慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	粒子分散系ER流体を用いたタッチパネル上での凹凸呈示
Sub Title	Tactile bump display suitable for touch panel using electro-rheological fluid
Author	竹村, 研治郎(Takemura, Kenjiro)
Publisher	
Publication year	2014
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2013.)
JaLC DOI	
Abstract	スマートフォンやATMなどでタッチパネルが急速に普及している。タッチパネルは表示内容の自由度が高く機器の高機能化に貢献するものの、ユーザへの触感フィードバックがなく、誤操作が問題となっている。このため、本研究では電圧の印加によって可逆的に固液相変化を生じる粒子分散系ER流体を用いて平面上に凹凸感を呈示する装置を開発した。本装置は平面上に配置した電極対の上にER流体を満たし、上部を絶縁フィルムで覆った構造であり、電圧の印加によって15 mm間隔で3×3のマトリクス状に凹凸を呈示できる。ボタン押下を想定した実験の結果、凹凸の呈示によって押下操作の正確度および精度が向上することを示した。 A touch panel is now widely used in smart phones etc. Although it enables the devices to have high functionalities due to the flexibility of user interface design, it lucks tactile feedback to the users which causes wrong operations. Hence, this study developed a tactile bump display, suitable for integration with touch panels, using colloidal ER fluid. The ER fluid is a kind of functional fluid which changes rheological characteristics, even from liquid to solid, by applying DC voltage. The developed tactile display is mainly composed of an electrode board, ER fluid and an insulative film. The electrode board has 3x3 electrode pair matrix with 15 mm intervals. By applying DC voltage to an electrode pair, the ER fluid may become solid state at around the corresponding electrode pair. Then, a user can feel a physical bump when touching the corresponding area via the film. As a result of experiment, the accuracy of button pushing operation is greatly improved with the bump display.
Notes	研究種目：挑戦的萌芽研究 研究期間：2012～2013 課題番号：24656114 研究分野：工学 科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_24656114seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２６ 年　 ４ 月 １７ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2012～2013
課題番号：２４６５６１１４

研究課題名（和文）粒子分散系ＥＲ流体を用いたタッチパネル上での凹凸呈示

研究課題名（英文）Tactile Bump Display Suitable for Touch Panel using Electro-rheological Fluid

研究代表者
竹村　研治郎（Takemura, Kenjiro）

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：９０３４８８２１

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　3,100,000円、（間接経費）　930,000円

研究成果の概要（和文）：スマートフォンやATMなどでタッチパネルが急速に普及している．タッチパネルは表示内容の自由度が高く機器の高機能化に貢献するものの，ユーザへの触感フィードバックがなく，誤操作が問題となっている．このため，本研究では電圧の印加によって可逆的に固液相変化を生じる粒子分散系ER流体を用いて平面上に凹凸感を呈示する装置を開発した．本装置は平面上に配置した電極対の上にER流体を満たし，上部を絶縁フィルムで覆った構造であり，電圧の印加によって15 mm間隔で3×3のマトリクス状に凹凸を呈示できる．ボタン押下を想定した実験の結果，凹凸の呈示によって押下操作の正確度および精度が向上することを示した．

研究成果の概要（英文）：A touch panel is now widely used in smart phones etc. Although it enables the devices to have high functionalities due to the flexibility of user interface design, it lucks tactile feedback to the users which causes wrong operations. Hence, this study developed a tactile bump display, suitable for integration with touch panels, using colloidal ER fluid. The ER fluid is a kind of functional fluid which changes rheological characteristics, even from liquid to solid, by applying DC voltage. The developed tactile display is mainly composed of an electrode board, ER fluid and an insulative film. The electrode board has 3x3 electrode pair matrix with 15 mm intervals. By applying DC voltage to an electrode pair, the ER fluid may become solid state at around the corresponding electrode pair. Then, a user can feel a physical bump when touching the corresponding area via the film. As a result of experiment, the accuracy of button pushing operation is greatly improved with the bump display.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：触覚ディスプレイ　機能性流体

１．研究開始当初の背景

近年，スマートフォンやコンピュータ，ATM などの公共端末においてタッチパネルが急速に普及している．タッチパネルは表示内容やボタン配置などを自由に変更できるため，インターフェースの設計自由度が高く，機器の高機能化に大きく貢献している．しかし，キーボードやマウスによる入力作業と比較して，ユーザへの触感フィードバックが欠落しており，誤操作や入力効率の低下が問題となっている．このため，タッチパネルの操作性向上のために，ボタン押下感を操作者にフィードックする触感ディスプレイの研究が盛んに行われている．しかし，こうした研究はボタン押下感の呈示にのみ着目しており，操作前のボタン位置の認識などは改善できない．

２．研究の目的

本研究では平面上にボタン形状あるいは位置を呈示し，操作前にボタン形状や位置を認識した上で押下力をトリガとして入力を検出する新たなタッチパネルの可能性を示すことを目的とした．

３．研究の方法

本研究では以下の３項目を実施することによって上記の目標を達成した．

(1) 粒子分散系 ER 流体によるタッチパネル上での凹凸呈示手法の確立
(2) 指の押下位置・押下力の検出法の確立
(3) 凹凸呈示と押下力検出機能を有するタッチパネル装置の開発と誤操作率低減の検証

４．研究成果

(1) 粒子分散系 ER 流体によるタッチパネル上での凹凸呈示手法の確立

ER 流体は電圧の印加によって粘弾性特性が変化する機能性流体であり，中でも粒子分散系 ER 流体は電圧の印加によって降伏せん断応力を呈するビンガム流体として振る舞うことが知られている．すなわち，電圧の印加によって固液相変化を能動的に制御することができる．そこで，図 1 に示すように，平面上に電極を埋め込み，その上部に粒子分散系 ER 流体の薄い液層を配置して絶縁フィルムで覆うことによって，平面上に凹凸感を呈示する手法を提案した．すなわち，電極に電圧を印加していない場合は粒子分散系 ER 流体は液体状であるため，指でフィルム状を触察した際には平面であり，電圧を印加すると電極間の粒子分散系 ER 流体が固体状となり，そこに凹凸が出現することになる．

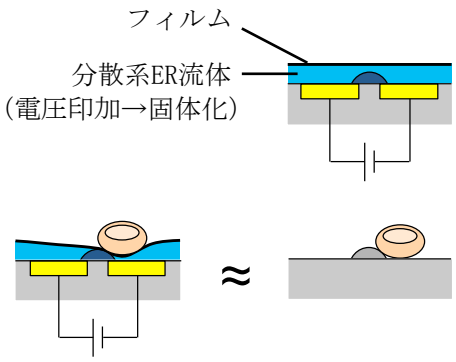


図1　コンセプト

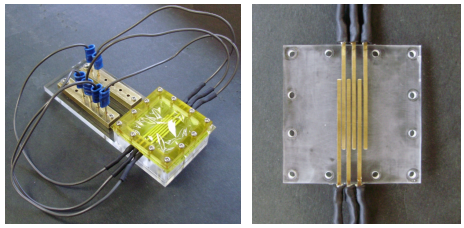


図2　原理確認装置

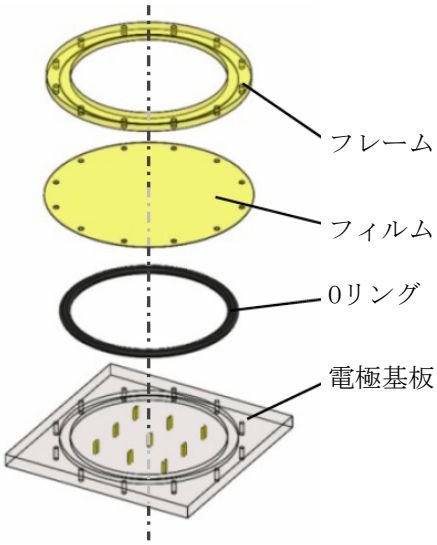


図3　凹凸呈示装置

上記のコンセプトに基づき，図 2 に示す原理確認装置を製作した．本装置は平行な金属電極が平面上に配置されたものであり，実験的に電極間隔の最適値を検討するために，それぞれの電極間隔が異なるよう設計されている．本装置の上に，図 1 のように粒子分散系 ER 流体とフィルムを配置し，凹凸呈示実験を行った結果，電界強度 1.89 kV/mm 以上で人が知覚できる凹凸を呈示できることを明らかにした．なお，官能評価実験の結果，このときに呈示される凹凸は金属板上に製作された高さ 0.1 mm の凸形状と類似したものであった．

(2) 指の押下位置・押下力の検出法の確立

(1) から得られた電極寸法の設計指針に基づいて平面上に 3×3 のマトリクス状に配置された 9 カ所に突起を呈示可能な実験装置を製作した（図 3）．なお，この装置を用いて，ボタン位置の呈示を行い，ボタン押下時の誤操作率を評価するために，押下位置および押下力の検出装置を開発した．図 4 に概要を示す．本装置は 4 つの角を 2 枚板ばねによって

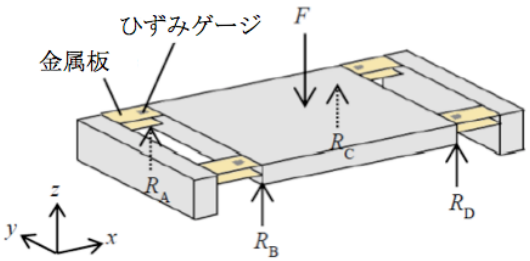


図4　押下位置・力検出装置

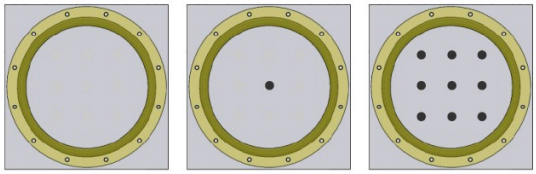
指示された剛体板であり，各板ばねに貼付けられたひずみゲージからの出力により求まる 4 カ所での支持反力 R_a, R_b, R_c, R_d を利用して，平面上での指の押下位置および押下力を推定することができる．たとえば，図 4 の x 方向の押下位置は

$$l_x = \frac{R_c + R_D}{F} L_x = \frac{R_c + R_D}{R_A + R_B + R_c + R_D} L_x$$

のように求まる．ただし，F は押下力，L_x は剛体板の x 方向の長さである．

（3）凹凸呈示と押下力検出機能を有するタッチパネル装置の開発と誤操作率低減の検証

図 3 および図 4 の装置を組み合わせることによって，平面上の 3×3 の 9 カ所にボタンを能動的に呈示可能であり，かつそのボタンを押した際の押下位置および押下力を検出可能な装置が構成できる．本装置を用いて，図 5 に示す 3 つの呈示パターンに対して誤操作率の評価を行った．評価方法は以下の通りである．



none　　center　　all

図 5　凹凸呈示パターン

はじめに，9 カ所全ての電極に電圧を引火し，被験者にボタン呈示位置を触察してもらい，大まかな位置を記憶させた．つぎに，全ての電極の電圧を OFF にし（図 5 中 none），PC ディスプレイ上に 1～9 の数字のうち 1 つをランダムに表示し，対応するボタン位置を被験者に押下させた．このとき，ディスプレイに数字が表示された時刻から押下が行われるまでの時間と押下位置を記録した．なお，押下位置と押下力は(2)で開発した装置によって検出している．さらに，図 5 中の center および all の条件に対しても同様に，押下に要する時間と押下位置を記録した．被験者は 20 代男女 10 名であり，被験者ごとに各条件

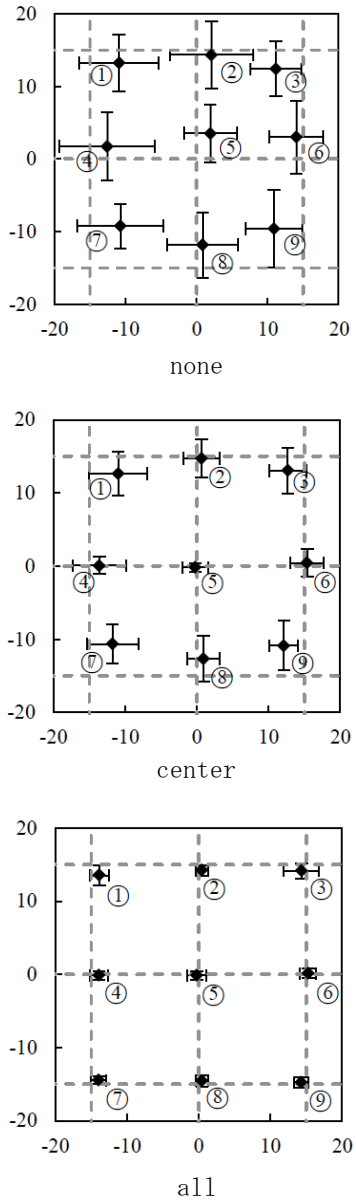


図 6　押下位置の実験結果

で 30 回ずつ，合計 900 回の試行を行わせた．

図 6 に押下位置に関する実験結果を示す．なお，図 6 中の破線の交点が 9 個の電極対の位置であり，黒のプロットは押下位置の平均値を，エラーバーは押下位置の分散を示している．図 6 から明らかなように，凹凸を呈示しない none の条件では押下位置は電極位置から大きくずれ，また押下位置の分散も大きい．これに対して，中央に 1 つの凹凸を呈示した center の条件では押下位置，分散ともに減少し，正確度と精度が向上していることがわかる．さらに，9 カ所全てに凹凸を呈示する（all の条件）と，さらに正確度と精度が向上する．

一方，PC ディスプレイ上に数字が表示されてから押下動作が行われるまでの平均時間は none，center，all に対してそれぞれ 1.97 s，1.67 s，2.37 s であった．すなわち，中央に 1 つだけ凹凸が呈示された場合に，操作

時間が最も短くなることがわかる．これは，被験者が凹凸を知覚した時点でその凹凸が中央にあることを知っているため，即座に相対的なボタン位置に指を移動できるためだと考えられる．これに対して9カ所に凹凸を呈示すると，知覚した凹凸がどの位置の凹凸かを知るための探索が必要となり，操作時間が長くなったと推察できる．

以上のように，粒子分散系 ER 流体を用いて平面上にアクティブに凹凸を呈示できることが明らかとなり，また，凹凸の呈示によって誤操作が低減されることが明らかとなった．ただし，たとえば 1〜9 の数字入力のような単純な入力の場合には，凹凸の過度な呈示は操作時間を増加させることになる．

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計０件）

〔学会発表〕（計２件）

① Masayuki Goto, Kenjiro Takemura, Tactile Bump Dusplay using Electro-rheological Fluid, 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4478-4483, 2013年11月6日，東京.

② 後藤真徹，竹村研治郎，柿沼康弘，電気粘性流体を用いた凹凸感呈示手法，日本機械学会第12回機素潤滑設計部門講演会，pp. 133-136, 2012年4月24日，松山.

〔図書〕（計０件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計０件）

○取得状況（計０件）

〔その他〕

ホームページ等

http://www.takemura.mech.keio.ac.jp/

６．研究組織

(1)研究代表者

竹村　研治郎（TAKEMURA, Kenjiro）

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：９０３４８８２１