

# 弾性体の飛び移り座屈機構によるヒト手首関節インピーダンス推定のための摂動入力

○矢木 啓介（筑波大学）、望山 洋（筑波大学）

## On the Perturbation input to Human Wrist with a Snap-Through Buckling Mechanism of Closed-Elastica

○Keisuke YAGI (Univ. of Tsukuba) and Hiromi MOCHIYAMA (Univ. of Tsukuba)

Abstract: The paper is concerned with a perturbation input for human wrist impedance estimation schemes. In this study, a snap-through buckling mechanism of closed-elastica is employed to impose a perturbation on the human wrist. A brief experiment is conducted to evaluate the mechanism and its viability is discussed.

### 1. 緒言

ヒトは課されたタスクに応じて自身の関節の固さや柔らかさを調整することができる[1]。この能力は機械インピーダンスの意味で定量的な評価が可能である[2]。ヒトが何らかのタスクを実行していく中でどのように自身の関節の固さを調節しているかについて具体的に知ることは、ヒトの活動を支援するデバイスの設計方針や性能評価につながるだけでなく、可変インピーダンス性を持つロボット・マニピュレータ[3]によるタスク実現の際のリファレンスとしても非常に重要である。

これまでに報告されているヒト手首関節の研究として、たとえば[4]–[7]がある。従来研究では手首関節のインピーダンス推定には外部トルクの入力と角度計測のために特定タスクを対象とする据え置き型の装置を必要としている。しかし手首が関わるタスクは多岐に渡るため、汎用性を持ったシステムが求められている。

本稿では弾性体の飛び移り座屈現象[8]を利用した機構によるヒト手首関節の機械インピーダンス推定手法について検討する。本研究で用いる機構は飛び移り座屈によって生じる弾性体の運動を、ワイヤを介して関節に伝達する構造をしている。すなわち、ワイヤが弛緩している間は関節の動きを阻害せず、かつ完全に引張した際には対象部位との間で衝突を生じ、関節に対して伸張反射の起こらない短い時間[9]に十分な大きさの摂動を入力できる。さらに、弾性体の飛び移り座屈は小型のサーボモータでの誘発が可能であり、デバイス全体を小型かつ軽量にできる。本稿ではまず第一段階として、飛び移り座屈機構が実現する摂動について実験的に確認する。手首関節の3自由度のうちFlexion-Extension (FE)軸の1自由度に本機構による摂動を入力して得られた手首の応答を確認する。

### 2. 飛び移り座屈機構

本稿で使用した機構およびシステム構成を Fig. 1 に示す。帯鋼の両端はサーボモータの軸に固定されてお

り、これらを回転させることで飛び移り座屈現象を生じさせる仕組みである。帯鋼の中心には、初期位置で弛緩する長さのワイヤが取り付けられており、この点が移動するとワイヤが完全に引張し、これを介して帯鋼の中心点の運動がヒトの手へと伝達される。

飛び移り座屈で生じる帯鋼の中心点の移動距離と速度をハイスピードカメラ(EX-100PRO: カシオ計算機)で撮影して解析した結果を Fig. 2 に示す。この図によると最大速度は約 20[m/s]の間に 10[m/s]に到達している。ヒトの手の重さ[10]を考慮すると、ある程度の摂動が期待できる。また、帯鋼の中心点の移動距離は約 110[mm]であり、これは何らかのタスク中の手首関節の可動範囲を阻害しないために十分な範囲であるといえる。

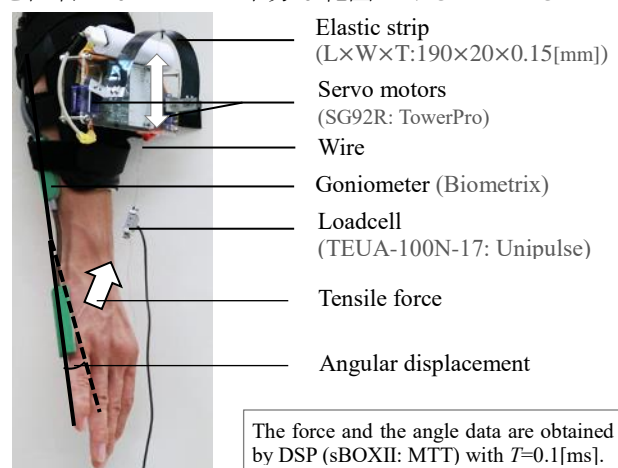


Fig. 1: The device and the configuration.

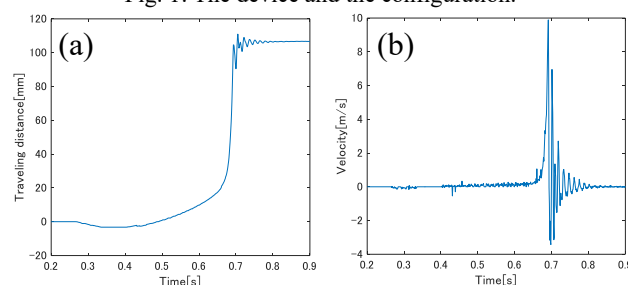


Fig. 2: (a) The traveling distance and (b) the velocity of the center of the elastic strip.

### 3. 振動特性の検証実験

#### 3.1 概要

実験は運動疾患歴の無い男性 1 名の右手首を対象として行う。ヒトの手首は 3 自由度を有するが、そのうちの Flexion-Extension (FE) を対象とし、引張力は Extension 方向に加える。立位姿勢で脱力した状態における 3 自由度の角度を原点とする。実験では 5 回の力情報と応答角度情報のデータ測定を行う。得られた力情報は 4 次バンドストップフィルタ (50Hz)、角度情報は 1 次ローパスフィルタ (50Hz) にてノイズの処理を行う。

#### 3.2 実験結果

実験で使用した各センサで得られた力データと角度データの最大量の平均値と標準誤差を Table 1 にまとめ、データセットの 1 例を Fig. 4 に示す。また、帯鋼の中心点が初期位置にある状態で、手首の 3 自由度すべての範囲で関節動作を阻害していないことを確認した。

Table 1: The experimental result.

	Tensile force [N]	Wrist angle [deg]
Mean value	5.46	4.66
Standard error	0.21	0.05

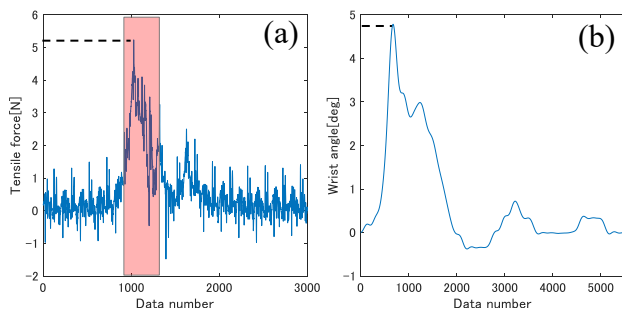


Fig. 3: A set of measured data. (a) The tensile force recorded by the loadcell. (b) The angular displacement.

#### 3.3 ディスカッション

Table 1 に示されたデータより、飛び移り座屈機構で実現可能な Tensile force は平均して 5[N] よりも大きく、ヒトの手の重さを考慮すると十分な大きさである。実際にこの時の手首関節の角度は平均して 4.6[deg] 程度の変位を生じている。また、Fig. 4(a) より Tensile force はヒトの伸張反射が生じる時間よりも短い 40[ms] 程度で応答を終えていることが確認でき、したがって Fig. 4(b) に示される応答には反射の影響が含まれていないといえる。以上より、手首関節のインピーダンス推定における、飛び移り座屈機構のアクチュエータとしての有効性がいえる。

振動入力 of 適切性が示された一方で、実験より、システムが装着型デバイスとなり汎用性が増した反面、自由度の拘束が困難になっていることが確認された。しかしこのことは、データ処理や解析を複雑化させる

ものの、タスクを実行中のヒト関節へのデバイスの影響を最小限に抑えるという観点からはむしろ利点になり得る。今後の課題として、本機構をデバイスとして完成させるとともに、タスク実行中のヒト関節に本手法を応用する際に、各軸方向に入力された振動の大きさや、各軸の状態同士の干渉の影響などを考慮できるよう、計測手法や推定手法についても検討していく必要があるといえる。

### 4. 結言

本稿では飛び移り座屈を利用するアクチュエーション機構を用いてヒトの手首関節の機械インピーダンス推定に向けた基礎実験を行った。各種センサのデータより、飛び移り座屈現象を利用した機構は短い時間に十分な振動を実現できるといえる。したがって、本機構はヒト関節インピーダンス推定のための新しい手段になり得る。

今後の展望として、システム自体の改善とともに、手首の高い自由度を考慮したデータ計測方法や処理方法を考案し、タスク実行中の手首関節の機械インピーダンス推定法として発展させていくことが望まれる。

### 謝辞

本研究は、NEDO「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」(調査研究)の助成を受けて実施した。ここに記して感謝の意を表する。

### 参考文献

- [1] N. Hogan, "Adaptive Control of Mechanical Impedance by Coactivation of Antagonist Muscles," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 29, no. 8, pp. 681–690, 1984.
- [2] R. E. Kearney and I. W. Hunter, "System Identification of Human Joint Dynamics," *Crit. Rev. Biomed. Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 55–87, 1990.
- [3] B. Vanderborght, et al., "Variable impedance actuators: A review," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 61, no. 12, pp. 1601–1614, 2013.
- [4] T. Tsuji, et al., "Human hand impedance characteristics during maintained posture," *J. Biol. Cybern.*, vol. 72, no. 6, pp. 475–485, 1995.
- [5] D. Formica, et al., "The passive stiffness of the wrist and forearm," *J. Neurophysiol.*, vol. 108, no. 4, pp. 1158–1166, Aug. 2012.
- [6] A. L. Pando, et al., "Position-dependent characterization of passive wrist stiffness," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 61, no. 8, pp. 2235–2244, 2014.
- [7] A. W. Peadar and S. K. Charles, "Dynamics of wrist and forearm rotations," *J. Biomech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2779–2785, 2014.
- [8] A. Yamada, et al., "Kinematics and statics of robotic catapults based on the closed elastica," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 3993–3998, 2007.
- [9] S. J. Fellows and A. F. Thilmann, "The role of joint biomechanics in determining stretch reflex latency at the normal human ankle," *Exp. Brain Res.*, vol. 77, no. 1, pp. 135–139, 1989.
- [10] [Online]. Available: <http://msis.jsc.nasa.gov/>