

SAW 皮膚感覚ディスプレイを用いた情報提示の検討

Information Provision Using A SAW Tactile Display

高崎正也 埼玉大学大学院理工学研究科 助手

Masaya Takasaki, Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, Research Associate

概要：人間のいわゆる五感の一つ『触覚』には皮膚が物体に触れたときの感触が含まれており、これを皮膚感覚という。この感覚は指先では特に鋭いことが知られている。つまり、皮膚感覚ディスプレイとは指先で固体表面をなぞったときの感覚を再現する装置である。これまでに、著者らによって、超音波振動の一種である弹性表面波（surface acoustic wave : SAW）の機械振動を利用した皮膚感覚ディスプレイが提案され、試作された。このディスプレイでは、つるつる感・ざらざら感といった感覚を再現することができ、異なる粗さを表現すること（任意に設定すること）も可能である。本研究では、皮膚感覚を通して、自動車ドライバに様々な情報を提供することを検討する。

Abstract: Tactile sensation is a sense of roughness, friction, or the otherwise variegated texture of an object's surface and perceived at mechanoreceptors in our finger skins. A tactile display is a device to reproduce the tactile sensation while we rub on a solid surface. The tactile display using mechanical vibration of surface acoustic wave (SAW) has been proposed and fabricated on trial. The SAW tactile display could indicate roughness and smoothness sensation successfully. In this research, information provision to a car driver while driving will be discussed. For example, button information will be provided through the tactile display on the button. In this case, the information helps driver's operation without looking, because the driver drives a car and looks forward. Through the tactile sensation, the display will indicate information such as "where is [Temperature Setting Button]," "where is [Air Conditioner Switch]" and so on.

1. 研究の目的

本研究で用いる弹性表面波皮膚感覚ディスプレイは、ディスプレイに接触している指先の皮膚に任意の周波数の振動を与えることができる。使用中のなぞり動作に応じて振動の周波数・強度を制御しているため、現実的なざらざら感を提示することができる。また、あらかじめ決められたパターンの振動を繰り返し出力することも可能である。この機能を使って、例えば、ドライバに情報を提供することが考えられる。自動車の運転において、皮膚感覚ディスプレイをハンドルなどの常時手でふれている部位に取り付けると、常に皮膚感覚の提示を受けることができる。普段は何の出力も無いが、路面の変化やタイヤのトラクションの変化などドライバに注意を促すべき情報をドライバだけに提示することができる。また、速度超過や燃料不足など単に注意を喚起する機能として使用することも可能である。

皮膚感覚ディスプレイの利用において、どんな感覚がユーザに注意を喚起しうるかを実験を通して検討していく。自動車の運転の例では、ハンドル・トランスミッションの操作以外にも、エアコンやカーステレオ等の操作がたびたび必要である。しかし、走行中に操作するにはスイッチや

つまみの場所を確認するために、視線を手元に移す必要が出てくる。前方より視線を逸らすことは事故の発生確率を引き上げてしまうが、かといってこれらの操作を自重するドライバは少ない。手探りでこのような操作を完了するためには、スイッチやつまみの存在を手探りで探し当てるだけでなく、操作の結果を確認する必要もある。そこで、スイッチ等に皮膚感覚ディスプレイが内蔵されていれば、操作の結果を皮膚感覚を通して知覚することができるため、操作結果を目視する必要は無くなる。

本研究では、設定量の増減操作のスイッチを例にとり、操作の結果を皮膚感覚によってユーザへフィードバックする方法について検討を行う。スイッチ等へ適用するために、最適な皮膚感覚ディスプレイモジュールを開発する。開発したモジュールを用いて、スイッチ等の操作に応用する。本研究では一連の基礎的研究を行う。将来的に、皮膚感覚ディスプレイを付加することにより、自動車運転中のドライバに注意を喚起したり、操作結果を皮膚感覚によってフィードバックさせたりして、同乗者の快適性を損なうことなく、安全性・操作性を向上させることができる。

2. 研究経過

2.1. 皮膚感覚ディスプレイユニット

本研究を遂行するためには、皮膚感覚ディスプレイユニットを新たに製作する必要があった。従来のモジュールでは弹性表面波の進行波を励振するために振動子端部に吸音材を設けていた。皮膚感覚の表示を長時間（2分以上）連続して行うと、吸収された機械エネルギーによって吸音材が加熱して振動子が破損する現象が見られていた。そこで、図1に示すように、水冷ヒートシンクを備えた皮膚感覚ディスプレイモジュールを製作した。従来の空冷に比べて4.5倍の冷却性能を達成できた。これにより、連続運転を行っても発熱による破損が見られなくなり、皮膚感覚表示実験を行って本研究で提案する操作結果の皮膚感覚によるフィードバックに関する実験が行えるようになった。

2.2. 力覚表示デバイスへのインストール

当初の提案通りに「ボタン」表面に取り付ける使用方法には、上記の皮膚感覚ディスプレイモジュールでは感覚表示部分が狭いため、SensAble Technologies社の力感覚ディスプレイであるPHANTOM Omniを用いてボタン操作をシミュレーションできるようにした。このデバイスは、リンク機構により計算された力をフィードバックする装置で、コンピュータ画面上で仮想の物体に接触した時の反力などを模擬的に提示することができる力感覚ディスプレイある。図2にPHANTOM Omniに皮膚感覚ディスプレイモジュールを取り付けた様子を示す。皮膚感覚ディスプレイモジュールの上に人差し指をのせたままスタイルスを操作し、コンピュータ内の仮想環境下でボタン操作をシミュレーションすることができる。この環境を用いて、ボタン操作を行う際の皮膚感覚によるフィードバックの有効性を評価することができる。

2.3. 皮膚感覚ディスプレイユニットの改良

2.3.1. ガラス基板表面への弹性表面波の励振

これまでに、ガラスのような非圧電性媒体表面への強力な弹性表面波の励振方法を提案した。図3に示すように、ガラスのような非圧電性媒体表面に従来と同様の電極を形成し、交差指部分に圧電材料基板を予圧を与えて接触させる。本研究で提案している弹性表面波の励振方法を図4に示す。電極に印加した交流電圧により接触している圧電材料基板表面に応力分布が発生する。発生した応力分布が接触している電極指を介して非圧

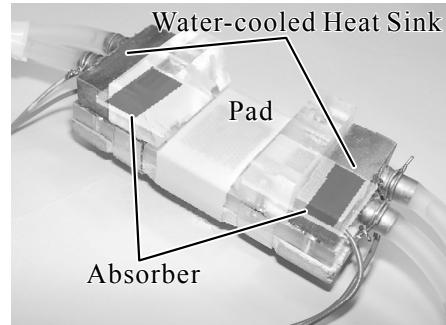


図1 ヒートシンク付き皮膚感覚ディスプレイモジュール

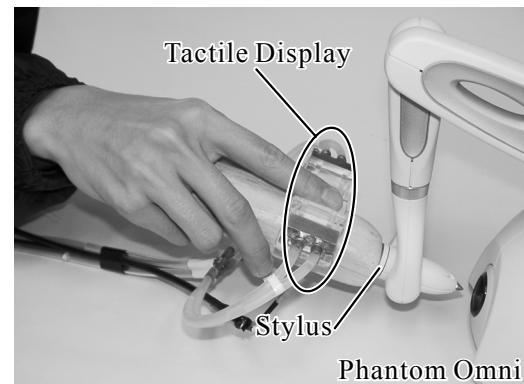


図2 力覚ディスプレイとの融合

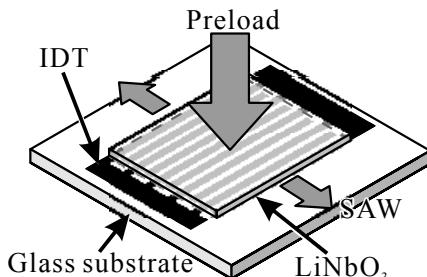


図3 ガラス基板表面への弹性表面波の励振

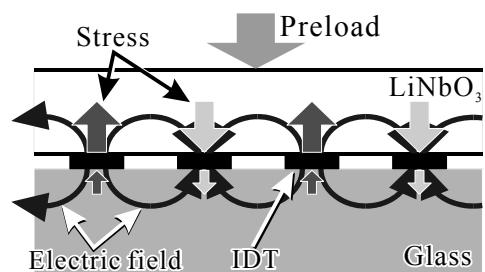


図4 弹性表面波励振原理

電材料基板表面に伝搬して弹性表面波を励振する。

この原理に従い、ガラス基板表面に電極を形成し、 LiNbO_3 基板と組み合わせた弹性表面波励振装置を製作した。実際に電圧を印加したところ、従来の LiNbO_3 基板の振動子には及ばないものの、図5に示す通り十分な振動振幅を得ることが出来た。（破線は従来方式での結果、実線は間接励

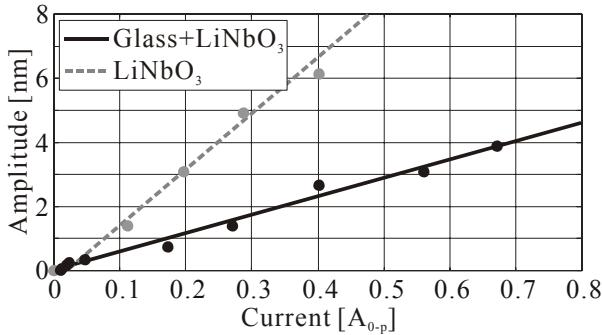


図 5 ガラス基板での弾性表面波励振実験結果

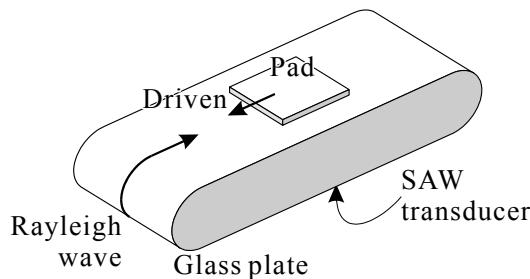


図 6 周回弾性表面波型アクチュエータ

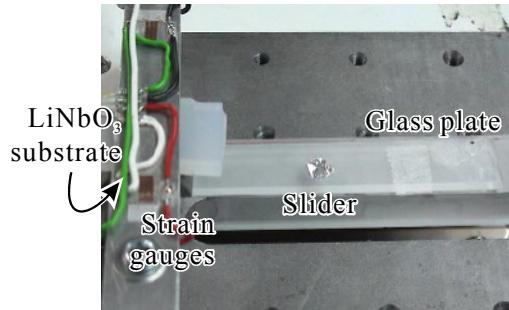


図 7 試作したアクチュエータ

振での結果をそれぞれ示す.) 非圧電材料基板を用いた弾性表面波アクチュエータの可能性を示すことができた.

2.3.2. 皮膚感覚ディスプレイへの応用の検討

従来の弾性表面波皮膚感覚ディスプレイモジュールでは、ステータ振動子に LiNbO_3 基板を使用していた. この材料は硬脆材料であり、任意の形に加工するのは容易ではない. 上記の方法により、ステータ振動子をガラスのような材料で構成できるようになるため、ステータ振動子の形状・サイズに自由度を持たせることができる. 例えば、ステータ振動子を図 6 に示すような形状とすることで、弾性表面波を励振するトランスデューサーを振動子裏面に配置することができる. また、弾性表面波を周回させるため、基板端で吸音する必要がなく図 1 に示すようなヒートシンクを必要とせず、かつ振動エネルギーの利用効率が格段に向上する. 故に、この形態のアクチュエータを弾性表面波皮膚感覚ディスプレイに応用すること

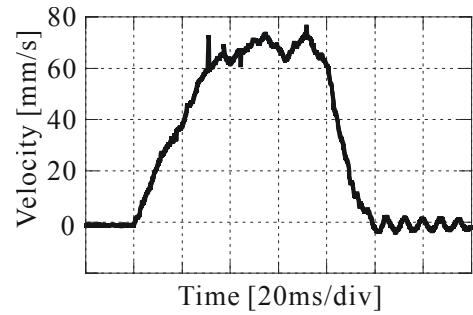


図 8 試作したアクチュエータのステップ応答

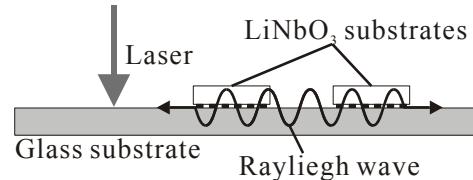


図 9 一方向放射の構成と測定方法

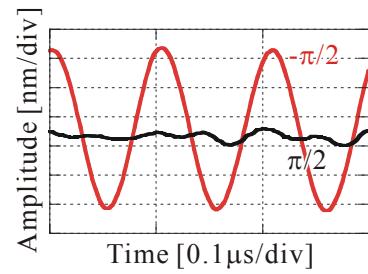


図 10 波の合成結果

で、本研究で提案している「ボタン」を小型化することができ、かつ任意の形状・サイズに設定することができる.

2.3.3. アクチュエータの試作

石英ガラス基板を用いた弾性表面波アクチュエータを試作した. 試作したアクチュエータを図 7 に示す. LiNbO_3 基板上に IDT を形成したものを、IDT の交差幅に合わせてカットしたガラス基板に押し付けた. LiNbO_3 基板上の電極とガラス基板の音響的結合を向上させるため、アルミ製の梁で予圧を与えており、梁にはひずみゲージが貼り付けられており、予圧をリアルタイムでモニターできるようになっている.

駆動周波数 9.6 MHz, 印加電流 1.1 A_{0-p}, 接触予圧 20 N において駆動実験を行った. スライダにはアルミ箔を用いた. ステップ応答を図 8 に示す. スライダ質量と加速度より算出すると、推力は 35 mN であった. 定常速度は 70 mm/s に達している. ステータ振動子である石英ガラス基板表面の表面粗さの影響により、大きな推力が取り出せなかったが、ガラス基板を用いた弾性表面波アクチュエータの可能性を示すことができた.

2.3.4. 周回進行波型アクチュエータの検討

IDT から励振されたレイリー波は両方向に放射されるが、周回進行波型 SAW モータでは、図 6 に示す周回進行波型アクチュエータでは、一方向に放射される必要がある。レイリー波を一方向に導くために、図 9 に示すように、直列に配置された 2 つの IDT から放射されるレイリー波の位相を時間的・空間的に $\pi/2$ ずらして合成させる。

基礎実験として、石英ガラス基板表面に IDT を形成した LiNbO_3 基板を二つ並べて直列に配置し、互いに位相をずらした正弦波をそれぞれ入力し、片側の IDT の端における振動振幅を測定した。予圧それぞれ 20 N、入力電流 0.3 A_{0-p} における測定結果を図 10 に示す。それぞれの IDT に印加する電圧の位相を $-\pi/2$ だけずらしたとき、2 つの波は足し合わされて振幅が増大した。また、位相差を $\pi/2$ としたとき、2 つの波は打ち消し合い、ほとんど振幅が観測されなくなった。このことから、位相差を適切に選択すれば一方向へ進行するレイリー波を励振できることが示された。

3. 研究成果

従来の弾性表面波を用いた皮膚感覚提示原理に基づき、皮膚感覚ディスプレイモジュールを製作した。製作したモジュールを力覚提示デバイスへ搭載し、本研究で提案する皮膚感覚フィードバックのシミュレーションを行う環境を整えた。その後、ディスプレイモジュールを小型化・高効率化できる手法の発見があった。非圧電材料であるガラス基板表面に弾性表面波を励振してアクチュエータとして用いる方法である。ガラス基板表面に皮膚感覚の提示が可能なレベルの弾性表面波が励振することを確認した。また、アクチュエータを試作し、駆動に成功した。さらに、高効率化のために、周回進行波型のアクチュエータを提案し、その実現に必要な波の一方向放射の検討を行い、その有効性を実験的に確かめた。

4. 今後の課題と展望

本研究で提案したガラス基板弾性表面波アクチュエータで明確な皮膚感覚を提示するには、効率よく大きな振幅の弾性表面波を励振する必要がある。この高効率化には励振効率と伝搬効率の向上が挙げられる。励振効率の向上には最適な圧電材料の探索と振動子の構成の最適化を行う。伝搬効率の向上のためには、伝搬損失の少ないステータ振動子材料の探索が必要である。

図 6 に示すアクチュエータが実現されると、皮

膚感覚ディスプレイを小型かつ薄型に構成できるため、本研究で提案する皮膚感覚フィードバックに最適なディスプレイモジュールが得られる。製作したシミュレータやこのモジュールを利用して、皮膚感覚フィードバックの有効性を検証していく予定である。

5. 発表論文リスト

- [1] 櫻田武朗, 高崎正也, 水野毅, 「パッシブ型弾性表面波皮膚感覚ディスプレイの開発」第 17 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp.511-514, 2005.
- [2] Masaya Takasaki, Hiroyuki Kotani, Takaaki Nara and Takeshi Mizuno, "SAW Excitation On Glass Plates For A Tactile Display Application," Proceedings of IEEE Ultrasonics Symposium, 2005.
- [3] Masaya Takasaki, Takeo Sakurada, Hiroyuki Kotani and Takeshi Mizuno, "A Surface Acoustic Wave Tactile Display on Phantom," Proceedings of 15th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, CD-ROM, 2005.
- [4] Masaya Takasaki, Hiroyuki Kotani, Takaaki Nara and Takeshi Mizuno "Two-dimensional Active Type Surface Acoustic Wave Tactile Display On a Computer Screen," Proceedings of 14th Symposium Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp.49-54, 2006.
- [5] 小谷浩之, 高崎正也, 奈良高明, 水野毅, 「ガラス基板を用いた弾性表面波皮膚感覚ディスプレイの実現」第 18 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp.191-196, 2006.
- [6] 寺田大輔, 小谷浩之, 高崎正也, 水野毅, 「ガラス基板を用いた弾性表面波リニアモータの開発」第 18 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp.191-196, 2006.
- [7] 藤井陽介, 小谷浩之, 高崎正也, 水野毅, 「AM 変調を用いたアクティプタイプ弾性表面波皮膚感覚ディスプレイの制御に関する研究」ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 講演論文集, 2P2-B16(1-3), 2006.
- [8] Hiroyuki Kotani, Masaya Takasaki, Takeshi Mizuno, Takaaki Nara "Glass Substrate Surface Acoustic Wave Tactile Display With Visual Information," Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2006), Luoyang, China, 2006.
(掲載決定)