

Sootoid: 煤によるジェネラティブアート生成の試み

羽田久一¹⁾(正会員) 中野 亜希人²⁾(非会員) 亀井 翔¹⁾(非会員) 戸塚 大介¹⁾(非会員)

1) 東京工科大学メディア学部 2) 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

Sootoid: Generative art based on soot of candle.

Hisakazu Hada¹⁾ Akito Nakano²⁾ Sho Kamei¹⁾ Daisuke
Tozuka¹⁾

1) School of Media Science, Tokyo University of Technology

2) Graduate School of Media and Governance, Keio University

hadahskz @ stf.teu.ac.jp

概要

本論文ではジェネラティブアートの生成手法としてコンピュータ駆動された蠟燭によって生じる煤を描画に利用する手法を提案し、実装を行った。Sootoid と名付けられた本システムの最大の特徴は人間のプログラミングによる蠟燭の動きと、自然現象として制御不可能な蠟燭の炎の動きの組み合わせである。

Sootoid はマクロにはプログラム可能な再現性があるシステムを用いたにもかかわらず、ミクロには蠟燭の炎という再現性のない描画を利用している。そのため、従来ではジェネラティブアートにおいてシステム内の乱数を用いて行っていたノイズの生成を、システムに固有の特性として保持しており、一般に画面上では乱数によって行われていたジェネラティブアート作品の生成を実空間のゆらぎを利用して行うことが出来る。

Abstract

In this paper, we propose and implement a new method to create generative art using soot of candle that is controlled by a computer. This system is called 'Sootoid'.

A Sootoid uses two motions for drawing. One is a movement of a candle that is based on a program, and it has repeatability. The other one is a movement of a flame of a candle that is based on nature phenomena, and it does not have repeatability. Therefore, while the most of generative arts use a random number to make a noise of system; as against Sootoid uses a randomness of natural phenomena of a system to generate a noise.

1 はじめに

コンピュータ技術の発展と一般化に伴い、新しい技術的発明を基盤とした芸術であるメディアアートの分野において、コンピュータを利用した作品が広く作られるようになってきている。日本においてメディアアート（メディア芸術）とは映画・漫画・アニメーションの他、コンピュータ他電子機器を利用した芸術と定義されている[1]。

現在ではパーソナルコンピュータからマイクロコントローラと規模や能力の差はあるものの、多くのコンピュータがほとんどのメディアアート作品と呼ばれるもののなかに組み込まれており、コンピュータはメディアアートを構成する要素の中で、もっとも一般的かつ重要なパーツとなっている。

このようなメディアアートの中でもプログラムを用いたアート表現であるジェネラティブアートが広がりを見せている。ジェネラティブアートはプログラミングされたアルゴリズムにより自律的かつ生成的に作られるアート作品である[2][3]。

ジェネラティブアートにおいては、アルゴリズムが自律的に作品を生成することが必須であり、そのためのアルゴリズムにおいて自然や生物を模倣した要素が取り入れられていることが多い。基本的なアルゴリズムによる模倣に加えて、無作為ないしは半無作為なランダム性をもった情報を取り込むことで、単なるプログラムの計算結果ではなくジェネラティブアートは芸術作品となっている。ここで必要となる無作為行為は乱数というかたちでプログラム内部で与えられることが一般的である。そのため、ジェネラティブアートでは生成結果が予測不可能性があることやランダムあるいはセミランダムな要素を含んでいることとなる。

蝋燭やランプなどから発生する煤は、蝋燭のろう、ランプの油などが不完全燃焼した際に生じる微細な炭素の粒子である。煤を膠などで固めたものを墨と呼び、これを水とともにすりおろしたものを用いて書や絵画を書くことは古来より一般的に行われており、日本では書道や水墨画として知られている。

蝋燭から出る煤をそのまま画材に付着させる方式により絵画作品を制作する手法も Etsuko Ichikawa[4] や Steven Spazuk[5] などのようにいくつかの例が見られ

る。これらの絵画作品の描画では、手にもった蝋燭を用いて煤を画材に付着させ、その後に余分な煤を拭き取る、ないしは削り取るなどの作業を行っている。煤の素材に着目した作品群ではあるが、これらの作品は煤の付着プロセスに着目したのではなく、一般的な絵画手法の一部として煤を用いている。

本研究では煤の付着そのものを描画手法として利用することで、新しい絵画表現を行えるのではないかと考え、ジェネラティブ・アートの手法と組み合わせることによりコンピュータとそのプログラムという人間の力と蝋燭の炎とそのゆらぎという自然の力の両方を利用し、既存の描画装置では生成しえない絵画を描画するシステムを提案し実装をおこなった。

2 煤を用いたジェネラティブアート

本章では煤を用いた絵画とジェネラティブアートを組み合わせることにより、生み出すことのできる煤を用いたジェネラティブアートについて述べる。

2.1 自然現象とジェネラティブアート

1章で述べたように、ジェネラティブアートでは作品がアルゴリズムを用いて自律的に生成される。この時に完全に計算された結果ではなく、偶発性を得るためにアルゴリズムの一部に乱数を用いている。乱数を用いることによりアルゴリズムによって規定された生成的な作品に偶然性を加えることができ、このためジェネラティブアートの作品は同じプログラムを動作させてもまったく同じ結果を得ることができない一意性のあるものであることが多い。

空気の動きのような自然現象は一過性のものであり、作品の制作プロセスに自然を組み込んだメディアアート作品は自然の環境変化による偶発性を重要視している。風や天候の変化を利用した作品や、植物の生育といったものを利用した作品が挙げられる[6],[7],[8]。

しかしながら、メディアアート全体ではなく、ジェネラティブアートの範疇で自然現象とコンピュータによるアルゴリズムの融合を行った作品は知られておらず、本研究ではそのような作品を作成するためのシステムを提案する。

本システムでとりあげる自然現象は蝋燭の燃焼と煤の付着であり、蝋燭を燃焼させることによって生じる煤を画材に付着させることによって絵画を描画する。

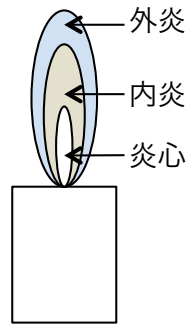


図1 蠟燭の炎

2.2 蠟燭の炎と煤

図1に示すように、蠟燭の炎は外部より外炎、内炎、炎心に分けられる。外炎は炎の一番外側にあたる青白い部分であり、一般に目にする蠟燭のオレンジ色の炎は内炎にあたる。煤は内炎での酸素不足による不完全燃焼によって起きるため、内炎の大きさが煤のサイズを決定する。

蠟燭の炎その熱により上昇気流が発生し、蠟燭のサイズが大きい場合には乱流が発生することもある。また、蠟燭の炎には質量がほとんどないため、自ら発生させる乱流や、付近の人の動きで発生するようなほんのすこしの風でも簡単に揺らいでしまう。そのため、炎の動きをシミュレートすることは困難であるが、この炎の動きによる煤のランダム性をもった付き方を利用することで簡単にはシミュレート不可能な作品を生成することが可能となる。

2.3 煤による描画システムの提案

蠟燭の煤は古来より画材として利用されているが、これをそのまま付着させる方法により描画をすることは一般的には行われてきていない。一部のアーティストは蠟燭を手で画材にかざすことにより、作品を制作しているが多くの場合には余分な部分を削るなどの後処理を行っており、蠟燭の動かし方そのもので作品を作成していない。

本研究では蠟燭の炎から出る煤を描画に用いることで、従来の絵の具やパステルといった画材とは異なった描画を行うシステムを提案する。煤を用いた絵画は従来より作成されているがこれにジェネラティブアートの要素を加えることにより、アルゴリズムに自然のランダム性をとり入れた新しいジェネラティブアートを生成するシステムを提案する。

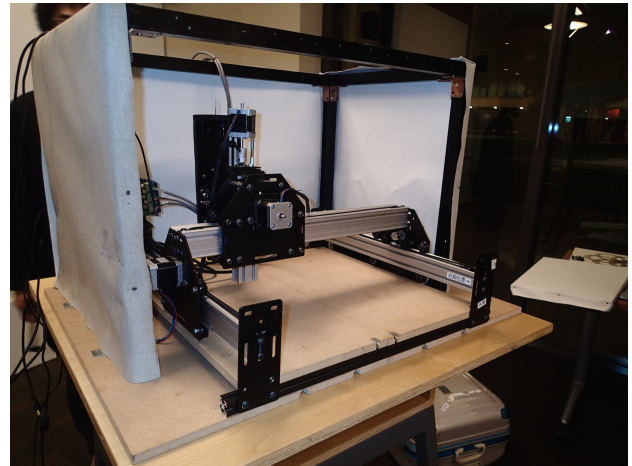


図2 Sootoid システムの外観図

システム全体としては蠟燭をアルゴリズムに従って駆動するが、蠟燭の炎の動きはアルゴリズムによってコントロールできる範囲ではなく、偶発性をもった動きをするとかんがえられる。この理由により、偶発性をもったジェネラティブアートに適した新しい画像表現を生成できる。

次章では実装をおこなったシステムの詳細について述べる。

3 Sootoid の設計と実装

本システムは煤の英語名称である'soot'に「のようなもの」という意味である接尾辞の'-oid'をつけ Sootoid と呼ぶ。Sootoid の全景を図2に示し、設計と実装に関する要件について以下に述べる。

3.1 システムの設計

Sootoid は蠟燭の燃焼時に生じる煤を用いたジェネラティブアート生成のための描画システムであり、コンピュータでコントロールされた蠟燭から生じる煤を画材に付着させることが必要である。また煤はいちど付着してしまうと取り払うことが困難であるため、事前に描画結果をシミュレートできることが望ましい。本システムは煤を用いたジェネラティブアートを生成するためのシステムであり、出力のためのディスプレイないしはプリンタにあたる機能を持つ必要がある。その時に考慮しなければならない問題としては以下のようなものが挙げられる。

1. 蠟燭を駆動させるハードウェア

2. 蠟燭の選択と保持方法

3. 煤を付着させる画材の選定

それぞれの項目については以下に詳細を述べる。

3.2 蠟燭を駆動するハードウェア

蠟燭による描画を行うためには蠟燭を平面上に高速かつ自在に移動させることが、描画装置としての最低限の要件である。火のついた蠟燭を可燃物である画材にむけたまま動かすため、画材の種類にもよるが一定時間以上、画材に炎をあてると燃焼する。そのため、高速に蠟燭を駆動することはもっとも重要なシステムの要件である。

基本となるハードウェアとしては、オープンソースな CNC マシンのキットである ShapeOko2[9] を用いた。ShapeOko2 はアルミフレームとステッピングモータによって構成され、Arduino とそのシールドによって 3 軸方向へヘッドを駆動することが出来る 3 軸の CNC キットである。平面方向の動作にはボールねじではなくベルトを利用しているため CNC としての精度はネジ駆動式のものにくらべて劣るものの、高速にヘッドを動かすことが可能である。通常は G コード制御を行うオープンソースプログラムである Grbl によってマシン本体は制御されており、PC から G コードを送信することにより CNC マシンの駆動をおこなう。CNC のための G コード制御では緻密な制御が行える反面、本システムで必要とするような高速な動作が望めないため、基本構造をそのまま利用しつつ、Arduino 上のファームウェアを改変し利用することとした。

図 3 に示すようにヘッド部分にはろうの落下を防ぐ底板の大きな燭台を取り付け、蠟燭は燭台の中心に立てている針金に刺すことで固定している。燭台は蠟燭の長さにあわせて接続された PC からのコマンドにより高さの調整を行うことが可能である。Z 軸方向の動作は描画前の調整にのみ利用し、描画には利用していない。これは Z 軸がボールねじを用いた動作であり、移動速度が遅くキャンバスとの距離を描画中に制御することが困難であるためである。

後述のとおり画材としては木枠に張り込んだキャンバスを利用しており、キャンバスを保持するための枠をヘッドの動作範囲をカバーするように設置した。このキャンバス保持台にはまわりに布を張ることにより描画時の風をある程度防ぐためにも利用している。

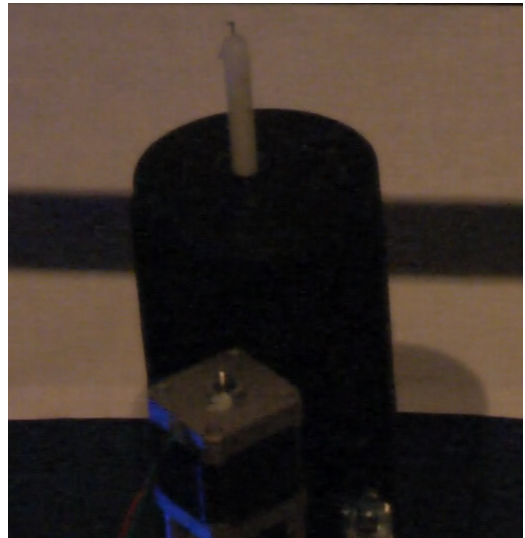


図 3 ヘッドに取り付けられた燭台

3.3 蠟燭と画材

本システムで利用している蠟燭は直径が 9mm 長さ 60mm の白色パラフィン製のものであり、ごく一般に量産品として市販されているものである。蠟燭の長さとともに芯の長さが炎の大きさに影響するため、同一の条件から描画をはじめめるため工業的に大量生産された長さの揃った蠟燭を用い、芯の長さを切りそろえている。

描画のための画材として用いたものは油絵用の下塗りが施された麻布キャンバスであり、F6(410 × 318mm) ないし F8(455 × 380mm) サイズの木枠に張られている。和紙やイラストレーションボードなどの画材を用いた実験では、蠟燭の移動に時間が掛かる場合には、画材が蠟燭の炎により燃える場合があり、さまざまな素材を実験した結果、蠟燭の炎をあてた場合にもっとも燃え始める時間が長かった麻布キャンバスを用いることとした。市販の油絵用キャンバスのため麻布キャンバスには下塗り材が塗布されている。キャンバスは中空でも平面を保つために油絵などで利用するものと同様にキャンバス枠に張り込んで利用している。

表面に凹凸のあるキャンバスを用いることで、煤を付着させた作品に立体感を生成することが可能であり、煤が凹凸を残したまま付着することにより、描画にアクセントを加えることに成功している。

煤によって描画された画像は触れるとすぐに煤が落ちてしまうため、描画後に定着剤をスプレーすることによって鑑賞や長期保存に耐える作品としている。

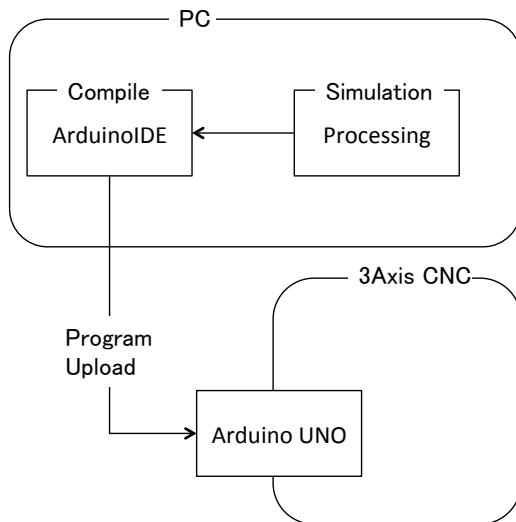


図4 Sootoid システム

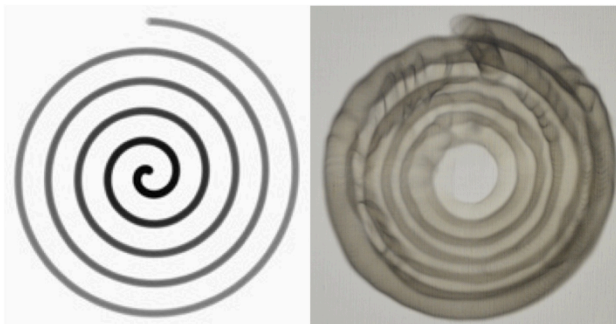


図5 Processing によるシミュレーションと生成画像

キャンバスは Sootoid 本体の直上に木枠によって保持されており、装置の上にキャンバスを下向けにかぶせるように設置し煤による描画を行う。

現在のシステムでは蝋燭の点火、消火は手動で行っているため、基本的な描画としては一筆書きのものに限られ、複雑な形状の描画は行えない。また、延焼を防ぐため、蝋燭の移動開始後に着火をおこなっており、描画の始点に関しては一定していない。

3.4 ソフトウェアシステム

全体のソフトウェアシステムを図4に示す。Sootoid では PC 上のソフトウェアと Arduino 上のファームウェアの双方を利用することで蝋燭を駆動するシステムを構築している。PC 上では描画のシミュレートを行うための Processing プログラムとそれをベースに CNC ベースの Sootoid 本体の駆動プログラムを生成する ArduinoIDE が動作する。

まず、描画したい図形に従ったアルゴリズムを Pro-

cessing 上で実装し、画面上で確認を行う。Processing によるシミュレーションと実際の描画を比較したものを図5に示す。シミュレーションにおいては描画のゆらぎが生じていないが、実際に描画を行うと右図のようなゆらぎをもった画像を得ることが出来る。この描画結果は蝋燭そのもののコントロールを緻密に行うことが可能であっても蝋燭の炎は室内においても近傍にいる人から生じる風などの影響をうけるためであり、そのゆらぎは予想することが困難である。

Arduino 上では Processing 上での描画に対応したライブラリを準備することにより画面上での確認がとれたプログラムをそのまま ArduinoIDE 上のプログラムへと移植することができる。シミュレーション完了後に移植されたプログラムは ArduinoIDE によってコンパイル後に Sootoid 本体へと転送される。転送されたプログラムは Sootoid の Arduino を通電することにより自律的に稼働することとなる。

ArduinoIDE 上で動作するステッピングモータ駆動用のライブラリを構築し、移植性を高めるとともに出来る限り高速でモータを駆動できるようにしている。一般に ArduinoIDE では digitalWrite コマンドを用いてピン出力を切り替えるが、複数ピンを同時に操作する場合に直接ピンに対応した MCU のレジスタを書き換えることにより高速な動作を実現している。

これらのソフトウェアにより、蝋燭の炎でキャンバスが燃焼せずに複雑な動作をさせることが可能となっている。蝋燭の高さは蝋燭の設置時に専用のコマンドを用いて合わせており、描画時に動的な制御は行っていない。

4 結果と議論

Sootoid によって得られる描画結果と議論について以下に示す。

4.1 描画の様子

本システムを用いて行われている描画の様子を6に示す。点火された蝋燭がキャンバスを下方から炙ることにより、煤が付着する。

描画材の材質にもよるが蝋燭の移動速度が遅い場合には、画材が炎上してしまうため一箇所では止まらないようにする必要がある。今回のシステムでは蝋燭の点火と消火は手動で行っているため、描画開始から終了に至るまで一筆書きで止まらないように制御を行っており、描画

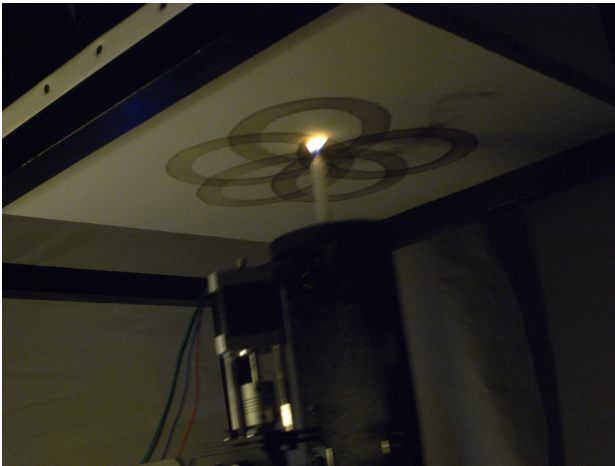


図 6 Sootoid による描画の様子



図 9 緻密なぼかし表現



図 8 風による影響

できる画像が一筆書きのように始点と終点以外に切れた部分がないものに限るという制限がある。

4.2 描画結果

本システムを用いた作品を図 7 に示す。これらの作品はそれぞれが単純なプログラムによって生成された図形であるが、煤による描画によって単純なプログラムでは生成できない結果が得られている。

得られるのは単純な白黒の画像であるが、蠟燭と煤の動きにより、複雑なディテールをもった作品を生み出すことが出来ている。

これらの作品はもっとも左のものから順番に 1) サインカーブ 2) 螺旋 3) トロコイド 4) 複数のトロコイドの 4 種類を描画したものである。これらはすべて簡単な数式で表現できる曲線であるが、描画結果は単純な曲線とはならず、煤の重なりや線の動きなどそれぞれの作品に固有のものが生じている。

次にこれらの作品に共通する特徴をもとに本システムにおける描画の特徴を考察していく。

図 8 には Sootoid における風の影響による描画の差

を示す。どちらも同じプログラムを用いて実行した結果であり、蠟燭の動きそのものはまったく同じものであるが、煤により描画された結果は大きく異なっている。これらは Sootoid 近傍の風の影響によるものであり、屋外の場合はもちろん、屋内であっても近傍にいる人間の動きや空調設備の動作状況などによって毎回の結果が異なる。これらの偶然性は従来の CG 等では見られないものであり、Sootoid の特徴である偶然性の要素を強く示している。そのため、Sootoid によって得られる作品はアルゴリズムのプログラミングという人間の力のみならず、蠟燭の炎のゆらぎをもたらし自然の力との組み合わせによって、偶然性をもった異なった結果を毎回生み出すことになる。

キャンバスへの煤の付着においてキャンバスと物理的に接触するのは煤のみであり、一般的な絵画のように塗布のための筆などの物理媒体が接触することがない。そのため次の 2 つのような特徴が生じることとなる。

まず第一に緻密なぼかし表現を行うことが出来る。図 9 は Sootoid によって描画した結果を拡大したものである。拡大時において煤の付着した線の表現の境界は曖昧なものとなっており、人間の目では境界の見分けがつかないぼかし表現となっているのが判る。このぼかし表現は図のとおりキャンバスの目地が判るほどに拡大しても生じており、水彩画や水墨画などで得られるぼかし表現とは異なっている。このようなすすの付着によるぼかし表現は Sootoid によって得られる新しい描画表現の一つである。

次に図 10 に示すのは重ねあわせによる線の表現である。Sootoid によって描画される線は前述のとおり境界

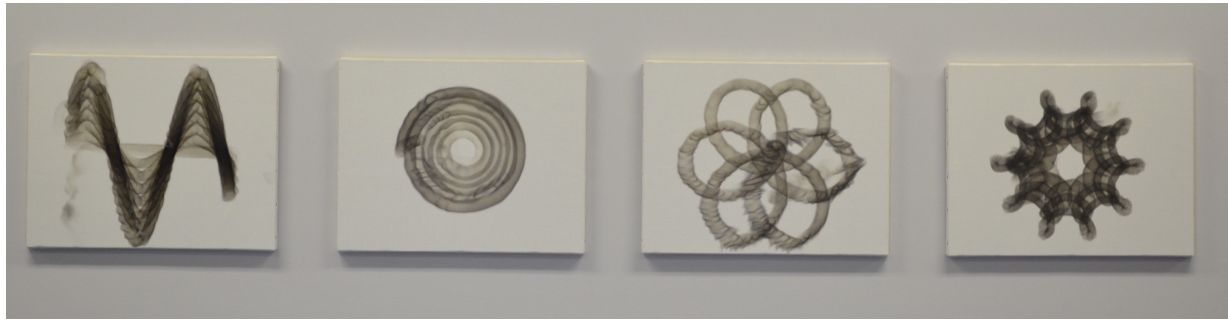


図 7 Sootoid によって描画した作品



図 10 重ね合わせによる線の表現

のはっきりしないぼかされたものであるが、多数回の重ねあわせを行うことによってはっきりとした境界を表現することが出来る。このような境界表現は半透明な画材を複数回の描画で重ねあわせることによって生成しており、煤の付着をコンピュータによってコントロールすることにより同じ場所に時間をかけて複数回描画することによって行える表現である。Sootoid による描画は非接触で行われるため、筆などでの重ねあわせと異なり、同一場所における複数回の描画において、過去の描画への影響を抑えることが出来る。そのため層が薄く緻密な重ねあわせの表現が可能になっている。このような表現は、CG の分野においてディスプレイ画面上で透過度 (α 値) をもった画像を複数重ね合わせることで可能であるが Sootoid では同様の表現を実体のあるキャンバス上で可能としている。

Sootoid における描画は以上のような特徴をもっており、これらの特徴をもつ描画装置は現在のところ他に存在しない。よってこれらの特色をもつ Sootoid で得られる描画結果も特有のものである。

4.3 予測可能性と予測不可能性を持つ描画

Sootoid は従来の機械を用いた描画では得られない結果を生成することが出来る新しい描画装置である。Sootoid での描画には蝋燭の炎から出る煤を利用するため、蝋燭の動きと炎の動きの 2 つの組み合わせが非常に重要になる。よってその特徴としては、大きな動きである蝋燭の動きそのものは、プログラムによってコントロールされているのに対し、蝋燭の炎の動きは蝋燭自身の動きや、機材周辺のわずかな空気の流れによって左右されるため予測不可能な偶然性を見出すことが出来る。

Sootoid はその描画結果において、人間の知性であるアルゴリズムと現在の科学技術では完全なシミュレーションを行えない空気の流れのような自然現象を同時に表現するものとして新しい画像表現を可能とする装置である。

4.4 展示による考察

2015 年 1 月にスタンフォード大学で行われた国際会議である TEI '15 (Tangible, Embedded and Embodied Interaction) の Arts Exhibition にて本システムの作品展示を行った [10]。3 日間の展示ではのべ 60 枚ほどの描画を行い、描画結果を展示するとともに描画プロセスを参加者に体験してもらった。

防災の関係上展示は建物側の屋外であり、防風のための覆いを利用しても風の強い場合には描画に大きな影響をうけた。そのため、時間帯によっては Sootoid 本体の周囲を覆うキャンパスのみならず、さらに外側に防風のための覆いを利用して展示を行った。

展示は主に夕刻から行われ、観覧者は描画結果のみならず描画中の蝋燭の炎を観察することが出来た。数多くの観覧者が描画プロセスを眺め、写真を撮影しており、観覧者は描画結果とともに描画中の様子を興味深く眺め

ていることが観察できた。これは描画結果のみならず炎を利用したメディアアートの描画プロセスそのものが持つ魅力を感じさせるものである。描画されたキャンバスに対しても、観覧者の中から「有償でも良いので譲って欲しい」との声が複数回出たことから明らかなように、新しい絵画作品として評価する人が一定数いると考えられる。

5 おわりに

本論文では新しいジェネラティブアートの生成手法としてコンピュータ駆動された蠟燭によって生じる煤を描画に利用する手法を提案し、実装を行った。

本システムである Sootoid の最大の特徴はマクロには再現性があるシステムを用いたにもかかわらず、ミクロには再現性のない描画を行う点にある。そのため、従来ではジェネラティブアートにおいてシステム内の乱数を用いて行っていたノイズの生成を、システムに固有の特性として保持しており、一般に画面上では乱数によって行われていたジェネラティブアート作品の生成を実空間のゆらぎを利用して行うことが出来る。

また、描画能力においても既存のプリンタ等と異なり、非常に微細な煤がゆらぎをもって付着するため、境界線のほとんど見えないぼかしの表現が行えること、キャンバスに物理的にペン等が触れずに描画を行うため、薄い煤を何度も重ねあわせた表現を行えるなどの特徴があり、これらは油彩画や水墨画などとも異なった表現を可能としている。

国際会議での展示を観察した結果により本システムが描画結果のみならず描画プロセスも興味をひくものであり、新しいメディアアートのためのシステムを提案することに成功した。

今後の課題としては、再現性のない蠟燭の炎の動き以外の部分をどこまで固定化することが出来るかという点が挙げられる。蠟燭の炎によって描かれる煤の大きさは炎とキャンバスの距離に依存する。蠟燭が燃焼するに従い、炎とキャンバス距離が変化していくが現在のところはこれを一定に保つようには操作していない。安定した描画を行うためには、燃焼に従い蠟燭のコントロールを行うなどの工夫が必要である。

参考文献

- [1] 日本メディアアート史. アルテスパブリッシング, 2014.
- [2] year. ジェネラティブ・アート Processing による実践ガイド. BNN, 2012.
- [3] year. What is generative art? Complexity theory as a context for art theory, 2003.
- [4] Artist Etsuko Ichikawa. <http://www.etsukoichikawa.com/>.
- [5] home SPAZUK. <http://www.spazuk.com/fr/home-spazuk.php>.
- [6] title, title, title. 風を利用したライトペインティングシステム, pp. 218–222, sep 2014.
- [7] year, year. 植物を用いたインタラクティブシステムの構築支援環境 (特集: インタラクティブシステムとソフトウェア). コンピュータソフトウェア, pp. 59–70, jan 2009.
- [8] year. Natural computation の景相化. 10+1, pp. 149–154, 2007.
- [9] Shapeoko 2 - Desktop CNC Machine. <http://www.shapeoko.com/shapeoko2.html>.
- [10] title, title, title, title, title, title. Sootoid: Generative art drawing by flame of candle, TEI '15, pp. 401–402, New York, NY, USA, 2015. ACM.

羽田 久一



1995 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程終了。1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程単位取得退学。1998 年奈良先端科学技術大学院大学附属図書館研究開発室助手。2003 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 特別研究専任講師。2012 年東京工科大学メディア学部准教授。自然の力を利用した芸術と科学の接点に興味を持つ。情報処理学会、電子情報通信学会、日本 VR 学会、芸術

科学会，他会員．

中野 亜希人



慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科．昭和 60 年生．平成 23 年慶應義塾大学大学院政策メディア研究科修士課程終了．同研究科後期博士課程に在籍中．

戸塚 大介



2011 年 3 月柏南高等学校卒業．2011 年 4 月東京工科大学メディア学部メディア学科入学．2015 年 3 月東京工科大学メディア学部メディア学科卒業．

亀井 翔



2011 年東京工科大学メディア学部メディア学科入学．
2015 年東京工科大学メディア学部卒．