



Title	光選別機の開発のための数値シミュレーション技術と最適化手法に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	宮本, 知幸
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11319号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55673
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Tomoyuki_Miyamoto_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 宮本 知幸

学 位 論 文 題 名

光選別機の開発のための数値シミュレーション技術と最適化手法に関する研究
(Study on Numerical Simulation and Optimization Techniques to Design and Develop Optical Sorter)

光選別機は粒状物の精選加工装置である。近年、光選別機の需要は、粒状食品の安全や粒状製品の品質を向上させるために、多方面で高まっている。そこで、光選別機のさらなる高性能化、多品種原料対応化が求められている。具体的に、光選別機が克服すべき課題としては、多品種原料に対応できるように供給機構を改善することと、粒状物の精選加工において歩留を上げ、生産高を増やすために効率的な分別機構を設計することである。

一般的に、光選別機は「流す」、「見る」、「分ける」の3つの工程から構成されている。第一に、原料はシュートを用いて検出部に供給される。第二に、供給された原料が、検出部にて高性能カメラを用いて除去対象物であるかどうか識別される。第三に、除去対象物はイジェクターと呼ばれるエアージェットを用いて原料の中から噴射除去される。多品種原料において光選別機が性能を発揮するためには、原料の流れが、均一な分布、速度で検出部に供給されることが必要である。しかしながら、光選別機のシュートは非常にシンプルな構造であり、原料の流れ方は原料の形状や表面性質によって大きく異なる。したがって、光選別機の性能を効果的に向上させるためには、原料の流れ挙動を正確に把握する必要がある。本研究では、光選別機のシュート上における原料の流れを仮想的に再現するために、個別要素法 (Distinct Element Method, DEM) に基づいたシミュレーション・コードを作成した。また、光選別機で扱う原料はさまざまな形状をした粒子であるので、原料のモデル化には複数の球体を結合して粒子を構成する球集合体モデル (Mush-Sphere Model) を採用した。また、光選別機の性能の評価ポイントは、選別率および処理量、歩留りである。これらの評価ポイントは一つの性能を向上しようとするすると他の性能が低下するような競合の関係にある。しかしながら、「分ける」工程の性能を向上させることは、それらの性能を同時に向上させることができる。したがって、光選別機の性能を効果的に向上させるためには、イジェクターノズルからのエアージェットの挙動を正確に把握する必要がある。本研究では、光選別機におけるイジェクターノズルからのエアージェットを仮想的に再現するために、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法に基づいたシミュレーション・コードも作成した。本論文では、これら数値シミュレーション手法の妥当性の検証として、それぞれの領域における特徴的な事象に適用し、再現性を評価した。そして、その事象の発生メカニズムを解明できたことで、光選別機の性能向上において新規性、進歩性のある設計指針を得られた。

さらに、本論文では、イジェクター性能を向上させるために、開発したシミュレーション・コードを用いてイジェクターノズルからのエアージェットの挙動を評価し、最適化設計手法を併用することでイジェクターノズル構造の最適化設計を試みた。そして、我々は製品開発において、より実用的な最適化設計を行うために、CAD や CAE の科学的に検討された結果のみに基づいて製品を設計する工学設計のアプローチではなく、経済社会における社会動向、顧客ニーズ、顧客利益などに基づいて製品を設計する製品設計のアプローチを提案し、試みた。製品開発の視点では、時代や環境

の変化を考慮し、他社との競合の中で生き残れる製品を開発しなければならない。すなわち、製品設計では消費者を意識した経済的思考で複数の目的(多目的)を設定し、それらの目的が消費者に対価を生むことが求められる。そこで、最適化設計手法でこれらのアプローチを実現するためには、複数の目的関数を同時に最適化することが要求される。ただし、それぞれの目的関数が競合関係にあるときには、その解の候補は複数存在し、パレート最適解を構成する。従来までは、一つの目的関数しか扱えない最適化アルゴリズムが多かったため、複数の目的関数の重み付け和を最適化することが試みられてきた。しかし、個々の目的関数は、消費者を意識した経済的な要求を表し、その評価軸や単位が異なるため、重みを適切に決定することは難しい。そこで近年、多目的最適化アルゴリズムが提案されるようになってきた。これらのアルゴリズムは、パレート最適解を探索するアルゴリズムである。しかし、パレート最適解には、様々な特徴を持った解が存在し、その中から任意の一つを選択することも難しい。そこで、本論文では、多目的最適化設計において、複数の目的関数を同時に合理的に評価でき、任意の一つの解を適切に選び出す手法としてゲーム理論を適用した最適化設計手法を適用し、イジェクターノズルの構造最適化を行った。

ゲーム理論は、経済などの分野で応用されているが、トレード・オフ関係にある決定事項の均衡解を探索する手法である。したがって、ゲーム理論を多目的最適化設計に適用することにより、複数の目的関数の評価に重みなどの人為的パラメータなどを加えることなく、設計値を決定することが可能である。本来、ゲーム理論は、各目的に応じたプレイヤーが自由意志決定のもとで、自己以外のプレイヤーの意志を考慮しながら、目的達成のために各々の最適合理性で戦略を決定する理論である。実際の製品開発では、設計者達が話し合いにより総合的に設計仕様を決定するので、設計者各々が独自に合理的な戦略を主張することはない。本論文では、多目的最適化設計の各目的と最も関連深い設計変数を選び、その設計変数をプレイヤーとし、戦略を設計変数値と考えることで、ゲーム的状况に近い状況を作り出し、ゲーム理論を用いて最も良い設計変数値を選び出すことを提案している。

ゲーム理論には、ゼロ和ゲーム、非ゼロ和ゲーム、非協力ゲーム、協力ゲームなどの種類があり、設計コンセプトに応じて、適切なゲームを選ぶことでより良い解を得ることができる。ゼロ和ゲームとは目的関数の総和が常にゼロになる場合であり、非ゼロ和ゲームは目的関数の総和がゼロになる必要はないゲームを指す。またその中でも、非協力ゲームとは、目的全体の合理性を考慮することなく、個々に目的を追求するゲームである。一方、協力ゲームは、全ての目的がバランス良く向上することを目指すゲームである。特に、協力ゲームは、非協力ゲームから交渉を始め、提携行動が可能になるものであり、交渉ゲームとも呼ばれる。製品開発のように多目的最適化設計を考える場合には、後者の協力ゲームを考えるべきであるが、協力ゲームの実行は非協力ゲームから交渉が始められるため、本論文でも、非ゼロ和ゲームの非協力ゲームを実施後に協力ゲームを適用した。そして、その妥当性を検証するために、光選別機のイジェクターの最適化設計問題に適用している。イジェクターの性能として、エア流量を抑えながらも、噴射エア圧力を高めることと、エア抜けを良くして、不良粒だけを除去し、良品の誤除去を防ぐことが求められる。これらの目的は競合関係(トレード・オフ関係)にあるが、ゲーム理論を用いて、イジェクターの圧縮部の経路長とノズルの高さを合理的に決定した。