

デビルスティック動作上達のための動作解析手法の検討

竹島慎太郎[†]伊藤一成[†][†] 青山学院大学社会情報学部

1. はじめに

ジャグリングはサーカス、大道芸等の場を通して古くから世界中で親しまれている。なかでもデビルスティックは、真ん中に近づくにつれて外周が小さくなる円柱状のセンタースティック（以下 CS と表記する）を、両手のハンドスティック（以下 HS と表記する）を用いて空中で叩いて操ることにより多彩な動きを可能とする。一方でその動きの特異性から初級者にとっては技を習得することが難しい。

本研究の目的は、デビルスティックジャグリングの初級者特有の身体の動作を検出し、フィードバックすることにより初級者の学習を支援するシステムを開発することである。

本稿では、デビルスティックの基本技であるアイドリング運動中の腕の動きにおける、加速度センサを用いた特徴量の検出及び、特徴量の習熟度別の違いの検出の2点について検討する。

2. 関連研究

萬絵、磯山、Lopez らは、腕に取り付けた高精度加速度センサである TSND121 と、スマートウォッチである Moto360 に搭載されている加速度センサによって、ジャグリング運動に伴う両腕の加速度を計測し、ボールジャグリング動作における初級者と上級者の動作分析を行った後、判別分析によって初級者と上級者の分類を行った[1]。

本田、斉藤、井尻らは、加速度センサである WT901BLECL を搭載し、トレーニング種目・トレーニング回数・ユーザを自動的に推定し記録できる、スマートダンベルを提案した[2]。

3. 実験

3.1 実験概要

本実験において、上級者3名と初級者5名の、計8名の被験者を対象とした。被験者の測定部位に加速センサを取り付けてから、デビルスティックの基本的な技である、アイドリングと呼ばれる技の動作を15回分計測し、得られたデータを分析する。

実験協力者はアイドリング運動を複数回できることを基準に選定し、上級者と初級者の分類は、より上位のプロペラという技を連続で行える者を上級者とし、それ以外の者を初級者としている。

デビルスティックは Mister Babache 社のミスターババッシュ デビルスティック グリッターレッド（長さ675mm、重さ130~140g）を用いる。

加速度センサには、WIT Motion 社の WT901BLECL を用いる。WT901BLECL は 51.3mm×36mm×15mm の小型の加速度センサであり、また、Bluetooth を用

いて遠隔でデータを記録できる。

実験では、センサの測定範囲について加速度を±16G、角速度を 2000deg/s に設定し、帯域幅は 10Hz、サンプリングレートを 20Hz に設定した。

被験者に加速度センサを取り付ける際、アイドリング運動中に、肘から手首の上下運動が最も大きくなると考えられる。そのため、被験者の手首に加速度センサの x 軸と地面が垂直になるようにセンサを取り付け、ジャグリング運動中の利き手の x 軸加速度の時系列データの変化を計測する。

WT901BLECL を腕に取り付けたときの X 軸、Y 軸、Z 軸について次の図 1 に示す。

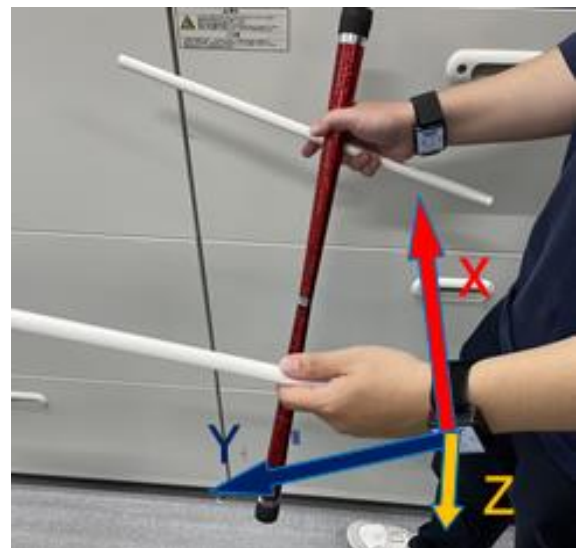


図 1. 手首に対する加速度センサの軸の向き

3.2 アイドリング

デビルスティックにおけるアイドリング動作は CS を HS で叩いて地面と垂直に回転を加える運動であり、両腕を上下に動かす周期的な運動であると考えられる。

このとき、片手の HS から CS の上半分を空中で叩いて、もう一方の手の HS に CS を渡す動きを 1 回分として求め、これを繰り返す。

片手の加速度データにおける周期は、1 度叩いた CS が反対の手で叩かれることによって元の手に戻った後、再び叩かれるまでを 1 周期とする。

4. 実験結果

4.1 分析手法

アイドリング動作において、1 周期ごとに CS を叩くまでの間で、腕の上下運動における加速度が最大値まで上昇し、CS を叩いた後、もう片方の HS に

渡った CS が叩かれて戻ってくるのを待つまでの間に、腕の上下運動における加速度が最小値まで減少すると考える。

利き手の測定データにおける、周期ごとの X 軸加速度の最大値、最小値を抽出する。また、ある周期の最大値・最小値から次の周期における最大値・最小値が計測されるまでの、周期間の時間も抽出を行う。

例として、最大値の平均が高ければ高いほど 1 回あたりに CS を叩く強さが大きい。また最大値における標準偏差は叩く強さが常に一定になっているかの指標になると考える。

加えて極大値間の時間は、被検者が CS を叩くテンポを示すと考える。平均が高ければ高いほど 1 度利き手で CS を叩いてからまた利き手で CS を叩くまでの時間が長く、ゆっくりとしたテンポでアイドリング動作を行っていると考える。標準偏差は一定の間隔で CS を叩いているかの指標になると考える。

周期ごとの最大値、最小値の抽出には Python を用いる。また、上級者グループと初級者グループの間で各パラメータの平均に差があるのかを測定する t 検定を、Excel を用いて実施する。

4.2 データ処理

アイドリング動作を行っている加速度データのみを分析するために、アイドリング動作を始める動作、終える動作のデータは分析に含めないよう削除した。

加えて、加速度センサの誤動作であると考えられる加速度データは削除した。このとき、アイドリング動作中の被験者の様子を撮影し、動画と比較しながら、値が中央値+中央絶対標準偏差×7 のデータを取り除いた。

4.3 分析結果

上級者グループ (E) と初級者グループ (N) の母集団の平均値は等しい、という帰無仮説に対する p 値が低かった最大値の標準偏差と、最小値間の標準偏差を分析する。

以下の表 1、表 2 に、被験者ごとに標準化された 2 つのパラメータを示す。

表 1 最大値の標準偏差

	最大値標準偏差 (G)	標準化後最大値標準偏差
E1	0.019126148	-0.931904595
E2	0.035936518	-0.201468171
E3	0.031092604	-0.411943698
N1	0.026516841	-0.610767613
N2	0.049513747	0.388483271
N3	0.092188345	2.242760123
N4	0.026896628	-0.594265306
N5	0.043314259	0.119105990

表 2 最小値間の標準偏差

	最小値間標準偏差 (ms)	標準化後最小値間標準偏差
E1	2391.920612	0.668162488
E2	2594.740193	1.149502959
E3	1881.762649	-0.542567134
N1	1281.336685	-1.967524801
N2	1982.835488	-0.302696567
N3	2135.790397	0.060302842
N4	2089.509012	-0.049534203
N5	2525.152530	0.984354416

上級者と初級者グループでそれぞれのパラメータにおける平均値の差を t 検定にかけた結果、上級者グループと初級者グループの各パラメータで有意差を得ることはできなかった。各パラメータにおける平均値の差を t 検定にかけた際の p 値を以下の表 3 に示す。

表 3t 検定 p 値

	最大値	最大値間隔	最小値	最小値間隔
平均の p 値	0.833168	0.455167	0.974792	0.479215
標準偏差の p 値	0.291937	0.43518	0.835887	0.392548

$p = .05$ の両側検定にかけた結果、すべてのパラメータにおいて $p > .05$ であり、有意な差を得ることはできなかった。

5. まとめと今後の展望

本研究では、加速度センサを用いてデビルスティックを用いたアイドリング運動の加速度データを抽出し、熟達度によるパラメータ間の違いの抽出方法を検討した。

周期ごとの最大値、最小値、最大値間の時間、最小値間の時間の平均値、標準偏差における上級者と初級者間の違いの抽出を検討した。しかし有意な差を抽出することはできなかった。

改善点として、上級者と初級者の定義をより明確にする必要があると考えられる。例として、アイドリング動作を 100 回以上続けられた者を上級者とする、といった基準を設けるなどが挙げられる。

最後に、本研究ではアイドリング動作において熟達度の違いがもたらすパラメータ間の違いの抽出を検討したが、デビルスティック運動における他の技におけるパラメータ間の違いの抽出方法を検討する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 萬絵, 磯山直也: ボールジャグリング動作上達のための特徴抽出の検討, 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, pp. 259-260 (2016)
- [2] 本田悠貴, 斉藤翼, 井尻敬: 加速度センサを利用したスマートダンベルによるトレーニング種目とユーザの推定, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, pp. 160-163 (2022)