

LEGO Mindstormsを用いた鍵盤楽器自動演奏装置の製作

西 村 則 久

An Automatic System for Playing the Keyboard Using LEGO Mindstorms

Norihisa NISHIMURA

安田女子大学家政学部造形デザイン学科

概 要

LEGO Mindstormsを用いて鍵盤楽器の自動演奏装置を製作したので報告する。

キーワード：Mindstorms、自動演奏、鍵盤、ロボット

I. 目 的

造形デザイン学科では、積極的に最先端の技術・装置を応用した制作物の展示やデモンストレーションを行い、在学生のものづくりへの意識を高めたり、オープンキャンパス等で来場者に対して学科をアピールしたりしている。本装置もその一つの素材となることを目的に製作を開始した。

II. 使 用 機 器

製作に使用した機器は、以下の通りである。

1. LEGO Mindstorms

LEGO Mindstormsはレゴ社とマサチューセッツ工科大学が開発した、モーター、センサー、ギヤ、車軸、タイヤ、制御ユニットなどをブロック玩具を用いて組み立て、自走式ロボットなど任意の装置を作ることができるロボット開発キットである(図1)。

制御ユニットに組み込むプログラムは、フロータイプのビジュアルプログラミング環境で作ることができるが、Linux上にC言語による開発環境を構築することも可能である。

プログラミングの教材としても定評があり、京都大学や立命館大学でも採用されている。本学でも2017年度から2020年度まで家政学部造形デザイン学科の授業「コンピュータ基礎Ⅰ」と「コンピュータ基礎Ⅱ」で使用された。



図1 LEGO Mindstorms

2. 鍵盤楽器

電子ピアノなど、楽器として販売されているものの多くは、LEGO Mindstormsで打鍵するには鍵盤が大き過ぎるため、玩具として販売されている株式会社ハックの「エレクトリックキーボードビートセレクト」を採用した(図2)。楽器として販売されているものでも、鍵盤ハーモニカのように鍵盤が小さいものもあるが、鍵盤ハーモニカは鳴らすために必要な空気の吹き入れが、LEGO Mindstormsでは実現困難である。

なお、本製作の目的は、玩具であっても叶えられると判断した。

3. その他

制御ユニットに組み込むプログラムは、Windowsを搭載したパソコンで開発した。ソフ



図2 エレクトリックキーボード ビートセレクト



図3 アーム方式

トウェア（開発環境）は「LME-EV3」で、レゴ社サイトからダウンロードできる。

Ⅲ. 設 計

1. 駆動方法の選定

打鍵する方法は、3通りを試作した。

1. アーム方式

2台のモーターを使う。1台目のモーターは回転面が水平になるように設置し、回転軸に2台目のモーターを、1台目のモーターと垂直になるように接続する。2台目のモーターの回転軸にはアーム状のブロックを接続し、回転時にアームの先端がキーを押さえるように配置する（図3）。

この方法は、押す必要のあるキーの全てを打鍵できるように配置するためにはアームの先端の軌跡となる弧が直線に近くなる必要があり、そのためアームが長くなってしまい、駆動時にアームに撓みが生じることから、キーに十分な力が伝わらず、打鍵ができなかった。

また、アームを2系統用意した場合に、2つのキーを同じタイミングで押さえるための同期についても、実現が難しい。

2. 振り子方式

鍵盤の上方に、回転面が鍵盤と垂直になるようにモーターを配置し、モーターが回転すると回転軸に接続した棒状のブロックが振り子のように動き、振り子の先端が鍵盤の上空でキーを横断するように移動する。

この方法は打鍵する箇所が直線的に並び、和音を鳴らす際の2つの打鍵位置があまり離れなくて

済むため、振り子構造を2組用意して、1本の長いバーで2つの打鍵用ブロックを同時に押さえて、2つの音を同時に鳴らすことが可能となる設計である（図4）。

しかし、打鍵用ブロックを垂直に配置するためには振り子と打鍵用ブロックのなす角度が平行に近くなるため、振り子から打鍵用ブロックに力が伝わりにくくなり、打鍵用ブロックが移動できずにモーターの回転が停止してしまうという問題が生じた。

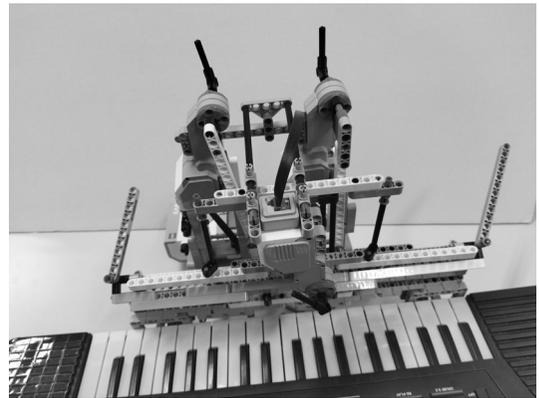


図4 振り子方式

3. 水平振り子方式

振り子の動きが水平面内に収まるように振り子を90度傾けて寝かせ、振り子の先端に打鍵用ブロックを配置する。これを2系統用意して、1本の長いバーで2つの打鍵用ブロックに同時に力をかけて音の同期をとるという方法である（図5）。

振り子や打鍵用ブロックを支えているレール状のブロックの連結部に微小な段差が生じやすく、段に振り子が当たると抗力が発生してモーターが

停止する恐れがあるが、最も有力な方法であるため、本製作ではこれを採用した。

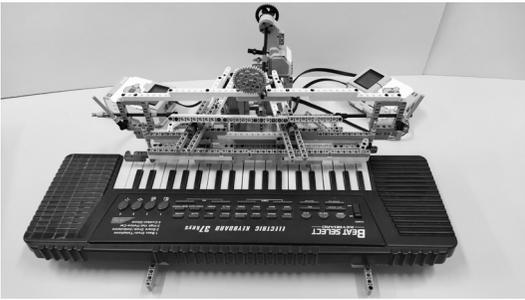


図5 水平振り子方式

2. 曲の選定

LEGO Mindstormsのハードウェア・ソフトウェア性能で目標とする装置を完成させるのは容易ではないことを製作当初から予想しており、演奏しやすい曲を選定することで少しでも完成の可能性を高めることにした。具体的には以下の条件で曲を選定した。

1. 遅いテンポの曲

曲のテンポが速いと、装置の物理的な動きが速くなければならず、実現が困難になる。

2. 単調なリズムの曲

四分音符が単調に続くような曲のほうが実現が容易である。シンコペーションのような複雑なリズムは実現が困難になる。

3. 音域が狭い曲

曲内で使用されている最高音と最低音の差が大きいと、打鍵用ブロックを大きく移動させなければならず、実現が困難になる。

4. 白鍵のみで演奏できる曲

鍵盤には白鍵と黒鍵があるが、両方を打鍵する場合は打鍵用ブロックが白鍵の位置するエリアと黒鍵の位置するエリアの両方をカバーしなければならない。片方のみで済めば比較的实现しやすい。なお、白鍵のほうが黒鍵よりも大きいので押しやすいため、白鍵のみの曲が望ましいことになる。ただ、黒鍵のみで演奏できる曲は、そもそも非常に少ない。

5. 二和音までの曲

和音は構成音の数がある程度多いほうが美しいハーモニーになるが、装置の実現は困難になる。単音が最も簡単に作れるが、装置としても音楽としても魅力に欠けてしまうので、構成音の数が最大で2の曲を選ぶことにした。

以上の条件から、自作曲「雪」をハ長調に移調したもの（原曲は変ロ長調）に選定した（図6）。

IV. 製作上のノウハウ

製作を行う上で難易度が高く、工数を要して獲得した知見や工夫を要した手法について述べる。

1. 処理の並列化

比較的遅いテンポの曲を選んだとはいえ、曲の本来のテンポで演奏することは容易ではなく、処理の高速化のために制御ユニットを2台用いて処理の並列化を行った。1台で制御する場合、2つの打鍵用ブロックの位置合わせを並行して行うことはできず、1つ目の位置を合わせ終えてから2つ目の位置を合わせるしかできない。2台の制御ユニットを用いれば、2つの位置合わせを同時並行的に行えるので、全体の処理を高速化できる。

2. テンポの生成

演奏のためには一定の時間間隔で打たれる拍を作る必要がある。こういった場合、多くのプログラミング環境ではタイマーイベントで拍を作るところであるが、本環境にはタイマーイベントが存在しないため、工夫が必要となった。モーターの回転軸に接続したブロックが、モーターが1回転するごとにタッチセンサーを押すように組み立てることで、プログラム内部からではなく、駆動部の物理的な動きによって拍が生成されるようにした。

3. 制御ユニットの同期

2台の制御ユニットの同期はBluetoothの通信で行った。1台をマスター、もう一台をスレーブとして、マスターがポーリングでタッチセンサーからの拍の入力を監視し、入力を検知するとスレ

雪

図6 曲の楽譜（ハ長調に移調）

ープに対してBluetoothで文字列を送る。スレーブは、ポーリングで文字列の受信を待っており、この受信を拍として処理する。通信による遅延は、単体テストで確認したところ、無視できるレベルであった。

4. モーター回転速度の段階的制御

処理の高速化のためにはモーターの回転速度を極力速くすることが望ましいが、高速に回転している状態から即座に回転を停止させるようにプログラムを組むと、振り子の慣性力によって、振り子が本来の位置を通り越してから停止するという問題が発生した。これにより、打鍵位置に狂いが生じて異なる音が鳴るうえ、振り子の位置情報も狂うため以降の演奏もずっと異なる音になってしまう。

対策として、回転を停止させるときに、段階的に速度を落として停止させるようにした。

ると以降はずっと音が狂ってしまうので、一回当たりの打鍵の位置合わせが失敗する確率を低く抑えても、最後まで正確に演奏できるようにはなかなかならない。

人の手による演奏であれば、途中で間違えても、それ以降を間違えずに正確な演奏を続けることはできるが、本装置の場合、最後まで一回も音が狂わないような完璧な状態にしない限り、途中で破綻してしまうので、感性的な評価が非常に低くなってしまい、デモンストレーションに耐えられない。

今後は調整を重ね、無理なくデモンストレーションが行える状態にまで完成度を高めたい。

[2021. 9. 16 受理]

コントリビューター：山下 明博 教授

(造形デザイン学科)

V. 結 果

LEGO Mindstormsを用いて鍵盤楽器自動演奏装置を製作し、ある程度の自動演奏を実現したが、演奏中に少しでも振り子の位置に狂いが生じ