

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Jay Arre Oliveros Toque
論文題目	Materials Investigation through High-resolution Analytical Imaging and Spectrometry (高精細分析イメージングと分光法を用いた材料推定)		
(論文内容の要旨) 本論文は、独自の画像取得スキャナと一連の制御・分析ソフトウェアで構成された多色及び 3 原色で大型 2 次元対象物の高精細・高画質画像撮影が可能な非接触・非破壊の分析イメージングシステムの開発と、それを用いた画像取得、画像処理モデルの構築及び分析的イメージングの応用の詳細についてまとめたものであって、9 章 3 付録からなっている。 第 1 章は序論であり、画像取得、画像処理の現状についてまとめ、本研究の背景、目的について述べている。本研究の目的は、①大型 2 次元対象物の高精細・高画質撮影が可能な、非接触・非破壊の分析イメージング装置を開発し、②デジタル画像取得と画像処理の理論と方法論を確立すること、③①で開発した分析イメージング装置を用いて実験を行い、②で確立した理論及び方法論を実証することである。 第 2 章では、本研究で開発した画像処理モデル及び技術について述べている。主なモデルとして最小二乗法を適用して画像処理を行った。また、分光反射率曲線については光学フィルタを用いて得られたマルチスペクトル画像から再構築した。同じ手法を 3 ライン 3 カラー CCD にも応用した。また、再構築した分光反射率曲線からの 3 色画像取得についても記述した。 第 3 章では、マルチスペクトル画像取得に必要な要素、すなわちフィルタ選択及び標準サンプル作製について述べている。また、空間分布、CCD 特性、ノイズ等のシステムの諸特性についても記述している。フィルタの最適数については、分光反射率曲線に対する透過波長域とそのオーバーラップを考慮して、誤差を最小限にするように評価した。最適設計としては少なくとも 8 種類のフィルタが必要であることを示した。また、分光反射率曲線の最適な再構築は、各フィルタの透過波長域の重なり部分が最小で、全体の透過波長域が最大となる時に実現できることを示した。 第 4 章では、画像取得の諸パラメータについて直交配列表を用いて詳細検討している。再構築された分光反射率結果の統計的分析によると、光源に関するパラメータがデータの精度に最も影響を及ぼしていることが明らかになった。特に、光源の角度、光源の物理的特徴、及び画像の精細さが及ぼす影響は大きかった。また、分光反射率曲線の再構築に及ぼす光源の影響に加えて、照射時間も大きな影響を及ぼすことがわかった。 第 5 章では、画像取得時の照射量の計算について記述している。照射量は LED の放射及び分光特性を用いて計算した。また、優れた制御性、低熱放出、軽量及び発行波長特性を持った LED 光源を選択した。なお、独自設計された LED 光源により、可視光領域での照射による悪影響は極めて少なく、光の照射量は IESNA 基準で定められている光量の 1%以下に過ぎないため、世界文化遺産、日本の国宝級文化財のデジタル化に極めて優れた特性を有することを示した。			

第6章では、本研究で開発した装置を着装したマルチスペクトルスキャナを用いて分析的イメージングの現場試験を実現した。主な対象は国宝級の文化財で、分光イメージングを用いて、顔料推定、劣化マイクロメカニズム及び顔料分布測定を行った。また、本手法を用いて3つのケーススタディを行った。第一例は材料、技法が既知の日本画である。第二例は重要文化財級で材料技法が未知な400年前の古い掛け軸であった。第三例は日本の金細工技術の研究対象になっている一双の屏風（重要美術品）であった。この方法の信頼性については、シンクロトロン放射光分析による評価に基づいて確認された。第二と第三の例は重要文化財であることから、シンクロトロン放射などを用いた従来の分析方法を適用できないことを示した。

第7章では、撮像センサーとしてエリア CCD (CMOS) を使用し、分光反射率曲線の再構築について検討している。ライン CCD、高精細画像のみならず他の一般的センサーにもこのような方法を応用できることを示した。

第8章では、上記の精度の高い方法を通常の3原色画像に応用するために開発した分析ソフトウェアについて論じている。精度は低くなるが、ラインセンサースキャナあるいは8色スキャニングが不可能な環境で応用できることを明らかにした。

第9章では、結論を記述し、本論文で得られた成果について要約している。また、今後のシステムの発展について述べている。完全にモジュール化されたこのシステムは、今後のセンサー及び光源の進歩により一層発展することが期待され、より精度の高い顔料推定が可能となることを示している。

3つからなる付録は、この研究過程で開発されたシステムを世界文化遺産の現場で応用し、その有効性、安全性を実証した資料である。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、独自の画像取得スキャナと一連の制御・分析ソフトウェアで構成された多色及び3原色で大型2次元対象物の高精細・高画質画像撮影が可能な非接触・非破壊の分析イメージングシステムの開発と、それを用いた画像取得、画像処理モデルの構築及び分析的イメージングへの応用の詳細についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 材料分析のために、分光反射率曲線の再構築を主としたアルゴリズムによる独自の分析イメージングソフトウェアを開発した。

2. 画像取得における7つのパラメータを同定し、特に、光源の角度、光源の設定と画像の解像度が分光反射率曲線の再構築に影響を及ぼすことを統計的分析により明らかにした。

3. 分光反射率曲線の再構築に最も影響を及ぼすパラメータが光源であることから、発光ダイオード(LED)光源を用いた安全性の高い光源を開発した。その光源の強度は空間的に均一であり、分光分布も従来の蛍光灯などの光源に比べて可視光領域で均一であった。また、光源の強度、角度が可変であり、特に世界的重要文化財の撮影時、他の手法に比べて総合照射光量が3%以下であった。さらに、独自に開発されている光源はLEDを用いているため、低消費電力かつ低放射熱量であり、重要文化財のデジタル化において必要不可欠な条件を満たしていることを明らかにした。

4. 分析イメージングの技術とアルゴリズムを4つの異なるカメラ設定(3色エリアカメラ、3色ラインカメラ、モノクロエリアカメラ、モノクロラインカメラ)の設定に適用し実験を行った。その結果、モノクロラインカメラを設置したスキャナによるマルチスペクトル画像取得が最も正確に分光反射率曲線を再構築すること、また、同手法は顔料同定等に活用できることを示した。

5. 本研究で開発した技術と装置を実際に3つの国宝級文化財の撮影現場に適用し、その有効性を実証した。

以上のように本論文は、大型2次元対象物の高精細・高画質撮影が可能な非接触・非破壊の分析イメージングシステムを開発し、それを用いた画像取得、画像処理モデル及び分析イメージングが、2次元の文化財の高精細・高画質画像の撮影に有効に利用できることを示したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年12月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。