

剥物館：擬似的な剥がし体験が可能なインタフェース

神谷 知樹^{†1} 阿多 朔也^{†1} 荒川 裕大^{†1} 井河 優^{†1}
牛場 勇介^{†1} 大石 大典^{†1} 小倉 和樹^{†1} 木曾 泰輔^{†1}
清水 美佳^{†1} 城田 実輝^{†1} 柳田 康幸^{†1}

概要：シールや圧着はがき、面ファスナーを剥がすという行為には剥がれる際の音や手に伝わる振動、手応え、視覚的变化により独特の快感が伴う。本研究ではこの感覚を拡張し、現実では剥離困難な物体を擬似的に剥がす体験が可能なインタラクティブシステム、剥物館を提案する。剥がす感覚を提示するために電磁石を用い、磁力とその提示時間を制御することにより様々な物体を剥がす手応えを提示する。加えて振動子により振動刺激を、スピーカーから聴覚刺激を、モニタから視覚刺激を提示することで剥がす感覚を実現する。

Peeling Museum: Interface for Virtual Peeling Experience

TOMOKI KAMIYA^{†1} SAKUYA ATA^{†1} HIROKI ARAKAWA^{†1}
YU IKAWA^{†1} YUSUKE USHIBA^{†1} DAISUKE OISHI^{†1}
KAZUKI OGURA^{†1} TAISUKE KISO^{†1} MIKA SHIMIZU^{†1}
MIKI SHIROTA^{†1} YASUYUKI YANAGIDA^{†1}

Abstract: Experience of peeling objects, including seals, press-bonded postcards, and hook-and-loop fastener, provides us a pleasant feeling derived from reaction force, vibration, sounds, and images. In this study, we virtualized such feelings and built an interactive system, named Peeling Museum, that enables a user to experience peeling unusual things. To provide reaction force, we used electromagnets and dynamically controlled the generated force. In addition, we used a voice-coil motor and loudspeakers for vibration and sound, respectively, together with 3Dgraphic images that change synchronously with the user's peeling action.

1. はじめに

シールを剥がす、圧着はがきを剥がす、面ファスナーを剥がすなど、「剥がす」という行為は誰もがやっている日常的な行為である。これらの行為では剥がす対象に特有の音、手に伝わる振動による得も言われぬ快感が伴う。また圧着はがきなど、対象によっては純粋に中身に対する好奇心を掻き立てられる行為でもある。漫画や映画などではパワフルなキャラクターが常人では不可能な金属製の物体を引き剥がすことで人々を救助するシーンなどが多々あり、憧れを抱く者も少なくない。

そこで本研究では「剥がす」という行為に着目し、現実では物理的に剥離困難な物体を擬似的に剥離するという体験が可能なインタフェースを提案する。剥物館と名付けたこのインタフェースでは実際の剥離体験と同様に、物体が張り付いている手応えや振動などの力触覚、聴覚刺激、視覚刺激を提示することにより物体が剥がれているような感覚の提示を目指した。

2. 関連研究

力触覚提示技術に関して、PHANTOM[1]や SPIDAR[2]を始め、多くのディスプレイが提案されている。PHANTOMはペンで触ったバーチャル物体からのフィードバックを返す把持型のデバイスである。同じく把持型デバイスである SPIDAR は糸の張力を用いて力覚のフィードバックを行う。糸は立方体形状中央の把持部に繋がっており、3 次元的なフィードバックが可能である。これらに代表される力触覚インタフェースの利用場面は「触る」、「押す」、「掴む」といった行為が中心であり、剥がす行為に着目しているものは少ない。

また、触覚刺激と同時に視覚刺激や聴覚刺激を提示することによるクロスモーダル現象に関する研究が数多くなされている。その中で、聴覚刺激を触覚刺激に付与することで触覚の粗さ知覚に影響が及ぶことが知られている[3]。また、視覚刺激により体性感覚が変化する Pseudo Haptics[4]もよく知られた現象である。この現象は、モニタ上に表示された、マウスの操作に対応したポインタの移動速度を変化させることにより、触覚的な抵抗感を感じるというものである。これら複数の感覚の統合することは相乗効果や錯覚的な効果を生み、感覚提示において有効な手法であると

^{†1} 名城大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Meijo University

考えられる。

我々の研究でもこれら知見に基づき、複数の感覚を同時提示することにより、「剥がす」感覚を提示するデバイスを実現する。

3. 剥がす感覚を提示するために

常日頃の経験から、剥がすという行為では手応え、振動、音、剥離対象の変形が生じることが容易に想像できる。この中で手応えに関して一般的な剥離体験が可能な粘着テープに着目し検討を行った。粘着テープの引き離しは被着体からの粘着物質の分離、破壊という挙動で捉えられる。その際の粘着テープの粘着力を示す特性には、剥離力、保持力の2つが存在する。剥離力は被着体表面の垂直方向に対する力の特性、保持力は平行な方向に対する力の特性である。また、剥離時には粘着物質内部で破壊が生じる凝集剥離と粘着物質が物体表面から分離する界面剥離といった異なる剥離形態が存在し、分離の挙動を非単調なものにしている[5][6]。

剥離時の粘着物質の変形と力学的挙動の関係性に関し、界面剥離における剥離力と剥離速度の間の非線形性が存在することが報告されており、剥離速度によっては自励振動を伴いながら剥離が進行する現象も確認されている[7]。

本研究では粘着力に関しては簡単のために垂直方向にかかる力である剥離力のみを考慮する。また、剥離形態の違いや非線形性も考慮しない。剥離力の変化要因として剥離速度を用いる。この剥離力に加え振動刺激、聴覚刺激、視覚刺激を同時提示する装置を設計する。振動刺激には振動子、聴覚刺激にはスピーカー、視覚刺激にはモニタに剥離対象を表示することで実現する。剥離力提示装置には高応答性とダイナミックレンジの大きさから電磁石を選択した。

4. 初期試作

装置の設計を述べる前に、まず設定した剥離対象について触れる。我々は現実では不可能な剥離体験として、人の顔を剥がす体験、スマートフォンを剥がす体験の2つを選択した。この異なる2つの剥離対象ごとに適切な感覚を提示するために、方式の異なる2つのシステムを設計した。一つはスマートフォンを剥がす体験のためのシステムで電磁石をアレイ状に配置した方式（以下アレイ方式）、もう一つは顔を剥がす体験のためのシステムで電磁石を内蔵した箱をスライドさせる方式（以下スライド方式）である。以下で詳細を述べる。

4.1 電磁石をアレイ状に配置する方式

本方式は画面がひび割れ、フレームが拉げていくと考えられるスマートフォンの剥離体験を提示するために設計したシステムである。図1に模式図を示す。主にショーケース型デバイス、剥離プレート、電磁石アレイ、PC、Arduino

Uno から成る。また、本システムはゲームエンジンである Unity を用いて開発した。これは本論文で述べる他のシステムにおいても同様である。

ショーケース型デバイスはショーケースをイメージした装置である（図2）。まずどちらの方式でも共通する設計として、上部に映像提示に用いるモニタ（アイ・オー・データ機器製 3Dx23）を備え、デバイス内部に剥がす対象が存在するように演出する。モニタには剥離対象となる物体の 3D モデルを表示する。デバイス内部には聴覚刺激用のスピーカー（audio-technica 製 AT-SPP30 シリーズ）を備える。

また本方式独自の設計として、ショーケース型デバイス内の底面には電磁石（正永電気製 ZYE1-P25/20）を 24 個アレイ状に配置する。配置を図3に示す。この電磁石の発生力は最大で約 50N である。電磁石アレイの対として同じくアレイ状に 24 個の鉄板を取り付けた把持・引き剥がしを行う剥離プレートを用意した（図4）。この剥離プレートを電磁石アレイ上に乗せ、各鉄板が電磁石により吸着された状態で引き剥がしを行うことで剥離力を提示する。加えて剥離プレートの把持部には振動子を取り付けてあり、スピーカーから再生する音声ファイルと同一の物で駆動させる。また電磁石アレイの上下には圧力センサ（FSR402）が 12 個取り付けられており、圧力センサの下に設置した永久磁石と剥離プレートに配置した永久磁石により挟み込む。抵抗値が 0 になった場合剥離が進行したと判断する。この構成では電磁石を離散的に配置してあるため、得られる剥離力も離散的である。

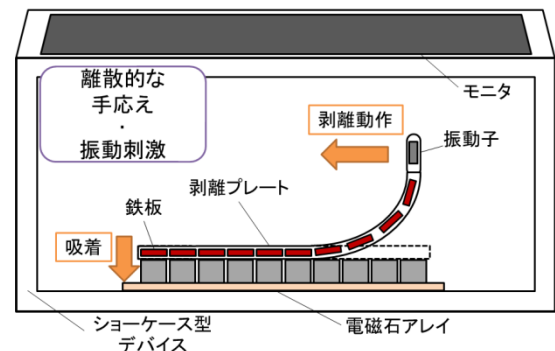


図1 アレイ方式の感覚提示模式図

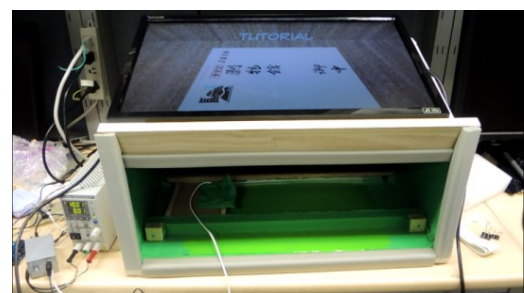


図2 ショーケース型デバイス外観

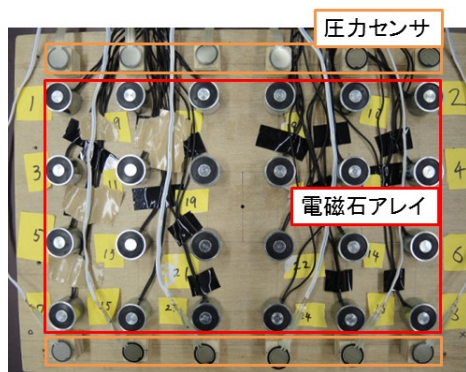


図 3 電磁石アレイの構成

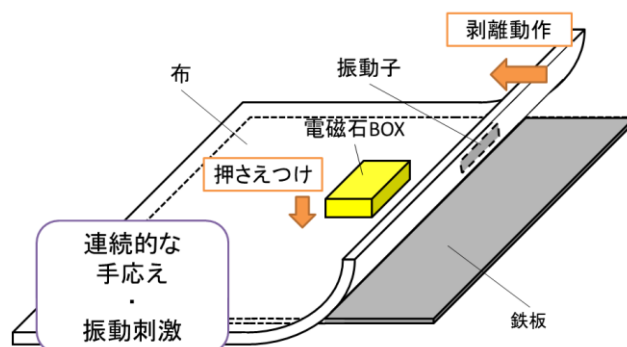


図 5 スライド方式の感覚提示模式図

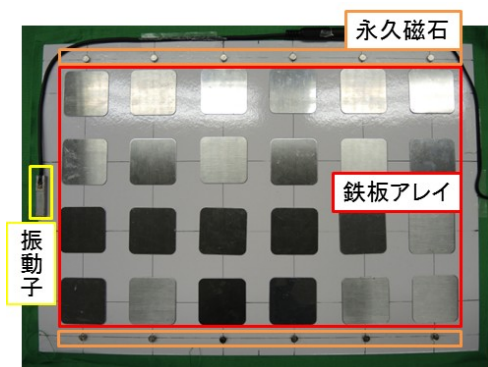


図 4 剥離プレートの構成

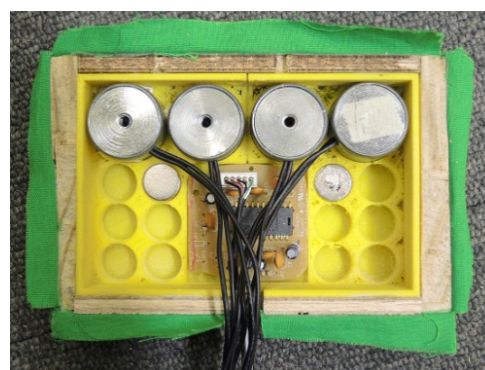


図 6 スライド方式における電磁石 BOX

4.2 電磁石をスライドさせる方式

本方式は顔を剥がす感覚を提示するために設計したシステムである。模式図を図 5 に示す。アレイ方式とは異なり、電磁石を内部に配置した箱（電磁石 BOX）と固定した鉄板（素材 SPCC）の間に挟み込んだ布を把持・牽引し、電磁石 BOX を押しつけるようにスライドさせる方式である。剥がす顔はマスクの様な物を想定しているため、把持部には比較的薄く柔軟性があり、耐久性のある布を採用した。電磁石 BOX は 4 つの電磁石と、アレイ方式における圧力センサの代わりに光学式マウス（SoftBank 製 MO04）から流用したイメージセンサを設置してあり移動量を検知する（図 6）。この移動量を用いて剥離を進行させる。また、把持・牽引を行う布の把持部分には振動子を取り付けておく。

鉄板はショーケース型デバイス内部の底面に固定、その上に布、電磁石 BOX の順に配置する。この方式では牽引によって電磁石 BOX は剥離方向へと移動していくが、常に布を挟んで鉄板に吸着しているため、剥離力を連続で提示することが可能である。

4.3 問題点

これら 2 つの方式には次のような課題が見受けられた。

まずアレイ方式では構造上提示可能な剥離力が離散的な感覚に限定され、汎用性に欠ける点である。

スライド方式では連続的な感覚の提示は可能な一方で、離散的な感覚の提示はできなかった。また体験の度に布で

電磁石 BOX を押し退けてしまい、その都度電磁石 BOX を元の位置に戻し布を把持し直すという手間が生じた。鉄板と電磁石間に挟んだ布は透磁率が小さいため、十分な磁力が得られなかったことも問題である。

電磁石を用いた力覚提示について検討を重ねたところ、福中らの電磁石を用いたパッシブ型力覚マウスの製作・評価を行った研究[8]において、電磁石をスライドさせる方式においても抵抗力和その提示時間の制御により離散的な剥離力の提示が可能であることが示唆された。これに基づき、次に示す新たなシステムを設計・実装した。

5. 改良試作

5.1 システム構成

アレイ方式とスライド方式の問題点を踏まえ、スライド方式で用いた電磁石 BOX を改良したハプティックディスプレイを用いた図 7 のようなシステムを設計・実装した。

以下において新たな電磁石 BOX の詳細及び具体的な感覚提示手法、可能な体験について述べる。

5.2 改良した電磁石 BOX

本方式では把持部分である布と電磁石 BOX を一体としたハプティックディスプレイ（図 8, 9）を用い、物体が貼り付いている粘着感、物体が剥がれる際の振動を提示する。本ディスプレイには 4 つの電磁石、把持用の布が配置されている。布はネジを用いて一端を電磁石に固定してあり、

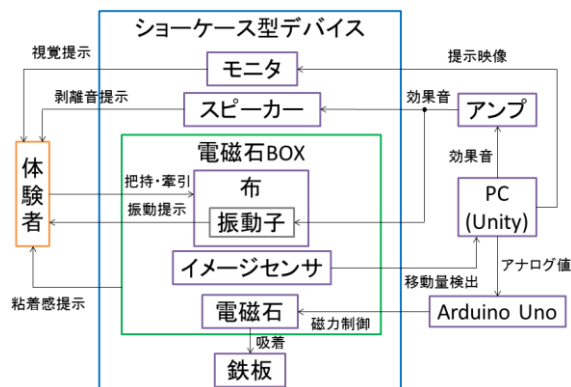


図 7 改良試作のシステム構成



図 8 改良した電磁石 BOX の外観

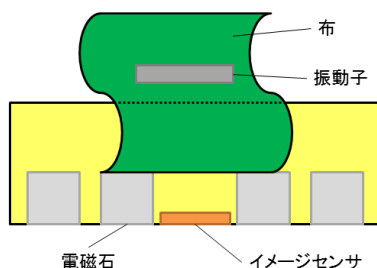


図 9 改良した電磁石 BOX の断面図

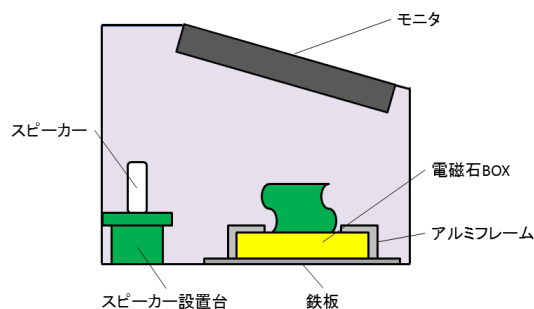


図 10 改良試作のショーケース型デバイス断面図

大部分はティッシュペーパーのように装置上部から露出している。露出部分が把持部であり、振動子を内蔵している。またスライド方式同様、装置下部にはイメージセンサを設置しており、剥離の進行を判断する移動量を検知する。

本ディスプレイはショーケース型デバイス内の底面に固定した鉄板上に配置するが（図 10）、この方式では鉄板と電磁石を直に接触させるため、透磁率が大きくなり十分な磁力が得られる。また鉄板の手前と奥にアルミフレーム

をレーン状に設置する。このレーンは把持用の布を大きな力で牽引する際に発生する、電磁石 BOX の突発的な浮上を抑制する。

体験時にユーザは露出した布を把持し、左右一方に牽引する。この際電磁石に電圧を加えることにより剥離力を提示するが、重み感や大きな抵抗感以外に電圧を短時間のうちに急激に増減させることによりカクカクした刻み感を提示する。このように電圧の大きさと提示時間の制御により様々な抵抗感の提示ができる。

5.3 提示感覚の制御

前述してきた電磁石 BOX 及び振動子による剥離力や振動といった力触覚刺激、スピーカーからの聴覚刺激の制御の詳細を記述する。

5.3.1 剥離力の提示

剥離力は以下のような手順で決定する。

- (1) 予め変形させる 3D モデル上に複数の特徴点を設け、各特徴点に電圧の値を 0~255 の 256 段階で設定する。
- (2) 電磁石 BOX の牽引に伴う移動をイメージセンサで検知し、速度を算出する。
- (3) 特徴点に接触した瞬間の速度に応じた電圧値をあらかじめ設定しておいた電圧値から増減させ、最終的に出力される値とし、電磁石を駆動させる。これにより剥離速度が速ければ剥離力が増加、遅ければ低下する。

5.3.2 振動刺激及び聴覚刺激の提示

振動及び音は簡単のために事前に録音した音声ファイルを再生する。録音した音は圧着ハガキ、面ファスナーを剥がす音、段ボールを破る音、瓶を割る音、木の床が軋む音である。この際、実生活からも想像できるように、速く剥がせば高く大きな音が、遅く剥がせば低めで小さな音が再生されるように、速度に応じて再生ピッチ及び音量を増減させる。

5.3.3 視覚刺激の提示

視覚刺激として 3D モデルの変形を行うが、この変形には Unity の Asset である Mega-Fires を用いる。Mega-Fires は 3D モデルの変形が可能な Asset である。

5.4 体験方法

以上をまとめ、体験は以下のように行う。

- (1) ショーケース型デバイス内部に手を入れ、電磁石 BOX から露出した布を把持する。
- (2) モニタを注視しつつ、布を引っ張ることで電磁石 BOX を左右のどちらか一方に牽引する。
- (3) 電磁石 BOX の移動に伴い張り付いている抵抗感、振動、音、物体が剥がれる様子が提示される。
- (4) 牽引した方向と逆方向に牽引することで、何度でも剥がす体験ができる。

5.5 コンテンツ

現実ではありえない物を剥がす体験として「人の顔を剥がす」、「スマートフォンを剥がす」という 2 種類のコンテ

ンツを用意した。

5.5.1 人の顔

人の顔を剥がすというコンテンツでは怪盗、スパイ作品をモチーフに、顔を剥がすことにより隠れている顔を暴くというゲームにした。剥がす度に新しい別の顔が現れ、次々に顔を剥がすことが可能である。顔の 3D モデルには頬骨や鼻など周りに比べて一段高くなっている部分に特徴点を設け、連続的な剥離力を提示する。振動刺激、聴覚刺激には「ビリビリ」、「バリバリ」といった音の提示を行う。

5.5.2 スマートフォン

このコンテンツでは第一にスマートフォンの画面に貼られた保護フィルムを剥がし、第二にフレーム及び画面を引き剥がすという体験ができる。スマートフォンの画面内にはドット絵の 2D キャラクターがおり、保護フィルムを剥がすことで動きだし、フレーム及び画面を引き剥がすことで 3D モデルとなってスマートフォンの画面外へと飛び出してくる。第一段階では連続的な剥離力で「シュー」という音を提示する。第二段階では特徴点毎に急激な電圧の増減を行い、ガクガクとした離散的な剥離力を提示すると同時にフレームの軋む「ギィ」という音、画面の割れる「パキンパキン」という音を提示する。

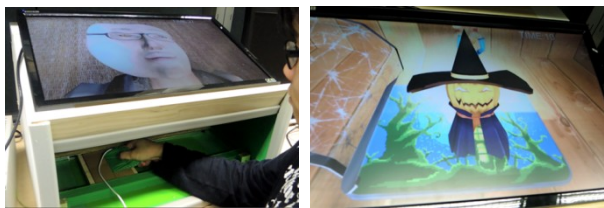


図 11 体験の様子（左：顔、右：スマートフォン）

6. ユーザの反応

本デバイスは、第 22 回国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト（デジタルコンテンツ EXPO と併催）（2014 年 10 月 23～26 日）にて体験をして頂ける機会を得た。

本展示では、体験の前に電磁石 BOX を左右へ牽引する動作のチュートリアルを行い、その後顔とスマートフォンを剥がす体験をして貰った。チュートリアルでは、電磁石による抵抗感の変化をより理解してもらいやすくするために、電磁石に電圧を加えなかった。また振動刺激及び音の提示も行わず、3D モデルの変化のみを提示した。顔、スマートフォンの体験では、電磁石 BOX を牽引し、コンテンツが剥がれ出すと同時に提示される抵抗感に驚かれる方が多かった。また、コンテンツごとに異なる抵抗感、振動、音が提示され、その変化を楽しんで頂けている様子だった。

体験者から得られた意見を以下に抜粋する。

- ・対象物ごとの力の加え方の工夫が面白い。
- ・実際に剥がしたことがない物であるため、どこまで再

現できているのかわかりにくい。

- ・把持用の布は長さが限定されているにも関わらず、伸びていくような感覚があった。

このように好評価の意見が得られた一方で、再現性に関する疑問や興味深い意見が得られた。

7. まとめ及び今後の課題

本研究では、現実ではありえない物を剥がす感覚を提示するシステムの提案を行い、インタラクティブ作品「剥物館」として実現した。剥物館では電磁石、振動子、モニタ、スピーカーを用いた力触覚刺激、視覚刺激、聴覚刺激を統合することにより剥がす感覚を提示した。

今回用意したコンテンツは現実ではありえない物であったが、現実で剥離可能な物体の剥離感と、本デバイスを用いた剥離体験の比較調査を行いたい。

また、剥離対象が変化しても把持部分は布のままでありリアリティを損なう要因となっている。日常的に用いる道具を用いた剥離体験ができないか検討していきたい。

体験時にはショーケース型デバイス内に手を入れるが、その際に体験者自身の手を表示できていないことも問題である。手の表示の欠落により自己投射性が損なわれるため、体験者自身の手の手表示は不可欠である。

加えて現状の電磁石 BOX の動作は一軸方向に限定されている。これを二次元方向に動作可能にする。その際、現状のショーケース型デバイスでは設計上装置奥まで手を伸ばしながら上部のディスプレイを注視することは困難である。ショーケース型デバイスのような閉鎖空間を用いない新たな方式を検討していきたい。

参考文献

- 1) Massie, T. H. and Salisbury, J. K.: The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects, Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator System(1994)
- 2) 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘: 空間インタフェース装置 SPIDAR の提案, 電子情報通信学会論文誌, J74-D, No.7, pp.887-894(1991)
- 3) Suzuki, Y., Gyoba, J., and Sakamoto, S.: Selective effects of auditory stimuli on tactile roughness perception, Brain Research, Vol.1242, pp.87-94(2008)
- 4) Lecuyer, A., Coquillart, S. and Kheddar, A.: Pseudo-haptic feedback: Can isometric input devices simulate force feedback?, IEEE Virtual Reality, pp.83-90(2000)
- 5) 戸田昭彦, 彦坂正道, 佐藤勝彦, 山崎義弘: 粘着テープの剥離様式, 物性研究, Vol.83, No.3, pp.355-356(2004)
- 6) 木村馨, 砂川誠: 高機能接着剤・粘着剤, 共立出版, 東京(1989)
- 7) 山崎義弘, 戸田昭彦: 粘着テープの剥離過程で観られる時空間パターン形成, 数理解析研究所講究録, 1552 巻, pp.32-53(2006)
- 8) 福中謙一, 木村朝子, 佐藤宏, 井口征士: 力覚フィードバックを与えるパッシブ型力覚マウスの試作と性能評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.221-228(2004)