

研究題目	ピアノ演奏における複数鍵盤操作の関係性の解析およびそれに基づく練習支援システムの構築	報告書作成者	阪口 豊
研究従事者	阪口 豊		
研究目的	<p>ピアノの演奏音は究極的には打鍵や離鍵の強さ・速さとタイミングによって決定づけられることから、一回の打鍵でもたらされる演奏音は、打鍵の強さ、その結果としてのハンマの速度によってのみ決まると考えられる。つまり、一音のみであれば、打鍵の強さが同じである限り、理屈の上ではだれが弾いても同じ音が鳴ると考えられる(注:理屈の上ではそうであり、また、一定の割合のピアノ関係者もそのように考えているが、逆に、一音であっても演奏者によって音色が異なって聴こえるという関係者も多い)。したがって、ピアノの音色表現やアーティキュレーション(和音の響き、旋律の歌い方など)においては、同時に打鍵する、あるいは、連続して打鍵する複数の鍵盤操作の強さやタイミングの関係性が重要である。例えば、二つ以上の鍵盤を同時に打鍵する和音の場合は、それぞれの鍵盤を打鍵する強さやタイミングを調整することによって音色を変えることができる。また、継時的に鍵盤を打鍵する場合においては、個々の打鍵の強さや離鍵のタイミングを調整することで、個々の音をはっきり区別したり滑らかにつないだりすることができる。このように考えると、ピアノ演奏技能のメカニズムを解明し、また、それに基づいてピアノ学習を支援するためには、複数の打鍵の相互関係を明らかにすることが重要であると考えられる。</p> <p>本研究の目的は、複数の鍵盤(白鍵2鍵)のアクション機構に力センサおよび位置センサを取り付けて、打鍵時に指から鍵盤に伝えられる力、および、その結果として生じる鍵盤やハンマの動きを計測・分析し、奏法やアーティキュレーションの違いが生み出す鍵盤操作の違いの物理的実体を明らかにするとともに、計測した情報を演奏者にフィードバックしてピアノ技能の練習過程を支援するシステムを構築することである。</p> <p>上記の目的を実現するために、本研究は以下の段階を経て実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・二つの白鍵に3軸力センサを埋め込み、鍵盤に対して上下方向だけでなく水平方向にかかる力も計測できる系を構築する。 ・測距センサを用いて鍵盤やハンマの動きを計測できるようにする。 ・以上のセンサ情報を統合し、鍵盤にかかる力と鍵盤やハンマの動きを一体的に計測するシステムを構築する。 ・種々の条件における、鍵盤、ハンマ・ダンパの動きを演奏音とともに収録し、その関係性や条件依存性を解析する。 ・計測データを演奏家に対してフィードバックするシステムを作り、いかなる情報を提示するのが練習支援に有効であるかを検討する。 		

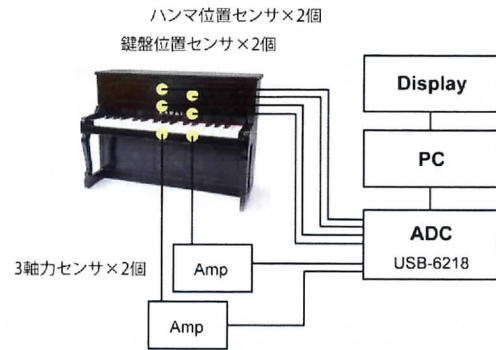
研究内容	<p>平成 30 年度は、センサシステムの構築がほぼ終わった段階である。ここではシステムの構成と仕様について説明する。</p> <p>計測システムはアップライトピアノのセンサを組み込むことによって実現した。システムは、鍵盤にかかる力を計測する3軸力センサ2個、センサに組み込まれたストレインゲージの信号を計測するアンプ2個、鍵盤および弦を叩くハンマの動きを計測するセンサ(2×2=4 個)、これらのセンサからの出力信号をPCに取り込むADコンバータ、データを処理してディスプレイに表示する情報を生成するPCから構成される(構成図は説明図の通り)。以下、個々のセンサの仕様について具体的に説明する。</p> <p>まず、力センサについては、二つの白鍵 C5(ド)および E5(ミ)に 3 軸力センサ(テック技販製, USL06-H5-100N および USL06-H5-200N)を組み込むことによって実現した。組み込みは以下の手順で行った。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 鍵盤から樹脂製の化粧板をとりはずす。・ 鍵盤先端部の木部を切削してセンサを取り付ける溝を掘る。・ センサを固定する。・ センサ上部に支持板を固定したのち、化粧板を二つに割って支持板および鍵盤根元の木部にそれぞれ貼付する。 <p>次に、鍵盤およびハンマの位置を計測するシステムについては、レーザー式の測距センサ(パナソニック社製, HG-C1030 および HG-C1050)を用いて、非接触で鍵盤およびハンマの動きを計測した。使用した測距センサは、センサから計測対象物体までの距離に応じてアナログ電圧信号を出力するもので、測距精度(繰り返し精度)が 10 μm (HG-C1030)または 30 μm (HG-C1050)、応答時間が 1.5 ms でピアノアクションの動作を解析するには十分な空間的精度と応答速度をもつ。鍵盤位置測定用のセンサ、および、ハンマ位置測定用のセンサの概観は説明書に示した通りである。鍵盤位置は鍵盤上面にレーザースポットをあてることで、また、ハンマ位置はハンマの軸にレーザースポットをあてることにより、それぞれの動きを計測する。このように、このシステムではアクション機構の動きを非接触で計測するため、計測がアクションの動きに一切影響を及ぼさない。</p> <p>上記の3種類のセンサの出力(信号線としては、1 鍵盤あたり3 軸力センサ 3 本、鍵盤およびハンマ信号計 2 本であるため、2つの鍵盤で合計 12 本)をADコンバータ(NI社, USB-6218, 16 bit, 250 kS/s)を経由してPC(Windows7 Pro)に取り込んだ。計測はサンプリング周波数 500Hzで行い、高域遮断フィルタによりノイズを低減したうえで、各種の処理を行った。</p>
------	---

研究のポイント	<p>本研究の第1のポイントは、演奏中にピアノ鍵盤にかかる上下方向の力だけでなく、左右方向、奥行き方向にかかる力を計測できるシステムを構築したことである。本システムを使った予備実験により、指から鍵盤にかかる力の左右方向、奥行き方向成分の大きさは、発音に直結する下方向成分と同じオーダーであることが明らかになっている。指が鍵盤からもらう反力は演奏技能に関係していると考えられることから、左右方向や奥行き方向成分の振舞いを検討することは演奏技能の理解を進めるうえで重要な意味をもつと考えている。</p> <p>第2のポイントは、外見上通常のアップライトピアノと大きく変わらないシステムを構成することにより、演奏者が違和感をもつことなく演奏実験に参加できるシステムを構築したことである。リアルな演奏技能を計測するうえで、演奏者に身体的・認知的な負担を与えないことが重要であり、従来のピアノ計測実験システムと比較して優れた特徴になっていると考える。</p>
研究結果	<p>力センサ、測距センサいずれも想定通りの動作をしていることが確認できた。また、筆者自身が打鍵を行った予備的実験から以下の知見を得ることができた。</p> <p>まず、指を突くように弾く場合や、指を丸めて手前方向に回収するようにして弾く場合の力センサの出力から、指が鍵盤の奥行き方向に力を加えている実態を客観的データとして明らかにすることができた(説明書を参照)。また、音階演奏中の「指ぐり」において支えとなる指が鍵盤に与える力の様子を観察することができた。また、和音をスタカートで弾く際に、親指と他の指(中指など)をつまむようにして使うことにより、楽に鋭いスタカート演奏できる様相を観察することができた(説明書を参照)。</p> <p>以上のように、まだ予備実験にはとどまっているものの、構築したセンサシステムを用いることで鍵盤と指のあいだの力のやりとりを観察できることが示された。</p>
今後の課題	<p>今後の課題の第1点は構築したシステムを用いて系統的な行動実験を行うことである。基本的なピアノ演奏テクニック(音階、和音、同音連打、スタカートなど)を含んだ課題を設定して、ピアノ戦争の初級者と上級者を対象として計測データを取得し、技能レベルによる打鍵の様相の違いを明らかにしたい。この実験により得られた知見は、初級者の練習支援法を検討するうえでの基礎データになる。</p> <p>第2点は、このシステムが有用な練習支援系として機能するような、情報提示方法を構築することである。真に有用な練習支援システムを構成するには、練習者が必要とする情報を適切なタイミングで提示することが重要である一方、練習者に提供すべき情報の内容は、練習者の意図や技術レベルに依存して異なることが考えられる。したがって、一人一人の練習者にとってどのような情報が有用であるかを明らかにすることは、個々の練習者の認知過程を明らかにする手段にもなると考えられる。今後の研究では、利用者にとって有用なシステムを構築することと並行して、利用者が演奏中の自分の認知戦略を理解できるような研究に発展させたいと考えている。</p>

・構築したセンサシステムの構造

①センサシステムの構成

3種類のセンサが二つの鍵盤に取り付けられ、データがPCに集約される。



②センサを埋め込んだピアノの概観

外見上は、鍵盤の化粧板に細い割れ目が入っているだけであり、演奏するうえで大きな違和感が生じないようにしている。



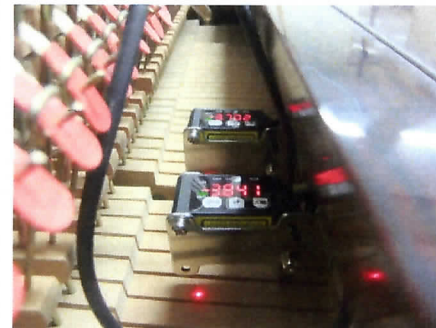
③ピアノ鍵盤に埋め込んだ力センサの設置状況

鍵盤に組み込んだ3軸力センサの取り付け状況は以下のとおりである。



④鍵盤およびハンマの位置を計測する測距センサの設置状況

鍵盤およびハンマはレーザー式の測距センサによって非接触で計測しており、演奏には一切影響を与えないようになっている。

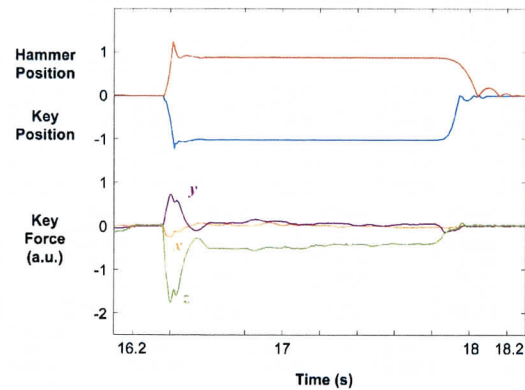


・センサにより計測された信号の例

①打鍵方法の違いによる打鍵時の力のかかり方の違い

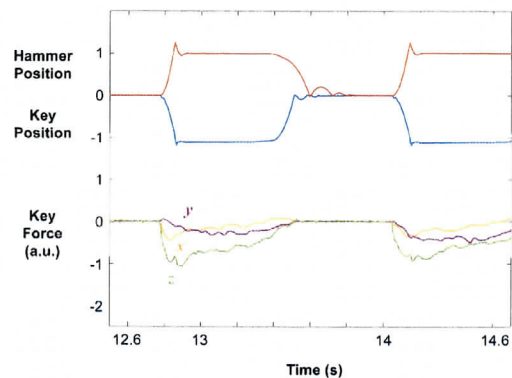
(A) 指で突くようにして打鍵した場合

打鍵と同時に、下方方向(z軸)だけでなく、奥行き方向(y軸)にも力が作用する様子が読み取れる。



(B) 打鍵したあとで指を手前側に回収するように弾いた場合

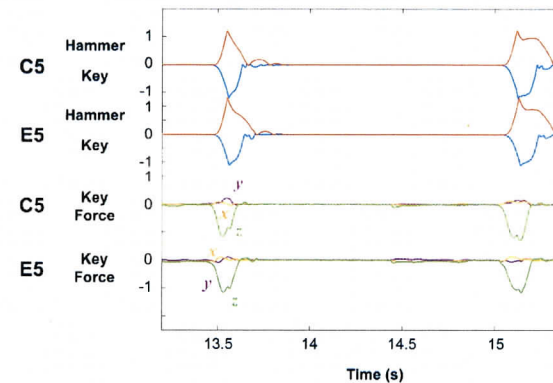
指を回収するときに、手前方向(y軸)に力が作用する様子がわかる。



②指遣いの違いによる打鍵時の力のかかり方の違い

(A) ドとミを2と4の指でスタカートで弾いた場合

2と4の指で弾くときは、左右方向や奥行き方向にはさほど大きな力が作用しない。



(B) ドとミを1と3の指でスタカートで弾いた場合

1と3の指で弾くときは、左右・奥行方向に明らかに力が作用している。

