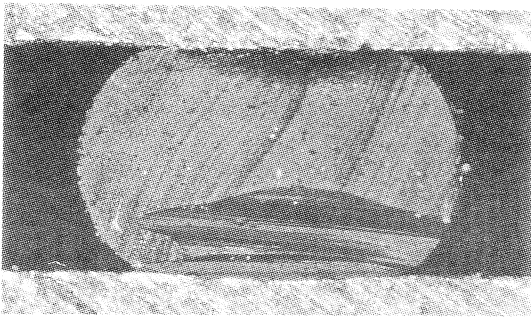
図16 押圧比と接触比の変化



押圧比=0.19



押圧比=0.25



押圧比=0.31

図17 弾性材製品（円形断面）の押圧変形実験

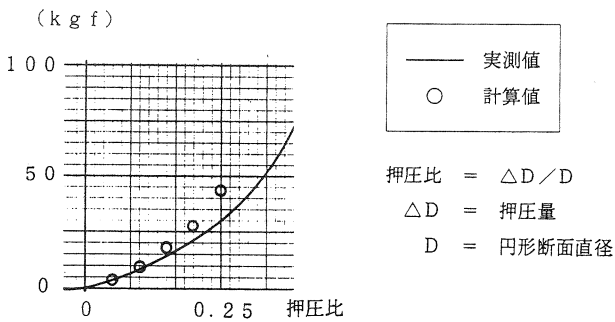


図18 弾性材製品（円形断面）の押圧時の反力

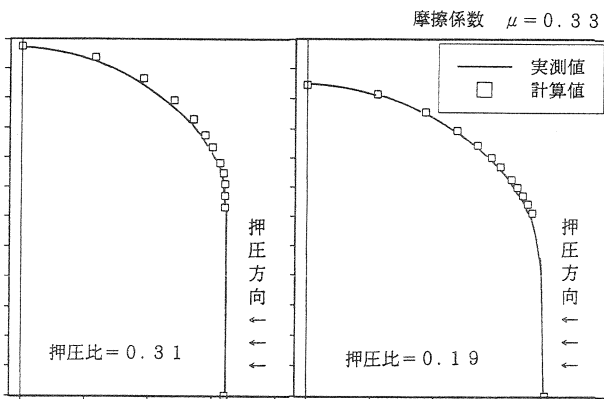


図19 弾性材製品（円形断面）の押圧時の変形（1/4モデル）

2.2.4 弾性材製品（欠陥部あり）の接触面パターンの計算結果

円形断面をもつ弾性材製品としてはOリングなどの製品が挙げられる。前述したように接触フィルターを用いた計測技術によれば、製品の全体形状の計測の他に弾性材製品表面上の欠肉や傷など局所的な欠陥も局所的な接触面パターンの不正な変化として計測し評価することができる。図20・図21に生産過程で生じた典型的なOリングの表面欠陥の例を示す。

また製品表面上の欠肉や傷など局所的な欠陥が、接触

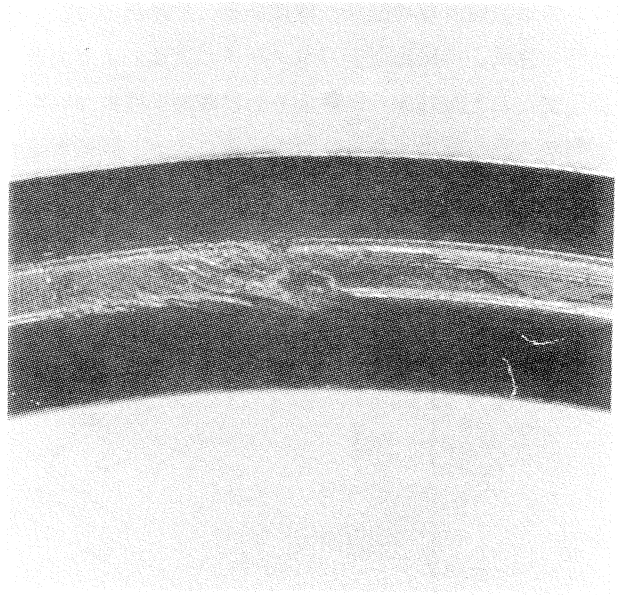


図20 Oリングの表面欠陥の例（流れ型）

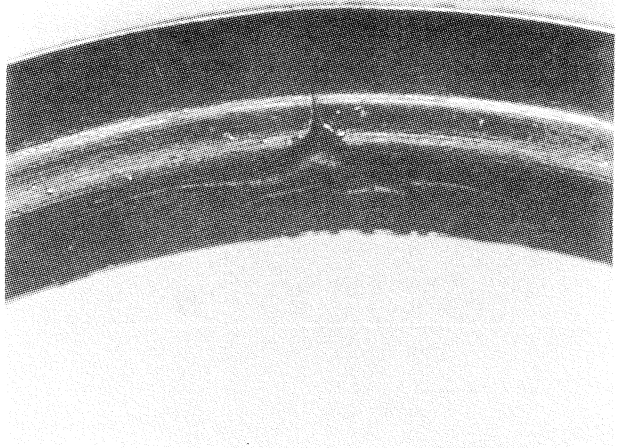


図21 Oリングの表面欠陥例（みぞ型）

フィルター上にどのような接触面パターンとしてあらわれるのかを2次元の接触フィルターによる押圧問題として図22～図24のようにモデル化し数値計算することで、評価することを試みた。結果についても以下に示す。（図26～図29）

前述のように全体形状については数値計算の結果と実験値はよく合致しており、ムーニー・リブリン構成則モデルによる近似が今回の弾性材料について有効であることがわかった。

また弾性材料表面の欠陥部の接触パターンへの投影に

については数値計算の結果、摩擦係数、欠陥部の形状、欠陥部の位置、押圧比などパラメータの変化により大きく変化することがわかった。とりわけ摩擦係数については欠陥部の開口部のパターンの縮小化に大きく関係するた

め重要である。前節での接触フィルターの性能に関する研究では、表面微小凹凸の減少は接触パターンの解像度の点から良であったが、摩擦係数の点からは必ずしも良とは言えない。

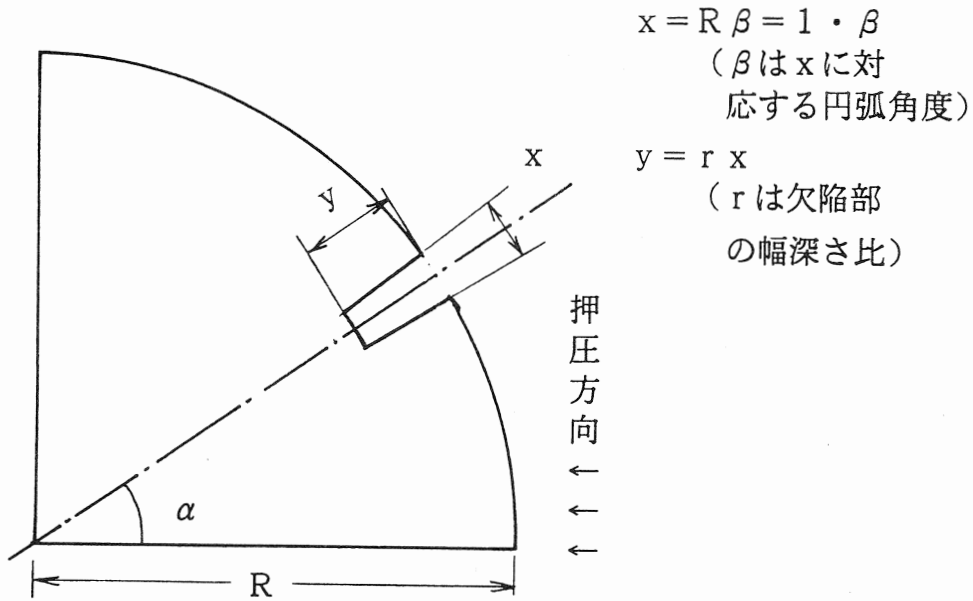


図22 弾性材製品（欠陥部あり）の接触フィルターによる押圧問題のモデル

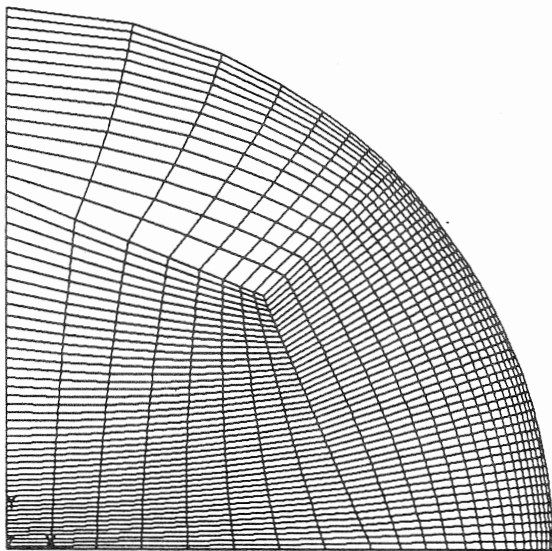


図23 弾性材製品（円形断面）モデルのメッシュパターン

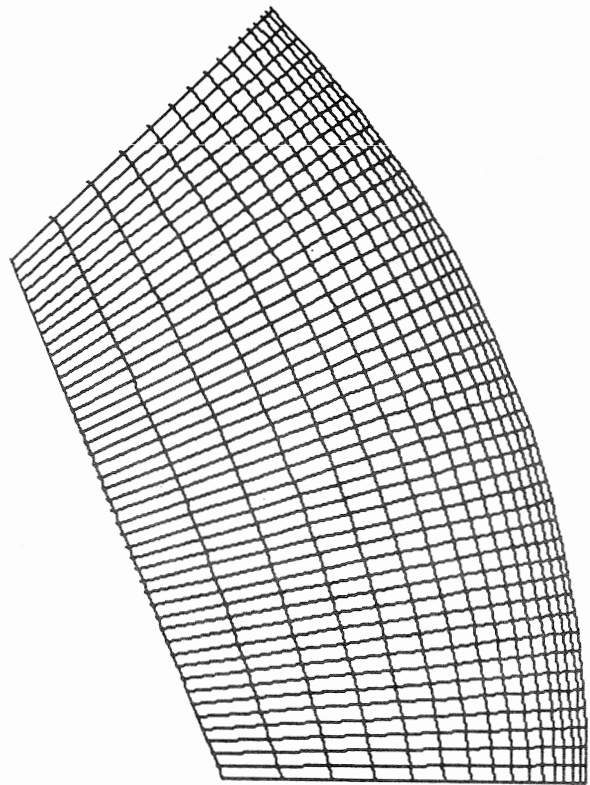
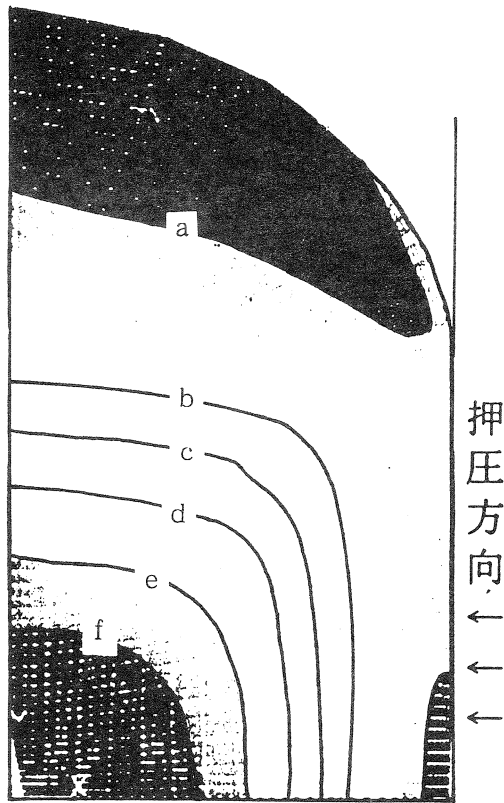


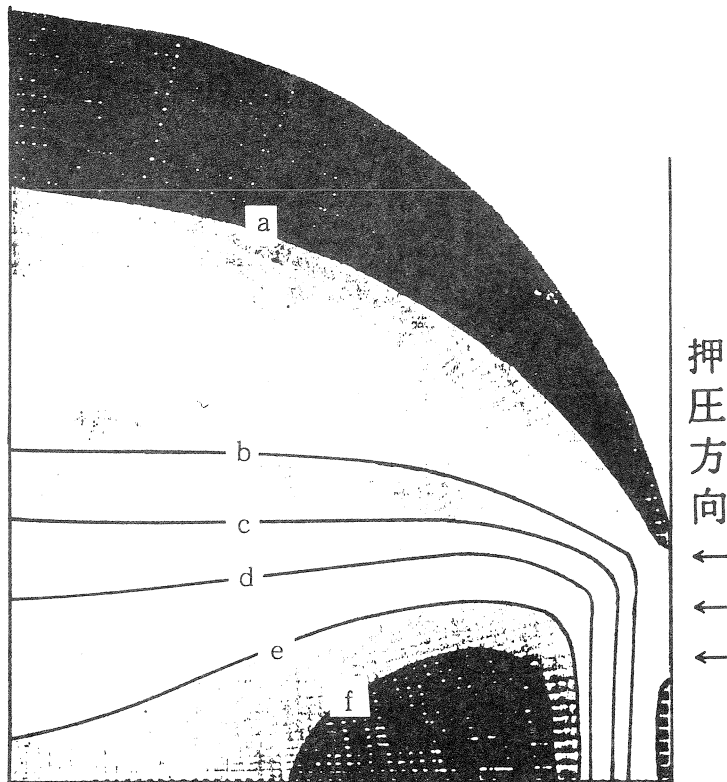
図24 右上 押圧接触部の詳細



(kgf/mm²)

- a 0.580
- b 0.223
- c 0.277
- d 0.332
- e 0.387
- f 0.442

押圧比=0.3



(kgf/mm²)

- a 0.129
- b 0.0514
- c 0.0642
- d 0.0770
- e 0.0898
- f 0.103

押圧比=0.1

図25 相当応力 (Equivalent Stress) 分布図

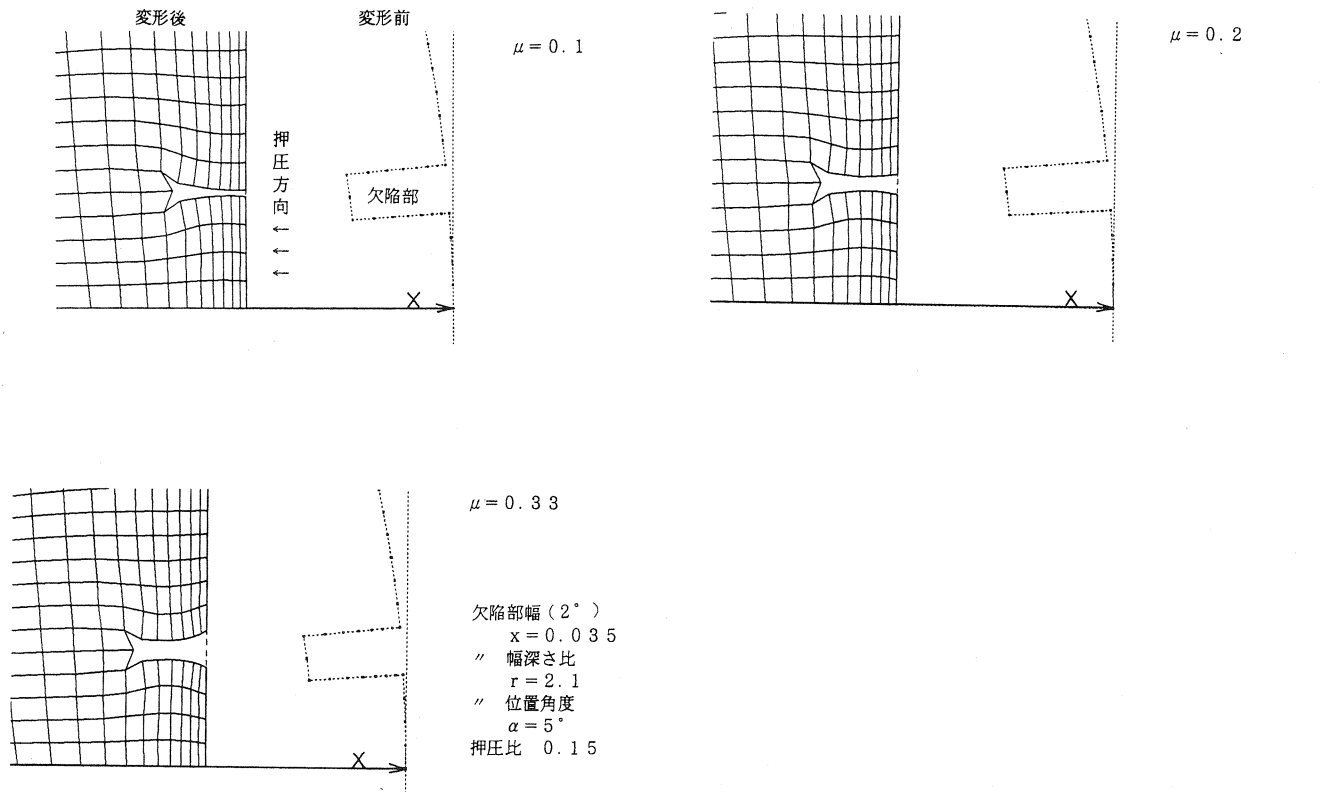


図26 摩擦係数 μ の変化による欠陥部の押圧時の形状変化

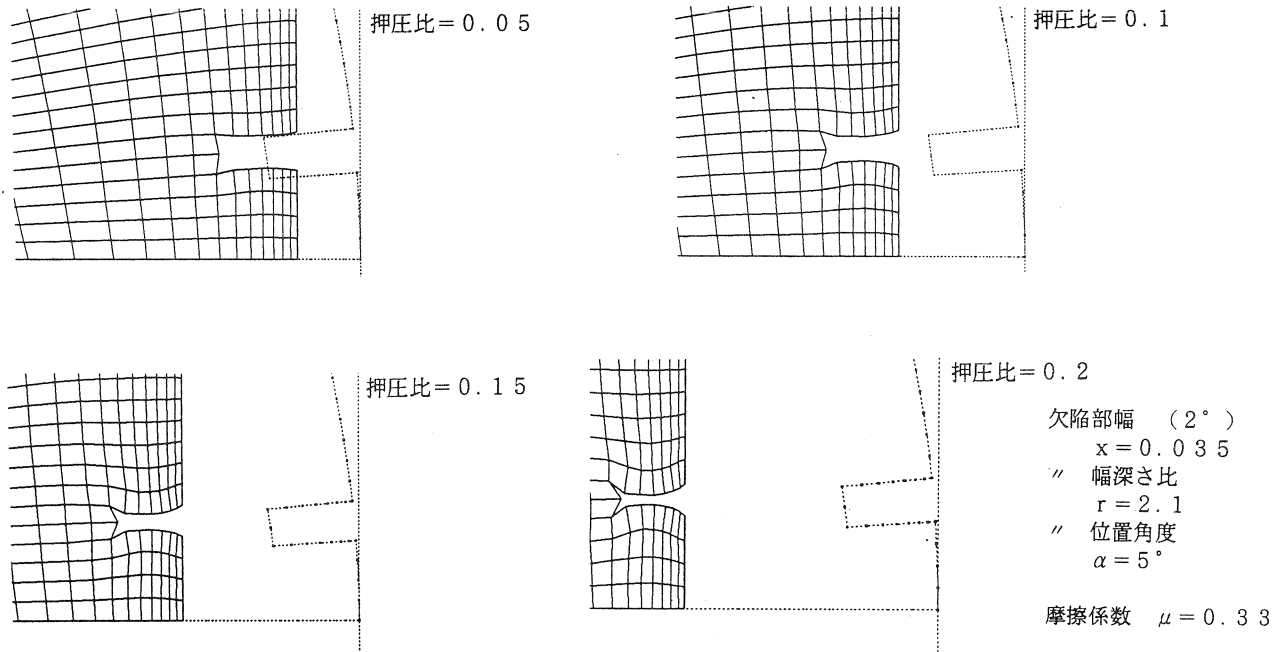


図27 押圧比の変化による欠陥部の形状変化

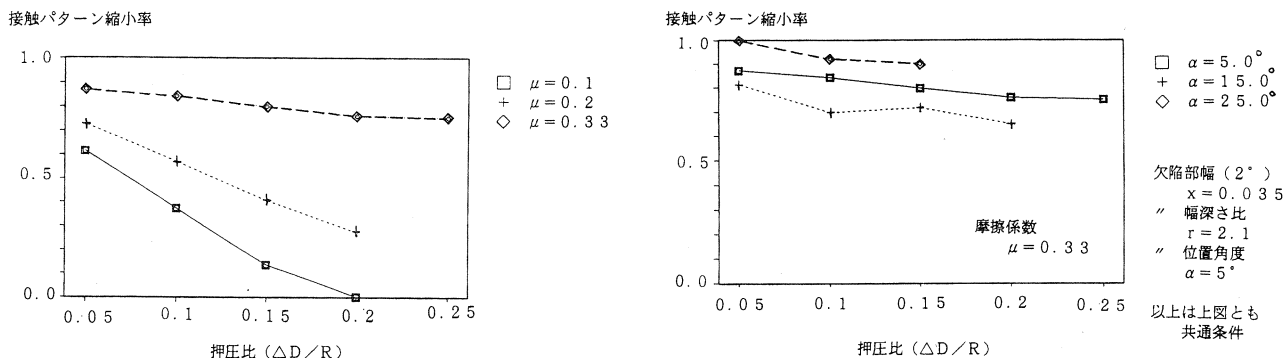


図28 欠陥部位置角度 α による接触パターン縮小率の変化

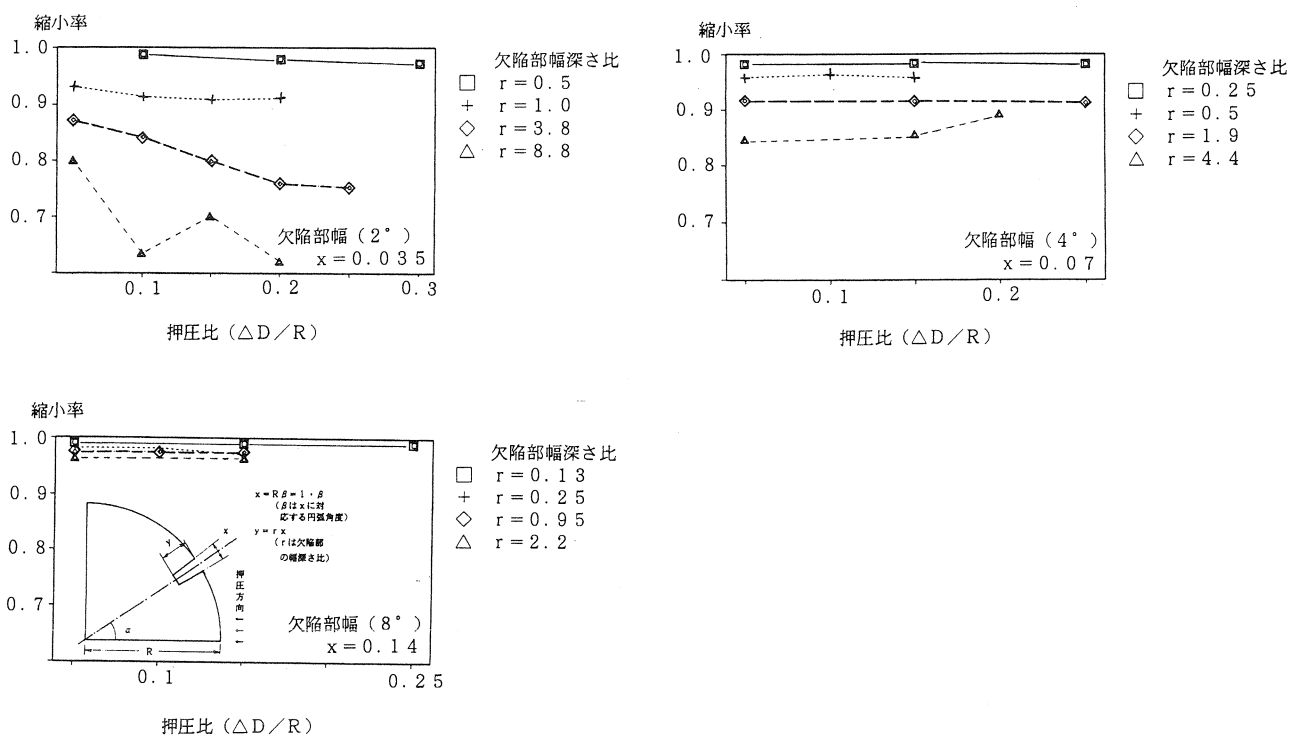


図29 欠陥部形状（幅深さ比 r ）による接触パターン縮小率の変化

2. 3 空気流を利用した搬送技術に関する研究

ゴム等の弾性素材からなる製品は、剛体からなる通常の品物と異なり、剛性の欠如に由来するさまざまな不確定性を有するため従来の自動化技術の適用が困難な場合が多く、生産や検査工程の省力化・合理化の隘路となっている。

従来、剛体製品の個別分離・間欠送り・搬送等については振動機構等を利用した既成の技術があるが、弾性材製品にはこれらの従来技術の適用は困難であり、空気流を利用する等の新しい技術の適用が求められている。

そこで本研究では弾性材製品の空気流による慣性運動（回転・直線運動等）に対する性質を利用した搬送技術及びその開発支援技術となる要素技術について研究を行う。

そのため空気流の最も効果的な利用による弾性材製品の搬送・個別分離・間欠送り装置の開発のための十分有力なツールとして、装置内部の気体流の様子を正確に把握ないし可視化する技術が必要となる。このため空気流実験装置を作成し2次元流を対象として実験的に空気流を可視化し観測することを試みた。同時に、得られた結

果と理論的な数値計算による結果との比較等の作業をと
おして、上記の搬送・個別分離・間欠送り装置等の新規
の機構を効率的に開発するための内部空気流の解析と制
御及び利用技術の向上・確立をはかることができる。

2.3.1 空気流実験装置について

製作した空気流実験装置では、空気流の可視化技法と
してポリスチロールトレーサ法を空気流に適用すること
を試みた。一次発泡粉は粒径1.7mm以下のものを用
いた。本体流路部はアクリル材により透明とし3層方式
により流路形状を自由に取替えるようにした。流路
形状は円形ドラム型、まゆ型等で各々空気流入ノズル角
度や形状をパラメータを変えて複数を用意し実験でき
るようにした。

この実験装置では発泡ポリスチロール粒子を空気流に
効果的に混合し噴出させるメカニズムがポイントであり、
粒子と気体との混合部での流路狭窄部の詰まり現象等が

発生しないように混合流を安定して発生させる機構が必
要となる。このため今年度は実験装置でのシステムのバ
ランス調整とポリスチロール混合空気流の安定した発生
機能の達成に重点を置いた。図30に製作した空気流実
験装置の全体概要を示す。

製作した空気流実験装置では、空気流の可視化技法と
してポリスチロールトレーサ法を空気流に適用すること
を試みたが、気体とポリスチロール粒子の混合につい
ては設計当初予定していた機能を実現することが出来た。
また圧力・流量調整機能による調整により流体の安定も
うまく保たれた。しかし静電気対策等で今後の運用上の
問題となる点も残された。

今年度は実験装置でのシステムのバランス調整とポリ
スチロール混合空気流の安定した発生機能の達成に重点
を置いたため、内部流の観測や解析については今後実施
していく予定である。必要であればパラメータの変更・
追加等による流路形状の追加も順次実施していく。

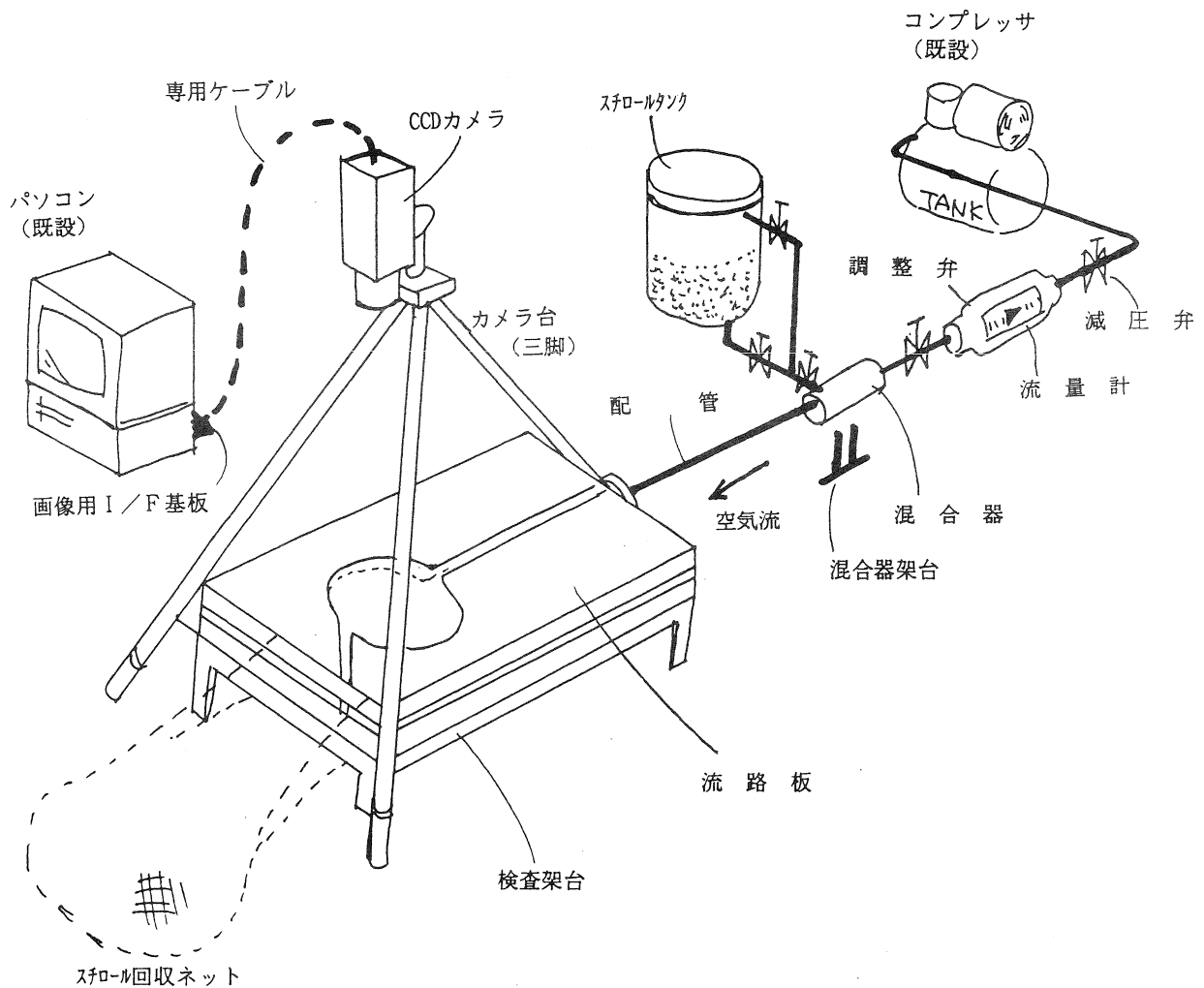


図30 空気噴流実験装置全体図

3. 結果及び考察

(1) 硬質の押圧部材を用いて対象となる弾性材製品を外力付加により押圧し、その押圧部材表面上に形成される弾性材製品との接触部の形状データ（接触面パターン）を利用して変形前の表面形状を計測するという原理に基づき、弾性材製品の材料特性（弾性）を十分に利用した新しい計測技術について研究を行った。これにより表面形状データを、材質特性を利用した極めて単純な原理と簡便な設備によって接触面上の2次元データに変換して利用し表面形状の計測や検査を行うことが出来るコスト・合理性・汎用性の点で有効な計測方法を見出した。

(2) 上記の検査方法を実施する上で有効な機能性押圧部材として「接触フィルター」の利用を見出し、実験等の研究からその機能向上について知見を得た。

「接触フィルター」は以下の点で有効である。

(a) 簡潔な設備と簡単な原理で、上記の新しい弾性材製品の形状計測方法を効率的に実現できる。

(b) 画像入力部で接触部分の形状データ（接触面パターン）を周囲と比較してコントラストの高い状態で得ることができ、以降のプロセスでのデータ処理の効率化を実現できる。

(c) 周囲の照明光等の条件によらず常に安定した画像データ（接触面パターン）を得ることができる。

なお「接触フィルター」に関する技術については特許出願済である。

「接触フィルター」については、適度な不透明層の存在とフィルター表面粗さの向上がその機能向上に関係すると考えられるので、引き続きこの2点がフィルター機能に与える影響をさらに検討し、その機能向上を目指す。

(3) 弾性材製品の変形シミュレーションを行った結果、数値計算の結果と実験値はよく合致しており、ムーニー・リブリン構成則モデルによる近似が今回の弾性材料について有効であることがわかった。

また弾性材料表面の欠陥部の接触パターンへの投影については数値計算の結果、摩擦係数、欠陥部の形状、欠陥部の位置、押圧比などパラメータの変化により大きく変化することが判明した。とりわけ摩擦係数については欠陥部の開口部のパターンの縮小化に大きく関係するため重要である。

今後は欠陥部の数値計算結果を、実験的にフォローし得られたデータが実用的であることを検証する必要がある。また3次元モデルへの拡張とデータ補強によるモデルの精密化をはかる。

そして接触フィルターを用いた計測技術をより一般的・普遍的な手法としてその端緒を開くため実験・数値計算の両面よりデータを積み重ねる。

(4) 製作した空気流実験装置では、空気流の可視化技法としてポリスチロールトレーサ法を空気流に適用することを試みたが、気体とポリスチロール粒子の混合について構想時の機能をほぼ実現することが出来た。また圧力・流量調整機能による調整により流体の安定もうまく保たれた。これにより空気流の可視化技法としてポリスチロールトレーサ法を十分利用できることがわかった。

但し運用上の若干の問題は残された。

今後は同実験装置による実験を行い、必要であればパラメータの変更・追加等による流路形状の追加も順次実施していく。そしてそれによる内部流の観測や解析を実施し、装置内部の気体流の様子を正確に把握ないし可視化する技術の確立を目指す。また得られた結果と理論的な数値計算による結果との比較等を実施する。

参考文献

- 1) R.S.Rivlin, "The Elasticity of Rubber", Rubber Chemistry and Technology, Vol.65, 1993
- 2) ANSYS, Inc, ANSYS User's Manual, ANSYS, Inc, 1994