

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 蔦 瑞樹

本論文では、食品内部の成分分布と構造を簡便かつ視覚的に把握するため、対象の分光特性や蛍光特性と空間情報を同時に取得・解析する「マルチスペクトルイメージング」に着目した。申請者は、この手法を応用することにより、成分分布や内部構造の定量的な計測が可能になり、より正確な食品の品質や安全性評価に適用可能であると着想し、以下のような研究目的を設定した。すなわち、マルチスペクトルイメージングの適用範囲を拡大する手法を新たに提案すること、この提案に基づき新規に開発した手法やシステムを実際の食品試料に適用し、その有効性を確認すること、さらに、マルチスペクトルイメージングによる食品の品質及び安全性評価技術を開発し、それらの応用面における有効性を確認することの三点である。

本研究では、先ず、マルチスペクトルイメージングの一つの手法である「近赤外分光イメージング手法」に関する既往の研究例について検討した上で、その課題を解決する計測システムとして、「近赤外高速ハイパースペクトルシステム」を開発した。本システムは 400～1,100 nm の範囲でハイパースペクトルの取得が可能であり、これを用いてメロンの果肉断面における糖度分布の可視化を試みた。その結果、得られた検量線の精度は高く、糖度分布の可視化画像は実際の糖度分布を正確に反映していることが確認された。次に、本システムを応用してブルーベリー果実原料に混入する異物の検知技術を開発した。その結果、異物を正確に検知でき、加工現場で要求される広範囲の検査にも適用可能であることが明らかとなった。

また、より簡便かつ安定した計測を行うため、常に一定の条件で対象をスキャンできるイメージスキャナに着目し、任意の波長で対象をスキャン可能な「マルチバンドイメージスキャナ」を開発した。さらに、試作した装置を用い、メロンの果肉断面における糖度分布を可視化した。得られた検量線の精度は高く、実際の糖度分布を反映した正確かつ高精細な可視化画像を構築することが可能となった。

次に、近赤外分光イメージング手法の計測対象である吸光スペクトルと、励起・蛍光マトリックス (EEM) の特性を比較した。EEM は対象の蛍光強度を、励起波長及び蛍光波長を独立して走査しながら計測して得られる、吸収と発光の 2 過程を反映した 3 次元データであり、その情報量は吸光スペクトルよりも膨大である。また、EEM 計測の既往研究を検討した結果、EEM が生理機能の情報取得や成分同定に有効であると考えられた。したがって、EEM と位置情報を同時に取得して解析する「EEM イメージング手法」を開発することにより、近赤外分光イメージング手法よりも詳細に成分分布を可視化できると考えられた。そこで、計測システムとして「3次元スペクトルイメージングシステム」を新規に開発した。本システムは励起波長範囲 200～1,000 nm、蛍光波長範囲 400～1,100 nm で、試

料の任意の位置における EEM を計測可能である。さらに、EEM の主成分分析と主成分プロットの $L^*a^*b^*$ 色空間への変換、及び計測データの人工彩色により、立体試料における EEM 特性分布を可視化する手法を開発した。次に、上記の計測システム及び可視化手法よりなる EEM イメージング手法の有効性を実証するために、大豆の立体的構造の可視化を試みた。その結果、アリュールン層、胚及び葉脈状構造が、それぞれが全く異なる EEM 特性を持つ部位として観察可能となり、本研究で開発した EEM イメージング手法が、多成分からなる食品の内部構造可視化に有用であることが分かった。そこで、EEM イメージング手法によるコショウにおける γ 線照射処理の検知可能性を検討した。その結果、 γ 線照射の線量が増加するにつれて EEM 特性が変化していくことが明らかとなった。以上より、EEM イメージング手法が食品の品質・安全性評価に有効であることが実証された。

以上のように、本論文ではマルチスペクトルイメージングの適用範囲を拡大する計測システムとデータ解析手法を新規に開発し、実際の食品試料に適用することにより、それぞれのシステムや手法の有用性を確認した。その結果、本研究により開発した近赤外分光イメージング手法と試作システムが実用的技術として有効であることを立証したと考えられる。また、EEM と位置情報を同時に取得する EEM イメージング手法は新規性が高い上、この手法が食品の内部構造可視化や成分の変質の検知に有効であることを実証できたことにより、マルチスペクトルイメージングの研究・開発分野にブレークスルーをもたらす成果が得られたと考えられた。以上の審査結果から、審査委員一同は本論文の学術的な独創性と実用的な有用性を高く評価し、博士学位論文として価値あるものと認めた。