

磁気粘性流体を微小領域に封入した 触覚ディスプレイ

石塚 裕己

指導教員 准教授 三木則尚

2015 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科
総合デザイン工学専攻

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	石塚 裕己
主 論 文 題 目： 磁気粘性流体を微小領域に封入した触覚ディスプレイ			
<p>(内容の要旨)</p> <p>硬さの分布を高解像度に再現できる触覚ディスプレイは、バーチャルリアリティ空間における触感の再現や、遠隔診断および遠隔手術の高精度化への応用が期待できる。例えば、センサを搭載した内視鏡により取得した臓器の硬さ分布を触覚ディスプレイ上に再現し、これを医師が触診することで、現在は発見できないサイズの腫瘍を発見できるようになる。高解像度な触覚ディスプレイを実現するためには、硬さを呈示する素子を密にアレイ配置し、かつ各々の素子の硬さを制御することが必要になる。本研究では、磁気粘性(magnetorheological, MR)流体が有する固液相変化という性質に着目している。MR 流体を柔軟なシリコーンゴム材料の中にミリメートルからサブミリメートルのサイズで封入した硬さ呈示素子を、その製作手法とともに新たに開発している。そして、この素子を密に配置することで高解像度に硬さ分布を呈示するこれまでにない触覚ディスプレイを開発し、その特性を明らかにしている。</p> <p>第1章は緒言であり、本研究の背景、特にマイクロ・ナノ加工技術とそれを用いた触覚ディスプレイについて紹介している。また、関連研究の問題点を踏まえ、本研究の目的、ならびにその意義について述べている。</p> <p>第2章ではMR 流体を用いた触覚ディスプレイを試作し、その特性を評価している。シリコーンゴムの一種であるポリジメチルシロキサン(polydimethylsiloxane, PDMS)膜を指との接触部としたチャンバ内に、MR 流体を封入している。磁場を印加したときの触覚ディスプレイの機械的特性を評価するとともに、使用者への硬さ分布呈示能を評価し、その有用性を明らかにしている。加えて、触覚ディスプレイが呈示する硬さの分布を印加磁場により制御可能なことを明らかにしている。</p> <p>第3章ではMR 流体のミリメートルからサブミリメートルサイズの微小領域への封入技術について述べている。まず、ミリメートルサイズの球形状 PDMS 構造の製作方法とその内部へのMR 流体の封入方法について述べている。PDMS 形状を決定するプロセスパラメータを理論的、実験的に明らかにしている。次に、MR 流体のサブミリメートルの液滴を、未重合のPDMS に浸漬し引き上げることで、MR 流体上に直接 PDMS 膜を形成する手法について述べている。液滴形成時の基板と MR 流体の接触面積、ならびにMR 流体の濃度が PDMS 膜の形状に影響することを明らかにしている。さらに、PDMS より柔軟なシリコーンゴム材料を用いてミリメートルサイズのチャンバを形成し、その内部にMR 流体を満たした後にステンレス板を接合することにより、MR 流体を封入する手法について述べている。最後に、これら3つの手法を比較して、接合を用いた手法が触覚ディスプレイ製作に適していることを示している。本手法を用い、直径3 mm のチャンバが2 mm の間隔で配置された5 mm の解像度を有する触覚ディスプレイを製作している。</p> <p>第4章では、第3章で示された製作手法を用い製作した、MR 流体をアレイ上に微小領域に封入した触覚ディスプレイの機械的特性を評価している。本触覚ディスプレイは、非磁場下では均一の硬さ分布を呈示し、また外部磁場を印加すると、磁場の分布に沿って硬さ分布が呈示できることを実験的に明らかにし、その有効性を示している。</p> <p>第5章は結言であり、本研究について得られた結果と今後の展望について述べている。</p>			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, Given name ISHIZUKA, Hiroki
Title Tactile display using micro-encapsulated magnetorheological fluid		
<p>Abstract</p> <p>Tactile displays that can present the stiffness distribution with high resolutions can be applied to imitating the surface textures of objects and to precise tele-palpation and tele-operation. For example, tele-palpation using endoscopes with tactile sensors are expected to detect small tumors that cannot be detected by computed tomography. For such applications, cells that can control their stiffness individually need to be densely arrayed. In this thesis, the characteristic of micro-encapsulated magnetorheological (MR) fluid that can change its mechanical property with an external magnetic field is exploited. Encapsulating processes of MR fluid into millimeter- and sub-millimeter-sized chambers made of flexible polymer are proposed and characterized. Tactile displays with densely-arrayed cells that encapsulate MR fluid are enabled by the developed processes and are characterized by compression tests and sensory tests.</p> <p>Chapter 1 introduces the background of the research and related works including stiffness tactile displays using micro/nano manufacturing technologies. The objective and significance of this research is highlighted.</p> <p>Chapter 2 describes the proof-of-concept experiments of the tactile display using MR fluid. MR fluid is encapsulated in a single chamber made of polydimethylsiloxane (PDMS). The display is characterized in both compression tests and sensory tests. The results indicate the display encapsulating MR fluid can change the stiffness along the magnetic field and can present the stiffness distribution.</p> <p>Chapter 3 discusses newly proposed encapsulation technologies of MR fluid into millimeter- and sub-millimeter-sized chambers. First, encapsulation of MR fluid into millimeter-sized spherical structures made of thin PDMS membranes is proposed. The process parameters that determine the shape of the PDMS structures are discussed theoretically and experimentally. Second, forming a thin PDMS membrane directly on a droplet of MR fluid is demonstrated, where a droplet of MR fluid is immersed into uncured PDMS solution. The contact area between the MR fluid and the substrate and the concentration of the MR fluid are revealed to define the PDMS membrane geometry. The other encapsulating process starts with filling MR fluid in the chambers made of soft silicone rubber. Sequentially, a stainless plate is bonded onto the chamber to encapsulate MR fluid. The accuracies and compatibility with manufacturing of the stiffness tactile displays of the proposed technologies are discussed. The encapsulation process exploiting bonding of the stainless plate is concluded to be the best. The tactile display with a resolution of 5 mm, which is composed of chambers 3 mm in diameter arrayed with gaps of 2 mm, is manufactured.</p> <p>Chapter 4 demonstrates the stiffness distribution display that consists of an array of micro-encapsulated MR fluid. The display is characterized by the compression tests and it is verified that it can present uniform stiffness without an external magnetic field and can change the stiffness distribution with the magnetic field. The effectiveness of the proposed tactile display is experimentally validated.</p> <p>Chapter 5 summarizes the research and discusses future research prospects.</p>		