

## ピアノのための打鍵装置の開発

[研究代表者] 中山雄行 (工学部機械学科)  
 [共同研究者] 中尾 豊, 阿部岐令  
 (榊河合楽器製作所 SK ピアノ研究所)

### 研究成果の概要

本研究では、ピアノの打鍵において、人のタッチを模擬して打鍵する装置の開発を行った。

本装置は、ピアノのタッチに関わる手首以降の筋肉・腱の動作を模擬するものとし、屈筋・伸筋の相反した力による指のバランスの均衡状態、またその状態からの打鍵を可能とした。駆動源に相当する筋肉の収縮の模擬として形状記憶合金を適用し、打鍵装置の動作による音の発生の抑制を考慮した。タッチについては、レガートとスタッカートを演奏を可能とした。

レガートを模擬したタッチでは、鍵盤の変位の挙動、鍵盤に作用する力、並びに打弦・発音するときの鍵盤の位置において、人によるタッチと同じ特性を有することを確認した。これにより、人間に近いピアノタッチを機械的に同条件で繰り返し行うことができ、再現性のあるピアノの音の実験や分析が可能になった。

**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, 打鍵装置, 人型

### 1. 研究開始当初の背景

音楽は、古代ギリシャの時代では数学や物理の様に自然現象を解明するものとして考えられていた。音楽は、現代では自然科学から離れ、むしろ芸術としての位置付けが強い。様々な音楽のジャンルや様式がある一方で、古代ギリシャでは、音楽は調和を表すものとして捉えられていた。この観点は、心豊かな生活、またストレスの多い現代社会の人の心に安らぎと調和を与えるためには欠かせないものとして考えられる。

この音楽を奏でる上において、「音色」は重要な音の特性である。ピアノは、多彩な音色が奏でられる楽器の一つであるが、ここで述べる「音色」というのは、ちょ

うど流れの渦の如く、良く知られていても物理上明確・統一的な定義がない。バイオリンやピアノの音色の相違等は、周波数の分布や特性等でその違いが判るかもしれないが、周波数分布だけでは表されない「優しい音色」、「しっとりとした音」等という音楽の表現上重要な意味合いを持つ音色については、物理的な定義が未確立である。「語りかけてくれるピアノ」というピアノ自体の賞賛の表現においても同様であり、人々の中で共有するイメージや感覚に基づいた音の表現は、楽器の開発、或いは音の客観的評価を要する場合には曖昧であり、特に楽器開発においてはターゲットを技術的に明確にできな

い。この様な長年の懸案である音色の定義に取り組み、ピアノの音の特性を分析する実験では、打鍵時の力学的挙動やそれによる打弦・発音の再現性が要求される。即ち、打鍵の力や鍵盤に作用させる質量、スピード等において物理的に同じ条件・再現可能であることが必要である。このとき、人ではなく打鍵装置等による機械的な打鍵が可能であれば、客観的な再現性等の要求を満たすことができる。また、この様な実験では、音の詳細を測定、或いは無音室で行うため、音の発生を抑制した装置が求められる。

## 2. 研究の目的

ピアノのタッチを客観的に再現するため、人型打鍵装置の開発を目的とする。本研究では、音を発生させないアクチュエータを検討し、設計並びに製作を行う。また、この打鍵装置による打鍵の特性を実験にて分析する。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の項目を実施する。

### (1) 打鍵装置の設計

音を発生しないアクチュエータを検討すると共に、人間の打鍵時の挙動を模擬するメカニズムの打鍵装置を設計する。タッチの種類は様々であるが、主要なタッチを模擬することを条件とする。

### (2) 打鍵装置の製作

第(1)項にて検討した設計条件にて製作を行う。本装置では、腕・手・指の模擬モジュール、駆動部、またアクチュエータを用いて指の関節部等の動きをコントロールするための電気回路等の構成とし、今後の改良を容易とする様な製作（製作設計）とする。

### (3) 打鍵装置の打鍵実験

打鍵装置で打鍵したときのダイナミクスの挙動と音の分析を行う。

## 4. 研究成果

本研究における打鍵装置では、手首から指先の運動を模擬するものとした。ピアノ演奏における筋肉の注意点或いはピアノ演奏の初等教育では、打鍵時には指を曲げた形や曲げる力に主な注意が行きがちであるが、実際は、

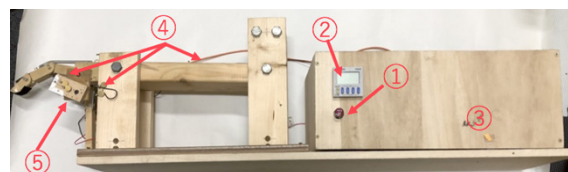


図 1: 人型打鍵装置の外観写真。

曲げる力だけではなく指を伸ばす力とのバランスを保ち、伸ばす力をしっかりと維持させることが必要とされる。そこで、打鍵装置では、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋、長掌筋等の屈筋群の運動と共に、長橈側手根伸筋、短橈側手根伸筋、尺側手根伸筋等の伸筋の運動を考慮に入れる。

打鍵の駆動源において、本研究では形状記憶合金のワイヤ（トキ・コーポレーション株式会社製バイオメタル・ファイバー）の伸縮を筋肉運動の模擬に適用する。タッチとしては、レガートとスタッカートタッチを再現できる様な構造・制御構成としている。

製作した人型打鍵装置の外観写真を図 1 に示す。本図における番号は、打鍵の制御を構成する部品等を示しており、この部品を表 1 に示す。また、打鍵部の仕様を表 2 に記述する。

表 1: 打鍵装置の制御部の構成

図 1 中の No.	部 品 名
1	操作スイッチ
2	タイマーリレー
3	制御回路箱
4	バイオメタル群
5	制御用スイッチ

表 2: 打鍵部の仕様

項 目	仕 様
手首部稼働域	60°
指部稼働域	60°
関節数	4ヶ所
関節可動調整	巻きバネ、ねじりバネ
腱（駆動）部分	バイオメタル
材質	ヒノキ（指） ホワイトウッド （手首、腕）

屈筋と伸筋のバランス状態の模擬に関し、指関節の部分の写真を図 2 に示す。指の関節部には巻きバネ並びに

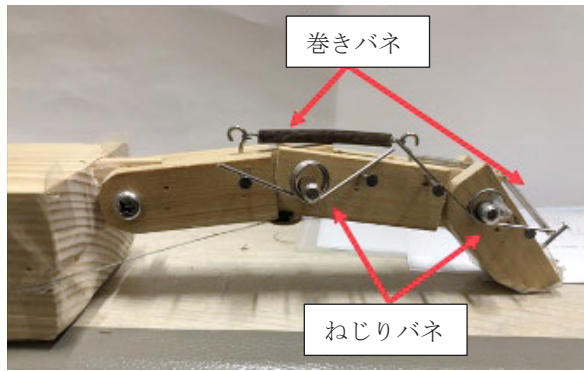


図 2: 指関節部の構造.



図 3: 打鍵装置によるスタッカートのタッチ.

ねじりバネを用い、関節の間の屈伸の力とバランスを調整できる仕様となっている。グランドピアノにおいて本装置を用いて打鍵している様子を図 3 に示す。ピアノの実験では KAWAI GL-20 を使用した。

打鍵装置を用いたレガートの打鍵における鍵盤の変位、鍵盤に作用する力の時系列変化、並びに音のデータを図 4 に示す。鍵盤の変位は二次曲線のような滑らかな変位となり、作用する力は時間と共に増加している。この傾向は、人によるレガートの打鍵と同じ特性を示している。また、図 4 では、ピアノが発音するタイミングを縦線で示している (0.4 [s] より少し前) が、この鍵盤の最大移動量の僅か手前で発音することも人によるレガートの特性と同様である。

従って、本打鍵装置は、人のタッチによる打鍵を模擬できているものと考えられる。一方、指先だけの荷重によるタッチやレガート・スタッカート以外のタッチではより詳細な制御が求められ、また、鍵盤変位のパターンを変える様な瞬発的な激しいスタッカート(ムソルグスキー作曲のピアノ組曲「展覧会の絵」におけるババ・ヤーガの演奏時等)の様な特異な打鍵については異なる駆

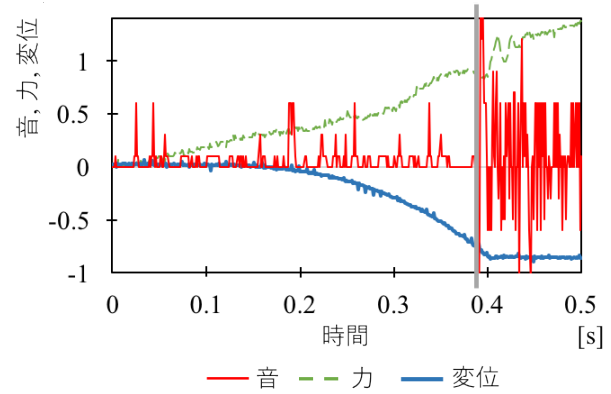


図 4: 打鍵装置によるレガートの打鍵時における鍵盤変位(紫)、力(緑)、並びに発音(赤)の時系列変化. 時刻 0.4 [s] より少し前のグレーの線はピアノの発音のタイミングを示す.

動構造が必要である。しかし、このような打鍵装置を用いると、打鍵の物理的条件と音の特性との関連が明確になるため、これらは楽器の分析だけでなく演奏法の指針にもつながることが期待でき、大きな音楽の貢献となる。

## 5. 本研究に関する発表

本年度の発表はない。