

Anabiosis: 紙上での動的な色彩表現を実現した絵画作品

辻 航平[†] 脇田 玲[‡]

本論文では、紙上での動的な色彩表現を実現する Polychrome Paper Computing という新しい技術を紹介する。この技術は、紙とコンピューティングをシームレスに融合させる新しい発色技術であり、人間が創造してきた紙上の芸術作品、及びその制作手法を保存しながら、紙というマテリアルの進化を促進することが期待できる。ANABIOSIS は、人が紙上に描かれた蝶に触れることにより、蝶の色彩が動的に変化するインタラクティブな絵画作品である。紙とコンピューティングがシームレスに融合することにより、紙上での動的な表現、新しいインタラクションを提供している。

Anabiosis: A Pictorial Art Based on Polychrome Paper Computing

KOHEI TSUJI[†] AKIRA WAKITA[‡]

We propose a new paper computing technology which enables dynamic color change on paper. Anabiosis, made by this technology, is an interactive pictorial artwork. When you touch a butterfly printed on paper surface, the color of the butterfly changes dynamically. Polychrome paper computing is a new color-generating technology which connects paper and computing seamlessly, and is also a bridge to connect computing with expressions and printing techniques by papers humans have developed. It is expected to accelerate the evolution of paper as material, preserving the methods to produce paper artworks which humans have developed, at the same time.

1. はじめに

紙は我々の歴史において重要な役割を果たして来たメディアである。紙に書かれた記録を元に我々の歴史は紐解かれ、紙で作られた襖、障子、屏風などによって我々の生活空間は定義され、紙上での表現追究は美しい日本芸術を生み出すための土壌であった。このような創造的な性質を有した紙というメディアは、現在も我々にその価値を提供し続けてきている。しかし、近年の iPad や Kindle などのデジタルデバイスの台頭により、紙はかつての役割を失い、そのメディアとしての地位を失いつつある。

一方で、このメディアの変遷は同時に、紙のメディアとしての価値を再考し、デジタルとの新たな融合の道筋を予感させる。紙というマテリアルに対し、人間は様々な美しさを創出させる技術・技法を開発し続けて来た。例えば、世界中の人々を魅了する芸術作品である浮世絵は、多色刷りという印刷技術によってのみ、その美しさを創造され、巻物に書かれた美しい仮名文字は、書道という形でその美しい文字を多くの人が習得するための技法として確立された。我々は新しいデ

ジタル技術の登場により、過去より蓄積された美しさを創造する技術・技法を捨て去るのではなく、コンピューティングとの新たな融合を目指し、紙というマテリアルの進化を探るべきである。

我々は本論文において、Polychrome Paper Computing (以下、PPC) という紙上での動的な色彩表現を実現する新しい技術を紹介する。PPC は紙の薄く柔軟な性質を保持しながらコンピュータ制御によって色彩を動的に変化させることを目的に開発された。ANABIOSIS は PPC を利用して作られた絵画作品であり、人が紙上の蝶に触れることにより、蝶の色彩が動的に変化する紙上での新しいインタラクションを提供する。

2. 関連研究

紙にフィジカル・コンピューティングを埋め込む研究は、マイコンや LED などのアクチュエータを紙に添付し、何らかの情報発信をする紙として幾つか提案されている。Buechley ら[1]は、導電性インクを使用し、紙上で回路を描く方法を提案し、回路に装飾としての価値を与えた。この技術を用いたアプリケーションとしては、Electronic Popables[2]というインタラクティブな飛び出す絵本が提案されている。Coelho ら[3]は紙漉を利用し、導電性繊維を回路として紙の中に埋め込み LED を点灯させるなどのインタラクションを

[†] 慶應義塾大学 総合政策学部

Keio University Faculty of Policy Management

[‡] 慶應義塾大学 環境情報学部

Keio University Faculty of Environment and Information Studies

Pulp-Based Computing という手法によって実現している。これらの研究は、紙というマテリアル上でフィジカル・コンピューティングを実現する方法を開発し、ペーパー・コンピューティングという新しい分野を開拓した。

一方で今後は、紙というマテリアルとコンピューティングとのよりシームスな融合が求められるであろう。つまり、紙が「透明なインターフェイス」を保持したマテリアルへと進化することが期待されているのだ。LED などの既存の電子部品を紙に埋め込むことは、コンピュータの存在を意識させ、紙の薄く、変形自由な特性を失うこととなる。例えば、色彩変化が自由でプログラマブルなインクが将来的に開発されることにより、紙の物理的特性を失わずにコンピュータ制御が可能になるはずだ。このような「透明なインターフェイス」を保持した紙を開発していくことは、ユビキタス・コンピューティングのビジョンに貢献することになる。そして、紙の物理的特性を失わなければ、紙に付随する既存の技術・技法を応用することが可能になる。これにより、過去より蓄積された紙上での美しい芸術作品を創造するための技術・技法を利用し、紙メディアの新しい価値を見出すことが可能になるはずだ。

3. ANABIOSIS

ドイツの昆虫学者 Adalbert Seitz (1860-1938) は、全 16 巻になる世界中の蝶や蛾をリトグラフによって表現した図鑑 *The Macrolepidoptera of the World* を編纂した。Seitz の手によって生み出された蝶達は、まさに紙上で生きているかの様な美しさを有している。ANABIOSIS は、Seitz が紙に描いた美しい蝶に対し、コンピュータによって動的な変化を与えることを目指した作品である。

ANABIOSIS は、一見、額に飾られた美しい蝶の絵であるが、人が紙上の蝶に触れることにより、一瞬にして蝶に色彩が帯びる。図 1 の様に、普通の絵画のように壁に飾られた ANABIOSIS は、コンピュータの存在を意識させない。鑑賞者が ANABIOSIS に触れると、蝶はモノクロから鮮やかなカラーへその色彩を変化させる。図 2 にあるように、モノクロの蝶が色彩を帯びるその一瞬は、鑑賞者の生命が紙上の蝶に分け与えられ、蘇生したかの様な感覚を与える。このインタラクシオンは紙単体では実現できなかったことであり、コンピュータと紙が一体となって初めて実現出来た新しい体験である。このように、紙とコンピューティングを融合させることにより、紙上での動的な表現、紙との新しいインタラクシオンが可能となる。



図 1 ANABIOSIS

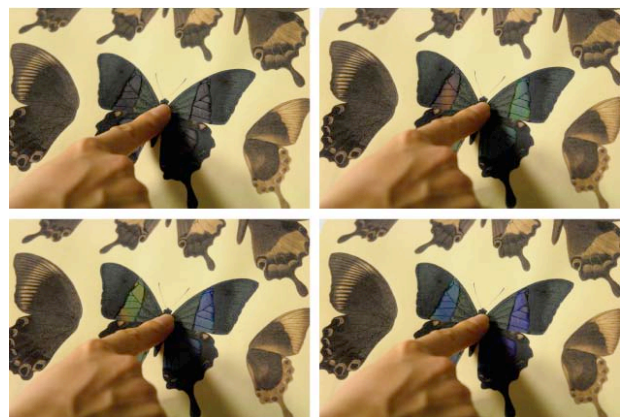


図 2 鑑賞者が紙上の蝶に触れることにより、色彩が変化している様子。はじめはモノクロの蝶に鮮やかな色彩が表れる。

4. 実装

紙とコンピュータをシームレスにつなげるためには、センサー・アクチュエータを紙の薄く柔軟な特性に馴染むような構造へとデザインしなければならない。我々は印刷技術と機能性インクを用いてその課題を解決した。ANABIOSIS には、浮世絵や版画の多色刷りの要領で、機能性インクを階層的に印刷している。それぞれの層が連携し合うことで発色の機能を実現している。以下では、センサー・アクチュエータそれぞれの構造の説明を行う。

4.1 センサー

蝶の胸部の裏側には銅箔テープで制作した静電センサーを添付している。図 4 の様に添付されたセンサーにより、人の接触を感知して電気制御を行っている。PPC においては、銅ペーストを印刷することによりセンサーを紙へ埋め込むことが可能であるが、本稿ではプロトタイプ段階として銅箔テープを用いている。銅箔テープは、銅箔から作られており、裏面はテープになっている為、紙に貼ることが可能である。銅箔テープを用いることにより、銅ペーストで印刷したセン

サーと同等の機能を保持し、紙の薄い特性を保ったままセンサーを紙へ埋め込んでいる。

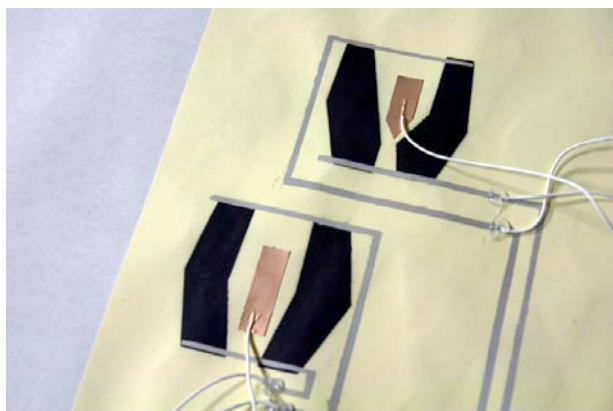


図3 裏面の回路とセンサー 銅色の部分は銅箔テープで作られたセンサーである。黒色部分はカーボンインクを利用した発熱部であり、銀色部分が銀ペーストを使用した回路部である。

4.2 アクチュエータ

アクチュエータは、図3に示すように、紙の表面に装飾部・変色部・発色部の3層、裏面に発熱部・回路部の2層、合計5層によって実現している。以下では順番にそれぞれの層の機能説明を行う。

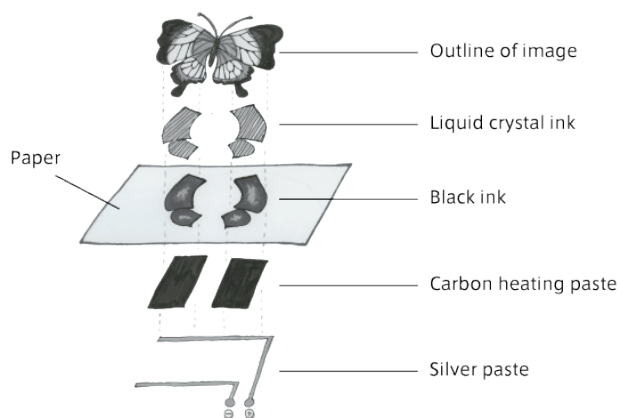


図4 発色構造の図 表面に3層、裏面に2層の印刷を施している。これにより紙に対し、表面に発色する仕組み、裏面に発熱する仕組みと回路を埋め込むことを可能にした。

4.2.1 第1層：装飾部

装飾部は紙上全体の装飾を担う層である。蝶の変色する部分を美しく見せるために羽の輪郭をデザインしている。我々の実験の結果、蝶の輪郭を最前面である最後に印刷することにより、よりリアルな蝶の表現が可能であることを発見した。

4.2.2 第2層：変色部

モルフォ蝶は構造色によって、美しい青を放っている。その魔力的な色彩に魅了され、古代より数々の美

術品が世に残されている。ANABIOSISでは実際の蝶の色彩を紙上に閉じ込めるために、液晶インクを用いて蝶の構造色を再現している。液晶インクは構造色を実現している特殊インクの一つであり、熱によってインクの色を可逆的に変化させる。インクの色は、温度が上昇するにつれて無色、赤、緑、青へと変化する。我々はこの色彩変化を紙上で実現するために、他の印刷階層との関係性を考慮し温度域を設定している。28℃から32℃の温度域において色彩変化が起こる調合したインクをANABIOSISに用いている。そして、後述する発熱層との連携により紙上での色彩変化を実現している。

4.2.3 第3層：発色部

本研究で使用する液晶インクは、コレステリック液晶をマイクロカプセル化し、溶剤と攪拌したものである。コレステリック液晶は螺旋構造に由来する光学的性質を持ち、螺旋構造の周期に応じて、光を波長選択的に反射する。その螺旋のピッチが可視光の領域にあれば美しい反射光を見ることができる。従って、この色の変化は、液晶自身の色が変わったからではなく、黒で塗られた上でのみ発色する。ANABIOSISではモノクロにおいてのカラーバランスに考慮し、黒の色合いを決定している。

4.2.4 第4層：発熱部

液晶インクの色合いを変化させるためには、発熱する仕組みが不可欠である。発熱する仕組みを紙で実現する際、ニクロム線などの既存の発熱体を紙へ埋め込むことは紙の持つ薄い特性を喪失してしまう。我々は、発熱材料としてカーボンペースト、抵抗調整インクが最適であると発見した。液晶インク層との温度の関係性により抵抗値を決定し、カーボンペースト・抵抗調整インクを調合している。抵抗調整インクはカーボンペーストに対し5%加えることにより、抵抗値が約2倍となる。

4.2.5 第5層：回路部

回路や電極の機能を実現するためには、銀ペーストを用いている。銀ペーストは抵抗値が低いため、印刷により発生する抵抗値の増大を最小に押さえることが可能となる。これにより目標とする発熱部までの抵抗値の計算を比較的容易に行うことを可能としている。また、回路には通電箇所と絶縁箇所が発生する。紙という2次元のスペースでそれを実現するために、絶縁インクを用いて絶縁層を印刷することによりその機能を実現している。

5. 評価

2010年11月22日(月)から23日(火)に慶應義塾大学 SFC 研究所が主催する Open Research Forum 2010 が六本木アカデミーヒルズにて開催された。我々は評価・コメント取得のために、ANABIOSIS のデモ展示を行った。会場に会場した企業の方をはじめとする多くの方々に ANABIOSIS を体験してもらい、コメントを取得した。

体験者には、「紙の上の蝶に触れてみてください。」と声を掛け、紙にコンピュータが介在している情報を予め与えずに体験してもらった。蝶の色彩変化が起こると同時に、多くの方が驚きの歓声をあげた。これは、一見、普通の紙に描かれた蝶の絵画でありながら、蝶の色彩が一瞬にして動的に変化する体験を鑑賞者に与えられたことがその要因と考えられる。この体験を作り出すためには、紙とコンピューティングのシームレスな融合が必須であった。

一方で、数名のインタラクシオンの専門家からは、絵画に触るというインタラクシオンの不自然性を指摘された。これは、「蝶に生命を吹き込む」という作品コンセプトであるため、この作品においては適切なインタラクシオンである。しかし、インプットとアプリケーションが対応した自然なインタラクシオンのデザインが今後の課題となった。例えば、絵本などの鑑賞者が紙に対して自然に触るような文化に則った、アプリケーションのデザインが期待される。



図5 Open Research Forum 2010 での展示の様子

6. 結論

我々が開発した PPC は、今までのペーパー・コンピューティングにはない新しい発色技術である。この発色技術により、紙とコンピューティングをシームレスに結ぶことが可能となった。これは、LED などの

既存の電子部品を紙に埋め込んだ従来のペーパー・コンピューティングではなく、紙の特性に馴染みながらも、コンピュータ制御を可能とした、新しいビジョンを提示したことになる。

本来 PPC は、浮世絵や版画などの印刷技術とコンピューティングとを融合することを目的として作られた。紙上の芸術作品とコンピューティングが融合して行くことは、従来の静的な表現に加え動的な表現も可能となり、紙の新しい価値を生み出すことにつながる。これは同時に、職人が保持するノウハウとコンピューティングとの融合につながる。世界的芸術作品である浮世絵は、紙というマテリアルに対し多色印刷技術により作られるが、印刷技術と職人の手に蓄積された技能をもって初めて美しい作品が誕生する。これにより、コンピュータでは作り出せない、作品の風合い・おもむきを紙に残すことができるだろう。

我々が提案するペーパー・コンピューティングの方向性は、紙に対する人が創出した技術・技法の保存とその進化ということにある。紙に対し、人間は美しさを引き出す様々な方法を開発し続けて来た。今なお、世界中の人々を魅了する紙の芸術作品、またその制作手法を、我々はデジタル技術をもって捨去ろうとしている。紙には単なる記録媒体としての役割以上に多くの文化的側面が付随し、我々はそのための技術・技法を作り続けて来たことを忘れてはならない。デジタル技術によって、人間が作り出して来た美しさを生み出す技術・技法を捨て去るのではなく、コンピュータとの新たな融合を目指し、紙というマテリアルの進化を探るべきだ。紙が「透明なインターフェイス」を獲得したとき、我々を更に魅了する美しさを保持した芸術作品が創造されて、人類の文化に貢献するはずだ。

参考文献

- 1) Buechley, L., Hendrix, S., and Eisenberg, M. 2009. Paper, Paint, and Programs: First Steps Toward the Computational Sketchbook. In Proceedings of Tangible and Embedded Interaction (TEI), Cambridge, UK, February 2009, pp. 9-12.
- 2) Qi, J. and Buechley, L. 2010. Electronic popables: exploring paper-based computing through an interactive pop-up book. TEI '10. ACM, New York, NY, 121-128.
- 3) Coelho, M., Hall, L., Berzowska, J. and Maes, P. Pulp-Based Computing: A Framework for Building Computers Out of Paper, in the 9th International Conference on Ubiquitous Computing (Ubicomp '07).
- 4) Adalbert Seitz "The Macrolepidoptera of the World" http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:The_Macrolepidoptera_of_the_World