

特集 ■ プロジェクションマッピング

発色型映像投影技術の試み



橋田 朋子

Hashida Tomoko

早稲田大学



苗村 健

Naemura Takeshi

東京大学

1. はじめに

印刷と投影は、どちらも私達にとって身近な情報を提示する手段である。印刷された情報は、照明光の反射によって観察する反射型の表示形式であるため、明るい場所でも見やすい。ただし動的に書き換えることはできない。投影された情報は発光型であるため暗い場所の方が見やすく、多様な対象面での動的な表示は容易である。一方で情報を書き込むことはできない。本特集である“プロジェクションマッピング”という言葉から多くの人が思い浮かべる技術はおそらく“投影”であり、建築物等の表面でピカピカ光る映像がダイナミックに移り変わる様子だろう。このように可視光投影によってアナログな対象物がある種の電子的な様相を呈することは、既にプロジェクションマッピングのひとつの魅力となっている。

一方で、もし投影面が光るのではなく、まるで印刷のように見える情報が動的に変化したらどうだろうか？つまり印刷と投影の間のような技術である。この技術で得られる出力に派手さはないが、そのぶん日常空間に自然と溶け込む可能性がある。投影して書き込むため、書き込む瞬間しか電源がいらない、投影面がスクーラブルといった新たな魅力も考えられる。このような観点から、筆者らは、日常空間・物体の多様なサーフェスを印刷のような反射型の表示形式で動的な情報表示が可能なメディアへと変換させる“発色型映像投影技術”の検討を進めている。本稿ではそれらについて紹介したい。

2. クロミック材料を活用した発色型映像投影技術

発光ではなく反射型ディスプレイとしては、E ink [1] に代表される電子ペーパーが挙げられる。帯電粒子の顔料とオイルが入ったマイクロカプセルに電圧をかけることで特定の色の顔料を表示面に集め情報を提示するアプ

ローチは、そのままのようなサーフェスにも展開できるものではないが、何らかの機能を有する材料を物理刺激で制御するという観点は示唆に富む。そこで多様なサーフェスに塗布できる化学材料で、電気に限らず他の物理刺激で制御できる材料を調べてみると、光や熱や圧力といった外部の物理刺激に応答して発色や消色といった物性を可逆的に変化させられるクロミック材料がある。特にフォトクロミック材料は光を非接触に投影して対象面の発色を制御できることから、多様な物体表面に展開できる可能性が高い。またサーモクロミック材料も光を照射して投影面で熱に変換することにより、投影型の制御で発色を制御することも可能である。以上より筆者らはフォトクロミック材料を中心として一部サーモクロミック材料を用いた発色型映像投影技術のプロトタイプシステムの開発を幾つか進めている。

ここでまず、フォトクロミック材料を活用した発色型の情報提示システムについて、筆者らの仕組みも含め簡単に紹介したい。表 1 に投影光学系とフォトクロミック材料の塗り方の 2 点から分類したものを示す。なおフォトクロミック材料には大別して、紫外光を照射すると発色し紫外光の照射をやめる或は熱により消色するものと、紫外光を照射すると発色し可視光照射すると消色するものがある。表 1 における投影工学系とは主に発色を制御するための紫外光に関するものである。

まず最も安価かつ安全な太陽光を活用した仕組みとして、あらかじめ透明なフォトクロミック材料で文字情報を印刷しておき、太陽の下でのみ発色で情報が表示される Solar Annual Report [2] や、太陽光の光路に光学素子において太陽の高度変化を活用することで、刻々と変化する発色パターンを空間表面に生成する仕組み SolaColor [3] がある。次により制御された投影光学系として紫外

LED や紫外レーザを用いた仕組みでは、遠隔地のユーザ間の紙面で手描きスケッチのやりとりを可能にする KAMI CHAT [4] や、紙・粘土・靴（衣服）のような様々な物体表面のパターンを動的に書き換える Slow Display が挙げられる [5]。さらに情報提示そのものを目的とするわけではないが映像投影の高コントラスト化のために、プロジェクタ投影面にフォトクロミック材料を塗布してその反射率を制御するシステム [6] もある。最後に、より高度な投影光学系として 1024×768 の解像度の 2 次元の紫外光パターンを一度に照射できる紫外プロジェクタを用いた仕組みとして、Photochromic+Projection [7] や Hand-rewriting [8] は紙面の精緻な発色パターンを制御する。さらにフォトクロミック材料の塗り方にも工夫した仕組みとして PhotochromicSculpture [9] は、透明なフォトクロミック材料を粒状に透明板に塗布して積層し、その一粒一粒の発色を制御することで 3 次元的な発色表現を可能にするシステムである。他にもインクジェット印刷可能な CMYK フォトクロミック材料をあらかじめドット上に印刷しておくことで、画素単位で紫外光を照射してマルチカラーの発色を実現する仕組み [10] もある。

表 1 フォトクロミック材料を用いた発色型情報提示

材料塗布	投影光学系		
	太陽光	LED/レーザ	プロジェクタ
一様	ソラカラ[3]	KAMI CHAT[4] Slow Display[5] 日野ら[6]	Photochromic +Projection[7] Hand-rewriting[8]
パターン	Solar Annual Report [2]		Photochromic Sculpture[9] 西村ら[10]

3. 発色型映像投影技術

ここからは筆者らが開発してきた発色型映像投影技術について詳細にご紹介したい。

3.1 SolaColor [ソラ・カラ]

ソラ・カラ [3] は太陽を活用した発色型の空間演出の仕組みである。情報提示の用途によっては、必ずしも常に高解像度・高リフレッシュレートが必要とされるわけではない。むしろ最初のプロトタイプシステムとしては安全かつ安価な紫外光源を用いた投影光学系が大事であると考え、自然光源である太陽に着目した。また太陽光を活用すれば、コンテンツも人工的に作り込まずとも自

然現象の偶然性の面白さを取り込むことができる（例えば雲が通ると発色しなくなるなど）と考えた。

ソラ・カラでは紫外光を照射すると発色し可視光を照射すると消色するフォトクロミック材料（DAE：ジアリールエテン）を用いる。太陽光には紫外光も可視光も含まれるので、この材料に対して光を選択照射することで、発色の濃さを任意に制御できる。まず DAE スクリーンを水平面に置くと太陽光のうちの直達光と散乱光がふりそそぐが、主に直達光の光路に光学素子をおくことで、波長選択した直達光と散乱光が照射される領域を作る。さらにその波長選択した直達光を遮る遮蔽物を用意すると、散乱光のみが照射される領域ができる。例えば光学素子として紫外線バンドパスフィルタを置くと、DAE スクリーン全体は濃く発色し、さらにその先に人やモノなどの遮蔽物があるとそこだけほぼ消色する。このようにして発色パターンの濃淡の差により、遮蔽物の形にパターンを描ける。また遮蔽物が動いたり光源が動いたりすれば、発色パターンを何度でも書き換えられる。

この仕組みをミニチュア模型で実装した例が図 1 である。図 1 上はミニチュアの人を遮蔽物としておくことで、電気的な仕組みなしに影のパターンが消色で生成され、さらに遮蔽物を取り除いてもその場に 40-50 秒にわたり印刷のように残すことができる空間の様子である。また太陽の高度変化をふまえた 2 層のスリットを作って直達光の光路に置くことで、所望の時間間隔で発色パターンが変化するような場も可能である。図 1 下は 9 月の日本において 10 時から 14 時までの間、およそ 3 分間隔で縞模様が発色したり消色したりするという条件をみたく空間を設計し、実際にそのようなパターンが得られている様子である。

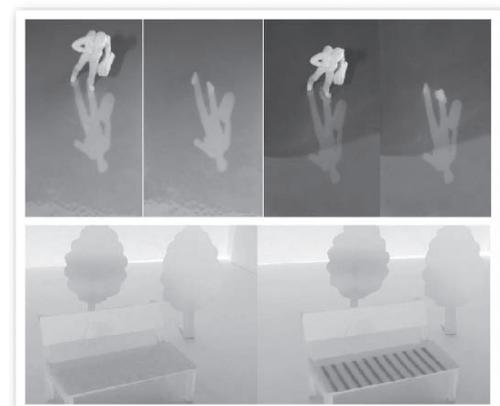


図 1 ソラ・カラによる表現の事例

3.2 Photochromic+Projection

ソラ・カラで発色型映像投影技術の基本原理が確認できたことから、次はより高度な制御による発色型映像投影技術の開発を行った。Photochromic+Projection [7] は紫外光を照射すると発色し、紫外光の照射をやめると自然消色するスピロピランを紙などのサーフェースに塗布してスクリーン化し、1024×768の解像度の2次元の紫外パターンを投影して発色パターンを生じさせる仕組みである。

任意の紫外光パターンを投影するため、筆者らはDMD (Digital Micro Mirror) と呼ばれる1ピクセル単位で光の照射のOn/Offを制御できる光学素子と、比較的安全かつ目に見えない紫外領域として365nmの波長の光源を組み込んだ紫外プロジェクタを独自に開発している。また紫外光を投影した時に発色だけを効果的に生成できるように(蛍光反応が生じないように)、漂白剤などを含まない紙としてユポ紙にスピロピランを塗布してスクリーンを制作している。これにより、目に見えない紫外光パターンをスピロピランスクリーンに投影すると、発色パターンが浮き上がり、紫外光の照射をやめてしばらくするとその印字されたパターンが自然に消えて何度でも同じ紙に違う情報を描くことができる。

図2は黒色の「ようこそ」という文字が印刷された1枚の同じ紙に、紫外光を投影してピンク色の発色で英語やハングルの文字を書き換えている様子である。スピロピランスクリーンの発色や消色の特性は、紫外光の放射照度や材料の種類と濃度によっても異なるが、現在の構成では $1500\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の放射照度で紫外光を照射した際に1-2秒で発色し、消色は10分から30分程度である。



図2 発色で情報を書き換えている様子

3.3 Hand-rewriting

発色型映像投影技術のひとつの面白さとして、印刷された情報や手書きスケッチと併記した時に、どちらも反射型の表示形式であるため見え方が似ているとい

う点が挙げられる。紙面の手書きスケッチを拡張する研究は近年盛んであるがこのような高度に融合した表示形式での自動的な加筆、及び手書きスケッチの自動的な消去は残された課題である。そこで筆者らはこれらの2つの機能を共に実現するHand-rewriting [8] という仕組みも開発している。

Hand-rewritingにおける紙面への発色型での加筆はPhotochromic+Projectionの仕組みと同じである。一方、消去の機能は、サーモクロミック材料を活用して実現している。システム構成を図3に示す。まず、熱を与える透明になる市販のフリクションペンで紙に手書きをする。この紙は表にスピロピランが裏には黒いインクが印刷してあり、裏側からレーザー光を照射することで黒い膜で光を熱に変えて、0.073mm間隔で局所的な消去を実現している。また紙面の手書きスケッチの情報はカメラで取得し、画像処理により適した発色や消色のパターンを生成している。以上により例えば図4に示すように、描いた文字の淵だけを残して立体文字を作成したり、ラフに描いた絵を清書したりといった効果や、手書きスケッチを自動的に塗りつぶして複製するような効果を紙面で即時に行うことができる。

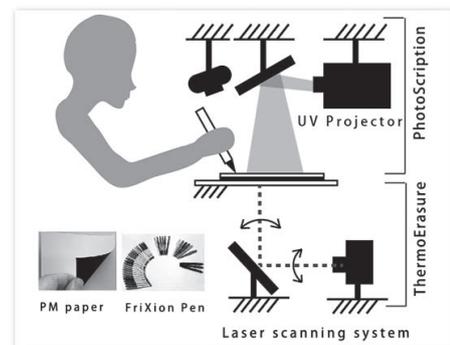


図3 Hand-rewriting の仕組み

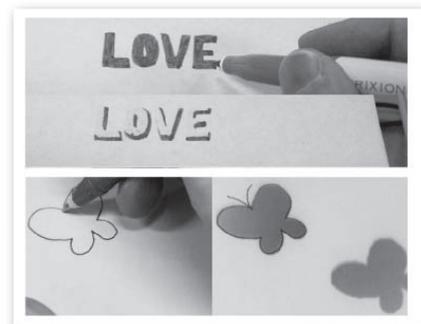


図4 手書きスケッチの自動消去と加筆

