

論文の内容の要旨

論文題目 光熱変換手法を用いた高解像度紙面発色型ディスプレイの研究

氏名 山田 啓己

(本文)

機械工学技術、情報工学技術の発達により、様々なディスプレイの技術革新・研究開発が進んでいる。それらは我々の日常生活に既に身近なものとして定着し親しまれ、今後もさらなる技術革新が求められている。その一方で紙による古典的情報提示手法もまた、情報工学の技術革新の波の中でも生き残り、我々の生活に不可欠なものとなっている。そこで、電子制御型ディスプレイと紙メディアの共存状態に対する統合アプローチとして、電子制御型ディスプレイに紙の質感や使用感をはじめとする物的特性を組み込む技術が開発された。しかし、そうしたディスプレイは紙の物的特性・本質的機能を部分的にしか再現できていないという問題点があった。紙メディア本来の高い表現能力を生かすためには、その紙と色素から成る部材構成を崩すことなく、電子制御の仕組みを組み込むことが肝要である。しかし、従来技術による色素の電子制御手法は、主にその熱を制御する関係から、解像度や制御安定性に問題を抱えていた。本研究では、発光によらない紙面での発色型ディスプレイシステム開発の新しいアプローチとして、従来型制御では実現できなかった多量の情報を表現できるディスプレイの実現のため、機能性色素の表示制御にエネルギー変換と空間分離による新しい手法を導入する。具体的には、従来式の機能性色素制御手法の抱えていた低解像度などの問題点を、光熱変換機構を導入することにより解決する。光熱変換手法とは、高出力・高解像度の光照射を、高効率の光熱変換媒体を介して熱変換し、熱感応型機能性色素の温度制御を行う仕組みである。この手法の導入により、光照射デバイスの持つ高解像度・制御の容易さといった利点を、そのまま色素の温度制御に活かすことができる。

本論文は全9章から構成される。

第1章では、本論文の要点を述べる。

第2章では、情報提示手法として並列状況にある電子制御型ディスプレイと紙メディアに着目する。メディアの長い歴史において、その利便性や物質的特性から紙が最も重要な位置にあり続けた。後に電子制御技術の発展により、様々な制御機構や形状のディスプレイが開発され、紙にはない特長により我々の生活に不可欠なものとなった。現在、これらのメディアは、それぞれが持つ長所と短所を補い合う形で並列状況にある。両者の歴史および根幹となる技術の変遷と現時点での立ち位置について確認し、両者の抱える現在の課題について考察を行う。また、両者の統合アプローチについての考察を行う。統合アプローチとしては、紙の物的特性の再現を目指したペーパーライクディスプレイ、および投影対象の物的特性をフィードバックするプロジェクションマッピングが代表的な手法である。ペーパーライクディスプレイは、電子制御型ディスプレイと紙媒体の架け橋としての優秀性のある程度実現したが、紙の物的特性の完全再現には至らず、あくまでも紙の一部の物的特性の模擬の範疇を超えることはなかった。プロジェクションマッピングはその質感豊かな表現から幅広く利用される表現手法となったが、紙の質感の擬似的再現を狙うのみであり、これもまた紙の本来の物的特性を完全に再現するものではなかった。すなわち、既存技術においては、紙の本来の物的特性、機能特性の一部の再現に留まることとなった。こうした事例を踏まえ、発光型ディスプレイ、発色型ディスプレイの進化の起点と目指すものについて確認し、研究領域の違いについて説明する。紙面発色型ディスプレイの研究においては、その表現能力の高さから、紙と色素から成る部材構成を崩さず、印刷などの技術・知見をそのまま活かすことのできる形での電子制御性の付与が重要となる。その上では、従来の紙メディアの部材構成要素、すなわち紙と色素のどの特性をシステムに継承するかが非常に重要な問題となるため、この点について議論を行う。

第3章では、機能性色素の有用性について確認し、その制御を試みた既存事例について述べる。機能性色素には様々な性質のものが存在するが、中でも熱感応型機能性色素はその豊富なカラーバリエーションなどから最も優れた選択肢となる。その発色制御のためには発熱デバイスにより温度のコントロールを行うが、事例からその問題点を述べる。すなわち、熱の高解像度かつ精緻な制御の困難さである。

第4章では、第3章において確認した問題点を解決するためのアプローチとして、「エネルギー変換」「空間分離制御」の導入を提案する。エネルギー変換は、熱の直接的な制御では難しかった高解像度の表示制御の実現のため、高解像度制御が可能なエネルギーの制御をまず行うために導入するものである。空間分離制御は、同じく発熱デバイスの制御が抱えていた表示安定性の問題解決のため、スクリーンとなる紙媒体と色素の電子制御デバイスを分離する試みである。この2つの手法の導入は、本研究の骨子となる「光熱変換手法」となる。

第5章では、第4章にて述べた、本研究の根幹となる空間分離型制御とエネルギー変換による光熱変換原理について、その詳細を述べる。紙の特性保持のためには、紙と制御機構の空間配置関係を分離すること及び解像度向上のための新しい熱制御設計が必要となる。従来型の熱制御における低解像度の問題を解決するための新しい熱制御手法として、熱よりも高解像度の制御が可能な光の照射を起点とし、それを高効率で熱に変換する機構を挟み、最終的に熱感応型機能性色素に伝わる熱の分布解像度が高精細なものへと向上されるという仕組みである。この機構を光熱変換原理と呼称し、その詳細について述べる。この機構は光熱変換を効率的に行う媒体素材、光照射デバイス、熱感応型機能性色素の3要素により成り立つ。熱制御のための光照射の方式とデバイスの特性、空冷装置およびフィードバック制御の有効性について議論を行う。

第6章では、表示応答性について、いくつかの評価軸を設定し、熱力学的挙動からなる表示応答についての検証を行う。消色および発色のプロセスについて、素材物性や光照射特性より導き出される理論式より予想される性能を導き出す。熱感応型機能性色素には、連続切り替え型、永続表示型の2種が存在する。前者の消色及び後者の発色においては、照射光を受けた熱伝導媒体は光熱変換を行い、紙内部の熱伝導により熱感応型色素の温度上昇が起これば閾値温度を超えて消色する。前者の発色にお

いては、温度勾配による非定常熱伝導と同時に、紙の熱伝導媒体側、熱感応型色素塗布側ともに雰囲気との熱伝達により冷却される。さらに実際にいくつかの光照射デバイスと紙、機能性色素の組み合わせで実測値を検証する。さらに注視時間に関する既存研究の知見及びデバイスの制御特性から、コンテンツへの転用に当たっての適性について議論を行う。さらに継承する特性として選択した紙のパラメータチューニング性がもたらす表示応答への影響について述べる。

第7章では、第6章において求めた理論式を元に、実際のシステムの運用において有効利用するためのモデル化を行う。実際に運用するシステムの設計に当たっては、紙の特性から、物性値をはじめとする多数の変数を管理・設定するモデルの存在が重要となる。表示挙動を定式化し、実際の運用において物性値の代入により設計が行える基本的システムモデルの構築を目指す。このモデルにより、ディスプレイの使用・設計にあたってユーザーが何の情報を設定し、何の情報を調整すれば良いのかを明確にすることで、システムの全体像と運用方法を明らかにする。

第8章では、本研究の提案手法の応用例を述べる。すなわち、本研究により実現される高解像度の紙面発色型ディスプレイの有用性を評価するための応用例である。応用例1では、画像の表示媒体として紙とサーモクロミックインクを用い、光源の高速スキャン方式制御により、キャンバスとしての紙の素材感・質感をそのまま保持した白黒画像の描画を実現する。応用例2では、画像の表示媒体として感熱紙を用い、光源の高速スキャン方式制御により、遠隔コミュニケーションにおいて異なる素材のスクリーンをつなぐ試みを行う。

第9章では、これまでに提案、検証してきた光熱変換手法による紙面発色型ディスプレイシステムについて、結論と本研究のまとめ及び運用指針、設計指針をはじめとする今後の展望を述べる。