

氏 名	ちゃん にゅつと たん TRAN NHUT THANH
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 9 9 5 号
学位授与の日付	令和 3 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	Study on Nondestructive Assessment of Fruit Sweetness with Multispectral Sensors (マルチスペクトルセンサーを用いた果実糖度の非破壊評価に 関する研究)
審 査 委 員	(主査)准教授 福澤理行 教授 寶珍輝尚 教授 澁谷 雄 教授 野田 実

## 論文内容の要旨

食用果実は主要な農産物であり、特に ASEAN 諸国においては産業上重要な輸出品となっている。糖度や乾物含量などの内部品質の評価は、栽培管理や出荷前の等級付けにおいて不可欠であり、農場や選果場での応用のため、非破壊・簡便・安定な評価手法が求められている。そこで、本論文では、可視・近赤外分光法に基づいた、果実の非破壊糖度評価手法を提案する。

本論文では、簡素な光学系と統計的学習法とを組み合わせることによって、再現性や製造容易性と評価性能とを両立可能な分光分析システムを提案する。本システムは、果実内部を透過した拡散反射光のスペクトルを安定的に収集するため、複数の光学フィルターとフォトダイオードを集積したマルチスペクトルセンサーデバイスを中核とした簡素な光学系を採用し、410nm から 940nm の 18 帯域のスペクトルを収集できる。部分最小二乗回帰によるリンゴの糖度推計性能は、類似の先行研究を上回り、回折格子を用いた商用分光器に匹敵することが示された。また、収集スペクトルの一部の帯域群のみを用いた糖度推計も試みた。逐次変数選択法と重回帰分析を用いて最適な帯域の組み合わせを探索した結果、5 帯域のスペクトルのみで部分最小二乗回帰を上回る推計性能が得られた。

提案システムを用いたリンゴの糖度等級付けも試みた。k 近傍法、判別分析法、Support Vector Machine, Random Forest を候補として、分光スペクトルからの等級識別を試みた結果、いずれも重回帰分析による糖度推計値を単純閾値判別する場合を上回り、最大性能を示した判別分析法では 90%を超える識別性能を示した。さらに、他果実への応用として、マンゴーの糖度等級付けへの提案システムの有効性も実験的に示すと共に、類似の先行研究との光学系の比較を通じて、提案システムの製造容易性および再現性における優位点も示した。

本論文の提案手法は、簡素な光学系に基づいており、糖度推計や等級付け手法も特定の果実に限定されないため、システムの製造容易性・再現性が高く、用途制限も少ない。農場や選果場での果実の品質評価に幅広く応用可能と考えられる。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、可視・近赤外分光法に基づく果実の非破壊糖度評価法に関する研究であり、簡素な光学系と統計的学習法とを組み合わせることによって、再現性や製造容易性と評価性能を両立可能な分光分析システムを提案している。

提案システムでは、複数のフィルターとフォトダイオードを集積したマルチスペクトルセンサーデバイスを採用することで、光学系を劇的に簡素化し、光学素子のアライメントや各帯域の感度キャリブレーションを不要としている。最小二乗回帰に基づく糖度推計性能が回折格子を用いた商用分光器に匹敵することを実験的に確かめているので、提案システムは、性能だけでなく再現性や製造容易性も先行研究を上回ると考えられる。また、収集スペクトルの一部の帯域群のみを用いた重回帰分析でも同等以上の糖度推計精度を達成していることから、提案システムより帯域数の少ない、より簡素で実用性の高いシステムの実現可能性も示されていると考えられる。

提案システムを用いたリンゴの糖度等級付けでは、重回帰分析による糖度推計値に基づいて判別するのではなく、分光スペクトルをそのまま識別器に入力して等級識別を試みている。複数の統計的学習法で、糖度推計値からの判別より高い性能を示しており、簡素な光学系と統計的学習法との組み合わせの有効性が示されていると考えられる。また、マンゴーの糖度等級付けへの提案システムの有効性も実験的に示されており、類似の先行研究との光学系の比較を通じて、提案システムの製造容易性および再現性における優位点も示されていることから、システムの再現性や製造容易性は高く、特定の果実に限定された手法でもないと考えられる。

以上の通り、本論文の提案手法は、システムの再現性や製造容易性と糖度評価性能の両立に成功しており、用途制限も少ない。農場や選果場での果実の品質評価に幅広く応用可能であるものと評価できる。

本論文は、査読を経た以下に示す3編の論文を基礎としており、このうち2編は申請者が筆頭著者である。

1. N.-T. Tran, M. Fukuzawa, A Portable Spectrometric System for Quantitative Prediction of the Soluble Solids Content of Apples with a Pre-calibrated Multispectral Sensor Chipset, *Sensors*, Vol. 20 (20), 5883, 11 pages, 2020, DOI: 10.3390/s20205883.
2. C.-N. Nguyen, Q.-T. Phan, N.-T. Tran, M. Fukuzawa, P.-L. Nguyen, C.-N. Nguyen, Precise Sweetness Grading of Mango (*Mangifera indica* L.) Based on Random Forest Technique with Low-Cost Multispectral Sensors, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 212371-212382, 2020, DOI:10.1109/ACCESS.2020.3040062.
3. N.-T. Tran, Q.-T. Phan, C.-N. Nguyen, M. Fukuzawa, Machine Learning-Based Classification of Apple Sweetness with Multispectral Sensor, *Proceedings of 21<sup>st</sup> ACIS International Winter Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD2021-Winter)*, pp. 30-34, 2021.