

磁気ヘッドと磁気テープを用いた ヴァイオリン運弓練習支援システム

榊原絵里^{†1} 宮下芳明^{†1,2}

ヴァイオリンで雑音のない美しい音を演奏するには、弓を等速で動かすことが必要である。このことは多くの教則本でも指摘されているが、腕の感覚や視覚的判断で等速を保つことも、微細な「音質変化」を感じ取りながら練習を行うことも非常に難しい。そこで筆者らは、運弓速度を「音高変化」として出力し、速度の変化をわかりやすく感じ取ることができる運弓練習システムを提案する。ヴァイオリン本体の指板と駒の間にオープンリールデッキの磁気ヘッドを取り付け、一定の高さの音を録音した磁気テープを弓に貼る。磁気テープを磁気ヘッドに擦る際、その速度が一定であれば音高も一定となり、加速すれば音高が上昇、減速すれば音高が下降する。PCによって音程の検出と再出力を行うことによって、その変化量を調整することも可能である。磁気テープと磁気ヘッドを用いたこの検出方法は、光学的な検出より時間分解能に優れた手法であるため、本稿のような楽器練習支援システムに適していると考えている。

Bowing Exercise System for Violin with Magnetic Head and Tape

ERI SAKAKIBARA^{†1} HOMEI MIYASHITA^{†1,2}

To play a beautiful sound with no noise in the violin, it is necessary to move the bow at a regular speed. This has already been pointed out in many instruction books. However it is very difficult to keep a constant speed of the bowing by the feeling of one's arms or visual feedback of it. And it is more difficult to perform this exercise by distinguishing the slight change of the sound quality. In this paper we propose a bowing practice system of the violin. In this system the change of the bowing speed is presented by the change of the pitch. So it is easier to understand the change of the bowing speed than feeling the change of the sound quality. In this system we used a magnetic head of open-reel deck mounted between the fingerboard and the bridge of the violin body and a magnetic tape stretched across the bow. The sound of a certain height has recorded in the tape. When the magnetic head is rubbed by the magnetic tape, the constant pitch of the sound is presented by the constant speed of the bowing. The pitch rises, and the pitch is lowered with the slowdown. By detecting the pitch and re-output it using the PC, it is also possible to adjust the amount of change of the pitch. We believe that this is a better approach than the optical detection, because the time resolution is superior. We think this detection method using a magnetic head and the magnetic tape is suitable for support systems of instrument performance practice.

1. はじめに

ヴァイオリンは弦楽器の中で最もポピュラーな楽器であり、多くの人に演奏されている。しかし、一般的に数ある楽器の中でも1曲演奏することすら難しいと考えられている。なぜなら、ヴァイオリンは右手と左手が全く違う動きをするために、様々なテクニックを要する楽器だからである。右手の運弓と左手の運指が上手く動作することで正しい音が鳴る。しかし、運指に関して言えば、楽器を持つ前段階で運指を覚えてしまえば、曲を最後まで演奏することが可能である。筆者らはこの運指を覚える段階を無音で行うことで初心者モチベーションを下げずに支援できるシステムを構築している[1]。

ヴァイオリン演奏にかかせないもう一つの要素である運弓にも支援が必要である。ヴァイオリン教室などで使用される代表的な初心者向けの教則本では、「美しい平均した

音を出すためには、弓は根元から先まで同じ速さで動かさなければならない」と記述されているものが多い[2][3][4]。また、宮里ら[5]はモーションキャプチャおよび録音機器を使用し、弓の速度と音の関係についての研究を行った。実験の結果、先生と生徒では弓の速度の安定度に違いがみられ、同じ楽器を使用し同じ音を弾いても、音色に差がみられたことを明らかにしている。

このように美しい音色でヴァイオリンを演奏するには等速で弓を動かす練習が不可欠である。しかし、弓を等速に動かしているかどうかは、視覚では判断できない。弓の速度が変わることで音量や音質が変化するのを感じ取るとも難しい。特にヴァイオリンを始めて間もない頃は、弦楽器特有の運弓動作を行うだけで必死になってしまい、わずかな音の変化に耳を傾けながら弓を等速に動かすことまで配慮するのは難しい。

そこで、本稿ではヴァイオリンの音色を美しくするための支援として運弓の速度を初心者でも理解しやすい音で提示するシステムを提案する。提案システムでは、弓の毛の部分にはある一定の音高・音量である音源を録音し磁気テープ(図1)を、ヴァイオリン本体には磁気ヘッド(図2)

^{†1} 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系
Program in Digital Contents Studies, Programs in Frontier Science and
Innovation, Graduate School of Science and Technology, Meiji University

^{†2} 独立行政法人科学技術振興機構, CREST
JST, CREST

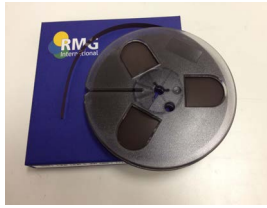


図 1 磁気テープ
Figure 1 Magnetic tape.



図 2 磁気ヘッド
Figure 2 Magnetic head.

を取り付け、磁気テープと磁気ヘッドを擦り合わせる事で音を鳴らす。等速で擦られなければ、磁気テープに音高・音量が一定の音が録音されていても一定の音高で再生されない。この特徴を利用することにより、弓が等速に動いているかどうかを調べることが可能となる。システムがない状態でのヴァイオリン自体の音では微量な音高の変化や音質の変化に気づくことが難しいが、本システムを使用することにより等速でない運弓の場合、音高が極端に前後することが予想されるため、人間の聴覚でも気づくことができる。また、ユーザ自身で正確に動かしているかの確に判断できるため、個人練習にも有用である。これにより時間短縮も可能となるのではないかと考える。

運弓支援でよく使用されるのがモーションキャプチャである。モーションキャプチャにはカメラを用いるが、カメラを使用した運弓支援は、計算速度の問題がある上に、外光などの影響を受けやすくロバスト性に問題がある。ヴァイオリンの運弓速度を1分間に何回弓を動かせるかという方法で計測したところ、レガートな遅い運弓のときの速度は14回/分、スピカートな速い運弓のときの速さは700回/分以上であった。速度を得るためには画像間の差分を求める必要があり一般的なカメラのフレームレートではその処理には時間がかかるため、ユーザへのフィードバックをするには時間がかかりすぎてしまう。そのため、処理時間を少なくし、レイテンシを少しでもなくす必要がある。ま

た、光に左右されたり、複数のカメラを設置可能な広さを確保しなければならない等、環境問題に左右されやすい。そのため、時間分解能の高さが求められる音響処理において、モーションキャプチャの使用は向かないのではないかと考える。一方、本稿で提案するシステムでは、弓を動かすだけで速度が音高で現れ、その音高を処理するだけであるため処理時間が短くリアルタイムフィードバックが可能となる。

2. 提案システム

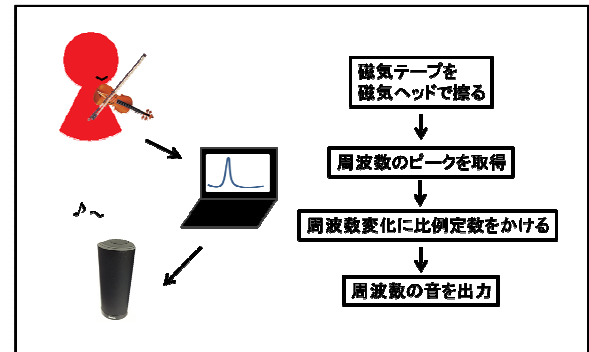


図 3 システム概要図
Figure 3 System overview.

本提案システムは入力部・出力部で構成される。システム概要を図3に示した。ヴァイオリンは提示される再生音との共鳴を避けるため、共鳴部のない YAMAHA のサイレントヴァイオリン SV250[6]を使用した。

2.1 入力部

落下防止のレール

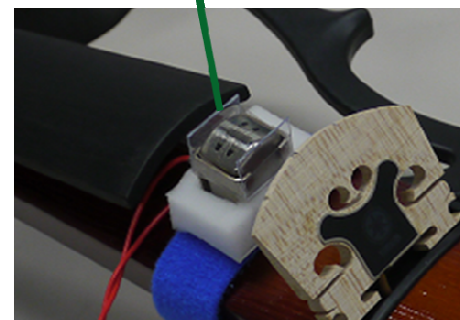


図 4 磁気ヘッドの取り付け
Figure 4 Mounting magnetic heads.

入力部は磁気ヘッドを装着したヴァイオリンと、磁気テープを貼り付けた弓で構成される。ヴァイオリンは弦をすべて取り去り、磁気ヘッドのみを装着する。磁気ヘッドはオープンリールデッキの再生部から取り出し、使用することとした。また、磁気ヘッドから弓が滑り落ちるのを防止するため、磁気ヘッドのふちに弓が通るレールとしてプラスチック製の落下防止のレールを設けた(図4)。磁気ヘッ

ドからの入力、増幅回路を介して音声データとして出力部に与えられる。図5は磁気ヘッドから音声としての出力にいたるまでの回路図で、実際のシステム内部は図6のように構成されている。

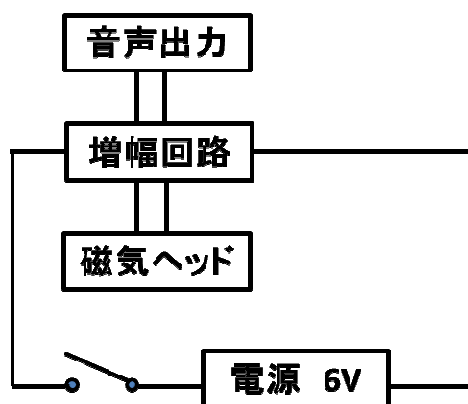


図5 システム回路図
Figure 5 System Schematic.

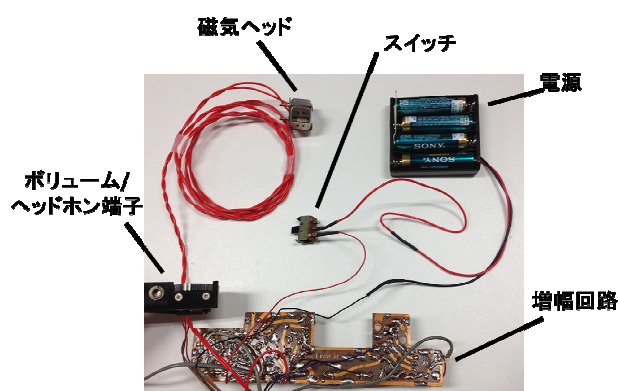


図6 製作したシステム内部
Figure 6 Internal system that produced.

磁気テープは事前に音高・音量が一定の音を録音しておき、弓の毛の部分に貼る(図7)。音は440Hzの正弦波を使用する。ヴァイオリンに装着された磁気ヘッドと弓に貼りつけられた磁気テープを擦り合わせることで入力される。

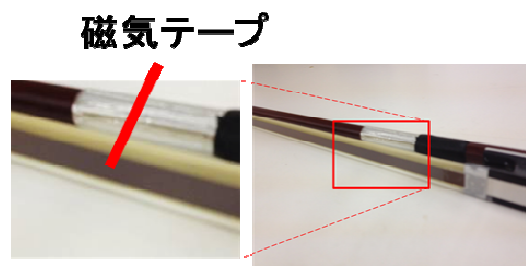


図7 磁気テープ付きの弓
Figure 7 Bow with Magnetic tape.

磁気ヘッドと磁気テープはオープンリールデッキで用いられているものを使用した。その理由としてそれぞれがカセットテープデッキで使用されているものよりも大きいことが挙げられる。提案システムでは、磁気ヘッドに弓に着けた磁気テープを擦りつける(図8)。そのため、磁気ヘッドはより大きいもの、磁気テープはより弓の幅に近いものの方が安定した入力が可能で、ユーザも違和感を感じにくいと考えられる。今回使用した磁気テープは5号のもので、テープ幅はカセットテープ(3.8mm)の約2倍で6.3mmとなっている。



図8 システム使用図
Figure 8 System usage.

2.2 出力部

出力部は、磁気ヘッドと磁気テープを擦り合わせたときに生成される音をユーザに提示するため、スピーカーを使用する。システムとスピーカーを直接繋ぐとノイズが多く含まれるため、一度PCで音響信号処理をした上でスピーカーから出力する。

磁気テープは一定の速度で磁気ヘッドを擦り合わせなければ一定の音高が再生されない。一定の音が再生されれば、弓の速度が均一であり、本システムを使用して一定の音が再生されなければ、弓の速度が均一ではないことがわかる。ユーザは出力される音が一定の音高になるまで反復練習を行う。一定の音高を出力できるようになったとき、ユーザは運弓におけるアーティキュレーション奏法の土台部分を習得できるのである。

3. 性能評価

3.1 内容

提案システムを使用した性能評価を行った。内容は、提案システムを用いて1ストローク分の運弓を行い、その間の周波数の変化を調べた。また、今回は音高出力を行わず、入力部からの周波数の取得のみにとどめた。被験者はヴァイオリン経験者1人、未経験者1人、計2人で行った。

3.2 結果

性能評価で取得した経験者と未経験者の、1 ストロークのうち1秒間の周波数の変化をグラフにまとめた。データ野取得間隔は 10msec 毎である。結果は図 9・10 の通りである。

図からもわかる通り、経験者はある程度一定の速度で運弓ができており、また未経験者は速度にばらつきがあることがわかる。よって、速度が一定でないことをユーザに提示するシステムが必要であり、また提案システムは有用であると考えられる。

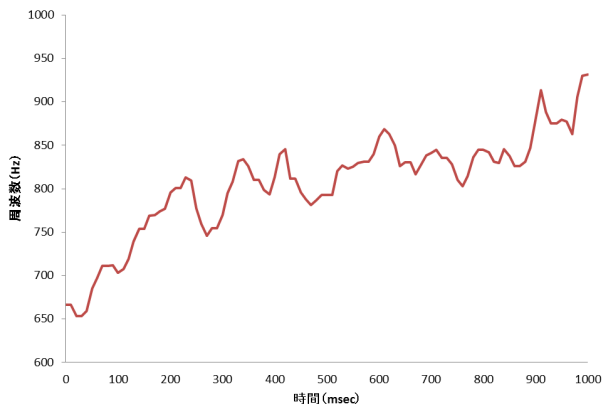


図 9 未経験者の周波数データ

Figure 9 Frequency data(beginner)

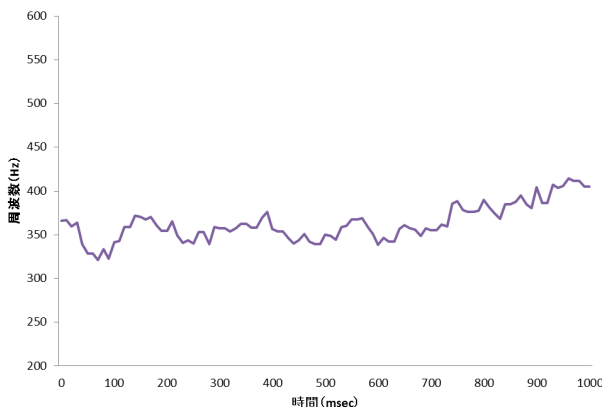


図 10 経験者の周波数データ

Figure 10 Frequency data(experimenter)

4. 関連研究

Laurie Anderson[8]は自身の演奏会で、磁気テープをヴァイオリンの弓に張り演奏するパフォーマンスを行っている。これは現代音楽の演奏表現の一つとして提案されている。弦楽器用のオンラインレッスンシステムがいくつか存在する[9][10][11]。これらは事前に撮影された講師の演奏動画を見ながら自宅で独習を行うものである。

弦楽器を対象とした練習支援の研究がいくつか存在す

る。Tanjo ら[12]の研究ではヴァイオリン初心者の練習に有効なシステムを提案している。身体動作と弓にひずみゲージをつけ圧力変化を調べたものをそれぞれを可視化している。弓圧変化の可視化では、先生と生徒のデータを比べている。その結果、生徒は先生に比べて上げ弓と下げ弓だけでなく、毎回の圧力かけ方がバラバラになっていることがわかった。この可視化データを活用することで練習を支援している。Johnson ら[13]の研究では弓の動きとヴァイオリンの位置をリアルタイムに補正するのに、間違える度に振動触覚フィードバックが得られるジャケットを開発している。また、改良版としてリストバンド型のシステムの開発も行っており、ジャケット型に比べ初心者にも使用しやすいものとなっている。Ng ら[14]は一般的に行われている鏡の前で練習する方法に着目し、ヴァイオリンに着けたマーカーから楽器の動作をキャプチャし、キャプチャデータから 3D の作成を行い、ユーザへ提示している。また、弓の角度が規定範囲を超えた時に音をならしたり、運弓の軌道を提示したりするなどのツールが存在する。Rasamimanana ら[15]は演奏者ごとに異なる運弓テクニックに現れる弓加速プロセスや過度ノイズに着目し、実際の弓に加速度センサなどを装着することで音と運弓動作にどのような関係があるかを調査している。

YAMAHA の光るギター[16]は、コードに応じてフレットのスイッチを光らせることで簡単に運指を覚えることができる。パソコンと接続しダウンロードすることで好きな曲を伴奏つきで演奏することが可能である。石原ら[17]の研究では磁気式位置センサで指の位置を計測し、二胡の CG 上に実際の押さえる位置と現在押さえている場所を表示することで、正しい指の位置を学習するシステムを構築している。ユーザは反復練習を行うことで徐々に正しい指の位置で演奏できるようにしていく。澤ら[18]の研究ではウッドベース習熟者に演奏しやすい指の位置を提示するシステムを構築している。システムはリアルタイムに演奏者の運指を取得し、定義したルールに沿ってデジタル譜面に指番号をふっていくものである。システムの応用として独習や遠隔レッスンなどの運指学習支援を行うアプリケーションも実装されている。元川ら[19]の研究では AR を使用したギター演奏支援を行っている。このシステムは、事前にギターのフレットやポジションマークを検出し、その位置情報に合わせて演奏支援情報をギター上に正確に投影するものとなっている。Wang ら[20]の研究では、カラーマーカーを用いたヴァイオリン学習支援を行っている。音声部と 2 つのカメラで運弓と運指を追って記録するキャプチャメカニズムを設計している。Yin ら[21]の研究では、ヴァイオリンのチューニング、学習者の演奏の間違ったところを示す、正しい演奏のデモンストレーションの 3 点の可視化を行い、ヴァイオリン講師がいない状況で支援するシステムを構築している。それぞれは動画、2D の指板アニメーション、3D

アバターのアニメーションなどで可視化され、音楽知識があまりない人でも直観的で分かりやすいものとなっている。

弦楽器以外にも演奏支援を行っている研究がいくつも存在する。Xiao ら[22]はアップライトピアノの側面や鍵盤上に、遠くにいる相手の手の動きをプロジェクタで映し出すことで遠隔コラボレーションを行うシステムを構築した。提案されたシステムは Shadow (手の手の映像が影のように見え鍵盤上に映る), Reflection (映像が向かい合う状態で側面に映る), Organ (映像が自身と同じ向きで側面に映る) の 3 種類で, Organ が最も使用しやすく正確な運指であったことが報告されている。Mitobe ら[23]は電磁トラッカーを使用した高精度のハンドモーションキャプチャシステムを開発し、その評価としてピアニストの指の動きを測定している。システムは指に 3 つずつと手首に 1 つの計 16 個のセンサからデータを取得するようになっている。システムで取得したデータで作成された CG アニメーションとカメラで撮影された実際の指の動きを比べたところ、正確にデジタル化されていることがわかり、また近接している受信機同士の影響も見られなかった。竹川ら[24]は運指認識技術を持ったピアノ演奏学習支援システムを構築している。システムは演奏者の運指をチェックし、打鍵情報などを考慮した 10 種類の提示手法を検討している。また、光る鍵盤との比較実験を行っており、提案手法の有用性を示した。

大河原ら[25]は各指の打鍵位置を推定し LED で提示を行い、誤って打鍵したときには鍵盤自体を震わせることでピアノ独習支援を行っている。運指は演奏者の手に合った運指が提示されるようになっている。本稿第二著者の研究[26]ではペルチェ素子を使用し、即興演奏時の不協和度が高い音に対しての鍵盤を加熱させることによって、打鍵直後の演奏者へ緩やかな助言を行っている。辻ら[27]は打楽器奏者のリズム練習インターフェースを構築した。システムではリズムのずれ、打拍フォームのずれ、手首の振り幅、叩いた強さのフィードバックが可能となっている。樋川ら[28]は楽曲を最後まで弾き通せるように楽譜用ディスプレイ等を用いた支援を行った。この研究では、学習機能付きキーボードの問題点である、読譜学習の妨げ、音楽的な演奏表現力習得の妨げ、学習者の視覚的負担の増加についての解決・検討を行っている。

筆者ら[1]は無音で運指練習を行うヴァイオリン初心者システムを開発している。このシステムではヴァイオリンに触れたことのない人が、スマートフォンアプリを利用した無音の運指練習システムで事前に運指練習を行い覚えてしまうことで、ヴァイオリンでの初めての演奏でモチベーションを下げずに弾き通すことができるものになっている。Zhou らの MOGCLASS[29]は集団での楽器練習の際の騒音解消や楽器の演奏の簡単化から、子どもの音楽学習へのモチベーション向上を図っている。生徒のシステムでは 3 種類の操作方法で演奏できるスマートフォンアプリが用意さ

れ、先生のシステムでは生徒のアプリケーションをコントロールできるようになっている。寺田ら[30]は気軽に演奏できる PDA(Personal Digital Assistant)を用いた携帯型エレキベースを開発している。演奏は 2 つの PDA をリアルタイムに連携動作させ、左右に持っている PDA それぞれの入力データを 4 つの方式で送信することで実現している。

5. おわりに

本稿では、磁気ヘッドと磁気テープを使用した等速に弓が動かしているかどうか音で判断できるシステムを構築した。磁気テープは等速で磁気ヘッドに擦られなければ均等に再生されないという特徴をシステムに取り入れることで、ユーザに弓が等速で動かしているかを音で判断させることが可能となった。また、経験者と未経験者を対象とした提案システムを使用する性能評価を行った。その結果、提案システムが有用であることがわかった。

今後は、多人数での評価実験を行い、様々な運弓スキルの演奏者でも有用性があるか確かめたい。また、音に何か別の提示を加えた方法も試し、より使用しやすいシステムに改良していきたい。

参考文献

- 1) 榊原絵里, 宮下芳明: ヴァイオリン初心者のための無音運指練習支援システム, エンタテインメントコンピューティング 2011 予稿集, pp.235-237(2011).
- 2) 篠崎弘嗣: 篠崎バイオリン教本 1, 全音楽譜出版.
- 3) クリスチャン・ハインリッヒ・ホーマン: ホーマン ヴァイオリン教本 1, 全音楽譜出版.
- 4) 森本琢郎: 初心者のためのやさしいヴァイオリン入門, ドレミ楽譜出版(2012).
- 5) 宮里洗司, 野口健太郎, 神里志穂子: バイオリン指導における弓の速度と音の関係, 第 8 回情報科学技術フォーラム講演論文集, pp.657-658(2009).
- 6) PureData
<http://puredata.info/>
- 7) YAMAHA SILENT Violin SV250
<http://jp.yamaha.com/products/musical-instruments/strings/silentviolins/sv-250/?mode=model>
- 8) Laurie Anderson Official Website,
<http://www.laurieanderson.com/home.shtml>
- 9) ヤマハミュージックレッスンオンライン,
<http://musiclesson.jp/index.php>
- 10) Roland,
<http://www.roland.co.jp/PIANO/digi/index.html>
- 11) KAMOS 音楽教育サイト,
<http://school.kamos.co.jp/index.html>
- 12) Yuuki Tanjo, Junichi Ogawa, Sadanori Ito, Ryuuki Sakamoto, Ichiro Umata, Hiroshi Ando: Training Support System for Violin Bowing, AH '11 Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference Article, No. 37(2011).
- 13) Rose Johnson, Janet van der Linden, Yvonne Rogers: Real-time feedback for learning the violin, BCS-HCI '11 Proceedings of the 25th BCS Conference on Human-Computer Interaction, pp.535-538(2011).
- 14) Kia Ng, Tillman Weyde, Oliver Larkin, Kerstin Neubarth, Thijs Koerselman, Bee Ong: 3D Augmented Mirror: A Multimodal Interface for String Instrument Learning and Teaching with Gesture Support, ICMI '07 Proceedings of the 9th international conference on Multimodal

interfaces, pp.339-345(2007).

15) Nicolas Rasamimanana, Florian Kaiser, Frederic Bevilacqua: Perspectives on gesture-sound relationships informed from acoustic instrument studies, Journal Organised Sound archive, Vol.14, pp.208-216(2009).

16) YAMAHA 光るギター Acoustic EZ-AG
<http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-ag/index.php>

17) 石原宗次郎, 曾我真人, 瀧寛和: 磁気式位置センサを利用した初心者のための擦弦楽器の演奏スキル学習支援システム, インタラクション 2012 論文集, pp.145-150(2012).

18) 澤光映, 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: 演奏ルールを用いたウッドベースのための実時間連指取得システムの開発, 第 16 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2008) 論文集, pp.85-90(2008).

19) 元川洋一, 斉藤英雄: ギター演奏支援のための構造特徴追跡を利用したマーカレス AR 表示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.2, pp.267-277(2008).

20) Ye Wang, Bingjun Zhang, Olaf Schleusing: Educational Violin Transcription by Fusing Multimedia Streams, Proceedings of the international workshop on Educational multimedia and multimedia education, pp. 57-66(2007).

21) Jun Yin, Ye Wang, David Hsu: An Integrated System for Beginning Violin Learners, Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia, pp.976-985(2005).

22) Xiao Xiao, Hiroshi Ishii: MirrorFugue: Communicating Hand Gesture in Remote Piano Collaboration, Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction, pp.13-20(2011).

23) Kazutaka Mitobe, Takaaki Kaiga, Takashi Yukawa, Takeshi Miura, Hideo Tamamoto, Al Rodgers, Noboru Yoshimura: Development of a Motion Capture System for a Hand Using a Magnetic Three Dimensional Position Sensor, SIGGRAPH '06 ACM SIGGRAPH 2006 Research posters, No.102(2006).

24) 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: 連指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの設計と実装, 第 17 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2009) 論文集, pp.23-28(2009).

25) 大河原正憲, 武田正之: 演奏者に合う指使いを学習できる光と振動を活用したピアノ独習支援システム, 第 15 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2007) 論文集, pp.153-154(2007).

26) 宮下芳明, 西本一志: 温度で制約を緩やかに提示するシステム Thermoscore を用いた即興演奏支援, 情報処理学会研究報告, HI, ヒューマンインタフェース研究会報告, Vol. 90, pp.13-18(2004).

27) 辻靖彦, 西方敦博: リズムと打拍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).

28) 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀: The Phantom of the Piano: 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案, インタラクション 2006 論文集, pp.69-70(2006).

29) Yinsheng Zhou, Graham Percival, Xinxin Wang, Ye Wang, Shengdong Zhao: MOGCLASS: Evaluation of a Collaborative System of Mobile Devices for Classroom Music Education of Young Children, Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems, pp.523-532(2011).

30) 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 2 つの PDA を用いた携帯型エレキベースの設計と実装, 情報処理学会誌, vol.44, pp.266-275(2003).