

# リアル感を具現化するデザインCAD用データグローブの開発(第4報)

河西 伸<sup>1)</sup>・佐野 正明<sup>2)</sup>・串田 賢一<sup>3)</sup>・清弘 智昭<sup>3)</sup>・持丸 正明<sup>2)</sup>・杉田 良雄<sup>3)</sup>

## Development of The Data-Glove for Design-CAD which Embodies a Real Feeling (4th Report)

Shin'ichi KASAI, Masaaki SANO, Kenichi KUSIDA, Noriaki KIYOHINO,  
Masaaki MOTIMARU and Yoshio SUGITA

### 要 約

電気粘性流体(ERF)を用いて、反力を表現でき、人間に安全、小型かつ軽量のデータグローブの開発を行った。

- ①前報で報告した、著者らの考案し試作を行った力覚表現機器では電極が剛体のため柔軟性のある電極素材について検討を行い、導電性ゴムが電極として利用できることが分かった。
- ②著者らが考案した力覚表現機器において、機器内部で布の動きが重要なポイントであるため、構造解析システムを利用して布の動きについて解析を行い、機器内部で布の動きがあることが分かった。
- ③本機器を用いたシステムの検討を行うために、CGシステムとの連携について簡易的なCGプログラムを作成し検証を行った。

これらの結果より、リアル感を具現化するデザイン用データグローブを構築するための基礎データが得られた。

### Abstract

Dealing with 3-dimensional Data by using a computer has increased. However, 3-dimensional Data is produced now using man-machine interfaces, such as a 2-dimensional mouse and a keyboard. For this reason, there is a little creation which used computer by creator's et al. and then, we furthered development of a Data-Glove on Safe for man, small and lightweight by Electro Rheological Fluid (ERF).

- ① A prototype was built by our devising with a supple electrode material was examined.
- ② It analyzes about a motion of cloth using a structural-analysis system.
- ③ It verified by creating simple CG program about the cooperation with CG system.

We obtained the basic data for Data-Glove for Design-CAD which embodies a real feeling from these experimented result.

## 1 緒 言

近年のコンピュータハードウェア、CAD及びCG等のグラフィック系ソフトウェアは共に技術革新がめざましいスピードで進んでいる。

また、三次元CAD、CAEソフトウェアの普及やデザイナーを対象としたCG系のソフトウェアなど業務と密接なつながりがあるソフトウェアの開発も進んで来ている。

しかし、コンピュータを利用するときのユーザインターフェイスは、キーボード、マウスでの入力主流であ

り、三次元データ等を扱うときも二次元のマウスとキーボードを利用者が駆使してデータを築いている。

このような状態で、実際に使用するデザイナー等の感想としては、「今までの五感で感じながらの創作にはほど遠く、創作意欲がわかない」と言った声を聞く機会が多くあり、特に、県内の宝飾品デザイナーは、CGやCADの利用が少ない現状である。

そこで、第1～3報で報告したように、人間の手の寸法について統計的に解析、指のトルク力の計測、布とERFを用いた力特性を明らかにした<sup>1)～6)</sup>。本報では著者らが考案した(図1)、ERFを用いて軽量、小型かつ安全に反力を体感できるシステム開発を行った<sup>7)～9)</sup>。

<sup>1)</sup> 国立大学法人山梨大学

<sup>2)</sup> (独) 産業技術総合研究所

<sup>3)</sup> ワイエス電子工業(株)

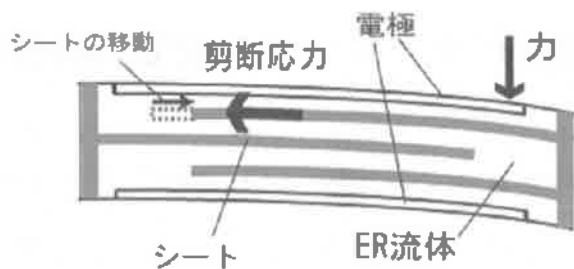


図1 力を表現する原理

## 2 実験方法

### 2-1 原理

物体が曲がる時に内側と外側で移動距離に差が生じることを利用し、ERFで満たした中で電極に布（スクリーン印刷用の紗）を挟み、布の動きを制御することによって、物体が曲がる力を抑制し、指に力の間隔を与えるシステムについて、より力を生じさせることを目的に、電極の素材、機器内部での布の動きの解析及びCGとの連携によるシステムとしての可能性について各種の実験を行い特性を導いた。

この原理を実現するには、曲げた時に電極ギャップが一定の距離を保つ必要がある。これは電極間のショートを防ぐのは基より、電極間の電界を制御するために必要になるためである。そこで、図2に示すような構造とした。

この構造は、外側をシリコンゴムで成型し、電極、布を配置して、封印後ERFを注入する構造である。また、構造物の中央に溝を設け、絶縁性の球を設置することにより、曲げた時の電極距離を保つ構造とした。

作成中の写真を図3に示す。

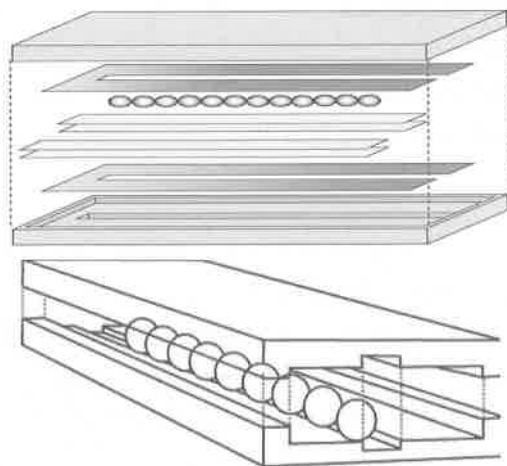


図2 試作構造



図3 作製した構造

### 2-2 電極素材実験

本構造において、図1に示すように電極部分も湾曲することから、電極部も柔軟性や伸びがある素材を使用する必要がある。そこで、導電製のある天然ゴムとEPTゴムについて、図4に示す実験機器を用いて布を垂直方向に一定スピードで引き上げ、布に生じる力をロードセルによってER特性の計測を行った。

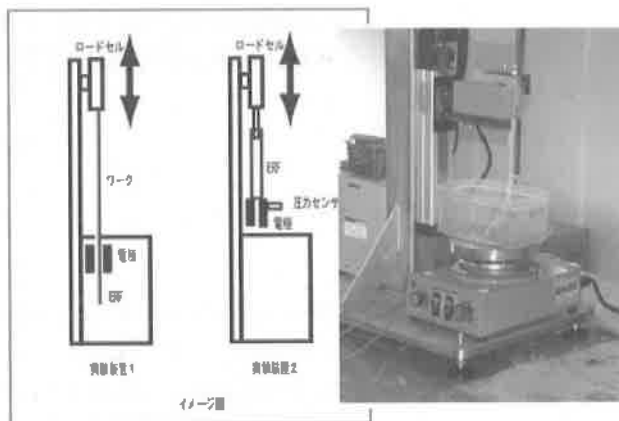


図4 実験システム

### 2-3 構造解析

図1に示した構造にて、布の動きが生じないと力を生み出すことができない。しかし、構造内での布の動きは実測することが難しいため、構造解析システム（ANSYS）により解析を行った。解析には構造を図5に示すようにモデル化を行った。

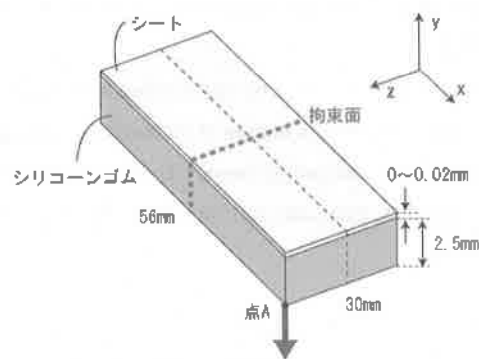


図5 解析モデル

### 2-4 CGとの連携

コンピュータの中での空間においても、実空間の物理法則に基づいて動かすことで実空間と近似することができる。近似することにより、データグループでVR空間の物体に直接触って動かすこともでき、その動きを生み出すためには物理シミュレータが必要となる。

今回は、東京工業大学佐藤研で開発されている力覚提示装置SPIDAR[5]で提供されている、力覚・剛体運動シミュレーションを実現するライブラリ群Springheadを使用した。このSpringheadはVR環境構築用オープンソースライブラリ

であり、体積ベースペナルティ法を用いた高速演算が可能である特長がある。体積ベースペナルティ法とは、図6に示すように、物体同士の接触を複数の点の接触力として捉え、図6 (a) の様に物体が重なった場合に、(b) の様に重なり合った体積に比例した抗力を発生するアルゴリズムであり、計算量が少なく高速な処理が可能である。

これを用いて、データグローブとSpringheadライブラリを統合し、リアルタイムに力覚提示装置で必要となる力を計算するソフトウェアの開発を行った。開発環境はSpringheadと統一してMicrosoft Visual C++ 6.0を用いた。

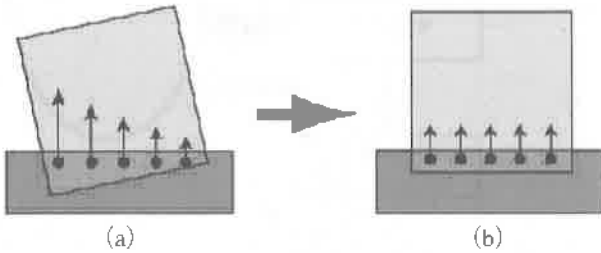


図6 体積ベースペナルティ法概念図

### 3 実験結果

#### 3-1 電極素材実験

導電性ゴムを電極に用いた時のER効果について、布の引っ張り特性試験を行った結果を図7に示す。

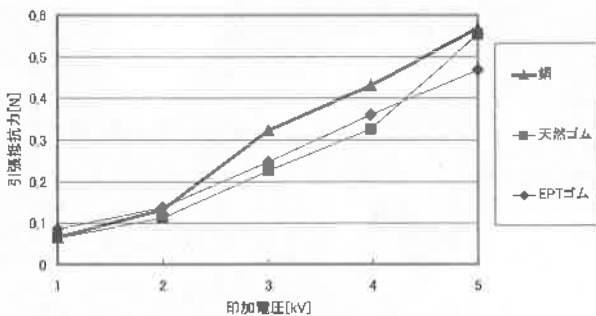


図7 引張特性

#### 3-2 構造解析

図1に示した考案した構造を、図5に示すようにモデル化し、構造解析ソフトANSYSにより布の移動距離について解析を行った結果を図8に示す。この解析は図5に示すようにA点をZ方向に10mm押した時の解析である。なお、布、シリコンゴムのヤング率、ポアソン比は表1に示す値とした。

表1 解析条件

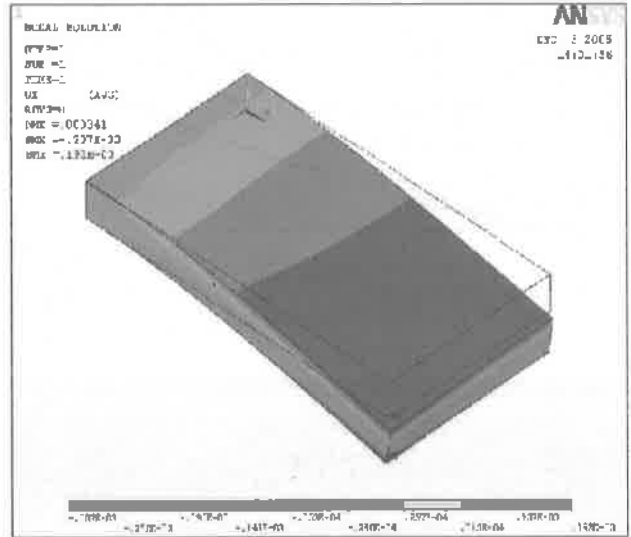
	ヤング率 (G Pa)	ポアソン比
布	11.0	0.35
シリコンゴム	0.3	0.49

また、図1の構造にて底面（湾曲の内側）の厚みを変化させ、無電界で曲げた時の曲げ抵抗を計測した結果を

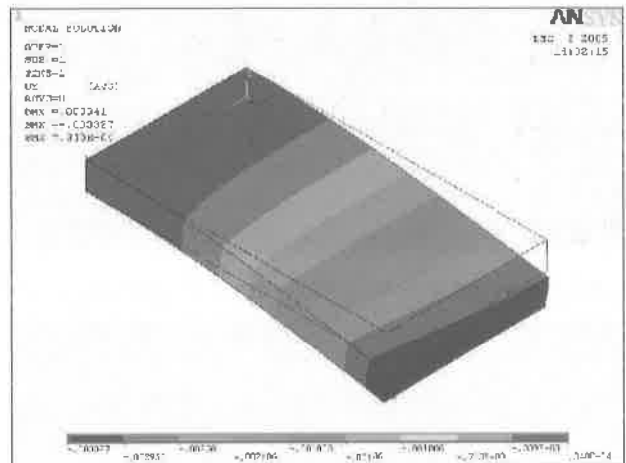
図9に示す。

#### 3-3 CGとの連携

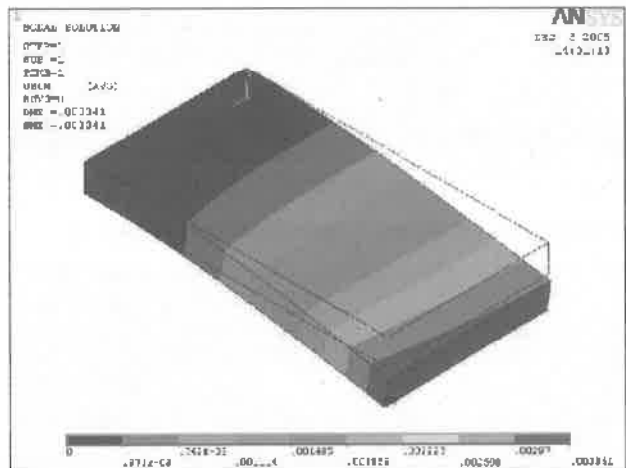
体積ベースペナルティ法により作成したプログラム画面を図10に示す。また、体積ベースペナルティ法により作成したプログラムを図11、フローによりデータグロー



1) X方向への解析結果



2) Y方向への解析結果



3) 合成解析結果

図8 ANSYSによる解析結果

ブと連携をさせた結果を図12に示す。

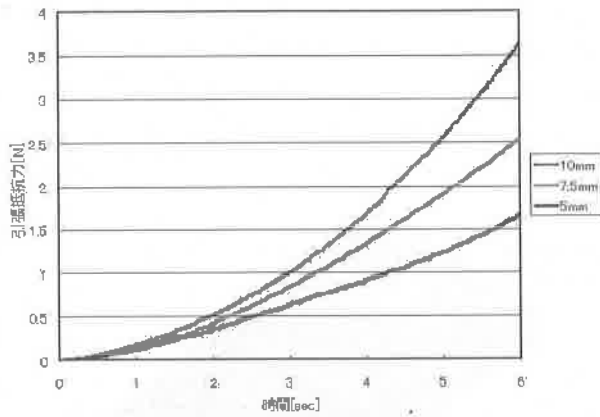


図9 厚み特性

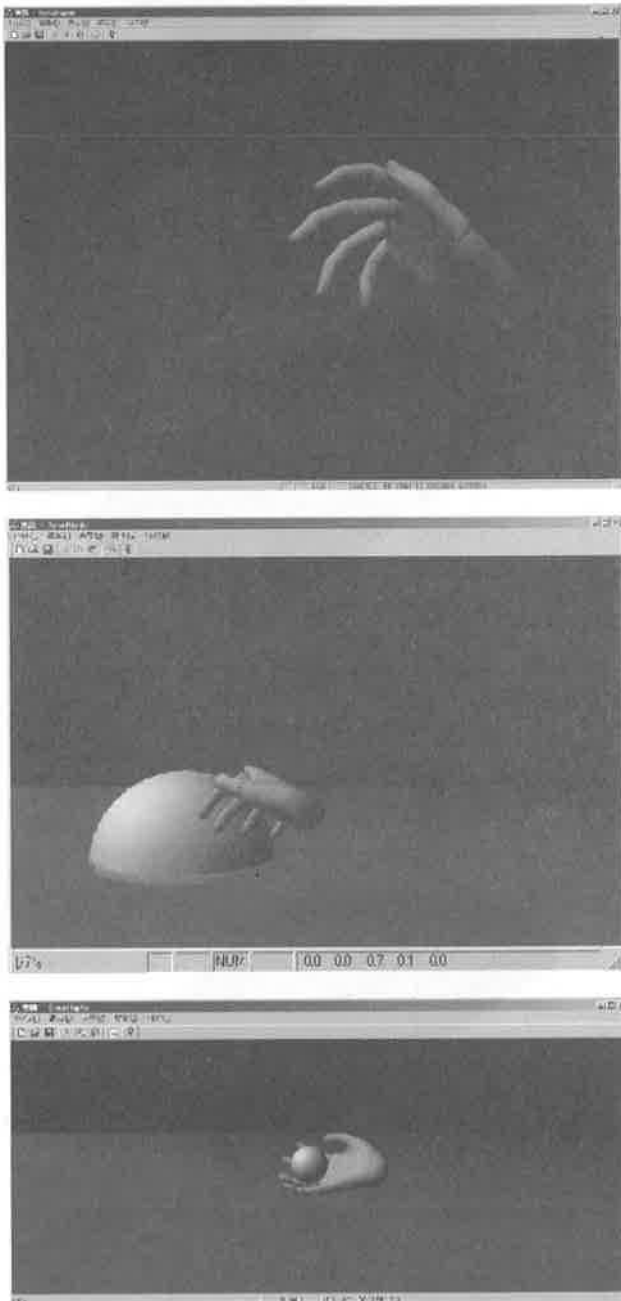


図10 プログラム画面

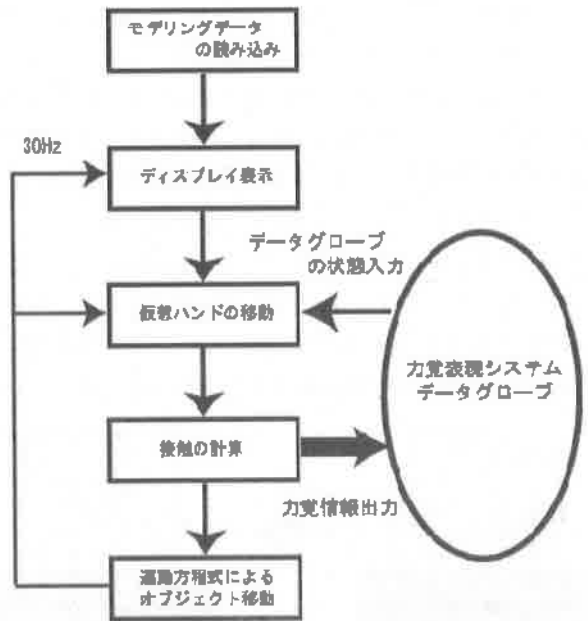


図11 連携フロー



図12 連携による実用イメージ

#### 4 考 察

著者らの考案したER流体を用いた力覚を表示する構造(図1)は、受動的に曲がる力を拘束することにより、あたかも物を持った感覚を生みだす構造となっている。そのため、力覚表現装置は柔軟に曲げることが求められるので、前報<sup>2)</sup>で柔軟性の良いシリコンゴムを成型し試作を行ったことを報告した。しかし、電極部分については剛体であるアルミ箔を用いていたため、装置を曲げて実験を行ったところ、アルミ箔の破断が生じ繰り返しの使

用に耐えなかった。そこで、電気抵抗は高いが柔軟性のある導電性ゴムを電極として使用できるかについてER引っ張り実験を行った。その結果、2種類の導電性ゴムにおいて、電気抵抗がほとんど無い銅板と変わらぬER効果が発生することが分かり電極として十分に使用できることが分かった。

次に、ER流体を用いた力覚を表示する構造(図1)は、電極間に挟み込んだ布が動く、もしくは動こうとする時に、その布の動きを止めることにより受動的に曲げる力を拘束し抵抗力として物に接触した感覚が表現できる。そこで、装置内の布の動きについて実験により確認することはより複雑な実験装置を構築する必要があるため、本研究では、構造解析システムにより理論の裏付けを行った。その結果、装置X方向の断片を固定し、他の断片をY方向に10mmの変位を与えたところ布は3mmの変位が生じることが分かった。これにより著者らの考案した構造において力を表現できることが可能であると考えた。

システム全体を構築するためには、CGとの連携が重要になる。そこで体積ベースベナルティ法による物体同士が制約条件を付加した簡易CGプログラムを作成し、著者らの考案した装置と連携して動作が可能であるかについて検証を行った。その結果、図12に示すようにEssential Reality社製P5に著者らの試作した力覚表現装置を取り付け、CGの中で「手」を動かして物を掴む等の動作ができた。しかし、現時点では力覚表現システムが不十分なため「手」に対し物を掴んだ感触を生み出すことはできていない。

## 5 結 言

本研究によりERFを用いた、人間に安全、小型かつ軽量の、データグローブの実用に向けた、機構や材料特性について各種の実験、シミュレーションを行った結果、著者らの考案した構造において反力が発生することが確認できた。また、簡易CGプログラムの作成により、全体システムの検証が可能となった。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、資金的にご支援頂いた山梨県企画課並びに担当者様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 河西伸一, 佐野正明, 申田賢一, 清弘智昭, 持丸正明, 杉田良雄: 山梨県工業技術センター研究報告, 19,p.73-77 (2005)
- 2) 河西伸一, 佐野正明, 申田賢一, 清弘智昭, 持丸正明, 杉田良雄: 山梨県工業技術センター研究報告,18,p,19-23 (2004)
- 3) 河西伸一, 清水誠司, 佐野正明, 清弘智昭, 杉田良雄: 山梨県工業技術センター研究報告,17,p,114-117 (2003)
- 4) 小山清人監修: 電気粘性 (ER) 流体の開発,p,39-151 (1999)
- 5) 河内まき子: デジタルヒューマン基盤技術平成15年度成果報告書,p,82-86 (2004)
- 6) 宮田なつき, 栗原恒弥: デジタルヒューマン基盤技術平成15年度成果報告書,p,87-94 (2004)
- 7) 河西伸一, 橘田鉄雄, 佐野正明, 清弘智昭: 山梨県工業技術センター研究報告,12,p,100-103 (1999)
- 8) 河西伸一, 橘田鉄雄, 清水誠司, 清弘智昭: 山梨県工業技術センター研究報告,11,p,102-105 (1998)
- 9) 河西伸一, 清弘智昭, 本田日出夫: 山梨県工業技術センター研究報告,9,p,12-16. (1997)