

# 手首装着型センサによるキーボード打鍵運動の評価 ～疲れないタイピングを目指して～

菅野谷知佳<sup>†</sup> 松下宗一郎<sup>†</sup>

**概要：**デジタル化が進んだ現在において、キーボードによる文字入力是不可欠なものとなっている。しかしながら、誤ったキーボード操作により腱鞘炎を発症する事例が知られており、打鍵操作を身体負荷という視点から正しく評価する必要があるものと考えられる。本研究では手首に装着するワイヤレス運動センサにより、タイピング時の手首運動を姿勢角変動とともに計測することで、キーボードの打鍵状況を分かりやすく評価する手法の検討を行った。

## Keyboard Typing Workload Evaluation System Using a Wrist-worn Motion Tracking Device

CHIKA SUGANOYA<sup>†</sup> SOICHIRO MATSUSHITA<sup>†</sup>

**Abstract.** A computer keyboard has become to be indispensable in daily life. However, some inappropriate ways of typing could cause tendinitis due to overuse of muscles and joints. In this study, the authors have investigated a wrist-worn wireless motion tracking device to evaluate the keyboard typing workload. Evaluation parameters based on the attitude angles of the user's wrist showed the changes in typing workload intuitively.

### 1. はじめに

コンピュータに情報を入力するデバイスであるキーボードは、その習熟にやや時間を要するといった問題があるものの、人間の意図を正しくかつ迅速にデジタル化する装置として不可欠なものとなっている。また、産業界においてはキーボードによる長時間における VDT 作業に対し、キーボードの位置調整や休憩の取り方といった作業安全に関する規定がなされている[1]。また、国外においては、コンピュータを使用する際の腕の角度や手首の置き方まで細かく記載されたガイドラインが存在する[2]。これらの規定やガイドラインは、作業時の姿勢を中心とした静的な部分に関するものとなっており、キーボード入力における身体運動のあり方そのものについては言及していない。すなわち、キーボードによる入力操作にて無理な力や姿勢が原因となる怪我が引き起こされる可能性があることから、運動そのものを正しく評価する必要があるものと考えられる。

本研究では、近年急速に性能向上が進んでいるモーションセンサ IC チップを用いた小型のワイヤレスデバイスを利用者の手首に装着し、加速度や角速度といった運動信号を分析することで、キーボード操作における身体運動の状況を評価するシステムの検討を行った。ここで、無理な力の入り方を分析するという視点では、センサに作用する力を運動信号に変換する加速度センサの適用が考えられる。しかしながら、検討を行ったところ、キーボード打鍵時の

衝撃等による影響が大きいことから打鍵状態の違いを安定して判別することは困難であった。一方、高精度な角速度センサの信号出力を時間積分することで、デバイスの姿勢角を推定するモーショントラッキングの手法では、はんだづけ作業といった精密作業の習熟に伴う手首運動様態の変化を客観的に数値化することができる事例が報告されている[3]。そして、人間の運動が原理的には関節を中心とした回転運動によりなされていることから、角速度信号をベースとした運動様態分析を試みることにした。

### 2. 手首運動を評価する手法の検討

無理のない手首の運動が行われる場合、手首位置にて計測される角速度はなめらかな変化をしていることが予想される。一方、急な加速や減速を伴うことで手首に負担がかかるキーボード打鍵では、角速度の単位時間あたりの変化量である角加速度にて急峻な変化が観測されるものと思われる。ここで、回転体が1つの剛体であり、回転軸が運動中に変化しない状況では、角加速度の変化は回転体に対して外部から加えられた回転モーメントの大きさに比例する。また、利用者の頭部に高感度な運動センサを設置し、軽疲労状態からの回復に伴う身体運動様態の解析結果からは、加速度の時間変化量、すなわち剛体に加わった力積の大きさを反映するパラメータと、角加速度の時間変化量の挙動が良く一致していることが報告されている[4]。そこで、キーボード打鍵による衝撃の影響をほとんど受けることのない角加速度の時間変化量により、手首に生じている負荷量を推定することができるのではと考えた。

<sup>†</sup> 東京工科大学コンピュータサイエンス学部  
School of Computer Science, Tokyo University of Technology

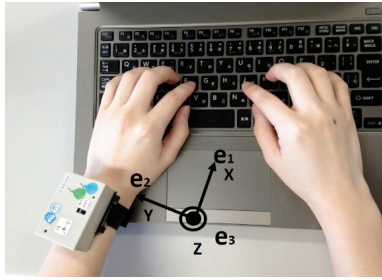


図 1 手首装着型センサによる打鍵評価実験の様子

Figure 1 Keyboard typing evaluation with wrist-worn device

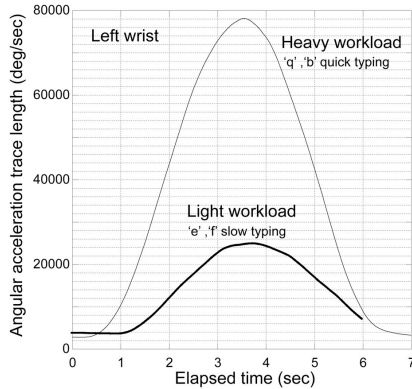


図 2 打鍵操作に伴う角加速度軌跡長の観測結果

Figure 2 Changes in AATL with different typing workload

図 1 は被験者の左手首に運動センサデバイスを装着し、キーボード操作における手首運動を観測した際の実験風景である。デバイスには 3 軸角速度センサ ( $\pm 1000\text{dps}$ ), 3 軸加速度センサ ( $\pm 8G$ ,  $1G = 9.8\text{m/s}^2$ ), 16 ビットマイクロコントローラ, 2.4GHz ワイヤレス通信モジュールが充電式のバッテリーとともに搭載されており、総重量は約 60 グラムとなっている。ここで、デバイス内部では角速度の時間積算により、デバイスの姿勢角を互いに直交する 3 つの単位ベクトル  $e_1, e_2, e_3$  の座標値にて出力している[3]。そして、手首に対し垂直な位置に置かれた  $e_3$  ベクトルの方向余弦成分  $e_{3x}, e_{3y}$  によって、手首の姿勢を表すこととした。また、手首運動の激しさを反映する角加速度の変化については、3 軸角加速度ベクトルの単位時間あたり空間軌跡長である角加速度軌跡長(AATL : Angular Acceleration Trace Length)により評価を行った[4]。ここで AATL の積算では、キーボード打鍵における手首運動のスピードならびに数値の時間安定性を考慮した結果、底辺 3 秒間、上辺 1 秒間の台形型窓関数を用いることとした。図 2 は 2 つのキーを繰り返し打鍵した際の左手首における AATL の変化を図示したものであり、標準的な JIS 配列キーボードでは比較的低負荷となる e と f のキーをゆっくりと交互に 6 回ずつ打鍵した場合と、手首の動作量が大きくなる q と b のキーをできる限り速く、約 3 秒間にわたって打鍵した場合との比較を行っている。この結果、手首への負荷が大きくなる q と b のキーを打鍵した場合には、AATL の値が明確に増大していた。

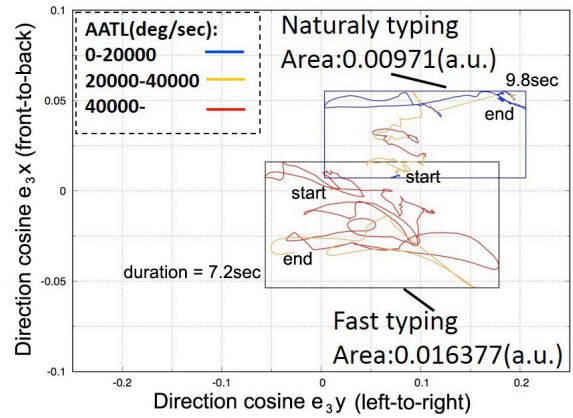


図 3 姿勢角投影と AATL による打鍵状態の可視化結果

Figure 3 Mapping result with the attitude vector and AATL

### 3. 手首運動状況の可視化

キーボード打鍵による手首への運動負荷は、運動自体の激しさとともに、姿勢角度の影響を受けていることが考えられる。そこで、 $e_{3x}$  及び  $e_{3y}$  にて姿勢角の変化を X-Y 平面上に投影するとともに、AATL 値に応じた着色を行うことで、キーボード打鍵運動状況の可視化を試みた。ここでは、ローマ字かな変換にて各指を均等に用いることとなる「宜しくお願い申し上げます」という短文を、普段の自然なスピードと、できる限り急いだ状態にて入力する実験を行った。図 3 は実験データの可視化結果を示したものであり、姿勢角の軌跡プロットを AATL の値に応じて 3 段階で色分けした表示となっている。ここで、方向余弦の最大最小値によって決定される矩形の面積を計算したところ、急いで入力を行った場合には面積が約 1.7 倍に増大していることが分かった。また、軌跡プロットの着色状況からは、急いだ状態では AATL 値がタイピングの開始直後から終了に至るまで、高い値を保っていることが分かった。

### 4. まとめと今後の展望

本研究では、利用者の手首に小型軽量のワイヤレス運動センサを装着することで、キーボード操作における手首運動負荷の状態を客観的に評価できる可能性を見いだした。今後は更に詳細な検討を進め、疲れないタイピング方法を的確に教示するシステムを目指して行きたいと考えている。

### 参考文献

- [1] “新 VDT 作業ガイドラインのポイント”  
[http://tokyo-roudoukyoku.jsite.mhlw.go.jp/jirei\\_toukei/enzen\\_eisei/toukei/enzen-vdt.html](http://tokyo-roudoukyoku.jsite.mhlw.go.jp/jirei_toukei/enzen_eisei/toukei/enzen-vdt.html) (2016)
- [2] “A GUIDE TO WORK WITH COMPUTERS”.  
<http://www.labour.gov.hk/eng/public/oh/DisplayScreen.pdf> (2010)
- [3] 松下宗一郎, 菅野谷知佳, 甲斐美月, 鹿野雄輝 : 手首装着型モーショントラッキング機器による精密作業評価, 日本コンピュータ外科科学会誌 Vol. 18, No. 4, pp.239-240 (2016)
- [4] 松下宗一郎, 細井悠貴, 岩渕圭太 : 常時利用可能なヘッドホン型バランス状況モニター, 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011) 講演予稿集, 第 3 分冊, pp.47-54, 函館 (2011)