

筆記時における紙の面外方向を考慮した摺動特性

Sliding Characteristics Considering the Out-of-plane Direction of Paper during Writing

香川大・工（学）*難波 拓泉 香川大・工（正）大宮 祐也

Takumi Namba, Yuya Omiya

Kagawa University

1. 緒言

タブレット端末とペン型インタフェースの登場・普及によって、手書き学習やイラスト製作がアナログの筆記動作に近い形でできるようになってきている。しかし、デジタルでの筆記・描画には課題もあり、その一つとして実際の筆記具と比較して書き味に差異が出ることが挙げられている[1]。この差異を低減するために、筆記動作時に振動を発生させるスタイラスペンが提案されている[2]-[4]。Cho ら(2016)は筆記時に発生する摩擦による振動(面内方向の振動)を測定し、その振動をスタイラスペンで提示している[2]。また面外方向の振動について、Atakan ら(2021)は面外方向の振動を提示するスタイラスペンを用いることで触覚表現を拡張できることを示している[3]。このように、面内方向・面外方向の振動は、アナログの書き味を再現するうえで重要である。しかし従来の研究ではいずれか一方のみに注目したものであること、紙の種類が単一であることなどから、十分に再現しているとは言えない。紙の種類は複数あり、その種類ごとに表面形状には性状がある。紙ごとの性状と摺動特性との関連を明らかにすることで、紙とペンで筆記した時の書き味により近づけられると考える。本研究では、筆記時動作を再現した実験装置を製作し、表面形状の異なる紙に筆記した時の面内方向及び面外方向の摺動特性を測定した。

2. 実験

Figure1 に設計・製作した実験装置を示す。①試料ボールペン(リフィルのみ)は②筆記具固定部に取り付けた。ボールペン側の③平行移動器を上下させ、筆圧を作用させた。④試料紙は⑤送り台に固定し、ステッピングモータで任意の速度・距離を等速直線運動させた。筆記動作中の面内方向の摩擦抵抗、面外方向の反力の測定には⑥ひずみゲージを用い、紙に対して垂直・平行に配置した⑦ひずみ板に張り付けた。得られた振動はひずみアンプを介してデータロガーに記録した。

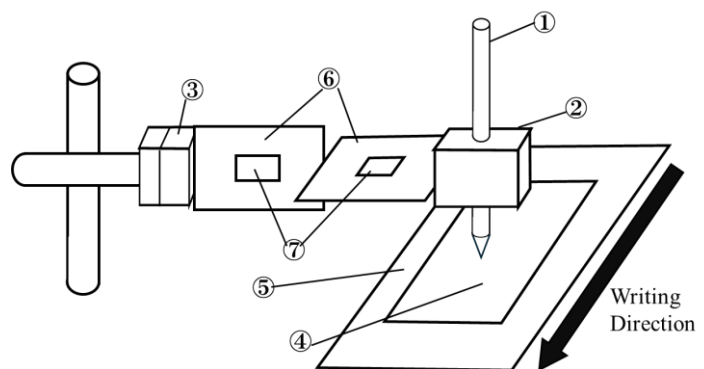


Fig.1 Writing Experimental Setup

実験条件を以下に示す。対象の筆記具は、市販のボールペン(油性, ボール径 0.5mm), 学習用ノート, 画用紙とした。Figure2 は学習用ノート・画用紙それぞれの表面形状を触針式表面粗さ測定機で測定した断面曲線を示す。学習用ノートの算術的平均粗さ

Ra は 2.02 μm , 最大高さ Rzmax は 16.0 μm , 画用紙について, Ra は 4.1 μm , Rzmax は 31.1 μm であった。筆圧は 1N となるよう調整し, 筆記速度は 30mm/s, 4s 間直線を筆記させた。データのサンプリング間隔は 1000Hz とした。測定した一部のデータに対して高速フーリエ解析を行った。

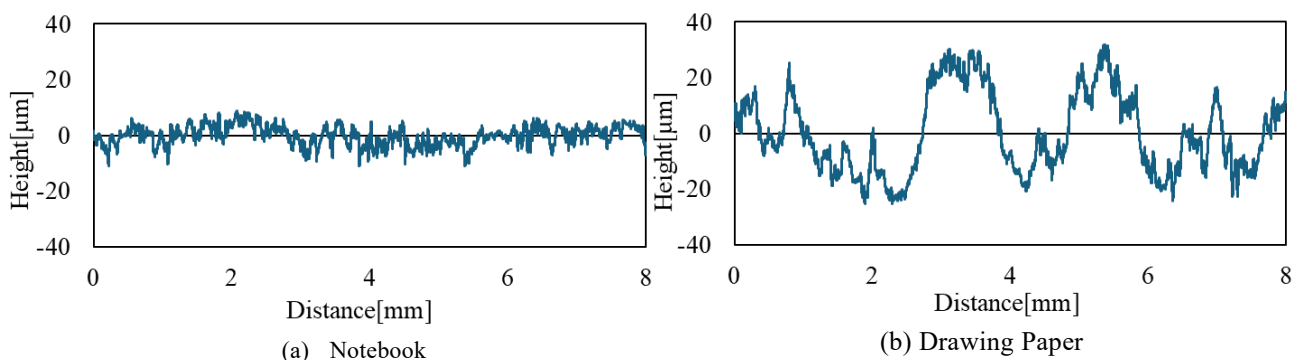


Fig.2 Surface texture of Notebook and Drawing Paper

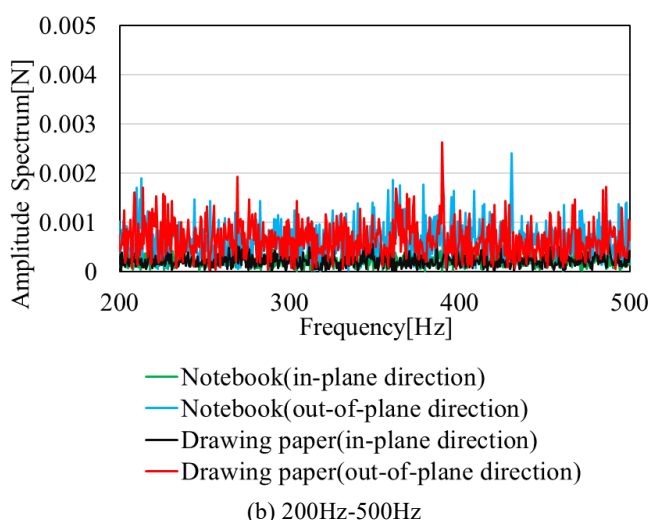
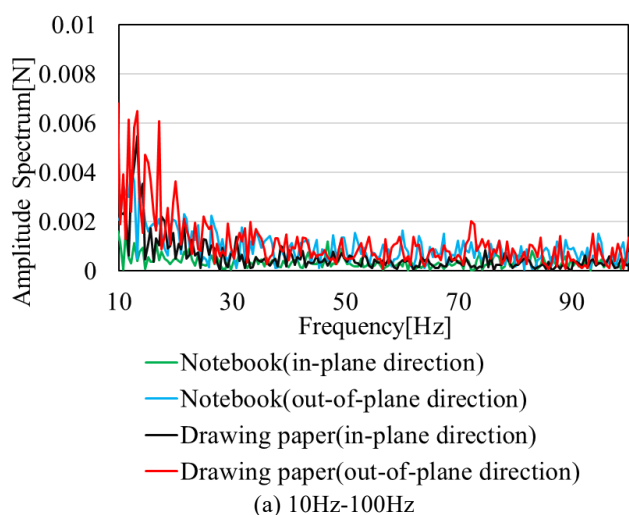


Fig3. Frequency and Amplitude Spectrum

3. 結果

Figure3 に、学習用ノート及び画用紙について、面内方向、面外方向それぞれの測定データをフーリエ解析し、低周波域(10-100Hz)・高周波域(200-500Hz)に分けて結果を示す。人間の振動に関する知覚器官として、マイスナー小体とパチニ小体がある。マイスナー小体は10Hz~100Hz の比較的大きな振動、パチニ小体は100Hz~500Hz の比較的小さな振動から知覚し、特に高周波域の振動を知覚するパチニ小体は μm 単位の振動から知覚できることが知られている[5]。このように周波数域によって知覚可能な振動の閾値が異なるため、低周波域・高周波域に分けている。また、周波数が10Hz以下の刺激は、人の手では振動として認識されにくい[6]ことから除外した。

学習用ノートに筆記した時の面内方向・面外方向の特性を示す。低周波域について、面内方向は主に10~17Hz、面外方向は12~14Hzが多く、高周波域では、面内方向が約300Hz、面外方向は約430Hzが大きくなっている。画用紙に筆記した場合、低周波域の面内方向は約13~14Hz、面外方向は約12~17Hzが大きく、高周波域の面内方向では320~390Hz、面外方向が約390Hzであった。低周波域について、学習用ノート・画用紙のいずれも面外方向の振動が面内方向より振動が大きい傾向であった。高周波域も同様に面外方向の振動が大きく、より明確な差異が見られた。

試料紙の違いについて、低周波域で特徴的な周波数は、試料紙、方向を問わずおおむね10Hz~17Hzであったが、振動の大きさは、画用紙を用いた場合が大きい。高周波域では、学習用ノートは約300Hz(面内方向)、約430Hz(面外方向)、画用紙は約320~390Hz(面内方向)、390Hz(面外方向)と特徴的な振動数で差異があるが、振動の大きさはおおむね同じであった。周波数域や振

動の大きさの違いがどのように書き味に影響するかは今後の課題だが、これらは紙によって生まれた差異であるため、紙のパラメータと関係があると考えられる。これらの差異の要因を明確にすることは、紙とペンに近い書き味を再現するのに有効であると考えられる。

4. 結言

本研究では、ボールペンで学習用ノート・画用紙に筆記した時の面内方向・面外方向それぞれの振動特性を測定した。学習用ノート・画用紙に共通した特徴として、面外方向の振動が面内方向と比較して大きく、特に高周波数域では顕著であった。

参考文献

- [1] Ahn, J., Park, J., & Kim, H. User experience of a stylus pen that can provide the texture of pen and paper. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(2), 52–63. (2019)
- [2] Y. Cho, A. Bianchi, N. Marquardt, N. Bianchi-Berthouze, RealPen: Providing realism in handwriting tasks on touch surfaces using auditory-tactile feedback, in: *Proc. 29th Annu. Symp. User Interface Softw. Technol. - UIST'16/* (2016)
- [3] Arasan, A., Basdogan, C., & Sezgin, T. M. HaptiStylus: A Novel Stylus Capable of Displaying Movement and Rotational Torque Effects. *arXiv:2104.01088*. (2021)
- [4] 大菅誠弥・井村誠孝・伊藤雄一・岸野文郎：振動により筆記感覚を再現するペン型インタフェース，情報処理学会インタラクシオン 2016 論文集，163A01. (2016)
- [5] 前野隆司：ヒト指腹部と触覚受容器の構造と機能，*日本ロボット学会誌* Vol.18 No.6, pp.772~775(2000)
- [6] 田中真美：触覚・触感のメカニズムの解明とセンサシステムの開発に関する研究，*精密工学会誌*, 82(1), pp.20-25. (2016)