

氏名	ないとう きよし 内藤清嗣
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第1777号
学位授与の日付	平成10年11月24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	工学研究科化学工学専攻
学位論文題目	連続晶析プロセスのシミュレーションと安定化制御

(主査)

論文調査委員 教授 橋本伊織 教授 荻野文丸 教授 東谷 公

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、工業界で多く使用されている連続晶析プロセスに対して、その数式モデルを用いて精度のよいシミュレーションを実行するための数値解法、および結晶粒径分布 (Crystal Size Distribution, CSD) の安定化制御の検討結果を取りまとめたものである。大きく分けて、連続晶析プロセスのシミュレーション法に関する研究である第1編 (第2, 3章) と CSDの安定化制御に関する研究である第2編 (第4, 5章) の2編からなり、緒論と総論を含めて全体では6章で構成されている。

第1章は緒論であり、晶析プロセスの概要、本研究の背景、目的および検討課題について述べている。

第2章では、オープンループ系および分散型制御系における連続晶析プロセスのシミュレーション法の検討を行っている。CSDの動特性を表すポピュレーションバランス式は一階偏微分方程式で表され、一般にはその数値解法として有限差分法が用いられているが、有限差分法によるシミュレーションでは、数値拡散のため得られた数値解の精度は劣化し、それを防ぐためには特性曲線法を用いなければならないことを明らかにしている。その際、結晶成長速度式が粒径依存項と時間依存項の積で表されるという系の特徴を利用した時間方向と粒径方向のメッシュ生成アルゴリズム、さらに通常の特曲線法では不可能であった分散型制御系のシミュレーションアルゴリズムの開発を行っている。

第3章では、第2章で有効性を述べた特性曲線法を改良し、時間刻みを一定にできる移動ノードを用いた特性曲線法による連続晶析プロセスのシミュレーション法の検討を行っている。このシミュレーション法は、数値拡散を全く示さないほか、結晶成長速度式が粒径依存項と時間依存項に分離できない場合でもシミュレーションが可能であるが、一方で計算が進むにつれてノード数が増え、計算負荷が増大する欠点がある。そこで、結晶粒径、ポピュレーション密度、ノード間の距離に着目した3つのノード消去則を使用してシミュレーション結果を比較し、精度を落とすことなく計算負荷を下げるには、ノード間隔に基づく消去則が最も有利であることを実証している。

第4章では、微小結晶の溶解を考慮した外部加熱器のモデルを構築し、外部加熱器での微小結晶の溶け残りがCSDの安定化制御に与える影響の検討を行っている。微小結晶抜き出し流量を上げすぎると、外部加熱器において微小結晶が溶けにくくなり、溶解する微小結晶の量が逆に減少し得ることを確認している。このため、これまで提案されてきた微小結晶抜き出し流量を操作量とするSISO制御では、CSDをうまく安定化できない場合があり、安定化させるためには、微小結晶抜き出し流量に適切な上限値を設ける必要があることを明らかにしている。さらに、オープンループのシミュレーション結果から、この上限値を推定可能であることを示している。

第5章では、詳細な物理モデルに基づいて、スタートアップ時のCSDの振動現象を解析することにより、CSDの安定化制御に有効な被制御量および操作量を選択し、シミュレーションによって制御性能の比較検討を行っている。その結果、実際に工業界で使用されている連続晶析プロセスにおいて考えられる微小結晶抜き出し流量に厳しい制約がある場合には、従来から提案されている微小結晶ポピュレーション密度を微小結晶抜き出し流量で制御するSISO制御と、大きな結晶の3次

モーメントを晶析缶から製品分級器への抜き出し流量で制御するSISO制御とを統合したマルチループ制御が有効であることを示している。

第6章は本研究の総論であり、本論文で得られた成果について要約し結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、連続晶析プロセスの動特性を精密に解析するためのシミュレーション方法と、結晶粒径分布（Crystal Size Distribution, CSD）の安定化制御法について、特に、現実の工業規模の晶析プロセスにおいてしばしば問題となっている、外部加熱器における微小結晶の溶け残り現象との関連に焦点をあてて、研究した結果をまとめたものであり、得られた成果は次のとおりである。

1. CSDの動特性を表すモデル式は一階偏微分方程式で表されるが、その数値解法として有限差分法を用いると、数値拡散のため正確な解が得られず、精度のよい数値解を得るためには、特性曲線法を用いなければならないことを示した。その際、結晶成長速度式が粒径依存項と時間依存項の積で表されるという系の特徴を利用した時間方向と粒径方向のメッシュ生成アルゴリズム、さらに離散型制御系のシミュレーションに適用可能なメッシュ調整アルゴリズムを開発した。
2. 従来の微小結晶抜き出し流量を操作量とするSISO制御では、CSDをうまく安定化できない場合があり、安定化させるためには操作範囲に制約を設ける必要があること、さらに最適な操作範囲は、オープンループでの被制御量の経時変化から推測可能であることを示した。
3. 実際の晶析プロセスで問題になる、微小結晶抜き出し流量の操作範囲が狭い場合には、微小結晶ポピュレーション密度を微小結晶抜き出し流量で制御するSISO制御と、大きな結晶の3次モーメントを晶析缶から製品分級器への抜き出し流量で制御するSISO制御とを統合したマルチループ制御が望ましいことを示した。

以上要するに、本論文は、精度のよい数値解を得るための連続晶析プロセスのシミュレーション方法を示すとともに、操作量の操作範囲に厳しい制約がある場合に有効な制御法を新たに提案したものであり、学術上、実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成10年10月21日、研究内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。