

微少遅延聴覚フィードバックを用いた ドラム演奏練習支援システムの基礎的検証

池之上 あかり[†] 小倉 加奈代[†] 西本 一志[‡]

ドラム演奏において、ドラムスティックを制御する技術は重要な要素の一つである。このスティック制御において要になるのは手首の動きであり、この動きは手首を曲げる際に縮む屈筋と手首を返す際に縮む伸筋によって担われている、これらの筋肉のうち伸筋を優位に働かせることによって、無駄な力みをなくすことができ、高速で長時間の演奏が可能になるだけでなく、ドラムの音色も良い音になる。しかしながら、伸筋優位のスティック制御を獲得するのは困難である。本研究では、微少遅延聴覚フィードバックを利用したスティック制御矯正システムを提案する。システムを長期利用した実験の結果から、提案システムは遅延による演奏の混乱をおこすことなく、伸筋をより使用する演奏動作にすることが示唆された。

A Pilot Study on A Supporting System of Drum Performance by Using Insignificantly-delayed Auditory Feedback

AKARI IKENOUE[†] KANAYO OGURA[†] KAZUSHI NISHIMOTO[‡]

How to use drum sticks is one of important element for playing drums. The motion of wrists plays most important role in manipulating the drum sticks. By using extensor muscles of the wrists superior to its flexor muscles, a drummer can achieve a better performance. However it is usually difficult to use the extensor muscles mainly. This paper proposes a system that rectifies wrong usage of wrist muscles by exploiting effects of insignificantly-delayed auditory feedback. Results of experiments suggest that the extensor muscles come to be used more by using our system without disruption by delayed auditory feedback.

1. はじめに

ドラム演奏において、ドラムスティックを制御する技術は重要な要素の一つである。ドラム奏者はスティック制御によって正確なテンポを適切な強さで打拍するだけでなく、ドラムの音色も操っているからである。スティック制御において要になるのは手首の動きであり、この動きは手首を曲げる際に縮む屈筋と手首を返す際に縮む伸筋によって担われている。これらの筋肉のうち伸筋を優位に働かせることによって、無駄な「力み」をなくすことができ、高速で長時間の演奏が可能になるだけでなく、ドラムの音色も良い音になる[1]。

しかしながら、伸筋優位のスティック制御を獲得するのは困難であり、伸筋優位のスティック制御に関する教本[1]も出版されている。この教本では伸筋を使

うためのフォームなどが紹介されているが、一般的なフォームとは異なるため、慣れるのに時間がかかる。また、伸筋を優位に働かせるための練習方法として、スティックを持ち上げることに意識を向けさせるために、普段よりも重いスティックを用いて練習台を叩く方法がある。しかしながら、重いスティックは負荷がかかりすぎて手首を痛めることがある。さらに、重いスティックは楽器も痛めてしまうため、スティック制御練習用のスティックと楽器を叩くスティックを分ける必要があり、それぞれでの練習が必要である。このように、結局余計手間がかかってしまうので、この練習法は近年ではあまり行われていない。

本研究では、微少遅延聴覚フィードバックを利用することにより、普段演奏時に使っているスティックでも伸筋優位のスティック制御練習を行えるようにするシステムを提案する。

2. 関連研究

ドラムの練習システムとして、岩見らのシステムがある[2]。このシステムは、MIDI ドラムから入力される演奏情報から、演奏のメトロノームからのズレや音量変化などをリアルタイムに視覚化し、演奏に対する

[†] 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
School of knowledge Science, Japan Advanced Institute and
Science of Technology

[‡] 北陸先端科学技術大学院大学 ライフスタイルデザイン
研究センター
Research Center for Innovative Lifestyle Design, Japan Advanced
Institute of Science and Technology

アドバイス等を奏者にフィードバックするものである。このシステムで評価対象にしているのはリズムや音量などであり、スティック制御については特に対象としていない。

スティック制御の改善を目的としたシステムとして、辻らが開発した、打拍フォームのずれや手首の振り幅などのフィードバックシステムがある[3]。しかしながら、このシステムではフォームの間違いに気づくことはできるが、フォームの間違いを修正することはできない。また、この研究でフィードバック対象としているのは、スティックや手首の視覚的な動きのみであり、伸筋優位の動きになっているかはわからない。

本研究では、スイング軌道を矯正するゴルフクラブのように、使用することで伸筋優位の手首の動きに改善させるシステムを目指す。

3. 提案手法

本研究では、電子ドラムの発音時に微少な遅延聴覚フィードバックを与えることで生じる演奏動作の変化を利用した、伸筋優位の手首の動きを発生させる、新規なドラム演奏練習支援システムを提案する。遅延聴覚フィードバック (DAF: Delayed Auditory Feedback) とは、一般には話者の話し声を 100~200msec 程度遅らせて話者の耳にフィードバックすることを言う。これにより、発話が円滑にできなくなり、音を繰り返したり伸ばしたりする吃音のような症状が現れることが知られている[4]。これを楽器演奏に適用すると、演奏動作が普段と比べて変化する。例えば、人差し指を使ったタップ動作では、人差し指を振り上げる高さが増加する傾向がみられる[5]。この結果をドラム演奏動作で考えてみるとスティックの振り幅が増加し、より伸筋を使った動きになると考えられる。しかしながら、100~200msec 程度の大きな遅延聴覚フィードバックを楽器演奏に用いると、リズムを刻むことが困難になり、練習を阻害しかねない[6]。そのため本研究では、遅延させる時間を認知できるかどうかの限界まで短くした、微少遅延聴覚フィードバックを使用する。

3.1 微少遅延聴覚フィードバック

人間が動作と音のズレを認知し始めるのは 30msec 程度からである[7]。30msec 以下の遅延聴覚フィードバックを本研究では微少遅延聴覚フィードバックと呼ぶ。このような短い遅延がもたらす影響について研究した事例は少ない。本研究では、微少遅延聴覚フィードバックがドラム演奏動作に与える影響と長期使用時の影響について調査・分析する。

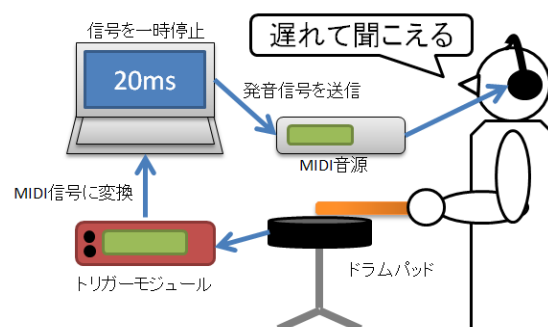


図1 システム概要

3.2 システム

システムの概要を図1に示す。本システムは電子ドラムパッド(YAMAHA TP80S)、トリガーモジュール(YAMAHA DTXPRESS)、MIDI音源(Roland SD-50)、USB MIDI インタフェース(YAMAHA UX-16)と PC (Windows Vista)で構成される。電子ドラムパッドからの信号は、トリガーモジュールによって MIDI 信号に変換される。その後 PC に送信され、信号を遅延させたい時間だけ一時停止して、MIDI 音源に送信することで遅延を発生させる。また、PC がノートオン MIDI 信号を受信した際、シリアルポートからパルス信号を発し、筋電位測定時の同期信号として利用した。一般的に Windows の時間分解能は 10msec 程度であるが、本研究では微少な遅延を発生させるために Windows API を用いて時間分解能を 1msec に設定している。上記の PC で行われる処理は全て C#によって実装した。なお、実験で使われるメトロノーム音や演奏音はヘッドホンから発音され、演奏音色にはスネアドラムを使用した。

4. 微少遅延聴覚フィードバックの影響実験

本実験では微少遅延聴覚フィードバックを発生させた際、演奏動作にどのような変化が起きるのか、また微少遅延聴覚フィードバックによる混乱がおきていないかを調査することを目的とする。

4.1 被験者と演奏課題

ドラム経験者 12 名により実験を行った。被験者の性別、年齢、音楽歴を表 1 に示す。演奏課題は、250msec 間隔で発音する電子メトロノームにあわせ、左右の手に持ったドラムスティックを用いてドラムパッドを叩いてもらうというものである。スティックの持ち方は全員マッチドグリップ (左右対称の握り方) である。

表1 被験者の音楽歴

	年齢	ドラム歴	その他の音楽歴
被験者 1(女)	25	13 年	ピアノ 13 年
被験者 2(男)	27	6 年 6 か月	ギター 6 年
被験者 3(男)	25	4 年 6 か月	なし
被験者 4(男)	23	2 年 6 か月	ピアノ 5 年
被験者 5(女)	25	11 年	ピアノ 10 年
被験者 6(男)	20	2 年 10 か月	なし
被験者 7(男)	20	5 年 6 か月	ベース 2 年
被験者 8(女)	17	4 年 7 か月	ピアノ 10 年
被験者 9(女)	16	3 年 4 か月	エレクトーン 8 年
被験者 10(男)	16	6 か月	ピアノ 2 年
被験者 11(女)	17	4 年 7 か月	ピアノ 3 年
被験者 12(男)	17	10 年 7 か月	ピアノ 4 年

4.2 実験方法

実験に先立ち、尺側手根屈筋および橈側手根伸筋の最大随意収縮 MVC (Maximum Voluntary Contraction) を 3 回測定した。実験では、1 セットを 1 分 30 秒とし、遅延を 0, 20, 10, 30msec の順で変えながら演奏課題を 4 セット行った。また、奏者によって演奏音をメトロノームに合わせる者や、スティックがドラムパッドにつく瞬間をメトロノームにあわせる者、拍打時のスティックから伝わる衝撃をメトロノームに合わせる者などばらつきがあったため、被験者には目隠しを装着してもらい、できるだけ演奏音をメトロノームにあわせてもらうよう指示した。また、測定前には特にウォーミングアップは行わなかった。実験中は両腕の尺側手根屈筋 (図 2) および橈側手根伸筋 (図 3) の表面筋電位と同期信号を生体アンプ・収録装置 (Polymate AP1532) を用いて計測した。また、ハイスピードカメラによる撮影を行い、分析の参考として使用した。実験終了後、アンケートにより音楽歴を調査した。

4.3 分析方法

実験の結果として得られた尺側手根屈筋および橈側手根伸筋の表面筋電位信号は、同期信号以前の 250msec の範囲で加算平均法によるノイズ除去を行った後、RMS (Root Mean Square) 値を求めた。その後、各筋から得られた MVC の最大値を 100% として正規化した。さらに対象とする筋肉・遅延量ごとに、全被験者における筋電位波形的平均と活動量の平均をとった。また同期信号から遅延量ごとに全被験者の IOI (Inter-Onset Interval) の平均を算出した。なお解析の対象区間は最初の 30 秒を除く 1 分間とする。



図2 尺側手根屈筋の位置と電極貼りつけ位置



図3 橈側手根伸筋の位置と電極貼りつけ位置

4.4 結果

全被験者の IOI 平均には、遅延をかけた時とかけない時の間に一元配置分散分析を行ったところ、有意差は見られなかった ($F(3, 44) = 0.4, p < 0.754$)。また、遅延聴覚フィードバックによる混乱の指標としてよく用いられる変動係数 CV (Coefficient of Variation) についても、遅延をかけた時とかけない時の間に有意差は見られなかった ($F(3, 44) = 0.436, p < 0.728$)。これらのことから、通常の遅延聴覚フィードバックで見られるような混乱は、微少遅延聴覚フィードバックでは起きないと考えられる。

左右の橈側手根伸筋において、遅延量ごとに全被験者を平均した筋電位波形を図 4、図 5 に示す。左手の橈側手根伸筋の筋電位波形 (図 4) を見ると、遅延なし (0msec) の時よりも全ての遅延量において若干最大ピーク値が高いことが分かる。特に 10msec の遅延をかけた時は遅延なし時よりも 0.6% ほど高い。一方、右手の橈側手根伸筋における筋電位波形 (図 5) を見ると、遅延なしの時に最大ピーク値が最も高くなっている。このように波形を比べてみると若干の差があるが、これらに有意差があるのかは判断できない。そのため、同期信号以前の 250msec の範囲で各遅延量における活動量の平均を求め、同一筋において遅延なしの場合と遅延ありの場合間で t 検定を行った。その結果、左手では 10msec の遅延で遅延無しの場合に対して有意傾向が見られた ($t(11) = -1.892$,

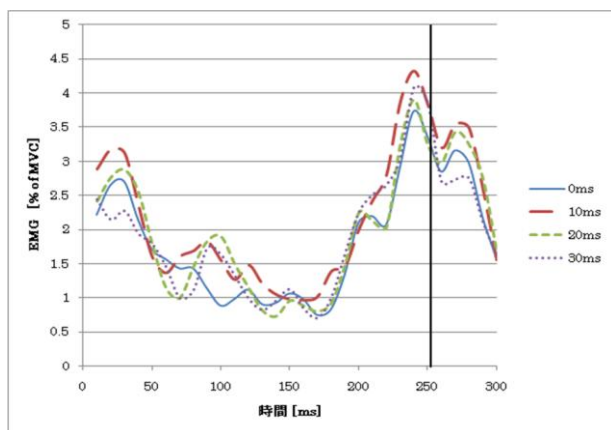


図4 機側手根伸筋（左）における遅延量ごとの筋電位波形

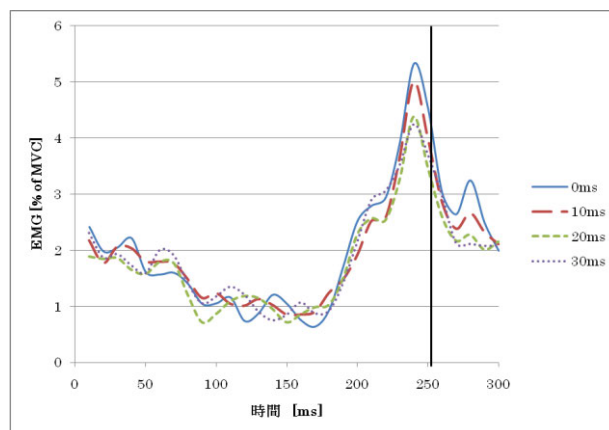


図5 機側手根伸筋（右）における遅延量ごとの筋電位波形

$p<0.085$). また、右手では有意差は見られなかった上に、右手伸筋の平均活動量は遅延を発生させるといずれも減少傾向にあった。

4.5 考察

図6はある被験者の各セット計測開始から1分経過後、最初にスティックが最高点に達した際のハイスピードカメラ写真である。各写真で、動きの対象とするスティックの先端部分は●で表している。これらの写真を見ると、スティックの振り幅は遅延を増やすごとに増加傾向にあり、遅延を増やすほど手首を振り上げ、伸筋をより使っているように思われる。しかしながら、伸筋の活動量平均をみると右手は遅延をかけるほど減少し、左手は10msecを境に減少する。

この理由は遅延をかけすぎると、間をとるため手首だけでなく肘の関節も動かしてスティックを振り上げているからではないかと考えられる。肘の関節を動かさないようにするためには上腕を固定する方法

が考えられるが、その場合伸筋への負荷が大きくなり、重たいスティックと同じく手首にダメージを与えてしまう可能性があり、あまり良い方法だとは言えない。そのため、打拍間隔をスティックの振り幅があまり大きくなり過ぎないように短めに調整することで、手首の伸筋により微少遅延による影響を及ぼすことができると考えられる。

今回の実験では遅延をかけた際の伸筋の活動量に大幅な差は見られなかったが、一方で無理をせずに少しずつ伸筋を使うことができるということも考えられる。一朝一夕で効果が期待できるものではないが、長期的に使用することによって、伸筋優位のスティック制御習得に役立つ可能性がある。

5. 長期使用実験

本実験では20msecの微少遅延聴覚フィードバックを発生させた電子ドラムを用いて12日間練習を行っ

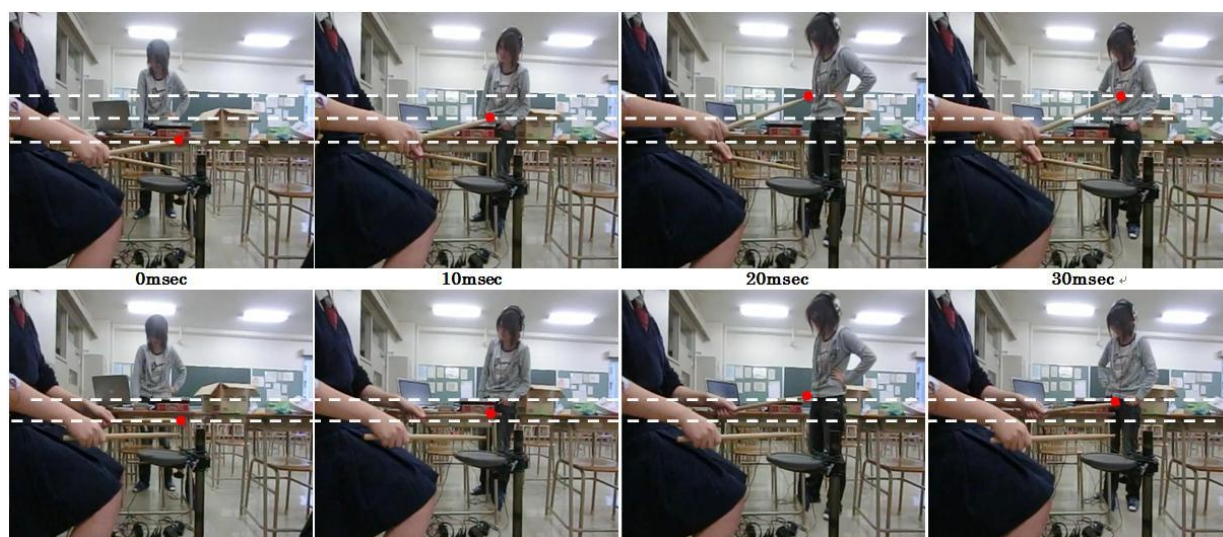


図6 スティック最高点でのハイスピードカメラ写真 上：右手 下：左手

てもらい、左右の尺側手根屈筋および橈側手根伸筋の表面筋電位の変化を調査することを目的とする。

5.1 被験者と練習課題

被験者は4章における被験者8～12の計5名である(表1参照)。練習内容は、シングルストロークを左右2分間ずつ、チェンジアップを3分間、16分音符連打を3分間の計10分間を毎日行う(詳細は図7)。またシステムによる練習の前には、各自ウォーミングアップを行っている。

5.2 機材

練習システムとして使用した機材は3.2節で紹介したものに加えて、電子ドラムパッド(YAMAHA TP80S)、トリガーモジュール(YAMAHA DTX)、MIDI音源(YAMAHA MU128)、USB MIDIインターフェース(Roland UM-1G)とPC(Windows XP)を使用し、計2台のシステムをそれぞれ用いて行った。また、筋電位計測を行う際には3.2節で紹介したものと同一機材を使用した。

5.3 実験方法

12日間、1日10分間、20msecの微小遅延聴覚フィードバックを発生させた電子ドラムパッドを用いて練習を行った。初日と中日(6日目)、最終日には、最初に尺側手根屈筋および橈側手根伸筋の最大随意収縮MVCを3回測定した後、0msec、20msecの遅延をかけてそれぞれ1分半の間、250msec間隔で発音するメトロノームにあわせ、左右の手に持ったドラムスティックを用いてドラムパッドを叩いてもらった。この際、両腕の尺側手根屈筋および橈側手根伸筋の表面筋電位と同期信号を計測した。

5.4 分析方法

実験の結果として得られた尺側手根屈筋および橈側手根伸筋の表面筋電位信号は、同期信号以前の250msecの範囲で加算平均法によるノイズ除去を行った後、RMS値を求めた。その後、各筋から得られたMVCの最大値を100%として正規化した。さらに、対象とする筋肉・遅延量ごとに、全被験者における筋電位波形の平均と活動量の平均をとった。なお解析の対象区間は最初の30秒を除く1分間とした。

5.5 結果

左右の橈側手根伸筋において、計測回数ごとに全被験者を平均した筋電位波形を図8、図9に示す。左手の橈側手根伸筋(図8)について見ると、回数を追うごとに最大ピーク値が高くなっていることがわかる。特に2回目から3回目にかけては全体的に増加していることがわかる。右手の橈側手根伸筋(図9)につい

●シングルストローク



●チェンジアップ



●16分音符連打



図7 練習内容

ても同様に回数を追うごとに最大ピーク値が高くなっていることがわかる。また、2回目から3回目にかけては最大ピーク値が1.5%程度増加している。2回目から3回目にかけての大幅な増加の原因について、システム以外の要因として練習量の増加が考えられる。被験者は全員吹奏楽部員であり、部活動中に平均3時間程度の練習を行っている。2回目と3回目の計測の間には普段よりも2、3時間長く練習した日が1日だけあった。その差は1回目から2回目の間に行われた練習量の16%程度であると考えられる。影響が全くないとは言えないが、そのみの影響で変動したとは思えないため、システムの効果も含まれているのではないかとと思われる。しかしながら、グラフからではこのような変化が有意なものか判断できないため、同期信号以前の250msecの範囲で測定回数における活動量の平均を求め、同一筋における計測日に対する一元配置の分散分析を行った。その結果、左手において有意差が見られた($F(2, 12)=4.815$, $p<0.029$)、一方、右手には有意差が見られなかった($F(2, 12)=2.062$, $p<0.170$)。また実験開始9日目に、毎日合奏で被験者の演奏を聞いている吹奏楽部顧問から、ある被験者の演奏するスネアドラムの音色が変化し、リズムがはっきり聞こえるようになったという指摘をうけた。伸筋優位の演奏法は打面の振動を殺さず、音色を豊かにする効果があるため、システムによる効果が音色変化として実感できる形で表れた可能性がある。

6. おわりに

本稿では、微少遅延聴覚フィードバックを利用した伸筋優位のスティック制御を身につけるためのシステムを提案した。微少遅延聴覚フィードバックによる演奏動作への影響をみる実験では、IOIの平均と変動係数に遅延量ごとの差は見られなかったため、微少遅延聴覚フィードバックによる演奏の混乱は起きにくいことが分かった。また、遅延量ごとの筋電位波形には若干の差がみられた。さらに伸筋の活動量において、左手は10msecの遅延をかけた際、有意に増加する傾向が見られた。一方、右手においては、有意な差はなかったものの、手首の伸筋の平均活動量に減少傾向がみられた。この原因はスティックの振りが増加したことによる動作関節の変化が原因ではないかと考えられる。このことから打拍間隔を狭め、振りを抑えることで、手首の伸筋により微少遅延による影響を及ぼすことができると考えられる。

また長期間システムを使用した所、練習日数を追うごとに伸筋の筋電位波形や活動量に有意な増加傾向がみられることが分かった。今回は、実験期間が10日と短かったため、変化は大幅なものではなかったものの、筋電位波形の変化について他要因に目立ったもの

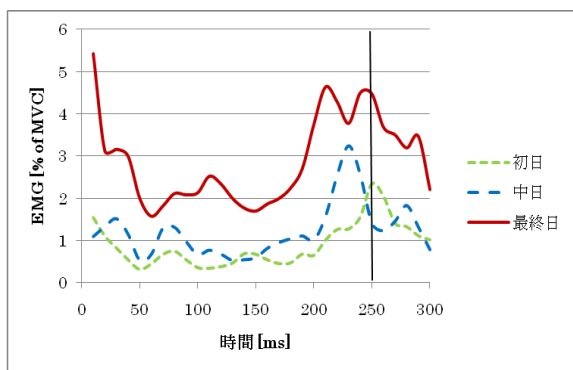


図8 橈側手根伸筋（左）における計測日ごとの筋電位波形

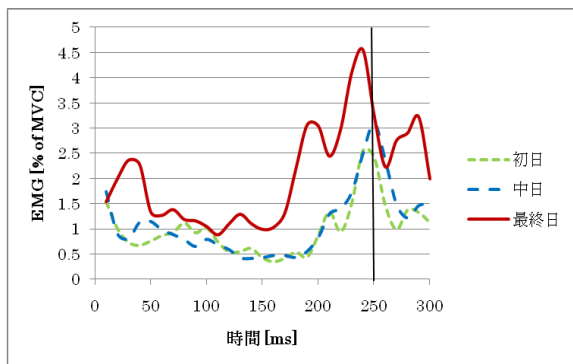


図9 橈側手根伸筋（右）における計測日ごとの筋電位波形

があまりないため、システムが有効に機能した可能性が示唆された。

1分間に1000回以上という高速演奏が可能なドラマーは伸筋だけでなく、屈筋も同程度に使い、筋肉の共縮（co-contraction）を防ぐことで高速演奏を実現している[8]。このようなことから、高速な演奏をするためには屈筋の動きも重要である。よって、システムによって屈筋がどのような影響をうけているかについても調査する予定である。

謝辞 実験にご協力いただいた、宮崎大学軽音楽サークル関係者の皆さま、並びに熊本学園大学附属高等学校吹奏楽部の皆さまに御礼申し上げます。また、北陸先端科学技術大学院知識科学研究科の松村耕平氏には筋電位計測にあたり多くの助言をいただいた。ここに感謝したい。本研究は北陸先端科学技術大学院大学ライフスタイルデザイン研究センターの支援を受けて実施された。特に示唆に富むコメントをいただいた鶴木祐史准教授、金井秀明准教授に感謝する。

参考文献

- 1) 長野祐亮, 「脱力! フィジカル・ドラミング」, リットーミュージック, (2011)
- 2) 辻 康弘, 西方淳博: リズム打拍とフォームに基づく打楽器学習支援システムの開発と評価, 電子情報通信学会論文誌, pp. 508-516 (2005)
- 3) 岩見 直樹, 三浦 雅展: MIDI 楽器を用いたドラム演奏練習支援システムの提案, 情報処理学会研究報告 [音楽情報科学], pp. 85-90 (2007)
- 4) Lee BS.: Effects of delayed speech feedback., Journal of the Acoustical Society of America, pp. 824-826 (1950)
- 5) Pfordresher Peter Q, Dalla Bella Simone: Delayed Auditory Feedback and Movement, JOURNAL OF EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY-HUMAN PERCEPTION AND PERFORMANCE, pp. 566-579 (2011)
- 6) P.Q. Pfordresher, A.C. Palmer. Effects of delayed auditory feedback on timing of music performance. Psychological Research 16: pp. 71-79 (2002)
- 7) 西堀 佑, 多田 幸生, 曾根 卓朗: 遅延のある演奏系での遅延の認知に関する実験とその考察, 情報処理学会研究報告 [音楽情報科学], pp. 37-42 (2003)
- 8) Fujii Shinya, Kudo Kazutoshi, Ohtsuki Tatsuyuki, Oda Shingo: Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer, NEUROSCIENCE LETTERS 459, pp. 69-73 (2009)