

WAVO:波動方程式による光の波を表現したインタラクティブ球体

迎 山 和 司[†] 前 田 将 来

WAVO: an interactive ball to express light waves with Wave equation

KAZUSHI MUKAIYAMA[†] and MASAKI MAEDA

1. はじめに

この論文は WAVO と名付けられた芸術作品について説明している。芸術における目標の一つは美しさである。そして、この作品は芸術分野での電子技術の応用の一つを説明するものなので、技術の革新性と有用性の観点と言うより、作品が表現する芸術性の観点から説明を展開している。

2. 背 景

近年、電子技術が発達しマイクロコンピュータ (以降マイコンと呼ぶ) を用いた電子工作が手軽になってきている。また、発光ダイオード (Light Emitting Diode, 以降 LED と呼ぶ) を用いた電飾つまりイルミネーションが広く一般化した。従来であれば単純な明滅しかできなかったことが体験者 (以降ユーザと呼ぶ) の動作に応じて複雑な光り方の制御が手軽にできるようになった。加えて、その手軽さから大掛かりな装置を用いずとも小型で複雑な制御ができるイルミネーションをユーザに身近に体験してもらえるようになった。

芸術の視点から見れば、以上の状況は表現するための材料が増えたと言える。積極的に新しい材料を用いることは、今日の芸術のあらゆる表現において重要である。また、表現の可能性を求めることは人間の知覚の拡張を促す。そして、近年では電子技術やコンピュータプログラムを用いた芸術作品も積極的に発表されている。

3. 目 的

芸術作品を見て美しいと感じる人がいるように、数式に美しさを見出す人もいる。しかし、数式を全く理解していない場合、書かれた数式は意味のない文字の集まりに過ぎず、そこに美しさを見出すことは困難である。その点に着目し、本研究は数式を可視化して、数式の美しさを効果的に表現するような作品を目指した。今回扱った数式は波動方程式 (6.2 節にて後述) と呼ばれる数式である。波動方程式の美しさを効果的に表現する扱いやすい方法の一つとして LED を採用した時、LED のような光はただ点灯させるのではなく数式を効果的に使えば美しくなるのではないかという予測をたてた。そして、ただ単に波紋の広がりや消沈を觀賞するだけではなく、ユーザが作品に触れて、より興味を抱けるようにインタラクティブ性も取り入れた。

4. 関 連 研 究

本章では関連研究について、主に LED を用いたイルミネーション・アートと数式を用いたジェネレイティブ・アートについて説明する。

4.1 イルミネーション・アート

イルミネーション・アートとはネオン管、電球、LED などの光を用いて美しさを表現した芸術作品を指す。昨今ではイルミネーション自体は、クリスマスなどのシーズンになるとクリスマスツリーのみならず街路樹や街の壁などいたるところでみられる。電飾装置自体は手軽に購入できるので一般家庭でも自宅をイルミネーションで装飾することで簡単にクリスマスを演出

[†] 公立はこだて未来大学システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

できる。

そのイルミネーションを芸術として扱っている作品がある。森脇の「レイヨ＝グラフィー」¹⁾は LED と光センサを用い、それらを格子状に組み合わせて大きな板にした作品である。LED は周囲に光があると消灯し光がないと点灯する。このためユーザが作品の前に立つとユーザ自身の影が光っているかのように見える作品である。(図 1)



図 1 レイヨ＝グラフィー¹⁾

4.2 ジェネレイティブ・アート

ジェネレイティブ・アートとは、コンピュータアルゴリズムや数学的自律過程によって生成・合成・構築される芸術作品を指す。²⁾ マンデルブロー曲線の表示など人間が直接絵として知覚できない数式を可視化するコンピュータ・グラフィックスの一つともいえるが、特徴としては数式を分析するための可視化ではなく、数式を表現の道具として用いユーザに絵として見せることを目的としている。

木本の「イマジナリー・ナンバーズ」³⁾は非線形力学系の一つの数式をコンピュータにゆだねて生み出されたドット(小さな点)が、時空間をリズムカルに舞うことで構成される作品である。単独では何のイメージももたない「数」が、集まり方によってさまざまな像をつくりだす視覚表現を実現させている。(図 2)



図 2 イマジナリー・ナンバーズ³⁾

5. プロトタイプ

本研究の前にその効果を確認するためにプロトタイプを製作している。このプロトタイプは「煌(きらめき)～光と水の協演」と名付けた。「煌」は自作した 16x16 の青色 LED の下にお椀状の半球体をつけその中に加速度センサと重りを入れた。この重りによってユーザが「煌」をつつくと加速度センサが反応して揺れるようにした。(図 3)

LED の個数はこのプロトタイプ製作前のソフトウェア・シミュレーションによって決定した。8x8 でも検討したが波紋を表現するには 8x8 では表現力に乏しかったため 16x16 にした。加速度センサと LED の制御には Gainer⁴⁾ を用いた。プロトタイプでは、16x16 の青色 LED による光の波の点灯によって美しさを表現していたが、Gainer は有線制御なので本体はケーブルがつながった状態になり、ユーザがつついてもケーブルが邪魔をしてゆらゆらと揺れつづけることはなかった。また、制御は Gainer を通してノートブック PC で行っていたが起動に手間がかかり設置が大がかりであった。この結果から、本体のみで動作できる 16x16 のマトリクス LED を制御できる新しい筐体を製作する必要があった。

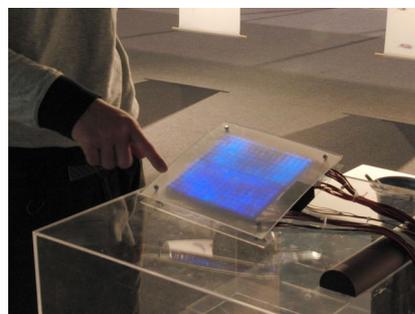


図 3 煌(きらめき)～光と水の協演

6. WAVO

プロトタイプ製作から、ケーブルレスで単体で動くことと筐体は大がかりにならないことが求められた。よって、Gainer を通してコンピュータから制御するようなシステムではなく、マイコンと加速度センサを内蔵した単純明快な構成にした。さらに筐体を初めから自作すると仕上げが粗雑になるので、すでに市販で入手できる透明なアクリル球を使うことで仕上げのクオリティを上げることにした。作品名は波を表現する球体であることから、WAVE(ウェーブ)と BALL(ボール)の発音を合わせて WAVO(ウェーブ)とした。(図

4) 本章では本研究の作品について説明する.

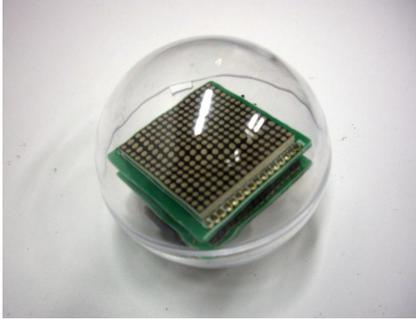


図 4 WAVO

6.1 本体構成

本体の形状は球体となっており, 部品は, PSoC マイコン (CY8C29466), 16x16 マトリクス LED (C-2AA0SRD), 加速度センサ (KMX52-1050), 4-16 デコーダ IC (74HC154), 330 Ω の抵抗, 5 ボルト 3 端子レギュレータおよびスイッチで構成されている. そして, 重ねた二枚の基板の上に LED, 下にその他の部品類を配置し, 一番下に 9V の電池を置いている. (図 5) この電池が重りの役割を果たし, 球体のケースの中に組み込んで平面に置いた時, 指でつついても転がらずにその場で揺れるようになっている.

16x16 マトリクス LED は, アノードコモン (列) 側には PSoC マイコンから 16 本の出力ピンが直接接続され PWM 制御し, カソードコモン (行) 側には PSoC マイコンから 4 本の出力ピンを 4-16 デコーダ IC を介して 16 本分としてダイナミック駆動で制御している. 表示能力は $16 \times 16 = 256$ ピクセルで 32 階調の輝度を 30fps の速度で表示できる. 色は単色で赤である. この色である理由は適当な大きさの 16x16 マトリクス LED には赤色しかなかったためである. ユーザの動きを検知するための加速度センサは X・Y・Z それぞれの軸の出力ピンを PSoC マイコンの入力ピンにつないでいる. このうち X・Y の情報を入力として利用している. (図 6)

球体のケースは先ほど述べたようにアクリル製のケースを利用した. 美観のこだわりから単に使われなくなったケースを再利用しているのではなく, この作品のために一番合う大きさのケースを選んでいる.

6.2 波動方程式

波動方程式は波の伝播の様子を記述する偏微分方程式である. 波は多くの複雑な形をとりながら多様な性質を示す. 例えば, 水面上の波紋や太鼓の革の表面に現れる動き, 人の声, 地震, ラジオの電波などが挙げられる. これらの波は, 波動方程式と呼ばれる微分方



図 5 部品構成

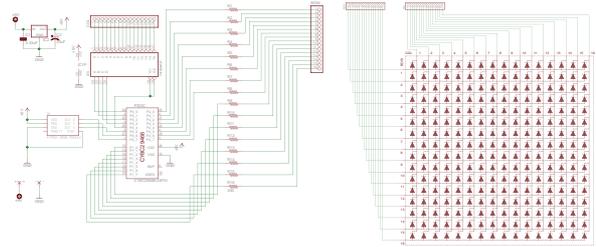


図 6 回路図

程式によって記述され, 共通の基本的な特徴をもっている.⁵⁾ 本研究は波動方程式の二次元平面上におけるそれぞれの位相をマイコンによって具体的な数値で算出している. そして, 算出された位相と LED の光の強さを対応させ, 光の水面を創り出している. 二次元の波動方程式は

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

と表される. この波動方程式をテイラー展開した近似式を用いて解き, 数値計算に適した波動方程式の離散的な形を求める. 連続的な方程式を物理的な根拠のある離散的な形に変換する手順から, 数値計算に有用なアルゴリズムが導かれる.⁶⁾

このアルゴリズムを時間 τ における位置 (i, j) に着目し簡素化すると,

$$u(\tau + 1, i, j) = \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{l} u(\tau, i + 1, j) + \\ u(\tau, i - 1, j) + \\ u(\tau, i, j + 1) + \\ u(\tau, i, j - 1) \end{array} \right\} - u(\tau - 1, i, j) \quad (2)$$

となる.⁷⁾

上記の式により, 波の位相が平面 (i, j) 全体へ伝播する. しかし, このままでは波が消沈しない. そこで, 定数 $d (0 < d < 1)$ を用いる. d が 0 に近いほど波紋は速く消沈する.

$$u(\tau + 1, i, j) = d * u(\tau + 1, i, j) \quad (3)$$

式 (2) の式 (3) 順にループ内で処理させることによって、波の位相は伝播し自然に消沈する。

7. 展示と結果

本作品は 2009 年 5 月 23 日 (土)-24 日 (日) の 2 日間、東京のデジタルハリウッド大学八王子制作スタジオで行われた Make:Tokyo Meeting 03 に展示された。Make:は主に工作等に興味がある人々が読む雑誌である。そして、雑誌の販売だけでなく実際に成果物を見たり触ったりできるように定期的に集会を開いている。会場には、電子工作・DIY などに興味のある人々の他にも、親子連れや研究者など多様な人々が多数訪れた。

展示には 3 個の WAVO を用意し、タイトルと概要を説明した紙を置いた以外は、ユーザには特に説明をせず触っても良いことだけを伝えた。その結果以下のようなユーザの意見や行動が得られた。

まず、行動としてはつつくというよりも独楽のように回すユーザが多かった。このため波の形は渦巻きを巻くような形状になりその動きを楽しむがユーザが多かった。

多くの人が「LED の光の波が美しい」という感想を持った。さらに、波動方程式を説明すると、数式が生み出す画像の美しさに感心した。

また、小さな子供がさわって落としたりしても、壊れることなく安定した動作をした。

Make:Tokyo Meeting 03 は実際に作ることに興味のある人々の集まりでもあるので技術的な意見も得た。例えば、本体の個数が 3 個ではなく何十個もあるとより視覚的面白さが増すのではないかといった意見や、振動モータを入れて本作品自体が踊るようにしたらどうかという意見を得た。

8. ま と め

本研究では 16x16 マトリクス LED と加速度センサそしてマイコンを用いて光る球体を製作した。LED はただ光らせるのではなく、波動方程式を用いて波を表現した。さらに内蔵された加速度センサによりユーザが球体をつつくとその傾きに応じて波紋が起こるようにした。作品はプロトタイプ製作の後、Make:Tokyo Meeting 03 という場所で展示した。そして、多くのユーザに体験してもらった結果、LED の光の波の美しさに興味を持ってもらうことができた。

9. 今後の展望

今後の展開としては、本体の個数、本体形状の拡張、本体機能の拡張を考えている。

展示の結果から得られた知見や意見から、本体の個数を多くすることを考えている。個数を増やせば、一つ一つでは小さな効果だが沢山あることによって、迫力が増すと思われる。

本体の形状としては、球体にした結果、独楽のように回す人が多かったが、これは大きさも関係していると思われる。大きさが手に持てるほどのものであったため、片手でくるくる回しやすかったのである。もし、つつくことをより誘発させようとした場合はいまよりも大きな形状か、球体あるいは円形ではない形状にしたほうがよいかもしれない。ただし、その場合は適当な部品がないため LED 表示部分から製作することになる。電光掲示板などの部品を使って人が乗れるサーフボードのような形状にすることも検討中である。

本体機能としては、人がつつくことにより反応するより、個体自体が動くようにしたらどうかという意見があった。また、個体同士がお互いに通信して同期をとるというのも数を沢山展示する場合には有効と考えている。

以上から、大きく分けて、二つの方向が考えられる。一つは本作品を大きくしてサーフボードのようにして単体だけで体験させる方向ともう一つは小さい大きさのまま沢山並べてお互いが同期しあう方向である。いずれにしても LED を用いた光の波の表現を美しく思う人は多いので、波の表現をより効果的に体験させる作品を目指したい。

謝辞 本研究を進めるにあたり、研究室所属学生だった加藤瑞樹さん、小野佑樹さん、轟木このみさん、大島卓さん、加賀雄太さんに感謝の意を表します。また、展示に際して、多くの貴重な意見を頂いた皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 森脇裕之, レイヨ=グラフィー, 1580 × 2700 (mm) (1990).
- 2) 「ジェネレーティブアート」『フリー百科事典 ウィキペディア日本語版』. 2009 年 10 月 1 日 (木) 08:58 UTC, URL: <http://ja.wikipedia.org/>.
- 3) 木本圭子, イマジナリー・ナンバーズ, 工作舎, (2003).
- 4) 小林茂, GAINER, <http://gainer.cc/>.
- 5) 須藤彰三, 物理数学 One Point 9 波動方程式の解き方, 共立出版, (2002).
- 6) ハーベイ・ゴールド, ジャン・トボチニク, 計算物理学入門, ピアソン・エデュケーション, (2000).
- 7) Rubin H. Landau, Manuel Jose Paez Mejia, 計算物理学 応用編, 朝倉書店, (2001).