

## 審査の結果の要旨

氏名 山田 啓己

ディスプレイの技術革新が進む一方で、紙もまた情報提示のツールとして我々の生活に必要不可欠な存在で在り続けている。しかし、電子制御による発光型ディスプレイが高機能化・多様化し表現力を向上させる一方で、紙面発色型の情報提示手法は、その電子制御性の付与の難しさから表現力を大きく向上させるに至っていない。

本論文では、紙面発色型ディスプレイの表現性能向上の新しいアプローチとして、機能性色素の表示制御にエネルギー変換と空間分離を導入する新しい手法を提案している。これは光熱変換原理によるものであり、高出力・高解像度の光エネルギーを、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、従来式の機能性色素制御手法の抱えていた低解像度・不安定な応答性などの問題点を解決することができるかと述べている。

第1章では、本論文の要点をまとめている。背景として、工学技術の発達によりディスプレイの技術革新と多様化が進む一方で、紙による情報提示手法はその表現力を大きく向上させることのないまま、生き残り続けていることを述べている。本研究の目的を、紙面による情報表現を、その独自の特徴を失うことのないまま、電子制御性を付与することで時間軸を与え、向上させることであることを述べている。次に、本研究の寄与するポイントとして、主に解像度、表示応答性、表示安定性の観点からまとめている。

第2章では、現在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ついて総括している。まず、両者の歴史および根幹技術の変遷と現時点での立ち位置について確認し、現在の課題について考察を行っている。次に、両者の統合アプローチについて述べている。統合アプローチとしては、ペーパーライクディスプレイ、プロジェクションマッピングなどが代表的な手法であるが、紙の本来の物的特性・機能的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している。紙面発色型ディスプレイの研究においては、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ことを述べている。その上で、従来の紙メディアの部材構成要素である紙と色素のどの特性をシステムに継承するかが重要な問題となるため、この点について議論を行っている。

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ている。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が、その発色制御のための温度制御について、幾つかの実例から解像度や制御における問題点を考察している。

第4章では、前章で議論した問題点を解決するために「エネルギー変換」「空間分離制御」の導入を提案している。エネルギー変換は、熱の直接的な制御では困難であった高解像度の表示制御の実現のために導入するものである。空間分離制御は、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、紙と電子制御デバイスを分離する試みである。この2つの手法の導入が、本論文の骨子となる「光熱変換手法」となることを述べている。

第5章では、光熱変換原理についての詳細を述べている。すなわち、従来型の熱制御における解像度や表示安定性の問題を解決するための新手法として、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改善されるという仕組みである。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っている。

第6章では、熱力学的挙動からなる表示応答についての検証を行っている。熱感応型機能性色素の連続切り替え型・永続表示型の2種の発色・消色の挙動が、光熱変換による媒体素材の温度上昇、一次元非定常熱伝導、熱伝達による空冷から起こることを述べている。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表示性能を導出している。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パターンで実測値を検証し、予測値との比較・検証を行っている。また、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、シミュレーションの妥当性を確認し、コンテンツへの運用に当たっての適性について議論を行っている。さらに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ている。

第7章では、実際のシステムの運用において、設計のためのモデル化を行っている。表示挙動の設計に当たっては、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ことを述べている。表示挙動を定式化し、物性値の代入のサイクルにより設計が行えるシステムモデルの構築を行っている。

第8章では、提案手法の応用例について述べている。応用例1では、嵩高紙とサーモクロミックインクを用い、レーザー光源の高速スキャン方式制御により、人物の顔画像の描画を実現している。応用例2では、感熱紙を用い、レーザー光源の高速スキャン方式制御により、手書き文字の再現描画を行う遠隔コミュニケーションツールを開発している。

第9章では、本論文を統括して研究成果をまとめ、今後の課題と展望に触れ、論文全体の結論としている。

筆者によって提案された発色型ディスプレイの基本原理は、従来の機能性色素の制御手法と比較して、解像度や表示応答性、安定性を大きく改善する原理であり、新規的な手法である。本論文で提案した光熱変換原理は、従来では不可能であった紙面における大量の情報表現を、描画内容の識別が可能な程度に実現することに成功している。また、機能性色素の制御が光源デバイスの性能に依存するという独自特性から、今後の更なる性能向上が期待できると考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。