

論文の内容の要旨

論文題目 米の高性能分光選別機に関する開発研究

氏名 佐竹 覺

我が国では、米が年間約 1 千万トン消費されているが、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や、また、生産環境に起因する、石やガラス、樹脂、陶磁器などの異物が混入する。米の品質管理では、これら不良粒や異物の混入が特に問題とされ、極限までこれらを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分光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見直し、系統的に開発を進めて、1 次選別のみで選別率、不良品濃度を飛躍的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、米の分光選別機に関する従来技術を再確認し、問題点を指摘するとともに、本研究の独創性と有用性を述べ、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、不良粒および異物）の分光特性と、それによる識別波長域の選定および分光選別機の性能表示法について記述している。

従来は、選別材料の分光特性を粒集合体の反射率で捉えていたが、本論文では、実際の分光選別機に近似した考え方を導入して、粒集合体での反射率と透過率を計測し、それを加算した複合（反射+透過）分光特性比から、良品と不良品の識別が可能な波長域を求めた。その結果、白米中の不良粒の識別は中心波長 450nm 付近の青(B)の可視域で、異物の識別は中心波長 1,600nm 付近の近赤外域において、ともに良品と不良品の複合分光特性比に顕著な差が認められたので、この 2 波長を識別波長域として選定している。また、玄米での不良粒の識別については、1 波長では不可能なために複数波長域の分光比と反射透過比による識別アルゴリズムを提唱している。

さらに、1 粒単位での良品、不良品の反射と透過を計測し、その出力信号から求めた複合出力信号比と粒集合体の複合分光特性比との相関係数を求めた。その結果、不良粒では 0.903、異物では 0.989 の強い相関があることを示し、選別材料の不良粒と異物の識別波長域は、粒集合体の複合分光特性比から選定することが可能であることを明らかにしている。

分光選別機の性能は、選別率と不良品濃度で表示する。選別率は原料中に混入する不良品重量に対する除去された不良品重量比、不良品濃度は不良品口に取出された総重量に対する不良品口の不良品重量比で表示され、共に 100%に近い方が高い性能を示す。

第 3 章は、「原料供給部の機能設計」と題し、1 粒単位で除去するために解決すべき課題と解決方法について記述している。

シュート幅 10mm あたりの流量が毎時 100kg の時、毎秒約 1,300 粒の選別材料が流下する。ここでは、この全粒を 1 粒ずつ検査するために、選別材料を 2 次元的に配置、すなわち米粒同志が重ならないように等速度で、検出部に定量供給するための要件を示している。

米粒の流下状態を観察し、シュートの材質、形状、長さ及び傾斜角度が、米粒の速度と重なりに与える影響を明らかにして最適設計を行った。その結果、米の流量は電磁フィードの振幅をフィードバック制御することで安定化し、シュート形状を平、長さを 1,200mm、傾斜角度を 60 度に最適化することで、米粒速度 4.2m/s と重なり割合 8%を得ている。

第 4 章の「分光検出部の機能設計」においては、光源の安定化と背景板の自動調整法を確立するとともに、可視検出器と近赤外検出器の設計および選定について記述している。

速度 4.2m/s で流下している白米に含まれる、着色部が $\phi 0.5\text{mm}$ の不良粒と大きさが $\phi 2\text{mm}$ の異物を 100%識別できる空間分解能を持つ分光検出部の設計条件を示し、視野 280mm の根拠を明らかにしている。さらに、1 粒の分光検査装置によって、反射と透過を複合することで、第 2 章で選定した識別波長域により、不良粒と異物を識別できることを実証し、微小着色部の

ある不良粒の姿勢変化への対応から可視検出器を選別材料の前後に設ける必要性を明らかにしている。

設計した分光検出部の光源には、不良粒用として可視域に青色蛍光灯を、異物用として近赤外域にハロゲンランプを採用した。そして、光学フィルタには、波長域 430nm~470nm の可視用フィルタと 1,400nm 以下の光を遮断する近赤外用 IR フィルタをそれぞれ選定し、光学レンズには、高い解像度で結像するものを採用した。また、可視光センサには 2,048 素子 CCD Si センサを、近赤外センサには 256 素子 InGaAs リニアセンサを選定している。

第 5 章は、「信号処理部の機能設計」と題し、不良粒の特定方法と不良粒の中心位置検出方法並びに選別部との関係について明らかにしている。

比較回路では不良粒の特定と外形検出を行い、画像処理により不良粒の中心位置を確定している。噴射時間設定回路では噴射時間を決定し、遅延時間調整回路では、不良粒の検出時点から、電磁バルブ作動時点までの時間的な遅れを調整し、不良粒の中心位置に関連させている。

第 6 章は、「選別部の機能設計」と題し、信号処理部からの信号により高速で応答する電磁バルブと不良品 1 粒だけを吹き飛ばす噴射ノズルに必要な条件を示し、設計と実験により目標値を達成している。

実験では、速度 4.2m/s で連続して流下する不良品に、電磁バルブを 1 サイクル 0.67ms の高速度で応答させて、バルブ作動時間を 0.4ms にし、シミュレーションによりノズル口寸法を横 1.5mm×縦 1.0mm に設計して、噴射時間を 0.5ms にすることで、100%の確率で不良粒を除去できることを確認した。

第 7 章は、「分光選別機の性能評価」と題し、第 6 章までの各構成部の各論の成果をすべて採用した分光選別機を新しく製作し、性能確認をして、本研究の総合評価を行っている。

選別率では、シュート幅 10mm あたりの流量が毎時 100kg の時、1 次選別のみで 95%の目標値に対して 97.2%を達成し、不良品濃度では、従来約 10%であったものを、75.3%に改善できた。この結果は、本論文の研究内容が、分光選別機の高性能化に有効であることを示している。

第 8 章は、「結論」として、本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。分光選別機の各構成部を体系的に見直し、各構成部の改善と画像処理技術を導入した結果、能力と選別性能の向上に関し所期の目標を達成している。