

審査の結果の要旨

論文提出者 佐竹 覺

我が国では、年間約1千万トンの米が消費されているが、製品としての米には、生育のばらつきや病虫害による不良粒、また、生産環境への混入で、石やガラス、樹脂などの異物が混入する。米の品質管理では、不良粒や異物の混入が特に問題とされ、これらを極限まで除去することが要求される。

本論文では、不良粒や異物の分光特性が良品の米のそれと異なることに着目した分光選別機を扱っている。従来もこの種の選別機が開発され、用いられてきたが、除去すべきものの除去率(選別率)が低く、除去したものの中に含まれる不良品の割合(不良品濃度)が低いという大きな問題があった。

本論文では、米1粒単位で良品、不良品を識別し、除去するという新たな視点から選別機を構成する原料供給部、分光検出部、信号処理部および選別部の各々に要求される技術を再検討し、系統的に、綿密な設計と現象の観測・解析に基づく開発を進めて、選別率、不良品濃度を大幅に向上させるという高性能化を実現している。

第1章は「序論」で、米の分光選別に関する従来技術をレビューし、問題点を指摘するとともに、本論文での発想や技術の独創性と有用性を提示し、本論文の構成を示している。

第2章は、「分光特性による選別材料の識別」と題し、分光選別の基本となる選別材料(米の良品、不良粒及び異物)の分光特性の測定と波長選定について記述している。さらに、従来用いられてきた分光選別機の性能表示法についても言及している。

本論文では、米粒の一部に着色部をもつ不良粒について、着色部の位置に依らない検出を要することと、米が半透明であることに着目して、米粒の表面での反射光と米粒を透過した透過光とを同時に用いた検出法を考案している。

識別に用いる分光特性は、これを反映して、反射率と透過率を結合した複合特性を用いており、粒集合体、静止1粒、移動1粒のそれぞれについて複合特性を測定して識別に用いられる波長域を決定している。同様の手法を異物の識別にも適用し、両者を同時に検出する波長域として、450nm 近辺の可視域と1,600nm近辺の近赤外域が適していることを明らかにしている。

さらに、分光選別機の性能表示には、不良品除去率(選別率)と不良品濃度が用いられることを述べ、それぞれの定義を示している。

第3章は、「原料供給部の機能設計」と題し、1粒単位での選別のために解決すべき原料供給部の課題と解決方法について記述している。シュート幅 10mm 当たりの流量が毎時 100kgのとき、毎秒約 1,400 粒の選別材料が流下する。この全粒を1粒ずつ識別するために、選別材料を2次元的に配置して米粒同士が重ならず、等速度で検出部に供給される条件から流下速度を導いている。この値の周辺の条件で米粒を流下させ、その状況を高速カメラで観察し、米粒の重なりが少なくなるシュートの材質、形状、長さ、および、傾斜

角度を求め、長さ1,200mmの平シユートで、傾斜角度60度のとき、米粒速度4.2m/sで、重なりを8%に低減できることを明らかにしている。

第4章「分光検出部の機能設計」においては、光源の安定化法と、良品と不良粒とを識別し易くするために設置した背景板とその輝度の自動調整法を示すとともに、可視検出器と近赤外検出器の仕様について記述している。着色部の大きさが0.5mmまでの不良粒と、2mmまでの異物を識別する空間分解能をもつ分光検出部を設計し、主として前者を検出する可視域センサに2,048素子のSi CCDセンサを、主として後者を検出する近赤外域センサに256素子のInGaAsリニアセンサを選定して実験し、いずれもが検出できることを確認している。さらに、2章での知見に基づき、各センサに対する照明光源と、複数の照明光源の配置を決定している。

第5章は、「信号処理部の機能設計」と題し、不良品の検出と不良品の中心位置検出、ならびに、検出信号の選別部への伝送時間について述べている。最初に、背景板を用いて不良品の特定と外形検出を行い、パターンマッチング手法を応用したハードウェアで構成する画像処理回路により不良粒1粒の中心位置を定めている。次に、不良品の検出時点から、噴射ノズル作動時点までの、不良粒の移動時間と検出信号の伝送時間の間の遅れを調整し、不良品の中心に高圧空気を吹き付けて、不良品を1粒だけ除去するための信号処理法を確立している。

第6章は、「選別部の機能設計」と題し、不良品1粒だけを吹き飛ばす噴射ノズルの形状、寸法と、高速で応答する電磁バルブの開発について記述している。電磁バルブの高速化のための設計と、シミュレーションによる噴射空気に対する設計を行うとともに、噴射ノズルの縦・横寸法の設計を行い、4.2m/sの速度で流下してくる不良品を排除するのに、応答速度が0.67 msの電磁バルブを開発し、また、縦1.0mm×横1.5mmの寸法の噴射ノズルを開発して、該当する1粒だけを除去する技術を確立している。

第7章は「分光選別機の性能評価」で、第6章までの成果を基に新しく製作した分光選別機の性能を評価し、開発技術の有効性を確認している。不良品除去率(選別率)は97.2%、不良品濃度も従来の10%に対して75.3%を達成し、大幅な改善を実現している。

第8章は「結論」で、本開発研究で得られた知見と成果をまとめるとともに今後の課題に言及している。

以上要するに、本論文は、米の不良品選別において、従来にはない、米1粒単位で良品、不良品を識別し除去するという新たな視点から分光選別機を構成する各部に要求される技術を系統的に、綿密な設計と現象の観測・解析に基づいて開発し、大幅な性能向上を実現したもので、計測工学、農業工学上の貢献が大きい。よって、博士(工学)の学位論文として合格と判定する。