

ダイラタンシを利用した汎用的触覚ディスプレイの研究

Dilatant- fluid-based universal tactile display

1091009



研究代表者

東北大学大学院 情報科学研究科

助 教

嵯 峨

智

【研究の目的】

近年、触覚に訴えるインタフェースの拡がりとともに、触覚ディスプレイに関する研究が多くなされている。旧来の多くのディスプレイは形状や力といった、環境側の物理的意味の明確な情報を提示することを目的とするものが多かった。例えば、力および形状をディスプレイする触覚ディスプレイの代表として PHANTOM (SensAble Inc.) があげられる。これは、提示可能な環境情報を一点に限定することで、その一点における力および位置情報を提示する。また、直動アクチュエータを2次元に配置し、その上下動により2次元に広がりをもつ形状を模倣することで物理情報を実現するディスプレイとして Nakatani, et al. の PopUp! [1] の研究などがみられる。これらのデバイスではやわらかさなどの触感を表現することが難しい。

これに対し、昨今は通常の物理的情報を提示可能なディスプレイとしてではなく、触覚という感覚そのものに訴える特殊な触覚ディスプレイも同様に多くみられる。クリック感を提示する触覚ディスプレイとしては、フォースフィードバックタッチパネル (SMK Inc.) などいくつかの商用ディスプレイが提案されている。また、研究レベルにおいては、指と対象との接触面積を変化させることで固さを表現する Fujita, et al. [2] や Bicchi, et al. [3] のディス

プレイや、指に巻いたバンドの締め付けにより発生する皮膚の物理的変形のみにより力覚を表現する手法を提案する Minamizawa, et al. [4] の研究などがある。また、Yamaoka, et al. [5] の研究では、皮膚と対象との干渉により起こる皮膚接触面の面積と粘着の現象を、空気圧を用いて再現することで粘着感を提示する独自のディスプレイを考案している。

このように、皮膚の一部の変形を用いて触覚を生成する研究もいくつか見られるようになってきた。しかし、これらの研究では一つの対象表現のために一つのデバイスが必要になり、汎用的とはいえない。そこで、我々は変形が可能であり、弾性を変化させる液体状の物体を用いることで、自由な変形の可能性を残しつつ、柔軟な硬さの表現が可能な汎用デバイスを模索する。本稿では、このような物質として、ダイラタント流体を用いるディスプレイを提案する。

粉粒体媒質を変形すると、粒子間の空隙が増して媒質全体の体積が膨張する。逆に、体積が膨張できないような状況では、粉粒体媒質は変形できず固体のように振る舞う。このような現象をダイラタンシ (図1) と呼ぶ。

非水溶性微粒子と水のある割合のコロイド溶液は、ダイラタンシを示すダイラタント流体となる。この流体に急激な変形を加えることにより流体から固体へと相変化する。この変形に伴う相変化を利用する。このようなダイラタント流体の起こす現象を利用し、加える振動を制御

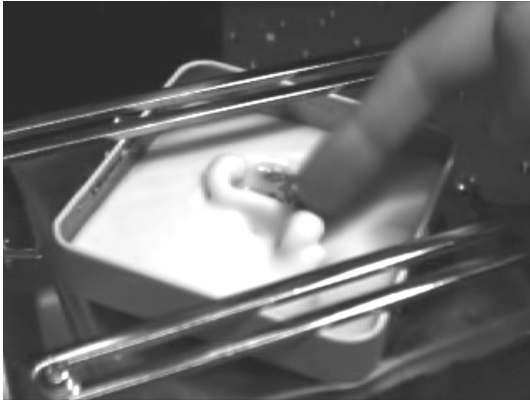


Fig. 1 Dilatancy

することにより、固さを制御可能な触覚ディスプレイを提案する。このための初期実験として、ダイラタント流体を用いて触覚ディスプレイを設計するための制御可能性など基礎的な知見を得る。

[研究の内容, 成果]

本稿では、新たなコンセプトをもつ触覚ディスプレイの基礎となるダイラタント流体の特性を知るため、ダイラタント流体にさまざまな振動を加え、移動速度と振動を同時に変化させたときの弾性変化を調査する。

1. 垂直方向変位における反力

図2のような加振実験装置を用意し、スピーカによりダイラタント流体に下方からさまざまな周波数で加振したときに上方から一定速度で接触子を押し込んだときの反力を測定した。押し込み先端には、指の形状を模した直径20 mmの亚克力半球を利用した。ダイラタント

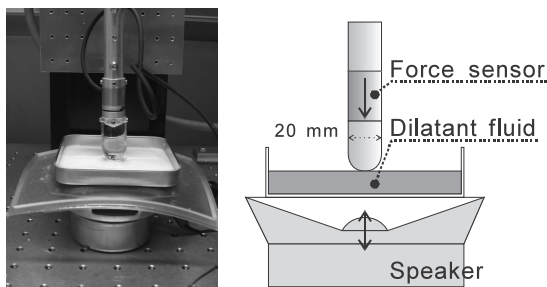


Fig. 2 Experiment system (vertical)

流体として、片栗粉20 gに対し、水16 gを加えたものを用いた。

はじめに100 Hzおよび130 Hzで加振したときの反力変化を測定した。結果は図3上のようなになる。図3上から、押し込み直後にインパルス的な反力が観察され、その後300 ms程度の緩和時間があることがわかる。そして、反力が0 Nになった後、液体から引き戻す時には引き付ける力が発生していることがわかる。一方、より高周波な130 Hzの振動では反力は小さくなる。さらに、振動源からの定常的な振動が測定された(図3下)。

次に加振周波数を35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 Hzとし、それぞれの加振条件につき、上方からの移動速度272 mm/s, 188 mm/s, 132 mm/s, 88 mm/s, 60 mm/sで表面から3 mm押し込んだときの反力を測定する。各速度、各周波数においてそれぞれ10試行の各軸での反力変化を測定し、このときの反力の最大値を各条件についてプロットした。結果を図4に示す。この結果

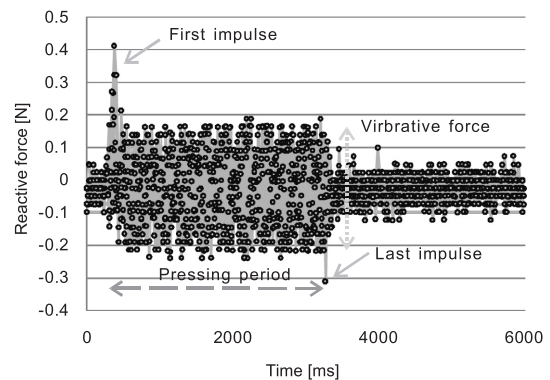
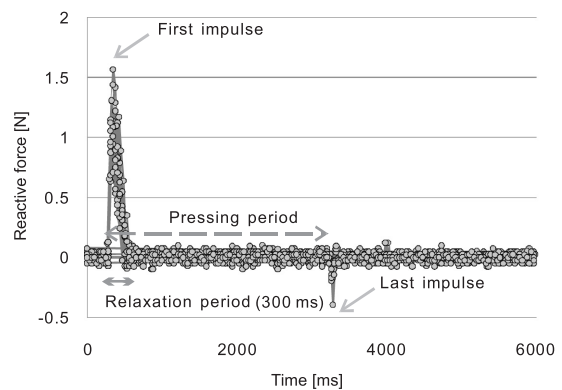


Fig. 3 Example transition of reaction force (Upper: 100 Hz, lower: 130 Hz)

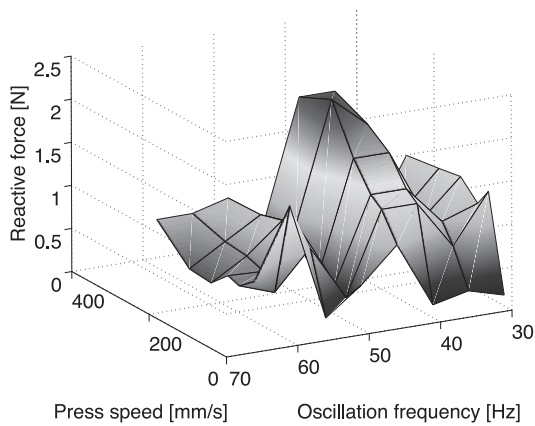


Fig. 4 Change of reaction force (vertical)

から、速度が増加するごとに反力が増加すること、ある周波数領域において大きな反力変化が発生することがわかる。この周波数帯における特性変化は以前の成果とも符合する結果となっている。その周辺では一度反力特性が低下していることも同時に読みとれる。

2. 水平方向変位における反力

次に、水平方向への移動の際の反力変化を測定した。図5のように、押し込み実験と同様に3 mm 押しこんだ後、水面と平行に8 mm 移動させ、このときの剪断方向の反力変化を計測した。

加振周波数は 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 Hz とし、それぞれの加振条件につき、剪断方向への移動速度 272 mm/s, 188 mm/s, 132 mm/s, 88 mm/s, 60 mm/s で 8 mm 移動させたときの剪断方向反力を測定する。各速度、各周波数においてそれぞれ 10 試行の各軸での反力変化を測

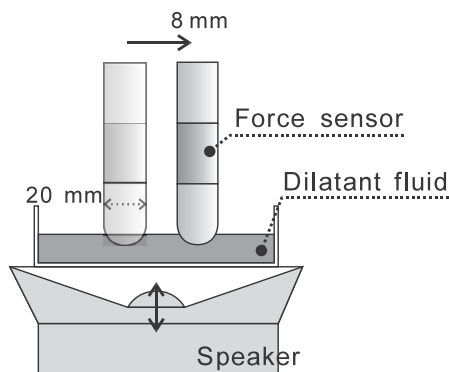


Fig. 5 Experiment system (horizontal)

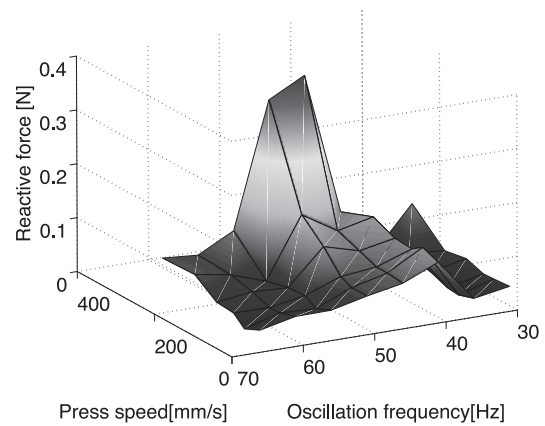


Fig. 6 Change of reaction force (horizontal)

定し、このときの反力の最大値を各条件についてプロットした。結果を図6に示す。この結果から、速度が増加するごとに反力が増加すること、ある周波数領域において大きな反力変化が発生することがわかる。この周波数帯における特性変化は垂直方向の変化とも符合する結果となっている。その周辺では一度反力特性が低下していることも同時に読みとれる。また、今回は 272 mm/s になると 50 Hz 付近で反力が極度に大きくなった。このことから、ある速度以上になると大きく反力を変化させることもわかる。

3. 封止状態での反力変化

現状では提案するディスプレイは流体を加振することで弾性を変化させている。そのため、触覚ディスプレイとして弾性変化を知覚するためには流体に直接触れる必要がある。また、流体そのままであるがゆえに取り扱いが難しい。そこで、流体を直接さわることなく、弾性変化を知覚できることが望ましい。そこで、ここではダイラタント流体を封止した状態での反力変化を計測する。覆いとしてラップをかぶせた状態で前節と同様に垂直/水平方向変位が発生させたときの反力変化を記録した。

今回は 50 Hz での加振時の弾性変化を計測し、封止していない状態と比較をした。はじめに垂直方向に接触子を移動させたときの反力変化を図7上に示す。移動速度は 400 mm/s とした。今回は 10 回の計測を行い、動作開始時を

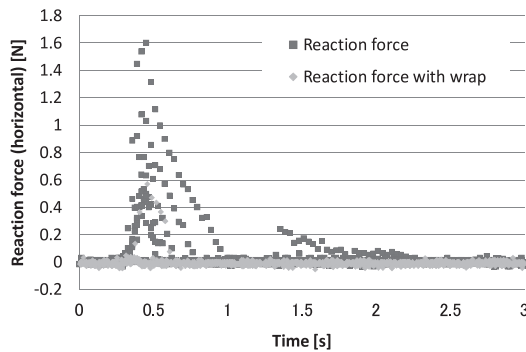
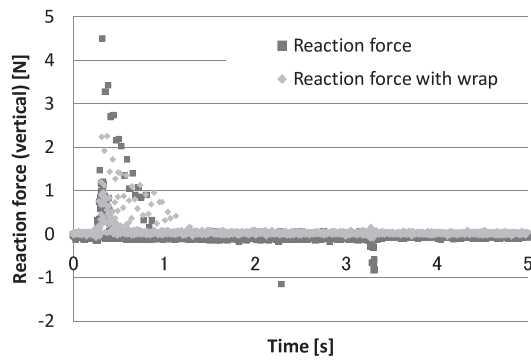


Fig. 7 Transition of reaction force
(Upper : vertical, lower : horizontal)

あわせて重ねてプロットした。図の赤い■が封止していない状態、青い◆が封止した状態における反力変化である。立ち上がりが0sではないが、これは接触子が流体から少し離れた状態から開始したためである。この結果から、反力自体は1/2程度になるものの、反力の発生と伝達には影響があまりみられないことがわかる。続いて、同様に水平方向に移動させたときの反力変化を計測し、封止していない状態と比較をした。このときの反力変化を図7下に示す。

今回は10回の計測を行い、動作開始時をあわせて重ねてプロットした。赤い■が封止していない状態、青い◆が封止した状態における反力変化である。立ち上がりが0sではないが、これは接触子が流体から少し離れた状態から開始したためである。この結果から、垂直方向の変化と同様に、反力自体は1/2程度になるものの、反力の発生と伝達には影響があまりみられないことがわかる。以上のことから、ダイラタント流体は、ラップ程度の封止を介した接触においてもある程度の反力を提示可能なことがわ

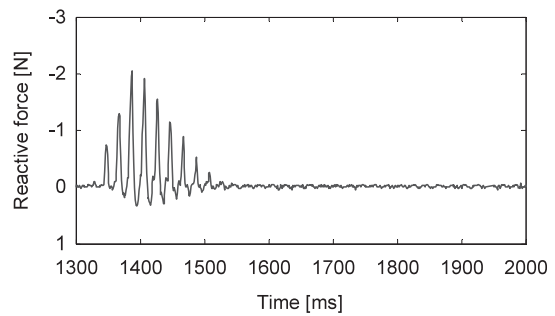


Fig. 8 Precise transition of reaction force (vertical)

かる。

図8は、衝突の瞬間における反力の時系列を拡大した図である。これは、衝突の瞬間に大きな反力を返しながらも、加振による振動が力センサに伝達されている様子を表している。

4. 結果と考察

本稿では、触覚ディスプレイの現状について議論し、汎用性のある触覚ディスプレイの必要性について議論した。そして新しい触覚ディスプレイとして、ダイラタント流体を利用したディスプレイを提案し、このディスプレイの制御可能性を調査した。

実験により、加振周波数および押し込み速度により、反力が可変であることがわかった。今回の実験条件では50 Hz 周辺での弾性変化の挙動について調べ、垂直方向への変位を加えた実験では、45 Hz 近辺のときに最大2.3 Nの反力生成を確認した。また、移動速度増加とともに反力増加が確認できることもわかる。また、ピーク値から ± 10 Hz 周辺では逆に最大反力が減少することが確認できた。

また、水平方向への変位を加えた実験では垂直方向と同様に、45 Hz 近辺のときに最大0.35 Nの反力生成を確認した。垂直方向に比べると、力の大きさは1/7程度に小さくなることがわかる。また、移動速度増加とともに反力増加が確認できることも垂直方向と同様であることがわかる。しかし、移動速度272 mm/sのときに大きな反力が得られるものの、それ以下の速度ではさらに小さな反力生成となることが確認

できる。また、ピーク値から ± 10 Hz 周辺では逆に最大反力が減少することが垂直方向と同様に確認できた。

さらに、流体に直接触れることなく反力生成が可能かを調べるため、天蓋としてラップを被せ、ラップ越しに流体の弾性変化を同様に計測した。垂直方向、水平方向それぞれについての計測実験を行い、このときの結果をラップなしのときと比較し、ラップを加えることにより反力は 1/2 程度に減少するものの、反力生成の挙動には影響がないことがわかった。

また、図 8 の結果から、このような高周波振動をヒトが受けるとき、提示される反力より固いものと認識する傾向があることが Okamura, et al. [6] らにより知られている。すなわち、本手法により物理的に固い表現が可能であるが、ヒトへ提示することにより、錯覚としてさらに固い表現を実現可能なことを示している。

[今後の研究の方向, 課題]

今後は振動自由度を増加させての弾性分布の変化の調査や、現象論の解明のための流体シミュレーションによる共振挙動との比較などを行い、これらの結果から、ダイラタント流体の触覚ディスプレイについての可能性を探ることを目指す。

[参考文献]

- [1] M. Nakatani, H. Kajimoto, D. Sekiguchi, N. Kawakami, S. T.: in Proc. of 13th International Conference on Artificial reality, and. Telexistence (ICAT), pp.179-184. 3d form display with shape memory alloy. In *13th International Conference on Artificial reality and Telexistence (ICAT)*, pp. 179-184 (2003)
- [2] K. Fujita and H. Ohmori : A new softness display

interface by dynamic fingertip contact area control. In *Proceedings of 5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics* (2001)

- [3] A. Bicchi, E. P. Scilingo, and D. D. Rossi. Haptic discrimination of softness in teleoperation : the role of the contact area spread rate. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol.16, No.5, pp. 496-504, (2000.10)
- [4] K. Minamizawa, H. Kajimoto, N. Kawakami, and S. Tachi : Wearable haptic display to present gravity sensation - preliminary observations and device design. In *2nd Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WorldHaptics 2007)*, pp.133-138 (2007)
- [5] M. Yamaoka, A. Yamamoto, and T. Higuchi. Basic analysis of stickiness sensation for tactile displays. In *EuroHaptics*, pp.427-236 (2008)
- [6] Allison M. Okamura, Matthew W. Hage, Mark R : Cutkosky & Jack Tigh Dennerlein. Reality-based models for vibration feedback in virtual environments. *ASME/IEEE Transactions on Mechatronics*, Vol.6, No.3, pp. 245-252 (2001)

[成果の発表, 論文等]

1. 嵯峨 智, 出口光一郎 : ダイラタント流体を利用した触覚ディスプレイの検討. 第 9 回 SICE システムインテグレーション部門 講演会 論文集, pp. 953-954 (2008)
2. 嵯峨 智, 出口光一郎 : ダイラタント流体を利用した触覚ディスプレイの検討 (第二報). In *Proceedings of the 2009 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, pp. 2P1-L04 (2009)
3. Satoshi Saga and Koichiro Deguchi : Dilatant fluid based tactile display -Basic concept-. In *Proceeding of IEEE Haptics Symposium 2010* (2010)
4. 嵯峨 智, 出口光一郎 : タッチパネルインタフェースにおける剪断力による 2.5 次元触覚提示についての検討. In 第 5 回力触覚の提示と計算研究会 (2010)
5. 嵯峨 智, 出口光一郎 : 剪断力を用いた 2.5 次元触覚ディスプレイによる凹凸感提示. In *Proceedings of the 2011 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Okayama, Japan* (2011)