

グランドピアノにおけるタッチの相違による音のニュアンスとの 相関について

[研究代表者] 中山雄行 (工学部機械学科)

[共同研究者] 中尾 豊, 田中巧介 (株式会社河合楽器製作所 SK ピアノ
研究所)

研究成果の概要

ピアノの音色の定義、並びに鍵盤のタッチと打弦機構のダイナミクスによるピアノの音の特性に関する研究において、タッチと打弦のダイナミクスの特性とピアノ弦のダイナミクスを分析するために、鍵盤の速度、ハンマーの速度と歪みを同期させて測定するシステム、弦の振動の可視化装置を製作した。更に人型の打鍵装置を設計・開発した。打弦において、鍵盤のタッチとそのダイナミクスに基づく打弦機構のメカニクスの挙動がハンマーにより打弦される弦の振動の特性を定めると考えられる。そこで、レーザ変位計により鍵盤の位置をサンプリングし、併せてハンマーの変位もサンプリングすることにより、打鍵と打弦の速度・加速度を評価できる様にした。また、ハンマーにおける変位に関し、ハンマーの根元並びにシャンク側の二箇所をレーザ変位計にて測定し、必要に応じハンマーのしなり・撓みを分析できる様にした。ハンマーでは、3-6 箇所に歪みゲージを設置し、しなりの詳細と歪みによるエネルギーの分析を可能にした。弦の振動の可視化装置では、高輝度 LED を任意の周波数で点滅させる装置を設計・製作し、これにより多様な周波数で振動する弦における特定の周波数成分の振動有無とその振動形態・挙動を可視化できる様にした。人型の打鍵装置では、人間による指先、手、下腕からのレガートのタッチ、またスタッカートのタッチを模擬できる装置を設計・製作した。ここで、ピアノのタッチに関わる腕以降の筋肉・腱の動作を模擬するものとし、伸筋等に合わせた打鍵装置の指の操作と支持ができる様に構成した。これにより、より人間に近いピアノタッチを機械的に同条件で繰り返し再現しながら音の特性を測定することが可能になった。一方、前述した歪みと打鍵の分析に関する実験では、同じスタッカートでもハンマーの同期性、また歪みの挙動が異なるモードがあり、楽曲の演奏によっては音の特性が変わり得ることが解った。

研究分野：数理物理、数理解析、数値解析、流体力学

キーワード：ピアノ、タッチ、メカニズム、音色、音の不変量

1. 研究開始当初の背景

音楽は、ストレスが多様に生まれる現代社会において、人の心に安らぎと調和を与え、心豊かな生活に欠かせないものである。古代ギリシャ時代では自然現象を解明するツールとしても考えられた音楽は、現代ではむしろ自然科学から離れて芸術として、或いはセラピーのツールとして捉えられている。

音楽を奏でる上で「音色」は重要な音の特性である。ベートーベンの時代等でオーケストラの代用としても考えられたピアノは、複数の音を同時に出せることだけでなく、

ピアノの発達に伴い多彩な音色が奏でられる楽器という位置付けであったと考えられる。ところで、この「音色」、「音」であるが、「優しい音色」、「分厚い音」等という音の表現が用いられることがあるが、それを明確或いは物理的に説明することは難しい。また、「語ってくれるピアノ」というピアノ自体の賞賛の表現においては尚更である。人々の中で共有する感覚に頼った音・音色の表現は、楽器の開発、或いは声楽等の音の客観的評価を要する場合には曖昧であり、特に楽器の開発技術者は困惑する。更には、ピアノの開発において重要な音の微妙なニュアンスにつ

いて、ピアニストやコンサートホールの調律師しか理解できないこともしばしばある。しかし、もしこれらの音・音色の物理的な定義が確立すると、これを元に音の評価が可能となり、音のニュアンスの評価と認知がピアニスト・調律師のみの限定したものではなくなる。この時、ピアニストの微妙な音の表現は技術者にも共有できるものとなり、究極の安らぎと表現を提供するピアノの開発も可能となるかもしれない。また、機械技術の分野では、音色が物理的に定義されると、機械の運転時の音によりその健全性・状態を詳細に評価することが可能な技術が生まれることも期待できる。

2. 研究の目的

ピアノの音に関し、音色を特定付ける物理量に関する研究を行うものとし、このために様々なピアノのタッチにおける打弦メカニズムのアクションの応答、弦の挙動、音の特性との関連について実験と解析から分析する。まず、これらの実験を行うための計測システムの構築、また装置の開発を(2018年度の研究の)目的とする。

3. 研究の方法

タッチ～打弦メカニズム～音の特性の関連を評価するためには、タッチと打弦するハンマーのダイナミクスに関する計測システムが必要である。また、弦の挙動を調べるためには、様々な周波数におけるそれぞれの振動状況を可視化することが有益である。一方、ピアノのタッチを的確・客観的に再現するためには、機械的に同じ条件にて打鍵する打鍵装置の開発が必要であり、また、この打鍵のメカニズムは人のタッチと同じものでなければならない。

そこで、本研究では、これらを構築、また開発するものとし、それぞれの計測システムと装置の設計条件等について以降に記述する。

(1) ハンマーの挙動と鍵盤の同期測定

ハンマーの変位・速度・加速度を評価するための変位測定、またハンマーシャンクのしなり(歪み)の測定、更に鍵盤の打鍵の挙動を評価するための測定が音の特性とタッチ・打弦の相関の分析のために必要である。これらを同期させて測定するシステムを検討する。

(2) 弦の可視化装置

一つのキーを打鍵した時、ハンマーが複数の弦を打弦し、

特定の周波数の振動を響板に伝えて音が広がる。実は、この振動の振動数は一つではなく、又振動の挙動も様々であり、これが音の特性に影響を与えると考えられる。即ち、各特定の周波数の振動数の振動の状況を可視化、観察できると音の分析にとって有意義である。そこで、これを可能とする弦の振動の可視化装置を設計・製作する。

(3) 人型打鍵装置

タッチと音の相関の実験において、タッチ・打鍵は同じ条件で繰り返し行うことが必要であり、即ち機械的にタッチを再現する装置を用いることが望ましい。このとき、人間の筋肉や腱を忠実に再現した打鍵装置、即ち神経医学的観点から人間の指によるタッチの再現が必要である。

打鍵時において、指の形態を維持し、かつ鍵盤を抑える運動に関わる筋肉は、前腕の伸筋群、屈筋群である。また、打鍵時におけるタッチでは、打鍵時の荷重、打鍵のダイナミクスにより異なる種類のタッチが存在する。打鍵時の荷重では、指先だけの重み、手の重み、あるいは前腕・上腕全体の重みにより音の響きを使い分ける。また、レガートのタッチに対し、スタッカートでは打鍵直後に指(手・腕)を戻して鍵盤から離し、音のきれ具合を変える。

以上より、筋群に関する人型打鍵装置の設計では、指を支え、鍵盤を打鍵する筋の機能を模擬することを設計条件とする。指先・手・前腕のそれぞれの重みの使い分けの他、レガート・スタッカートのタッチを使い分けができることを併せて設計条件とする。

4. 研究成果

前章で記述した各々の装置を設計製作し、グランドピアノに設置して、人や人型打鍵装置による打鍵における鍵盤のダイナミクスとハンマーシャンク・ハンマーのダイナミクスを同期して測定する計測システムを構築した。このとき、弦の挙動特性も可視化が可能である。音の特性については、マイクでピアノの音をサンプリングし、その後データの分析を行う。データロガー等の装置は河合楽器製作所より貸与頂いた。以下に各々の装置の概要をまとめる。

(1) ハンマーの挙動・形状と鍵盤の同期測定

ハンマーの真ん中の箇所、またハンマーシャンクにレーザ変位計のレーザを照射し、それぞれの運動を測定する。鍵盤にもレーザ変位計を設置し、これらを同期させることにより、鍵盤とハンマーの連携した挙動を分析できる。又、

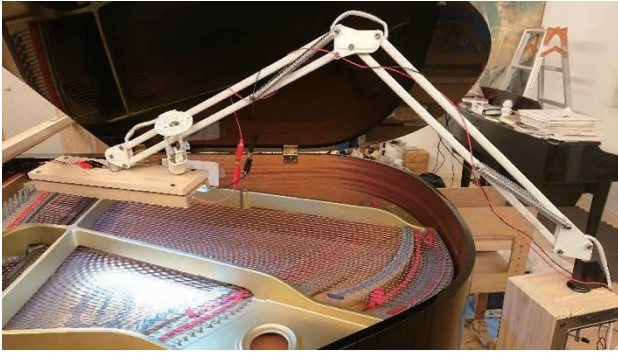


図 1: 可視化装置

ハンマーの上部・下部に歪みゲージを各々3箇所設置し、ハンマーの歪みとしなりの測定・評価が可能である。

(2) 弦の可視化装置

高輝度 LED を 100 個以上用い、設定した周波数で点滅する照射盤、ピアノ上部に固定するアームとスタンドにより構成される装置を製作した。観察したい周波数から少しずらした周波数で LED を点滅させることにより、その対象周波数の振動の状況を浮かび上がらせることができる。可変抵抗器による二段階の調整により照射する周波数を設定できるが、詳細はデジタルオシロを用いて確認する。

(3) 人型打鍵装置

指の関節、手の甲、上腕を模擬した木製の部品を組み立て、伸筋・屈筋の代わりとなる線形ばね、回転ばねとワイヤー・モータによりこれらを動作させる。駆動部の対象を模擬指、手全体、腕全体とすることにより、タッチの荷重部を調整できる。スタッカートタッチでは、屈筋代わりに指部を曲げているワイヤーを打鍵直後に解放して指を元の状態に戻すメカニズムとした。

(4) グランドピアノへの実験装置の組み込み

前述した装置において、可視化装置をグランドピアノ上部に設置した写真を図 1 に示す。又、鍵盤部に設置した人



図 2: 鍵盤上部のレーザ変位計と人型打鍵装置（鍵盤右側）。鍵盤上部の赤いワイヤは歪みゲージのケーブルである。

型打鍵装置、レーザ変位計を図 2 に示す。これらの構成により基礎的な実験を試してみた所、レガートとスタッカートのタッチでは鍵盤とハンマーシャングの挙動に明確な相違が確認できた。一方で、同じスタッカートでも、例えばロマン派の時代の楽曲に観られる様なスタッカートと、ムソルグスキーのピアノ組曲「展覧会の絵」の楽曲中にある激しいスタッカートとの間にはハンマーの同期性、また歪みの挙動が異なることが確認できた。スタッカートと演奏指示があっても楽曲により様々なニュアンスが求められるが、弾き方によっては物理的に異なる打弦のモードが存在することが解った。

5. 本研究に関する発表

本年度の発表はない。