

平原 真 / 真壁 友

HIRAHARA Makoto / MAKABE Tomo

キーワード

キネティック・アート、ステッピングモータ、TouchDesigner

Keywords

Kinetic Art, Stepper Motor, TouchDesigner

To control motors and move objects with a computer, it is necessary to design electronic circuits and program movements, which is a technical hurdle for students of design and art.

In this study, we developed software to support the creation of kinetic art. The software employs keyframe-based operations used in normal animation production, and allows the user to set the winding speed and timing graphically. In addition, the position of the hoisting point and

the shape of the hoisting object can be freely changed, and settings can be made while confirming them in a 3D simulation. This makes it possible to move actual objects using operations similar to those used in normal animation production.

Kinetic art works created using this software were presented at an exhibition and feedback was obtained from the audience.

1. はじめに

キネティック・アートとは、物理的な動きを取り入れた芸術作品である。風や波、人力、電気などを動力とする。電気で動作する物の中には、モータをコンピュータ制御することで複雑な動きを実現する作品もある。このような作品を制作するには、モータ制御の電子回路、プログラミング、立体物の造形、時間軸を持った動きの演出など、技術系と美術系を横断した技能が必要となる。電子回路やプログラミングは、デザインや美術を学ぶ学生がキネティック・アートを制作する妨げとなる場合がある。

その障壁を低減するため、複数のステッピングモータを容易に制御するためのステッピングモータ制御システム Motion Kinetic Build System (以下 MKB System と略記する)が真壁友によって開発された。これにより、電気回路の専門知識を必要とせずにモータの制御が可能となった。しかし、モータの回転数や回転方向、動作のタイミングなどはプログラミングで行う必要があり、複数のモータを連動させ自然な動きを作る事や、長時間の複雑な動きを作る事が難しかった。

これらの問題を解決し、より直感的な操作を可能とするために、コンピュータ上のシミュレータで動作を確認しながらキーフレームアニメーションを作成し、モータの制御プログラムに自動的に変換する支援ツールを提案する。

ターゲットのユーザーは、デザインや美術を学ぶ学生とする。そのため下記の点に留意する。

- ・通常のアニメーション制作のようにキーフレームで制御できる
- ・発展的な学習のためツールをブラックボックス化しない
- ・市販品の組み合わせで構成し安価である

2. 先行事例

2.1 電動のキネティック・アート

オブジェクトを吊り下げるタイプのキネティック・アートとして ART+COM Studios 社の「Kinetic Rain」^(*)がある。水滴型のオブジェクトをワイヤで吊り下げ、モータで巻き取ることで様々な形状を表現する。制御システムは公開されておらず、仮にソリューションが提供されたとしても、耐久性、信頼性が高い機器構成のため高価であることが予想される。

2.2 モータ駆動のためのキット

モータを簡単に駆動するための製品として、オンセミコンダクタ社製のステッパモータドライバモジュール ソリューションキット「LV8548MCSLDGEVK」^(*)がある。制御用マイコン、モータードライバ、ベースボード、API ライブラリ、モータの設定を行うための GUI アプリケーションからなり、DC モータとステッピングモータを駆動することができる。しかし、複数のステッピングモータを連動することができず、GUI アプリケーションはあるがキーフレームによるアニメーションを作成できない。またアプリケーションがブラックボックスで拡張できないなどの問題がある。

2.3 キーフレームによるアニメーション作成

キーフレームによるアニメーション作成とは、動画制作において変化させたい画像の開始時の状態と終了時の状態を指定することで、その間を自動的に補完する手法である。多くのソフトウェアで採用されており、特に著名な製品として Adobe 社の「Adobe After Effects」^(*)がある。デジタルアニメーションの一般的な手法であるため、ターゲットとするデザイン・アート系の学生との親和性が高い。

3. 作品概要

本ソフトウェアは、Derivative 社製のリアルタイムコンテンツ開発環境 TouchDesigner^(*)で構築されている (図 1)。

画面左上のノードエディタで吊元の位置や吊物の形状を設定し、下部のタイムラインによってある時間の吊物の高さをキーフレームで指定する。右上のシミュレーション表示画面に、実行結果のアニメーションが 3D で表示される。それぞれの操作はリアルタイムに反映されるため、シミュレーション画面を様々な角度から確認して、吊元の位置や動作のタイミングを微調整するなど、柔軟にアニメーション制作することが可能である。

ノードエディタ内にある Export ボタンを押すと、MKB System のモータ制御コマンドが生成される。これを Arduino IDE^(*)で MKB System のマスターの Arduino に書き込む事で、設定したアニメーションに従ってモータが回転し吊物が上下する (図 2)。

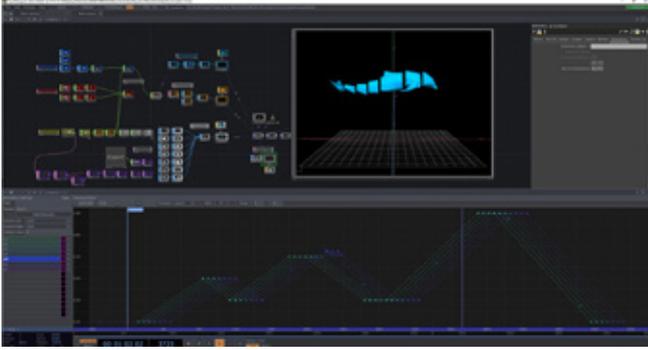


図1 TouchDesignerのGUI

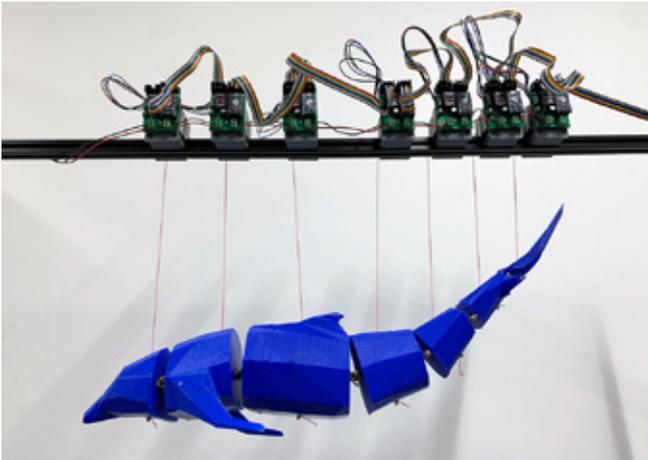


図2 モータと吊物

4. 作品詳細

4.1 開発環境

TouchDesigner は、カナダの Derivative 社が提供するリアルタイムコンテンツ開発環境である。GPU を使った高速な画像処理を手軽に行える点、多くの機器に対応したオペレータ（プログラムの部品）が用意されており制御が容易に行える点などの特長がある。開発環境の選定にあたり、ターゲットユーザが利用しやすい下記の3点を考慮した。

- ・通常のアニメーション制作のようにキーフレームで制御できる
- ・発展的な学習のためツールをブラックボックス化しない
- ・市販品の組み合わせで構成し安価である

TouchDesigner は以下の特徴を持ち、要件を満たすため開発環境として採用した。

- ・タイムライン機能が標準で備わっている
- ・ノードベース（オペレータを線で繋ぐ事でプログラミングを行う方式）なので、プログラミング初心者でも操作しやすく、必要に応じて拡張可能である
- ・無償版を使用できる。

4.2 リアルタイム制御とシーケンシャル制御

開発当初、MKB System のマスター Arduino と TouchDesigner が動作する PC を USB ケーブルで接続し、シリアル通信によってリアルタイムに制御命令を送信する方式（リアルタイム制御）を実装した。この方式の長所は、センサーを接続し鑑賞者の動作に反応するインタラクティブ機能を追加できる事や、映像コンテンツと連動できる事など、高度な演出へ拡張が可能な事である。しかし、実行のために専用

の PC が必要になる事や、データ送信に遅延が生じるという短所があり、できるだけシンプルで安価な機器構成で実現するというコンセプトを鑑みて、予め決められた動作を書き込む方式（シーケンシャル制御）を採用した。

4.3 吊元の位置と個数

吊元の位置はノードエディタ左上で行う（図3）。直線、円形、格子状など幾何学的な形状の場合は青いオペレータ、それぞれの位置を個別に設定する場合は赤いオペレータを接続する。吊元の個数は MKB System の理論上の最大値 150 まで拡張可能である。

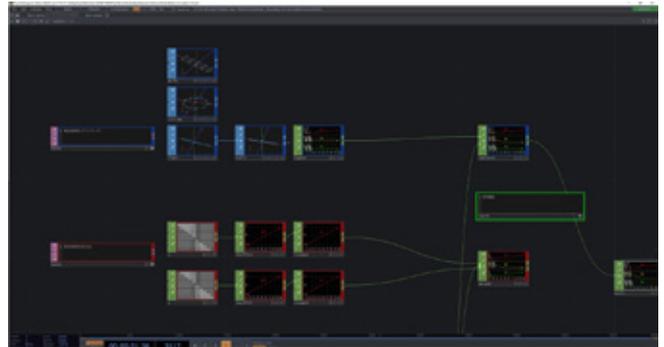


図3 吊元の設定部

4.4 吊物の形状

吊物は、モータ直下にあるオブジェ、2点のオブジェ間を結んだ線、3点のオブジェ間を繋いだ面に分けられる。オブジェの形状は、OBJ形式の3Dモデルデータを使用し、それぞれの3Dモデルがどのモータと紐づくかを指定する。線と面は自由に伸び縮みするゴムのような素材を想定し、色を変更できる。

4.5 キーフレームの設定

画面下部のアニメーションエディタで、時間軸に沿った吊物の高さを指定する（図4）。横方向が時間（フレーム）、縦方向が吊物の位置である。時間軸上にキーフレームを置き、その時点の吊物の高さを指定すると、キーフレーム間の値は自動的に補完される。高さは最小値0、最大値1で設定する。現実世界での移動距離は、書き出しの際に決定される。時間は、実行環境のメモリが許す限り任意の長さに設定できる。

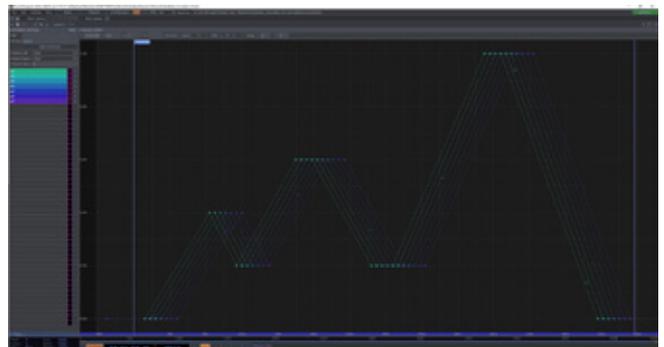


図4 キーフレームによるアニメーション設定

4.6 書き出し

モータの1回転のステップ数、ワイヤの長さ、ワイヤを巻き取るリ-

ルの直径を設定値として入力する。アニメーションエディタで指定したキーフレームの情報では、あるタイミングでの位置が0～1で表現されており、そこから待機時間とモータの回転数、回転速度を計算できる。ノードエディタの左下のExportボタンを押すと、MKB Systemのマスター用プログラムが生成される(図5)。

```

void loop() {
//-----
delay(2000);
sendStepi2c(motorID[0], 916, 1, 916, 30557, 1, 916);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[1], 916, 1, 916, 30557, 1, 916);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[2], 916, 1, 916, 30557, 1, 916);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[3], 916, 1, 916, 30557, 1, 916);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[4], 916, 1, 916, 30557, 1, 916);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[5], 916, 1, 916, 30557, 1, 916);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[6], 916, 1, 916, 30557, 1, 916);
delay(25000);
sendStepi2c(motorID[0], 1079, 1, 1079, -10185, 1, 1079);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[1], 1079, 1, 1079, -10185, 1, 1079);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[2], 1079, 1, 1079, -10185, 1, 1079);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[3], 1079, 1, 1079, -10185, 1, 1079);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[4], 1079, 1, 1079, -10185, 1, 1079);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[5], 1079, 1, 1079, -10185, 1, 1079);
delay(1000);
sendStepi2c(motorID[6], 1079, 1, 1079, -10185, 1, 1079);
delay(9000);
sendStepi2c(motorID[0], 834, 1, 834, 20371, 1, 834);

```

図5 生成されたArduino用プログラム

5. 結果

MKB System 及び本ソフトウェアのデモンストレーションとして、7つのモータを使用してイルカのモデルを動かす作品を制作した。cgtrader.com で無償配布されているイルカのモデル^(*)6)を7つに分割して3Dプリントで出力した。分割されたそれぞれの部分は互いにヒンジで接続され、ワイヤで吊られている。モータには直径40mmのリールが取り付けられており、モータを回転させることでワイヤがリールに巻き取られ、モデルが上下に動く。キネティック・アート制作支援ソフトウェアを使用して、約90秒間にイルカが上下するアニメーションを作成した。全体を一斉動かすのではなく、頭から順に動かすことで自然なイルカの動きに近づけた。また、尾ひれの部分を大きく動かし、跳ね上げるような動作を盛り込んだ。

長岡造形大学オープンキャンパス(2022年7月30,31日)とMaker Faire Tokyo 2022^(*)7)(2022年9月3,4日)で展示を行った(図6)。鑑賞者からは以下のコメントがあった。

- ・自身の作品に利用したいので、基板データやソフトウェアを公開してほしい
- ・実体のオブジェクトを動かしてアニメーションを記録できるようにしてはどうか
- ・イルカの造形をもっとしっかりしたら良くなる
- ・タッチデザイナーの可能性を感じた。これから勉強したい



図6 Maker Faire Tokyo 2022での展示

6. おわりに

デモンストレーション制作では、シミュレータを見ながらタイミングと位置を調整できて作業が捗った。本ソフトウェアを利用せず、テキストによるモータの制御では、複数台の自然な連携は難しかったと思われる。さらにモータ個数やシーケンスの増加によって制作物の複雑さが増すに従って、本ソフトウェアの有効性が高まると考えられる。

一方で、アニメーションエディタでキーフレームが重なっている時に操作しづらい、ワイヤ長さなどの設定値をプログラム内に直接書き込んでいるなど、不便な箇所が多いので今後改善していきたい。また、現在は筆者のみが使用しているので、実際にターゲットユーザに使用してもらい、意見を集めたい。

展示物の鑑賞者からのコメントにあったように、吊物を直接手で動かして記録することができれば、より直感的な操作が可能となる。また、リアルタイム制御によって鑑賞者の動きにインタラクティブに反応する機能を追加したい。

- * 1 ART+COM Studios : Kinetic Rain, 2012
- * 2 LV8548MCSLDGEVK (<https://www.onsemi.jp/pub/Collateral/EVBUM2584-D.PDF>) 最終閲覧 2022.9.19
- * 3 Adobe After Effects (<https://www.adobe.com/jp/products/aftereffects.html>) 最終閲覧 2022.9.19
- * 4 TouchDesigner (<https://derivative.ca/>) 最終閲覧 2022.9.19
- * 5 Arduino IDE (<https://www.arduino.cc/en/software>) 最終閲覧 2022.9.19
- * 6 rkuhl : Dolphin, 2020 (<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/animals/mammal/dolphin-9b7a7368-38e7-4ec1-ba0a-173d603ecc13>) 最終閲覧 2022.9.19
- * 7 Maker Faire Tokyo 2022 (<https://makezine.jp/event/mft2022/>) 最終閲覧 2022.9.19