

# タップダンスの習熟度判定と修得支援を目的とした、圧力センサによるタップタイミング計測の試み

山口 直彦<sup>1,a)</sup> 菅谷 藍子<sup>2,b)</sup>

**概要:**本研究は、タップダンス入門者の習熟度判定及び修得支援を目的として、タップのタイミングを計測するシステムを構築・目標タイミングと実際のタップタイミングの誤差を可視化する事を目指す。具体的にはタップシューズの中敷き4か所（左右計8か所）に圧力センサを貼り付け、ボール（足先側の金具）・ヒール（かかと側の金具）をタップするタイミングを検出する。システムが発するメトロノーム音に合わせて踊る事で、目標タイミングと実際のタップにどれだけの時間誤差があるかを知ることができる。

## 1. はじめに

### 1.1 タップダンスとは

タップダンスは靴のつま先やかかを床をリズムカルに踏み、音を鳴らしながら踊るダンスである。アイルランドの伝統的な踊り Jig に由来するとされる。産業革命期（1800年代）にアメリカに渡り、アフロ・アメリカンの伝統音楽と融合し、さらにジャズ音楽の文化と混じりながらタップ・ダンスに進化、ミュージカルや映画に取りこまれて普及した [1], [2], [3].

元々の Jig は木靴を踏み鳴らすスタイルの踊りであったが、木靴が革靴に変わり、靴底に専用の金属板を打ち付けた「タップシューズ」を用いて、これを鳴らすスタイルになったところに大きな特徴がある。従ってタップダンスは全身を動かす「身体表現」であると共に、タップシューズの出す音・リズムを楽しむ「楽器演奏」の側面も持つ。

### 1.2 日本におけるタップダンス受容

日本における本格的なタップダンスの始まりはジョージ堀が1931年に日本で最初のタップダンス教室を開いた事とされる。特にジョージ堀の指導を受けた中川三郎は1933年に17歳で渡米してタップダンサーとして成功を収め、1935年に帰国して熱烈歓迎を受け、戦前の日本では広く流行した。しかし1941年の真珠湾攻撃から第二次世界大戦が始まるとアメリカ由来のタップダンスも禁制となってしまった。

終戦後は戦前ほどの流行にはならなかったものの、吉田タケオ、中野ブラザーズ（中野啓介・中野章三）、佐々木隆子などのダンサーが日本発のタップダンサーとして活躍した。1990年以降、ヒップホップの流行と共にタップダンスにも再び注目が集まり始めた。特に火口秀幸（HIDEBOH）は北野武監督『座頭市』（2003年）の下駄タップや水谷豊監督『TAP THE LAST SHOW』（2017年）といった映画を通じて、平成の日本でタップダンスを再注目させた。

### 1.3 研究の意義

先述の通りタップダンスは「身体表現」と「楽器演奏」という異なる2つの表現活動が融合した表現手法であって、ダンス・運動分野の観点からも音楽演奏分析の観点からも研究対象として興味深い。しかしながら先行研究を調査しても、タップダンスに着目した工学的研究は少ない。

またタップダンスを学びたいと思う人にとっては、学ぶ場所が少ないという現状がある。一例として、iタウンページを用いて「社交ダンス」で検索すると全国で1426件がヒットするのに対し、「タップダンス」では全国で93件しかヒットしない（2023年10月30日調べ）。タップダンスの指導者も相当少ないと推測され、タップダンスの修得支援技術を研究することで、自主訓練によるタップダンスの上達手段を提供したり、科学的な根拠に基づく新しいタップダンス指導が実現できると考えられる。

## 2. 研究目的

本研究はタップダンスの習熟度判定と修得支援を実現することを目的として、圧力センサを組み込んだタップシューズを用いた計測システムを試作する。具体的な習熟

<sup>1</sup> 東京国際工科大学

<sup>2</sup> フリーランス（タップダンサー）

<sup>a)</sup> yamaguchi.naohiko@t.iput.ac.jp

<sup>b)</sup> aichancotap@gmail.com



図 1 タップシューズの例

度判定の方法として、メトロノームに合わせてタップを踏み、その圧力信号を記録することでメトロノームとのずれやリズムのばらつきを評価する。

タップ音を出す方法は多数あるが、本研究では最も基本的なボールタップ・ヒールタップ・スタンプ・ストンプ・シャッフル・フラップを対象とする。

### 3. 先行研究

類似の先行研究として、山元亮典らの発表 [4] がある。山元らの研究はタップダンスの修得支援を目的とし、靴の中に圧力センサを入れて計測をしているという点では本研究と類似しているが、山元らは靴に取り付けたモーションセンサを主たるセンサとしていて圧力センサは補助的な役割である事が大きく異なる。また本研究では最終的に重心の計測を行う事も視野に入れており、圧力センサの配置も異なっている。

### 4. タップダンスの用語

事前知識として、本稿を理解するために必要となる最小限のタップダンス専門用語\*1について解説する。

#### 4.1 タップシューズとタップス

タップダンスに使用する靴（タップシューズ）には、靴底に音を出すための金属片が打ち付けてある。この金属片を「タップス」という。タップスはつま先と踵についており、つま先側を「ボール (Ball)」, 踵側を「ヒール (Heel)」と呼ぶ。タップシューズの形状は図 1 のように靴底が比較的フラットなダンスシューズ様のものが標準的であり、本研究ではこのタイプを対象とする。タップシューズの例を図 1 に示す\*2。

その他の形状としてハイヒール状のものやスニーカー状

\*1 タップダンスの用語は必ずしも統一されておらず、指導者や文献によって定義が異なる事に注意を要する。

\*2 引用：Basement CAPEZIO TAP SHOES CG102 TAP OXFORD <https://basement-webshop.com/SHOP/28-01238.html>

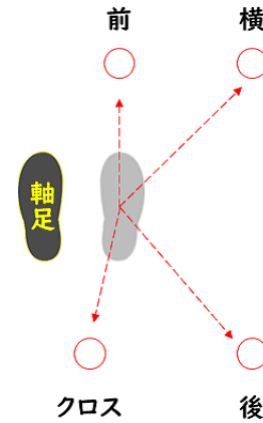


図 2 タップポジション（左を軸足とした場合）

のもの、特殊例として下駄を履いてタップを踊る例もあるが、本研究では対象外とする。

#### 4.2 タップする位置（ポジション）

タップダンスを踊る際は、足を軽く開いて直立した状態を基準としつつ、足を前・横・後ろなどに動かしながらタップする。この時「前」と言った場合は遊脚（軸足の反対側）を半歩～1歩正面に踏み出した位置、「横」と言った場合、遊脚を前方約 45 度外側に半歩～1歩踏み出した位置を表す。「後ろ」と言った場合は軸足の膝を曲げて重心を落とし、遊脚を後方約 45 度外側に半歩～1歩伸ばした位置を表し、足を交差させて身体の後方をタップする「クロス」と区別する（図 2）。

#### 4.3 タップ音の出し方

タップスから音を出す基本はボールを床に打つ (Ball Tap), ヒールを床に打つ (Heel Tap) の 2 種類となる。ボール・ヒールのうち、鳴らさない方は宙に浮いている場合も床につけたままの場合もある（図 3）。ただし必ずしもタップスの全面を打ちつけるとは限らず、例えば足を後ろに向けてボールをタップする時は足の内側寄り部分だけを打ちつけることになる。

足を真上から降ろしボールとヒールを同時に鳴らすこともある。この時重心移動が伴う場合はスタンプ (Stamp), 重心移動を伴わないとストンプ (Stomp) という（図 4）。

体重のかかっていない方の足を前方に蹴り上げながらボールを床に当てて音を出す動きをブラシ (Brush) という。逆に前に出た足を手前に引き下ろしながらボールを床に当てて音を出す動きはバックブラシ (Backbrush) という。軸足を変えず、ブラシとバックブラシを連続で行う動きをシャッフル (Shuffle) といい、これもタップダンスの基本ステップとされる（図 5）。バックブラシのあと体重を反対の足に乗せ換える場合はフラップ (Flap) という。

以上が最も基本的なタップ音の出し方である。この他に蹴り上げをヒールで行うスカッフ (Scuff), スカッフとブ

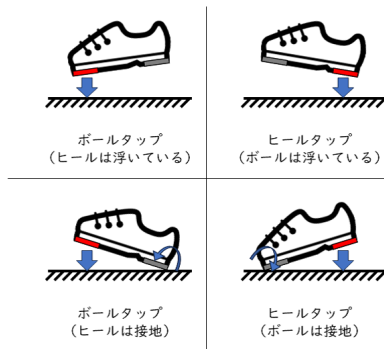


図 3 タップ音の出し方 (1)：ボール・ヒール



図 4 タップ音の出し方 (2)：スタンプ・ストンプ



図 5 タップ音の出し方 (3)：シャッフル・フラップ

ラシ引き下ろしを連続で行うスカッフル (Scuffle), つま先の先端を軽く床に打ちつけるトーパンチ (Toe Punch)<sup>\*3</sup>, タップスを床に擦り付けて摩擦音を出すスライド (Slide), ボールやヒール同士を打ち付けて音を出すクリック (Click) などの多数の方法があるが, 本研究では対象外とする。

## 5. タップタイミング計測システム

### 5.1 計測システム概要

本研究で使用する計測システムの全体ブロック図を図 6 に示す。計測装置は一つのケースに収め, 被験者の腰部に固定する。計測装置の中心はマイコン (M5 Stack Gray) で, 計測を開始すると, 内蔵スピーカーから一定テンポでメトロノーム音を流しながら, メトロノームのタイミング・圧力センサの計測値・マイコン内蔵 IMU から取得した加速度, 角速度, 姿勢を Bluetooth Serial で PC に送信する。

### 5.2 圧力センサによるタップ圧検知システム

厚み約 0.8mm のポリプロピレン板<sup>\*4</sup>を, タップシューズ内にぴったり収まる中敷き形状に切り抜く。この中敷き裏 (靴底) 側に, 厚さ約 0.2mm の高分子厚膜フィルム式圧力センサ (MF01A-N-221-A11) を貼り付ける (以下これをセンサ中敷きと呼ぶ)。このセンサは直径 14.7mm の範囲で 3~150[N] の圧力を検出し, 圧力を抵抗値に変える。センサはボール・ヒールに各 2 か所, すなわち左右の足で計 8 か所に貼付する。貼付位置は, 足長方向は靴底のタップ

<sup>\*3</sup> トータップ (Toe Tap) と表記する場合もある

<sup>\*4</sup> 実験には株式会社ハピラ製のねんど板 (100 円ショップキャン ドゥで購入) を使用

ス (金属板) のおよそ中心部にくるようにつま先・かかと先端からの長さを計り, 足幅方向はセンサが中敷きからはみ出さないギリギリの位置に貼った。圧力センサの配置と記号を図 7 に, 作成したセンサ付き中敷きの写真を図 8 に示す。

圧力センサの計測結果は抵抗値として出力される。計測回路から 5V の電圧を圧力センサの一端子に与え, 反対の端子を固定抵抗に接続して分圧回路を構成し, 電圧に変換する。その電圧をアイソレート用のボルテージフォロウ回路を通じてアナログスイッチ IC (CD4066BN) へ入力する。このアナログスイッチは後段のフィルムコンデンサ及びオペアンプと一体となってサンプル&ホールド回路を成す。圧力の計測を行いたいタイミングでアナログスイッチに送る計測タイミング信号を L にすると, その瞬間の電圧をホールドする。これにより 8 つの圧力信号をタイミング信号によって同期を取りつつ, 12bit8chA/D コンバータ (MCP3208-CI/P) で A/D 変換してマイコンに取り込む。1ch (センサ 1 つ) 分を抽出した計測回路図を図 9 に示す。

計測回路・マイコン・モバイルバッテリーは 1 つのケースに収め, ベルトで被験者の腰に固定する (図 10)。

### 5.3 データの取得・保存

データの計測周期は 10msec とする。これはマイコンの性能限界を考慮して決定した。基準テンポを 150[bpm] としたときの 1 拍をさらに 40 分割 (16 分音符を 10 分割) して記録できる周期に相当しており, 十分な計測周期であると判断した。

記録するデータは圧力センサの値 (8 個) の他, メトロノーム音のタイミングを一緒に保存する。また参考情報として, マイコン内蔵の IMU から取得した加速度・角速度・姿勢情報<sup>\*5</sup>を保存する。

保存した情報はテキストデータ (タブ区切りテキスト) 形式に整形し, Bluetooth Serial を通じて随時出力する。ペアリングした PC でターミナルエミュレータソフト (Ter-aTerm 等) を起動し信号を受信することで, 計測結果を閲

<sup>\*5</sup> マイコンは腰に固定しているため, 腰の動きに相当する

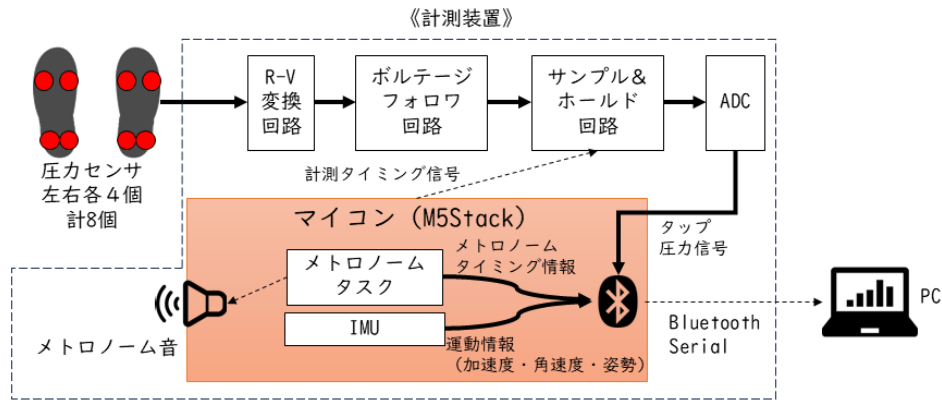


図 6 計測システムの全体図

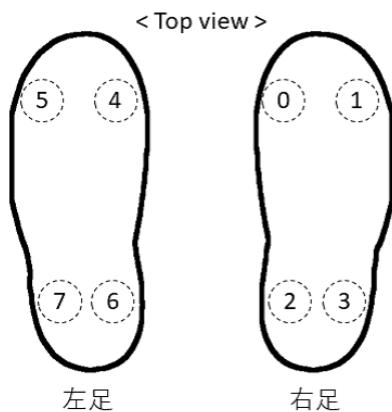


図 7 圧力センサの配置と記号

番号	右足 / 左足	つま先 / かかと	内側 / 外側	記号
0	右足 R	つま先 B	内側 I	RBI
1			外側 O	RBO
2	左足 L	かかと H	内側 I	RHI
3			外側 O	RHO
4	右足 R	つま先 B	内側 I	LBI
5			外側 O	LBO
6	左足 L	かかと H	内側 I	LHI
7			外側 O	LHO



図 8 センサ中敷き (裏(靴底)側)

覧・保存することができる。

## 6. 計測実験

### 6.1 実験概要

計測システムを装着した状態で指定のフレーズを演奏し、メトロノームと同期して各所の圧力が計測できる事を確認する事とメトロノーム音とのずれやリズムのばらつきを評価する事を目的として、計測実験を行った。

### 6.2 実験環境

実験は東京国際工科専門職大学が所有するモーションキャプチャルームで実施した。完全な防音環境ではないが、余計な騒音のない静かな状況で実験を行っている。マイコンから発するメトロノーム音の音量は自由に調整ができるため、メトロノーム音がしっかりと聞こえる状態に設定して実験を行った。

タップダンスを踊るためには木の床(タップ板)が必要であるため、塗装コンパネ(900mm 四方)の裏にスポンジゴムを9か所に貼りつけたものをタップ板として用意した。

被験者はタップダンスプロ1名(タップダンス歴18年、靴サイズ22.5cm)である。あらかじめ普段使用しているタップシューズを計測してセンサ中敷きを作成しておき、これを靴の中に入れて計測を行った。

Bluetooth Serial で送られる計測データを実験者の PC にてターミナルソフトウェア(TeraTerm)を用いて随時受信し、保存した。また参考情報として正面、側面、俯瞰の3方向から動画を撮影した。

### 6.3 実験条件

本研究で対象とするステップ(ボールタップ・ヒールタップ・スタンプ・ストンプ・シャッフル・フラップ)を網羅し、かつ現実的な(実際に振付に使用できる)動きとして表1に示す13パターンを選定した。テンポは60[bpm]と100[bpm]で、各譜割り(4分音符, 8分音符, 16分音符)毎に1小節(以上)ずつ演奏した。

### 6.4 実験結果

#### 6.4.1 圧力の計測

計測結果の一例として図11に、【スタンプ, 左右交互(左足), 4分音符, テンポ60】の条件で計測した圧力波形から、左足1ステップ分を拡大した波形を示す。スタンプは足を真上から降ろしてボールとヒールを同時に鳴らす奏法であるから、左足に取り付けた4つのセンサがほぼ同時に立ち上がる波形を期待していたが、実際にはヒール側のセンサ(LHO, LHI)だけが反応し、ボール側のセンサ(LBO, LBI)はほとんど見えないという結果となった。ま

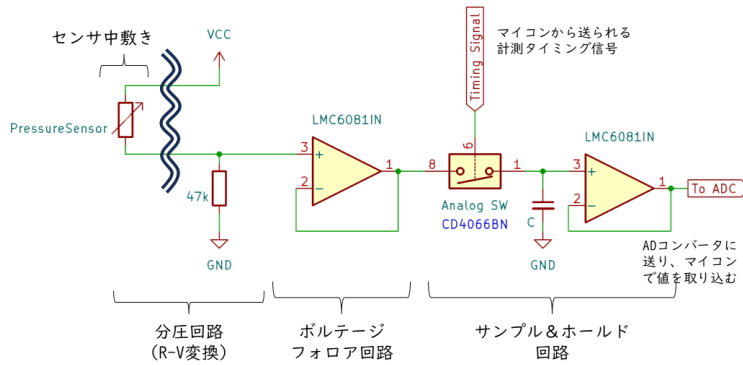


図 9 計測回路 (1ch 分のみ抜粋)

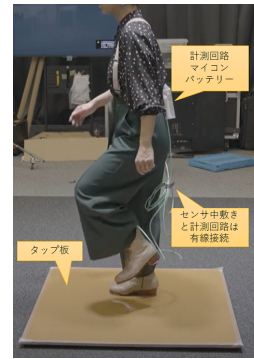


図 10 実験風景

表 1 実験条件

No.	ステップ	足	譜割り
01	ボール&ヒール	左右交互	4,8,16 分
02	ストンプ	右	4,8,16 分
03	ストンプ	左	4,8,16 分
04	スタンプ	左右交互	4,8,16 分
05	ブラシーバックブラシ交互 前	右	4,8,16 分
06	ブラシーバックブラシ交互 前	左	4,8,16 分
07	ブラシーバックブラシ交互 横	右	4,8,16 分
08	ブラシーバックブラシ交互 横	左	4,8,16 分
09	ブラシーバックブラシ交互 後ろ	右	4,8,16 分
10	ブラシーバックブラシ交互 後ろ	左	4,8,16 分
11	シャッフル 横	右	4,8 分
12	シャッフル 横	左	4,8 分
13	フラップ	左右交互	4,8 分

表 2 タップタイミングずれ評価対象データ

周期 T[msec]	テンポ [bpm]	譜割り	対象データ数
1000	60	4 分音符	8
600	100	4 分音符	8
500	60	8 分音符	16
300	100	8 分音符	15
250	60	16 分音符	32

たヒール側のセンサについては圧力の変化が記録できているものの、圧力が大きかった LHO は出力が飽和してしまい、圧力のピークタイミングが読めないという結果となった。これに限らず全体にボール側のセンサは反応が悪く、十分な計測結果を得られなかった。体重をかけず、ボールを軽く打ち付けて鳴らす「ブラシ」や「シャッフル」も検出ができなかった。

#### 6.4.2 タップタイミングずれの評価

【ストンプ, 右足, テンポ 60 及び 100】の条件で計測した圧力波形から、タップタイミングずれの評価を試みた。分析対象となったデータを表 2 に示す。

圧力信号と同期して記録されたメトロノーム信号から、4 分音符のタイミング (メトロノーム信号に等しい)・8 分音符のタイミング (メトロノーム信号の  $\frac{1}{2}$  周期)・16 分音符のタイミング (メトロノーム信号の  $\frac{1}{4}$  周期) を求め、こ

れを基準タイミングとした。

タップタイミングの計測は右足の圧力信号のうち、有効な圧力が計測できていた RHO と RHI を使用した。RHO と RHI のうち値が大きい方 ( $signal[t] = \max\{RHO[t], RHI[t]\}$ ) を求め、基準タイミング近傍で  $signal[t]$  がピークとなる時間を求めて、基準タイミングとの時間差 (基準タイミングより遅れたときを正、基準タイミングより早い時を負と定義する) を「タップタイミングずれ時間」と定義した。なお圧力波形の計測周期 (時間分解能) が 10[msec] であるため、「タップタイミングずれ時間」の時間分解能も 10[msec] である。

算出した「タップタイミングずれ時間」の分布・平均値・平均値の近似直線を図 12 に示す。基本的に基準タイミングに対し実際のタップ (圧力ピーク) は遅れる傾向にあり、足さばきが速くなる (周期が短くなる) につれて遅れが小さくなる結果となった。しかし【テンポ 100, 8 分音符】の条件だけは基準タイミングに対し実際のタップ (圧力ピーク) が顕著に先行していた。

## 7. 今後の課題

今回計測した実験データのうち、まだ分析できていないデータが多数存在するため、さらなる分析を行いたい。また現在は Excel を用いて手動で分析を行っているため、自動的に分析を行える仕組みを整えたい。

今回は全体的にボール側の圧力がうまく計測できない結果となった。ブラシやシャッフルのように「軽く」タップを打ちつけて音を鳴らす動きを計測するためにはセンサの感度を高める必要があると思われる一方で、単に感度を高めてしまうと軸足に体重を乗せたときに計測値がオーバーフローしてしまい、重心の計測ができなくなってしまう可能性がある。正確なタップタイミングの検出と重心検出を両立させるためにはダイナミックレンジの広い圧力を計測できる方法を模索する必要があると考えられる。センサの貼付位置調整やセンサ感度の見直しにより改善ができるかどうかを今後検証していきたい。また今回使用した圧力センサは「点」の圧力を検出するものであるが、中敷き全体

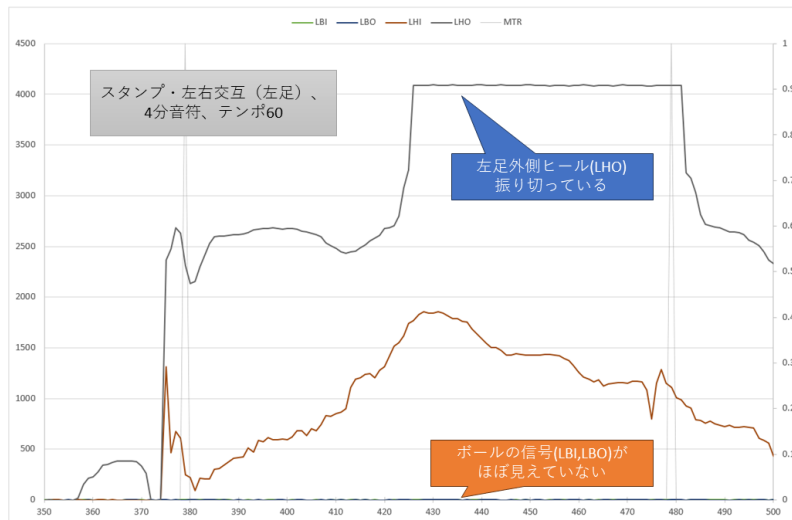


図 11 圧力計測結果の例【スタンプ, 左右交互 (左足), 4分音符, テンポ 60】

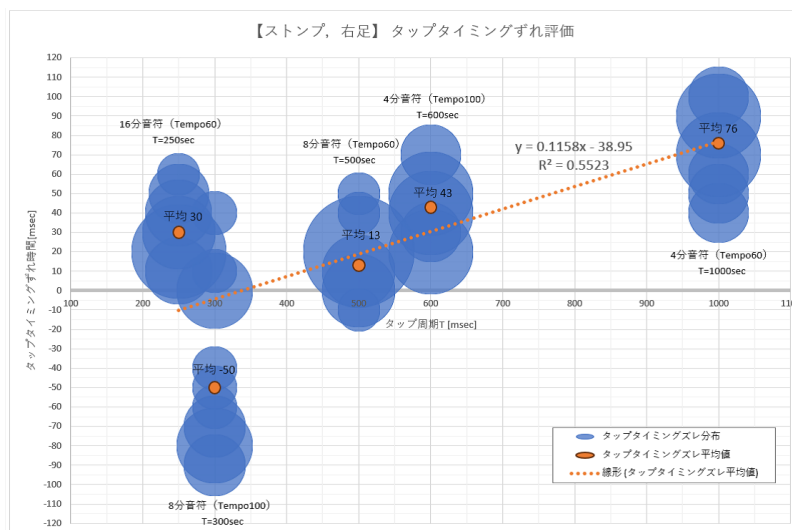


図 12 タップタイミングずれ評価の例【スタンプ, 右足, テンポ 60 及び 100】

の圧力分布を「面」で計測できるセンサを採用することで改善できる可能性もあるため、検証を続けていきたい。

## 8. おわりに

本研究は、タップダンスの習熟度判定と修得支援を実現することを目的として、圧力センサを組み込んだタップシューズを用いた計測システムの試作と基本検証を行った。

実験の結果、ヒール側の圧力は比較的よく検出ができ、ストンプを対象としてタップタイミングずれ評価を行うことができた。その一方でボール側の圧力を検出することができず、計測装置のさらなる改良が必要であることがかった。

**謝辞** 東京国際工科専門職大学の渡部健司教授には、実験場所の提供及び映像撮影にご協力を頂きました。感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 富田かおる：新装版 パーフェクトタップダンシング，文芸社 (2005)。
- [2] Margaret Miller: *American Tap Dance History and Proposed Preservation*, Honors College, Pace University (2018)。
- [3] Constance Valis Hill: *Tap Dancing America: A Cultural History*, Oxford University Press (2010)。
- [4] 山元 亮典, 三輪 貴信, エンリケズ ギエルモ, ヤップ フェイ イー, 橋本 周司: タップダンサーの技術向上のためのリズム計測タップシューズの開発, 第 78 回全国大会講演論文集 (2016)。