# GOMUSICA: ゴムの伸縮で演奏する楽器

 岸岡 信伍<sup>†</sup>
 倉知 尚貴<sup>†</sup>
 栗原 拓人<sup>†</sup>

 馬場 哲晃<sup>†</sup>
 串山 久美子<sup>†</sup>

本稿では、電子楽器の新しいインターフェースとしてゴムの伸縮を利用することを提案する。ゴム遊びやチューブエクセサイズのように、ユーザーはゴムバンドの両端を持って演奏する。音の変化は、ゴムが伸縮する際の光透過性の変化を CdS センサにより検出することで表現する。

# GOMUSICA: An Electric Musical Instrument that Allows Users to Play with Rubber Elasticity

SHINGO KISHIOKA<sup>†</sup> NAOKI KURACHI<sup>†</sup> TAKUTO KURIHARA<sup>†</sup> TETSUAKI BABA<sup>†</sup> KUMIKO KUSHIYAMA<sup>†</sup>

This paper proposes a novel interface of electronic instrument utilizing elasticity of rubber. A user can play this by gripping both ends of the rubber band like as play or tube exercises. Changes of the sounds are presented by the amount of light, which penetrate through the stretched rubber and are picked up by CdS Sensors.

## 1. はじめに

本稿では、我々はゴムの伸縮を利用したインタラク ティブな電子楽器を提案する。電子楽器「テルミン」 の登場以降、楽器インターフェースは多様化した反面、 実際の演奏方法と音色が必ずしも調和しない場合があ った。弦楽器演奏において、弦の張力を利用して高音 や演奏に微妙な表情付けができることはよく知られて いる。たとえ普段楽器に触れることの少ないユーザー であっても、輪ゴムを伸ばして音を鳴らすのは誰もが 経験した行為である。そこで本稿ではゴムの伸び縮み を楽器演奏に利用する。具体的にはゴムの伸縮によっ て生じる素材の透過率変化を光学的に測定することで、 音の高低を操作可能にする。ここでの知見は楽器演奏 に限らず、ゲームや他の情報機器インターフェースに おいても応用が可能であると考えられる。GOM(ゴ ム)と MUSICA (イタリア語で音楽)を組み合わせ、 本稿では制作した装置を GOMUSICA と呼ぶ。

#### 2. GOMUSICA

最大の特徴はゴムの特性を活かしたインターフェースである。ゴムを伸縮させることは身体的に楽しいものである。例えば子供は輪ゴムでよく遊び、大人はチューブエクセサイズをする。ゴムの楽しさは、その伸

び縮みと共に、自由自在に扱えるところにある。 GOMUSICA も同様に自由自在に伸び縮みさせることができる。このゴムの身体的な楽しさを楽器の演奏として体感できるもので、演奏は非常に力強さを感じさせ、聴覚のみならずパフォーマンス性も高く、見る人も視覚的に楽しむことができる。

また、ゴムの伸縮だけでフィジカルに演奏すること ができ、引っ張るという単純な動作のみのため、従来 のボタンで演奏する楽器と比べても指先の器用さが不 要。そして肉体を大きく使う動作で音を鳴らすので直 感的で且つ音と体の一体感も味わうことができる。ゴ ムの伸縮の動作は簡単というだけでなく凡用性も高く、 ただ水平方向に伸び縮みさせることだけでなく、天地 方向や前後方向へ変化させたり、身体の後ろで演奏し たり、二人で両端を持って演奏するなど多様性が生ま れる。音楽は聴覚のみで成立するものではなく、視覚 や触覚もエンターテインメントとして重大な要素であ る。例えば音楽で言えばバンドのコンサートはただ音 が出るだけで面白いのではなく、ギターやドラムを演 奏している姿のパフォーマンスも欠かすことのできな い魅力である。例えば、蛍光灯を楽器にした 「OPTRON」を演奏する伊東篤宏や、ブラウン管テレ ビを楽器にした「Braun Tube Jazz Band」の和田永な どの自作楽器による演奏はパフォーマンス性が高く見 るものを魅了する。GOMUSICA は身体動作の激しい 動きから細やかな動きまで、多様な力の表現ができエ

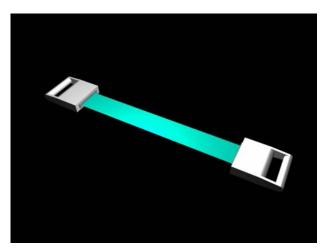
Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University

<sup>†</sup> 首都大学東京システムデザイン学部

ンターテインメントの大きな要素であるパフォーマン ス性の高い演奏を非常に簡単な操作で可能にする電子 楽器である。さらに、操作に手を離すことや指を置き 換える必要がないため、視覚障害者も楽しむことがで きるという点で非常にユニバーサルなインターフェー スと言える。

#### 3. 提案と実装

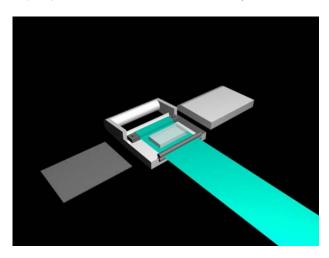
今回、GOMUSICA を制作するにあたり、まず主に外装のイメージを固めることから始めた。そのために Autodesk Maya を用いて 3D データのモデルを作ることにした。それが(図 1)である。

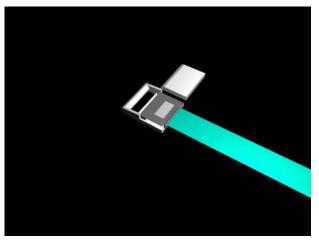


**図1** GOMUSICA 外装 3D モデル

GOMUSICA は取っ手となる部分が2つあり、真ん 中にゴムがある。その両端の取っ手は片方がもう一方 より大きい設計になる。その取っ手と取っ手を持ち、 広げることでゴムが引き伸ばされて音が鳴るという仕 組みである。そこでゴムの伸びに対応して変化する数 値を探す必要がある。本研究ではいくつかの方法を模 索した末に、ゴムが伸縮する際に密度変化と比例して 遮光性が変化することに着目した。例えば取っ手と取 っ手の距離を距離センサなどで計算するとしてもゴム が常に直線的でないことを考慮すると正確には測りに くく、楽器としては成り立たせにくいからである。今 回ゴムの伸縮の密度変化の遮光性を使った研究として 農研機構のチューブ内の乳汁流を検知する研究[1]を 参考に、LED と CdS センサをゴムの外側に対向させ、 ゴムを透過した LED 光による CdS の抵抗値の変化を Arduino によってシリアルポートで読み取り、数値に 応じた音程の音を出すことにした。また、Arduino と の接続方法は LED を常に光らせなければならないの で、USBで PCに接続するという方法を選択した。こ の装置は取っ手の中にあるゴムを挟むグリップ部分に

設置する。この取っ手部分には他に MIDI 出力ポート を設置し、外部音源を使用して音を発生させる。その 内装部分の 3D データが(図2)である。





**図2** GOMUSICA 内部イメージ

そして先述の USB から PC を使用して Arduino で音を発生させる。その全体の回路図が次のページの(図3)である。Arduino の 3.3V のところから  $300\Omega$  の抵抗をつなぎそこから LED を光らせ、Arduino の 5V から 10K  $\Omega$  の抵抗をつなぎそこから CdS を使い抵抗値を計測する仕組みである。抵抗、LED、CdS はユニバーサル基板に接続することで機能させる。

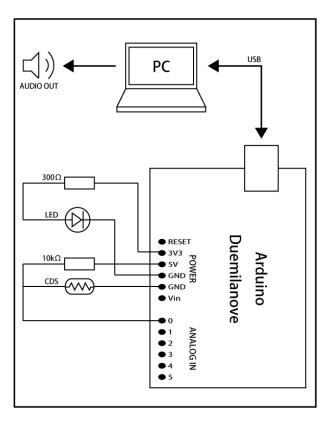


図3 GOMUSICA の回路図

# 3.1 音の変化が出るかの実験

今回 CdS の値で音程を変えられるかどうかの確認のための実験として、外側を含めた実験をする前に内部構造をブレッドボードとジャンピングワイヤを使用し、Arduinoから Processing に命令を出してサイン波を起こさせる実験を行った。その様子が(図4)である。

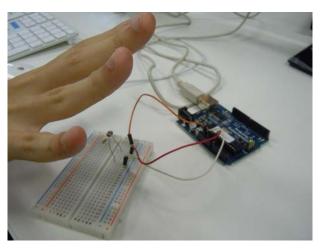


図4 ブレッドボードを使用した実験の様子

その回路の構造は(図3)の LED をのぞいた CdS のみの回路である。その状態で(図4)のように手をかざすと元のシリアルポートより下がった、つまり暗

くなったことで数値が変わったのである。そのデータを Processing データに送った(図5)そのシリアルポートの数値の変化によって出すサイン波がドレミファソラシドにあう周波数の音(例えばドの時は523.00Hz)を出すように設定した。そして実験を何度か行った結果音程は変化しドレミファソラシドといった変化を起こしたのである。これを実物のデータに合わせれば音程の変化を起こすことが可能である。

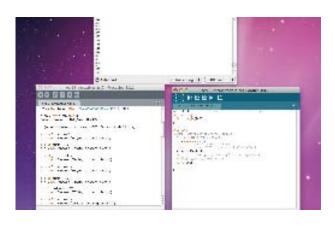


図5 変化の様子を PC モニタ上に映したもの

#### 3.2 シリアルポートの変化の実験

今回上記の機能を果たすかどうか、またシリアルポートを使ったときの数値の変化を確かめるために実験を行うことにした。実験を行うにあたって、抵抗・LED等が入った方の取っ手のプロトタイプを作りそれを使用して実験を行うことにした。そこで出来たプロトタイプが(図6)(図7)である。

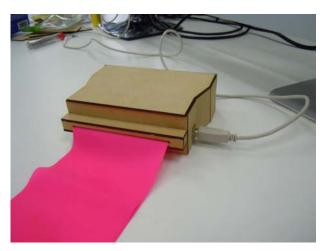


図6 GOMUSICA 試作の外観

(図6)が外観、次ページ(図7)が内部の基本構造となっている。プロトタイプはサイズをできるだけ小さくして、145×100×45の凸版で板は 2.5mm のものでゴムは透光性と遮光性、及び伸縮性のバランスを



図7 GOMUSICA 試作の内観

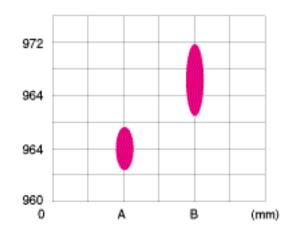
考慮し、リージェントファーイースト社のエキササイズバンドのピンク色、横 150mm (100mm にカット) 長さ 1200mm 厚さ 0.4mm (エキササイズバンドで最も薄いもの) を使用した。LED は超高輝度青 LED の5mm のものを使用した。今回も先述のようにシリアルポートのデータを Processing に送り Minim を使い、シリアルポートのデータの数値よって特定のサイン波を出すことによって音階を変動させるものとした。そして、実際に実験を行っている様子が(図8)である。



図8 GOMUSICA の実験風景

今回の実験を行う前にまずゴムがまったく伸びていない状態を A として A の状態のときのゴムの出ている場所に印をつけ、ゴムが最大まで伸びきっている状態を B とし、B の状態で、先ほど印をつけた部分からの長さを測ったところ 200mm 強であった。そこで今回は GOMUSICA で出せる音の最大のピッチの値を示すときは 200mm 伸びるという想定のもと設定することした。今回の実験では A の状態 (0mm) と B の状態 (200mm) に加えて C の状態(100mm)で計測を行

い A,B,C の状態でのシリアルポートを計測した。 A の状態のときのシリアルポートの平均値は 960~970 の値であった。そして C の状態(100mm)のときのシリアルポートの平均値は A とくらべて 3~4 高くなり、B の状態(200mm)のときは 7-11 ほど高くなった。その表が(図 9)である。



AAA	
BBB	

図9 シリアルポートの数値変化

この実験で判明した事はかわったシリアルポートの 変化量は非常に微量であり、これで音程を変えるには シリアルポートの値が不安定なので正確に変えるのは 難しい。しかし確かに A の状態よりも数値が高くな っておりゴムを長く伸ばすことで、ゴムの厚みが薄く なり遮光性が低くなっているのがわかった。また A の状態の数値は毎回若干のばらつきがあるのだが、ゴ ムを伸ばした事によってほぼ均等に数値が増え、また ほぼ比例しているためゴムを伸ばしたときの数値自体 はほぼ毎回同じ状態であると言えるだろう。このシリ アルポートのデータがより鮮明な形になれば(図9) の下のように Processing の if 文を使用すれば、例えば A の状態のときにドの音程のサイン波が出る様にし、 B の状態で 1 オクターブ高いミの音程のサイン波が出 る様にすれば楽器として成立するであろう。ちなみに 現在の段階でゴムを使用せず手で CdS を暗くして音 階をつけることは成功しているためシリアルポートが 安定すれば可能であろう。その様子を表した図が(図 5) である。写真では音声がわからないが暗い明るい に応じて数値が変わり音程も変化している写真では音

声がわからないが暗い明るいに応じて数値が変わり音 程も変化している。

#### 3.3 抵抗値の測定の実験

今回最後に行った実験の目的は CdS の抵抗値がどのように変動するかの確認である。今回の実験では前回の実験のプロトタイプに加えて、(図 10) のようにテスターを使用して抵抗値を測る。



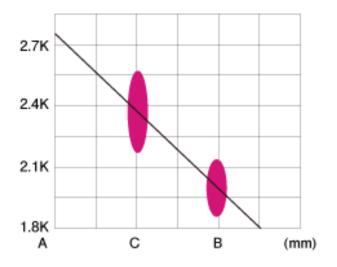
図10 テスターによる抵抗値の測定

ただし前回の実験のままではプロトタイプにテスターをつけて外側で密封して実験を行う事は難しい。そこで、今回の実験では周囲を暗くし他に光のない状態で擬似的に密封状態と近い光の状況を作り実験を行った。CdS は光を受け取った量が多ければ抵抗値が低下し、少なければ抵抗値が上昇するため、今回の実験でゴムを引っ張って遮光性が低下すればするほど、CdS は多くの光を受け取り抵抗値が上昇するはずである。今回も前回の実験同様 0mm の状態を A、A の状態にしるしをつけ(今回は周りが暗いため、クリップでしるしをつけた。)そのしるしとゴムの出口までの長さが 200mm の状態を B とし、長さが 100mm の状態を C、 $A \cdot B \cdot C$  の状態各々の抵抗値の値を計測した。その実験の様子が(図 11)である。



図11 暗室での実験の様子

そして今回の実験の結果が(図 12)である。A の状態で CDS は 2.6-2.7K $\Omega$ 、B の状態(200mm)で CDS は 1.9k-2.0K $\Omega$ 、C の状態(100mmm)では 2.1-2.4K $\Omega$ あった。このことから分かることは CDS が当初の予想内容通りに正しく機能しており、また100mm 伸びれば 0.2K $\Omega$ -0.4K $\Omega$ 、200mm 伸びれば 0.7K $\Omega$ 低下しており。ゴムが長くなればなるほど CDS の抵抗値が比例に近い形で低下している事がわかる。



2.6ΚΩ-2.7ΚΩ
1.9ΚΩ-2.0ΚΩ
2.1ΚΩ-2.4ΚΩ

図12 抵抗値の変化

# 3.4 実験の総括

そして、全ての実験結果をあわせた、つまり前回の実験のシリアルポートと音程のデータと合わせたものが次ページ(図 13)である。今回の実験では前回の実験のシリアルポートの上昇が比例していた形に近いデータといえる。今回私たちが考えている音程の変化の振れ幅は先述した「OTAMA-TONE」の 1 オクターブ~1.5 オクターブの音程の変化を想定しているため、音階の変化はドから 1 オクターブ上のミまで変化する物とし出すサイン波の周波数は 523Hz~1318Hz とするので変動する値は 795Hz、 シリアルポートの変動は30、抵抗値の変動は  $0.7 \mathrm{K}\,\Omega$ 、ゴムの長さは  $200 \mathrm{mm}$  変動する。そしてドから 1 オクターブ高いミまで半音が17 あがるので、1 個の半音があげるためにはシリアル

ポートが約 17 上がるたびに Hz を設定すれば半音分の音が変わるようになる。なお、半音あがるたびに抵抗値は約 0.04 低くなる。

### 4. 今後の課題

今回の実験で見えた今後の課題は、まずはシリアル ポートの数値の安定である。特に今回の実験では A の状態は 960-970 と安定していなかった。その原因と して考えられるのが外部の光の漏洩である。特にゴム を通す穴から入る光の量はどうしてもある程度入って しまい、その外界の明るさが常に一定でない以上 A の数値も常に一定とは限らないようである。また実験 で見えたもうひとつの課題は数値の変化が微量だとい うことである。この場合シリアルポートで読み取った 数値を全て10倍近くすることで多少は解決できるの だが、やはり根本的解決にはならない。そこで今回の 実験結果を受けての対策はいくつか考えられる、解決 方法の LED の光を強くする事である。特に今回使用 した LED の光は若干弱くその分取っ手の中が暗くな りすぎて外界の影響を受けやすくなりシリアルポート のデータがとりにくいことになった。他には LED の 光の色を青色から別な色に変える事が考えられる。例 えば緑色である。なぜなら CDS は緑色の光のデータ をより感知しやすいからである[2]。また、コンデン サを使う事でより CDS の機能を強くすることもでき る[3]のでそれをとりつける等である。それら全てを 実証し実験すれば今回以上により大きな抵抗値の変動 が起きると考えられる。また、今回は Processing を使 用したが Processing ではサイン波のような単純な物し か出せないのでその音の面での向上である。その方法 として現在考えているのが Max/MSP をつかった方法 である。これはテルミンでも使用されている例が存在 している。また、他には Arduino のシリアルポートと MIDI を連携させる方法等である。

#### 5. 最後に

今回 GOMUSICA のプロタイプでの実験ではまだ大きな数値の変化が少なく楽器として成り立つには若干技術面でまだ難義な面があるのは否めないが、今後の課題等で記した今後の方向性も見えている。そしてGOMUSICA に存在する新たな方式のフィジカルで且つ魅せる楽器はとても面白いものになるに違いない。

# 参考文献

- 農研機構: ショートミルクチューブにおいて乳 汁流を検知する光学式センサの特徴 http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory /nilgs/2004/nilgs04-18.html
- 2) CDS の特性(色) http://www.elec.chubu.ac.jp/kuzuya-Lab/research-04/KitLED-V4.pdf
- 3) CDS を使って血流量を測る http://ocw.nagoya-u.jp/files/121/A3.pdf

音階	周波数	ゴムの長さ	シリアルポート	抵抗値
F	523Hz	0mm	350	2.7ΚΩ
ド#	554Hz	11.7mm	357.7	2.66ΚΩ
レ	587Hz	23.5mm	359.4	2.62ΚΩ
レ#	622Hz	35.2mm	361.1	2.58ΚΩ
3	659Hz	46.9mm	362.8	2.54ΚΩ
≅8	1318Hz	200mm	380	2.66ΚΩ

図13 今回の実験のまとめ