

豊かな触感を提示する 超音波触感ディスプレイ技術

Ultrasonic Haptic Feedback Display Technology with Rich Variety of Sensations

● 谷中聖志 ● 鎌田裕一 ● 宮本晶規 ● 遠藤康浩

あらまし

富士通研究所は、ガラス表面に超音波振動を発生させると生じるスクイーズ効果を利用して、ディスプレイに触れた際に感じる摩擦力を変化させる超音波触感ディスプレイ技術と、スマートフォンやタブレット画面に表示される画像に連動して摩擦触感の変化を提示する超音波触覚インタラクションシステムを開発した。従来の振動触感がクリック感やぶるぶる感などの単純なパターンでしか表現できなかったのに対し、今回開発した超音波触感ディスプレイは、画面に表示されたボタンなどの境界、微小な凹凸、簡単な素材感など、より豊かな触感を表現できる技術である。これによって、情報端末の操作感を向上させるだけでなく、視覚障がい者のサポートや触感の遠隔伝送などの新たな適用分野への拡大が期待できる。

本稿では、富士通研究所が開発した超音波触感ディスプレイ技術の概要について述べる。

Abstract

Fujitsu Laboratories has developed an ultrasonic haptic display technology that changes the frictional force felt upon touching the display by utilizing a squeeze film effect caused by generating ultrasonic vibrations on a glass surface. It has also developed an ultrasonic haptic interaction system that provides a friction-like tactile sensation in connection with content displayed on an information terminal screen. While the usual vibration devices were able to provide only simple sensations like a trembling feeling and clicking feeling, the ultrasonic haptic display is able to provide many sensations like edges to objects such as buttons on a screen, small bumps, and simple texture feelings. This technology can offer not only an improved feeling of operating an information terminal but also extension of the scope of telecommunicating by for example supporting visually impaired persons and remotely transmitting sensations. This paper describes an outline of the ultrasonic tactile display technology.

ま え が き

富士通と富士通研究所は、これまで情報端末の触感品質の向上に積極的に取り組んできた。例えば、携帯電話の機械式ボタンについては、機能的な検査だけではなく、クリック感の心地良さを定量化し全数を検査している。また、スマートフォンやタブレットなどの触感的な手掛かりのないタッチパネル製品においては、圧力検知や振動フィードバック機能を持たせることにより操作感を向上させている。そのほか、機械式ボタンのクリック感品質の自動検査装置や、スマートフォンでキレイの良いクリック感を提示する技術など、様々な触感向上技術を開発してきた。

医学的視点で見ると、皮膚の触感は主にパチニ小体、マイスナー小体、メルケル細胞という三つの機械受容器（触感のセンサー）への振動刺激によって知覚される。これらの受容器は、それぞれ振動の振幅や周波数、分布の細かさに対する感度が異なり（図-1）、異なる受容器を同時に刺激すれば、脳内で感覚が統合されたときにより豊かな感触となることが知られている。ところが、三つの受容器を同時に刺激するには、時間的、空間的に広い範囲をカバーできるアクチュエータが必要になる。このため、多数の細いピンをそれぞれ独立に動かすなどの大掛かりな機構が必要となり、コンパクトな実装が実用上必須である場合に、そのような機構を実現する技術的ハードルは非常に高いものであった。したがって、学術研究では多数の優れた触感提示法の事例⁽¹⁾があるものの、平面ディスプレイを用いる情報端末に搭載された実用的な事例は、比較的構造が簡単な高周波振動子に

限られている。また提示可能な触感もパチニ小体のみへの刺激によるクリック感やぶるぶる感に限定されていた。

一般的に、情報の8割は視覚からと言われている。しかし、視覚障がいを持つ方々にとっては触感の手掛かりがないタッチパネル式の券売機やATMなどは、音声ガイドや点字プレートがあったとしても非常に使いにくいものになっている。加えて視覚障がいを持つ方々の点字識字率も年々低下する傾向にあることを踏まえれば、ディスプレイ上に画像と連動する触感を提示できることは、視覚障がい者の方々のアクセシビリティを向上する上で非常に有効な手段となり得るものと考えられる。また、健常者がデバイス进行操作するシーンをイメージしたとき、操作性、触り心地といった感性情報、そして素材感の付与などの触感情報がデジタル情報に接するシーンに加われば、そこで提供されるサービスの付加価値を飛躍的に向上できると考えられる。

以上の理由から、筆者らは平面ディスプレイ上にこれまでよりも豊かな触感を提示する技術の開発を開始した。

平面パネルに触感を提示する技術の研究は、超音波振動を利用した方式と静電引力を利用した方式の大きく二つに分類でき、それぞれ次に挙げるような機関での研究がよく知られている。

超音波振動を利用したものでは、大型のランジュバン振動子を用いた研究があり^{(2),(3)} 特に埼玉大学大学院理工学研究科 高崎教授らが開発した装置⁽²⁾は、超音波振動のリファレンスとも言うべき良好な触感の提示に成功している。また、ガラスパネル上に超音波振動を発生させて、端末表示と触感を連動させるシステムについては、フランスのリール大学⁽⁴⁾ アメリカのノースウェスタン大学^{(5),(6)}などが精力的に研究を行っている。

静電引力の触覚提示への応用については、アメリカのSenseg社、NLTテクノロジー⁽⁷⁾ 東京大学⁽⁸⁾のほか、上述のノースウェスタン大学⁽⁹⁾ やリール大学などが研究開発を行っている。

また、静電引力方式は摩擦による抵抗を上げることができ、超音波振動方式は逆に下げることができるという相補的關係にあるため、両者を併用するハイブリッド化の研究も行われている。

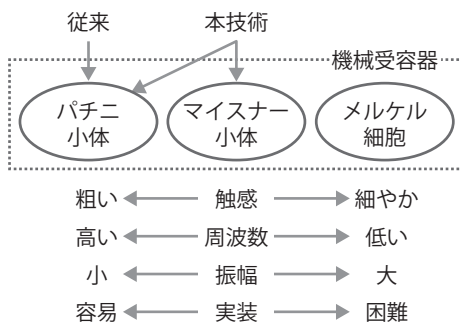


図-1 皮膚触感と実装の難易度

富士通研究所では、超音波方式を利用した技術で触感を提示する研究を行っており、2014年2月に開催されたMobile World Congressにおいて、**図-2**に示す超音波触感ディスプレイ装置^{(10),(11)}を出展した。本装置は富士通と富士通研究所の共同開発によるもので、従来の振動触感とは異なる摩擦触感を提示できるものである。シミュレーションによって明らかにした最適なパネル構造や制御技術によって、世界最高レベルの触感の強さを実現した。

本稿では、超音波触感ディスプレイに関する富士通研究所の取り組みを紹介する。

基本構成と原理

空気中で高速に振動する平面に物体を近づけると、平面と物体の境界に高圧の空気膜が生じ、ゲームセンターにあるエアホッケーさながらに摩擦が低下すること（スキーズ効果）が知られており、



図-2 超音波触感ディスプレイ装置

非接触軸受けや非接触搬送などへの応用が研究されている。この現象をディスプレイ面と指の間に発生させることができれば、平面ディスプレイに触れる指に生じる摩擦力をコントロールできる。摩擦力の変化は皮膚のせん断変形を引き起こすため、パチニ小体だけでなくマイスナー小体も刺激されることとなり、従来よりも複雑な触感を提示できる。

このアイデアを実現するため、**図-3**のようなシステム構成を採った。情報端末のディスプレイ自体に直接超音波振動を発生させることは困難であるため、透過型静電タッチパネルに被せた触感提示用の透明ガラスに超音波振動を発生させ、ガラス越しに検出した指の位置や速度情報を基に、画面表示に合わせて超音波振動の振幅を制御している。

触感の提示において、摩擦係数が切り替わる際の抵抗力の変化は強く知覚される傾向があるため、大きな振幅や連続駆動の必要はなく、凹凸感やざらざら感は比較的容易に実現できる。ところが、つるつる感や摩擦触感の階調を表現したい場合には、大きな振幅を長時間効率的に生じさせる必要があるため、容易には実現できない。そこで、つるつる感を生じさせるための振幅の大きさやモード形（共振に特有の変形の分布）を物理的・感性的な評価技術によって明らかにし、構造シミュレーションなどを通じてそれを再現する設計条件を見出し、所望の触感を実現できた。

なお、薄く大きな板を効率良く振動させるには固有振動（共振）を用いる必要があるが、この場合にはモード形が生じて周期的な振幅分布が発生する。一方本技術では、振幅分布の空間周期と指

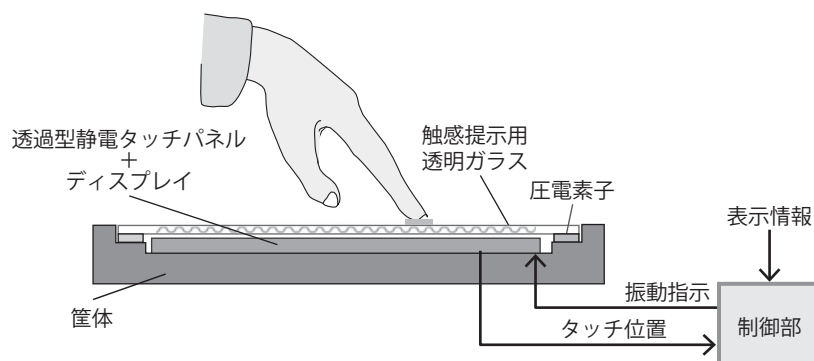


図-3 システム構成

先のタッチ面の大きさが同じ程度であることに加え、触感が視覚情報の影響を受けやすいことから、摩擦抵抗力の不均一さはほとんど知覚されることが確認できている。

触感提示の実際と適用例

摩擦が引き起こす錯覚現象の原理を図-4に示す。例えば、指をスライドする途中に摩擦力が低下するとその動作を助けるようなアシスト力が疑似的に感じられる。また、指のスライド中に摩擦力が上昇すると、スティッキーバンドイリュージョン⁽¹²⁾

と呼ばれる微小な凹凸の錯覚を引き起こすことができる。これらを組み合わせると、ページめくり感、ボタンの触知、フリックのアシストなどを提示できる。

そのほか、素材をこすったときに生じる摩擦抵抗力の変化を超音波触感ディスプレイの摩擦抵抗力の変化として提示することで、素材の触り心地もある程度再現可能となる。

適用例として、DJコントローラ、弦楽器（琴）、野菜展示のデモ画面を図-5に示す。例えば、ボリュームスイッチのメカニカルなカチカチ感、ター

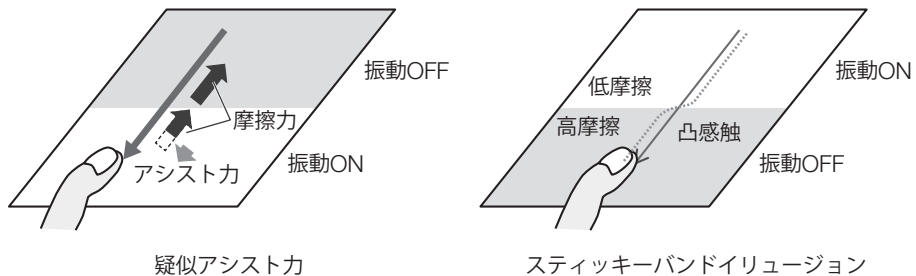


図-4 錯覚現象の原理

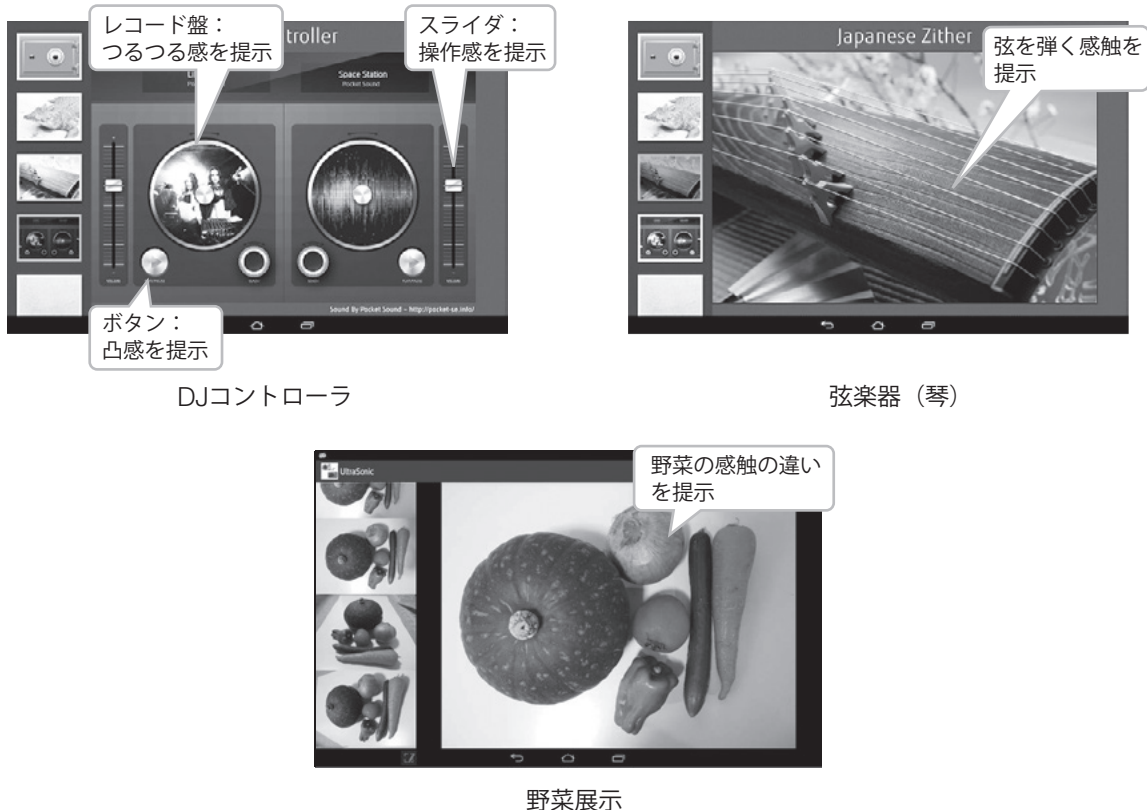


図-5 デモアプリケーションの例

ンテーブルを回したときの滑らか感、弦楽器をはじいたときの引っ掛かり感、野菜など比較的固い物の触り心地などは、視聴覚との相互作用（クロスモダリティ）とも相まって、摩擦触感との親和性が高く、操作性や臨場感の向上が期待できる。

む す び

本稿では、超音波触感ディスプレイ技術の概要について述べた。本技術により、平面ディスプレイ上に従来よりも豊かな触感を付与したユーザー体験を提供できる。

触感提示に必要な駆動信号には、例えばなぞる速さによって知覚される触感の強さが異なるなど、人間の感性が与えられた刺激にどう反応するか、という情報も加える必要がある。そのため、初心者でも扱いやすいソフト開発環境整備などのSDK (Software Development Kit) 開発にも注力している。これにより、触感提示の原理や駆動波形に関する知見がないユーザーでも所望のアプリケーションに触感を付与し、提示することができると考えている。

今後は、触感情報を駆使した革新的なアプリケーションの開発を検討するとともに、機械学習を利用した自然な自動触感生成技術などにより使い勝手を向上し、実用化を目指す。

参考文献

- (1) 下条 誠ほか：触覚認識メカニズムと応用技術—触覚センサ・触覚ディスプレイ—【増補版】。S&T出版、2014。
- (2) M. Takasaki et al. : Between Smoothness and Stickiness. 2015 IEEE World Haptics Conference [D-46].
- (3) T. Watanabe et al. : A Method for Controlling Tactile Sensation of Surface Roughness Using Ultrasonic Vibration. Proc. IEEE ICRA, p.1134-1139 (1995).
- (4) Lille University : Project STIMTAC.
http://l2ep.univ-lille1.fr/?page_id=2033
- (5) T. Sednaoui : Ultrasonic Lubrication Tablet Computer. 2015 IEEE World Haptics Conference [D-40].
- (6) M. Wiertelowski et al. : Power Optimization of

Ultrasonic Friction-Modulation Tactile Interfaces. IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS, Vol.8, No.1, JNUARY-MARCH 2015.

- (7) NLTテクノロジー：異なる触感を同時に提示する触覚ディスプレイを国内で初出展。
http://www.nlt-technologies.co.jp/jp/news/release_141001.html
- (8) 山本晃生ほか：摩擦力制御を用いた静電皮膚感覚ディスプレイ。計測自動制御学会論文集, Vol.40, No.11, 1132/1139 (2004).
- (9) D. J. Meyer et al. : Dynamics of Ultrasonic and Electrostatic Friction Modulation for Rendering Texture on Haptic Surfaces. IEEE Haptics Symposium 2014.
- (10) 富士通：触感が得られるタッチパネルを搭載したタブレットを試作。
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2014/02/24.html>
- (11) FUJITSU JOURNAL : 「触感」が変える未来のインターフェース。
<http://journal.jp.fujitsu.com/2014/04/15/01/>
- (12) 堂田丈行ほか：触感デザインのための印刷物転写法とSticky-band Illusion. 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 174/177 (2010).

著者紹介



谷中聖志 (たになか きよし)

ものづくり技術研究所
プロダクトエンジニアリングプロジェクト
触感提示関連技術の研究に従事。



鎌田裕一 (かまた ゆういち)

ものづくり技術研究所
プロダクトエンジニアリングプロジェクト
触感提示関連技術の研究に従事。



宮本晶規 (みやもと あきのり)

ものづくり技術研究所
プロダクトエンジニアリングプロジェクト
触感提示関連技術の研究に従事。



遠藤康浩 (えんどう やすひろ)

ものづくり技術研究所
プロダクトエンジニアリングプロジェクト
触感提示技術，感性センシング技術の研究に従事。