

楽器演奏時における予備動作がテンポ維持に与える影響

足達 優^{†1,a)} 阪口 豊^{†2} 西井 淳^{†1}

概要: 楽器演奏時に適切なタイミングで音を出すためには、要求されるリズムに応じて予備動作を時々刻々と変化させる必要がある。その困難さがテンポ維持をしばしば困難にしている可能性がある。また、演奏時の注意の向け方が楽器演奏のパフォーマンスに影響を及ぼすと指摘するプロの演奏家は多い。そこで、本研究ではリズム変化が予備動作に与える影響および、注意の焦点の違いがテンポ維持と予備動作に与える影響を解明することを目的とした。計測実験では、被験者 10 人に対して 5 種類のリズムパターンによるタッピング課題を課した。また、各リズムパターン毎に「手の動きに注意を向ける」(内的注意条件)、「聞こえてくる音に注意を向ける」(外的注意条件)、及び統制条件を設けた。その結果、タッピング振幅は速いタッピングが必要な場合には小さく、アクセント部分では大きくなること、また、音符間の時間長が長くなると、タッピング軌道が一峰性から二峰性等の形状に変化する場合があることが明らかになった。以上の結果は、要求されるリズムパターンに対応するため、軌道の振幅のみならず形状も変化することを示す。内的注意条件と外的注意条件ではテンポ維持特性に有意差はなかったが、内的注意条件のタッピング振幅の方が大きくなる傾向があった。また、休符を含むリズムパターンにおいては、タッピングの振幅の時間変化とテンポ変化に有意な相関があった。この結果は、タッピング振幅の時間変化がテンポ変化の一因となっている可能性を示唆する。

The Effect of Preparatory Movements on Tempo Keeping during Instrument Performance.

1. はじめに

楽器演奏時にテンポを安定させることは重要であるが、演奏者の意図にかかわらずテンポ変化がしばしば生じてしまう [1-3]。このテンポ変化には起こりやすいテンポ帯やリズムパターンがあることが先行研究により報告されている。例えば、Collyer ら [4] は一定のテンポでレバーを押し続ける同期継続課題において、テンポが遅くなりやすいテンポ帯と速くなりやすいテンポ帯があることを見出している。永島ら [5] は合計 13 種類のリズムパターンや強弱(アクセント)パターンを有するタッピングによる同期継続課題を題材として実験を行い、アクセントパターンを含むリズムパターンでは加速傾向を、二拍分連続した休符や 8 分音符を含むリズムパターンでは減速傾向を示すと報告した。しかしこの加速、減速傾向を引き起こす原因は明らかになっていない。

一般に演奏者がリズムパターンを変更するには予備動作の

修正が必要である。例えば、アクセントを含んだリズムパターンの場合、強くタッピングするためには予備動作で大きく振りかぶって打ち下ろしたり、タップ直前に加速する必要がある。4 分音符の後に 16 分音符の連符が続くリズムパターンの場合には予備動作を小さくしたり、速くしたりする必要がある。このように楽器演奏者は要求されるリズムに応じて時々刻々と予備動作を変化させてタイミングを合わせる必要がある。その困難さがテンポキープに影響を与えている可能性がある。

演奏時には音をよく聞くことにより難しい箇所も弾きやすくなると言う演奏家も多い。近年、様々な運動について注意の向け方がパフォーマンスに影響を与えることが示されている [6]。例えば、バスケットボールのシューティングの際に手の動きに注意を向ける場合と、リングに注意を向ける場合では後者のほうがパフォーマンスが良くなると報告されている [7]。この手の動きなど自分の身体に向ける注意を内的注意、リングなど自分の身体の外にある対象等に向ける注意を外的注意と呼ぶ。前述の、演奏時に音をよく聞くというのは外的注意と捉えることも出来るが、実際にこの場合にパフォーマンスが良くなることを定量的に示す

^{†1} 現在, 山口大学大学院創成科学研究科
Presently with 〒753-8512 山口県山口市吉田 1677-1

^{†2} 現在, 電気通信大学大学院情報理工学研究科

a) b026vbw@yamaguchi-u.ac.jp

研究はなされていない。

そこで本研究では連符や休符、アクセントによってタッピングの予備動作がどのように変化するかを調べるとともに、タッピング時の注意の焦点の違いがテンポ維持と予備動作に与える影響を解明することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 計測実験

本研究における被験者は少なくとも1年以上の何らかの楽器演奏経験、あるいはダンス経験のある10代から20代の男女10名（男性6名、女性4名）である。

運動タスクは、手首関節によるタッピング運動の同期継続課題である。同期継続課題では、4分の4拍子で4小節の間メトロノーム音に合わせて指定したリズムパターンでタッピングを行う同期区間後、メトロノームの音が消えた後も同様のリズムパターンで60秒間継続してリズムタッピングを続ける継続区間へ移行する。メトロノームのテンポは永島ら[5]の実験と同様に120 bpmとした。リズムパターンは図1に示すA, B, C, D, Eの5種類であり、被験者には各リズムパターンに対して「指示なし」、「内的注意」、「外的注意」の3条件によるタッピングを指示した。内的注意条件では自分の手の動きによく注意して手の動きがリズム通りになるよう、また、外的注意条件ではタッピング時に鳴るピープ音をよく聞いて、それがリズム通りになるよう指示をした。リズムパタンの提示順は図1の通りであり、リズムパターン毎に初めに「指示なし」を、その後内的注意条件と外的注意条件をランダムな順で指示した。また、被験者にはリズムパターンが変わるごとに3分間休憩を取るよう指示した。

タッピング動作のタイミング計測には圧力センサ（Interlink-Electronics, FS406）を、手の高さの計測には赤外線距離センサ（STMicroelectronics, VL6180X）を用い、それぞれサンプリングレート200 Hzと100 Hzでデータを取得した。タッピング動作は平面な板に手掌部を固定して行うことで、指の間の凹凸が赤外線センサによる手の高さの計測値に及ぼす影響を減らした。この板の一端にはリンクがあり、被験者は手首運動によるタッピングを行うことができる。

2.2 データ解析

タッピング軌道は時間窓0.015秒で移動平均をとり、タッピング間の時間を正規化して1000個の離散データにリサンプリングした。その後インターバル毎に加算平均を取った。Intervalとは各音符間を示し、リズムパターンAの場合では一拍目と二拍目の間をInterval1、二拍目と三拍目の間をInterval2、三拍目と四拍目の間をInterval3、四拍目と一拍目の間をInterval4とし、それぞれI1, I2, I3, I4と表記することとする。



図1: リズムパターン

Fig. 1 Rhythm pattern

3. 結果・考察

3.1 タッピング軌道の基本的な特徴

3.1.1 指示なし条件におけるタッピング軌道

図2はリズムパターンAにおける典型的な2種類のタッピング軌道を示す。横軸は規格化された時間、縦軸は手の高さを表す。10人中9人は一峰性の軌道（図2(a)）を示したが、1人は一度振り上げて停止し待ってから振り下ろす軌道（図2(b)）を示した。前者は時刻70%付近でピークに達するのに対して、後者は時刻30%付近で一度ピークに達して停止し時刻80%付近で振り下ろしている。

リズムパターンBのタッピング軌道も大別すると2種類の軌道が観察された（図3）。その一つは一峰性の軌道である（図3(a), 10人中9人）。この軌道はI1, I2, I3に比べI4, I5では最高点の高さが低い。これは8分音符では手を速く動かすために予備動作を小さくしていることを示す。また、多くの被験者についてI5の振幅はI4に比べて少し大きかった。もう一つはI1, I2, I3が一度振り上げて静止してから振り下ろす軌道である（図3(b), 10人中1人）。この軌道はI1, I2, I3で観察されたが、図3(a)と同様にI4, I5ではベル型の軌道となり、I5の振幅はI4に比べ少し大きかった。その理由として、8分音符部分から4分音符部分への移行の段階で高さをI1, I2, I3に近づけるためか、もしくは一拍目に無意識にアクセントをつけているためと考えられる。

リズムパターンCの軌道ではリズムパターンAと同様に一峰性の軌道（図4(a), 10人中9人）と、一度振り上げて停止し待ってから振り下ろす軌道（図4(b), 10人中2人）が観察された。いずれの場合もI4の振幅が他の軌道より高くなっている。この結果はアクセントを予備動作を大きくすることで実現していることを示す。

リズムパターンDの軌道には一峰性の軌道（図5(a), 10人中1人）、一度振り上げてから停止して再度振り上げる軌道（10人中3人）、二峰性の軌道（図5(b), 10人中6人）の3種類が観察された。いずれの場合も、I1, I2はほとんど同じ軌道であるがI3の振幅は他に比べて大きかった。これは、I3で空打ちをすることによって休符のタイミングを計っていると考えられる。

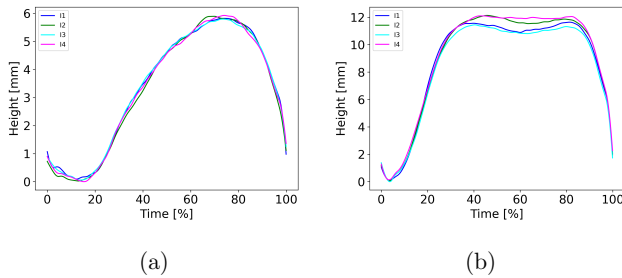


図 2: リズムパターン A で観測された 2 種類のタッピング軌道。青、緑、水色、ピンクの線はそれぞれ I1, I2, I3, I4 を示す。

Fig. 2 Two types of tapping trajectories observed in rhythm pattern A. The blue, green, light blue, and pink lines indicate I1, I2, I3, and I4, respectively.

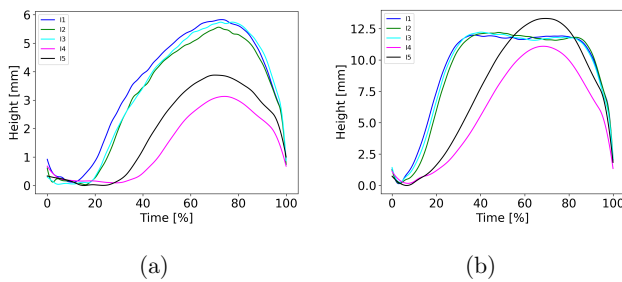


図 3: リズムパターン B で観測された 2 種類のタッピング軌道。青、緑、水色、ピンク、黒の線はそれぞれ I1, I2, I3, I4, I5 を示す。

Fig. 3 Two types of tapping trajectories observed in rhythm pattern B. The blue, green, light blue, pink, and black lines represent I1, I2, I3, I4, and I5, respectively.

リズムパターン E についても一峰性の軌道 (図 6(a), 10 人中 8 人) と、I1, I2, I3 で一度振り上げてから停止する軌道 (図 6(b), 10 人中 2 人) が存在した。いずれの場合も全ての被験者で I1, I2, I3 の軌道が高く I4, I5, I6 の軌道が低くなっていた。これはリズムパターン B の 8 分音符部分と同様に、3 連符で手を速く動かすために予備動作を小さくしたためと考えられる。また、I6 が I4, I5 に比べて少し高くなっていることが確認できる。これも図 3 の 8 分音符部分と同様に 3 連符部分から 4 分音符部分への移行で I1, I2, I3 に高さを近づけるためか、1 拍目に無意識にアクセントをつけているためと考えられる。

以上をまとめると、アクセント前のタッピング振幅は大きくなる。また、タッピング間隔が短い場合のタッピング軌道は一峰性のベル型になるが、長い場合には台形状等の様々な形状が観察される。このようにリズムパターンやアクセントを実現するために、タッピングの振幅のみならず軌道形状も変化させていることがわかる。

3.1.2 タスク条件におけるタッピング軌道

図 7 に、ある被験者のリズムパターン D の Interval ごとのタッピング軌道を示す。横軸は規格化された時間、縦軸は手

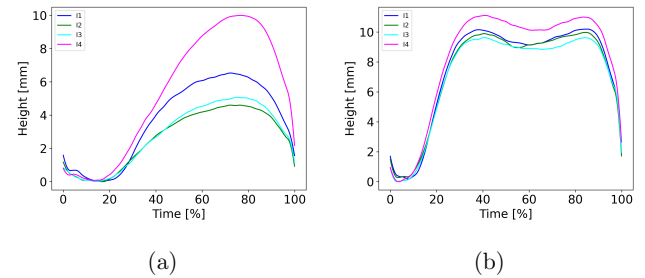


図 4: リズムパターン C で観測された 2 種類のタッピング軌道。青、緑、水色、ピンクの線はそれぞれ I1, I2, I3, I4 を示す。

Fig. 4 Two types of tapping trajectories observed in rhythm pattern C. The blue, green, light blue, and pink lines indicate I1, I2, I3, and I4, respectively.

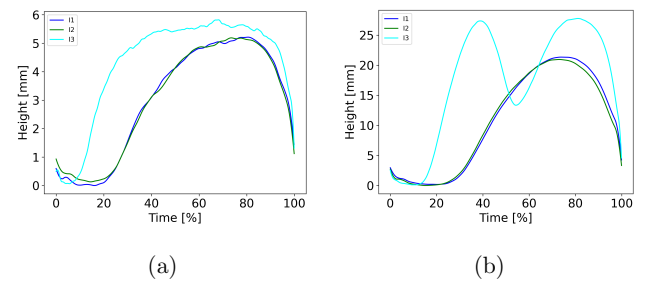


図 5: リズムパターン D で観測された 2 種類のタッピング軌道。青、緑、水色の線はそれぞれ I1, I2, I3 を示す。

Fig. 5 Two types of tapping trajectories observed in rhythm pattern D. The blue, green, and light blue lines indicate I1, I2, and I3, respectively.

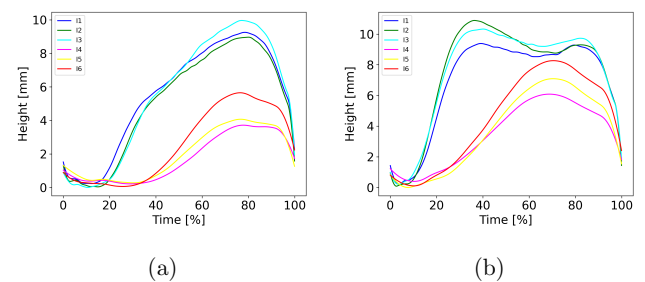


図 6: リズムパターン E で観測された 2 種類のタッピング軌道。青、緑、水色、ピンク、黄色、赤の線はそれぞれ I1, I2, I3, I4, I5, I6 を示す。

Fig. 6 Two types of tapping trajectories observed in rhythm pattern E. The blue, green, light blue, pink, yellow, and red lines represent I1, I2, I3, I4, I5, and I6, respectively.

の高さを示す。図 7(a) は内的注意条件であり、図 7(b) は外的注意条件である。図 7 より内的注意条件の方が外的注意条件よりも振幅が大きいことが確認できる。このような傾向は全ての被験者、リズムパターンにおいても共通に観察された。指示なし条件で軌道の振幅や形状に違いが観察されたリズムパターン B の I1, I2, I3 と I4, I5, C の I1, I2, I3 と I4, D の I1, I2 と I3, E の I1, I2, I3 と I4, I5, I6 に分けて注

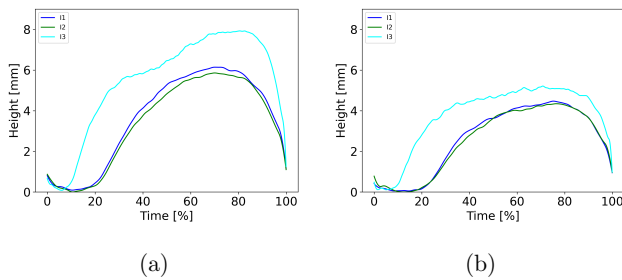


図 7: ある被験者のリズムパターン D のタッピング軌道. (a) は内的注意条件, (b) は外的注意条件である.

Fig. 7 Typical tapping trajectories of rhythm pattern D. (a) and (b) were observed under the internal and external attention condition, respectively.

目すると, リズムパターン E の I1, I2, I3 の平均振幅以外の全てにおいて外的注意条件よりも内的注意条件の平均振幅の方が大きかった. しかし, 有意差 (対応つき t 検定, $p < 0.05$) が認められたのはリズムパターン C のアクセント部分 (I4) のみであった.

3.2 リズムパターンと加速・減速の関係

3.2.1 指示なし条件におけるリズムパターンと加速・減速の関係

図 8 は指示なし条件における小節長の時間変化率の全被験者平均を示す. 小節長の時間変化率は, 120 bpm での小節長に対する実際の各小節長の割合の 30 小節にわたる時間推移を表す近似直線を最小二乗法により求め, その傾きとした. これは, 0 より大きければ減速を示し, エラーバーは 95 % の信頼区間である.

平均値に着目すると, 先行研究 [5] と同様にリズムパターン B, D, E で減速, C で加速傾向にあるが, 5 % の有意水準で有意なテンポ変化を認められたのは休符を含む D のみであった.

3.2.2 タスク条件におけるリズムパターンと加速・減速の関係

図 9 に各リズムパターンの内的注意条件 (a), 外的注意条件 (b) における被験者ごとの小節長の時間変化率を示す. リズムパターン A において濃いピンク色で示した被験者に注目すると外的注意条件の方が内的注意条件よりも加速しているが, 水色の被験者に注目すると逆に外的注意条件の方が減速している. このように各被験者毎に注意条件のテンポ維持への影響は異なり, 対応あり t 検定で有意差 (有意水準 5 %) は認められなかった.

3.3 タッピング軌道と加速・減速の関係

図 10 に指示なし条件における小節長の時間変化率と振幅の平均時間変化率の関係を示す. 振幅の平均時間変化率は, 小節毎のタッピング軌道の振幅の平均値に対する 30 小節にわたる平均時間変化率とした. 振幅の平均時間変化率

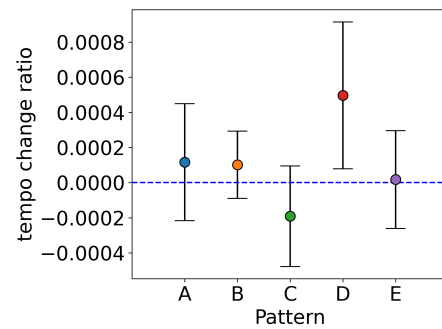
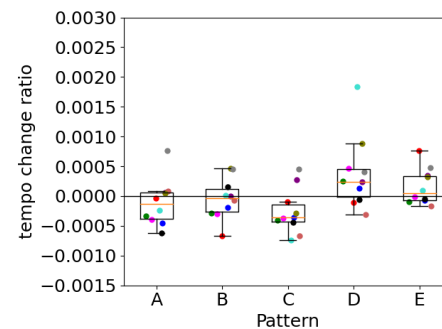
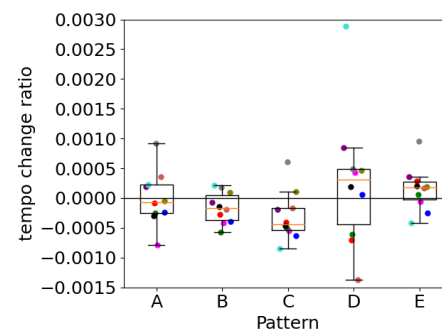


図 8: 指示なし条件における小節長の時間変化率の全被験者平均 (mean $\pm$ 95 % CI). 横軸がリズムパターン, 縦軸が小節長の時間変化率である. この時間変化率が 0 より大きければ減速を示す.

Fig. 8 Percent change in measure length (mean $\pm$ 95 % CI) among all subjects under the control condition. The horizontal and vertical axes show the rhythm pattern and the change rate of the measure length. The positive change rate means the deceleration of the tempo.



(a)



(b)

図 9: 各リズムパターンに対する内的注意 (a), 外的注意 (b) における小節長の時間変化率. 異なる色は各被験者.

Fig. 9 Percent change in measure length of each subject for each rhythm pattern under the conditions of the internal (a) and external (b) attention. Different colors show different subject data.

が 0 より大きければタッピング振幅が徐々に大きくなっていることを示す. 図 10 (a), (b), (c), (d), (e) はそれぞれリズムパターン A, B, C, D, E を, 異なる色は各被験者を示す.

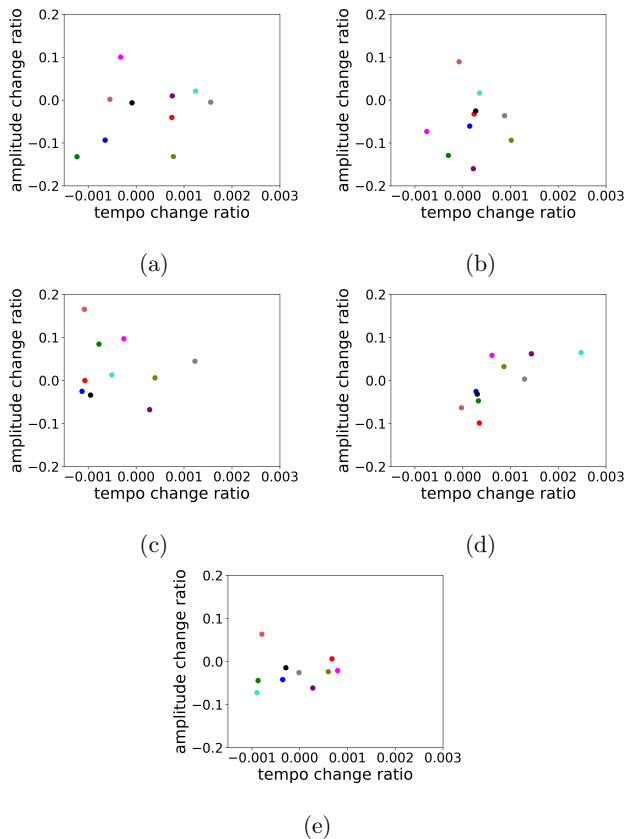


図 10: 指示なし条件における小節長の時間変化率と振幅の平均時間変化率の関係。横軸は小節長の時間変化率、縦軸は振幅の平均時間変化率を示す。(a), (b), (c), (d), (e) はそれぞれリズムパターン A, B, C, D, E を、異なる色は各被験者を示す。

Fig. 10 The relationship between the degree of acceleration and the change in the tapping amplitude under the control condition. (a), (b), (c), (d), and (e) show the results rhythm patterns A, B, C, D, and E, respectively. Different colors indicate different subjects data.

このうちリズムパターン D (図 10(d)) において有意な相関 ($r=0.736$, $p < 0.05$) が認められた。すなわち、休符を含むリズムパターン D では振幅の平均時間変化率が高くなっていくにつれて減速する傾向にある。

4. まとめ

本研究では連符や休符、アクセントによってタッピングの予備動作がどのように変化するかを調べるとともに「手の動きに注意を向ける内的注意」、「聞こえてくる音に注意を向ける外的注意」という注意の焦点の違いがテンポ維持と予備動作に与える影響を解明することを目的として実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) アクセント部分ではタッピングの振幅が大きくなり、また、休符部分では軌道形状が変化する等、要求されるリズムパターンをタッピング軌道の振幅および形状を変化させることで実現している。(2) アクセント部分のタッピン

グ軌道の振幅は外的注意条件よりも内的注意条件の方が大きくなる。(3) 各注意条件でのテンポ維持特性には有意差はない。(4) 休符を含むリズムパターンでタッピング振幅が大きくなるにつれて減速する。

(4) の結果は、振幅の時間変化がテンポ変化の一要因になっている可能性があることを示唆する。したがって、テンポを一定に保つには、動作の大きさを一定に保とうとすると効果的である可能性が高い。この点を実験により検証することは今後の課題である。また、被験者により、タッピング軌道のリズムパターンに対する変化が異なったが、どのような変化がテンポ維持に有利なのかについては、より多数の被験者での調査や、プロの演奏家の運動解析で調べる必要がある。

5. おわりに

謝辞 本研究は JSPS 科研費 18K19823, 19K22866 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Drake, A. H.: An Experimental Study of Selected Variables in the Performance of Musical Durational Notation, *Journal of Research in Music Education*, Vol. 16, No. 4, pp. 329–338 (1968).
- [2] Kuhn, T. L. and Gates, E. E.: Effect of Notational Values, Age, and Example Length on Tempo Performance Accuracy, *Journal of Research in Music Education*, Vol. 23, No. 3, pp. 203–210 (1975).
- [3] Kuhn, T. L.: Effects of Dynamics, Halves of Exercise, and Trial Sequences on Tempo Accuracy, *Journal of Research in Music Education*, Vol. 25, No. 3, pp. 222–227 (1977).
- [4] Collyer, C. E., Broadbent, H. A. and Church, R. M.: Categorical time production: Evidence for discrete timing in motor control, *Attention Perception & Psychophysics*, Vol. 51, No. 2, pp. 134–144 (1992).
- [5] 永島亮誠, 阪口 豊: リズムや強弱の時間パターンがテンポ維持特性に与える影響, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 117, No. 508, pp. 63–68 (2018).
- [6] Gabriele, W.: *Attention and Motor Skill Learning*, Human Kinetics (2007).
- [7] Zachry, T., Wulf, G., Mercer, J., and Bezodis, N.: Increased movement accuracy and reduced EMG activity as the result of adopting an external focus of attention, *Brain Research Bulletin*, Vol. 67, No. 4, pp. 304–309 (2005).