

氏 名 岡崎 聡

授与した学位 博士

専攻分野の名称 工学

学位授与番号 博甲第4419号

学位授与の日付 平成23年 9月30日

学位授与の要件 自然科学研究科 産業創成工学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 計測不可な特性を有する連続時間アンチワインドアップ一般化予測制御系の構成

論文審査委員 教授 見浪 護 教授 則次俊郎 教授 渡辺桂吾 教授 鈴森康一

学位論文内容の要旨

化学プラントや電力プラントなどのプロセス系と呼ばれるシステムを対象とした制御をプロセス制御と呼ぶ。他の生産活動と同様に、プロセス系では供給された原料をもとに、より付加価値の高い製品を得ることを目的とするが、目的の製品・品質・生産量の実現と合わせてプロセス系の安定化・安全性を確保していくには流量・温度・圧力などの運転条件の調節が必要である。またプロセス制御系設計では、制御対象を正確に記述するモデルが得られないこと、経年劣化によりプロセスの特性が変化すること、雨、風という環境の影響といった多様な外乱が存在することなど、制御対象が不確かさを含むという問題がある。不確かさを考慮しない場合、制御系が不安定になり制御できなくなることや、目標値と出力の間に許容できない誤差が発生し、目標とする品質の製品を産出できなくなる原因となる。故にこの不確かさに対しロバスト性が高く、また何らかの補償が行われることは、より良い制御則を構築する上で非常に重要である。

この不確かさを含むプロセス系に対してこれまで次のような研究を行ってきた。まずプロセスの動特性を用いた適応オブザーバによる故障診断手法がある。この手法では、プロセスの動特性に未知な要素が含まれていることを想定しており、その不確かさについて考察を行うことは重要である。そこで、故障信号を未知外乱とみなし未知外乱オブザーバにより検出し、さらに不確かさを同定するパラメータ調整則を実験装置に適用しその有効性を検証した。次に状態量とシステムのパラメータを推定できる拡張カルマンフィルタを用いて制御則を構築する手法を提案した。この手法は、不確かさを含んだパラメータから連続時間アンチワインドアップ一般化予測制御(Continuous-time Anti-windup Generalized Predictive Control : CAGPC)を構築するものである。このCAGPCはロバスト性の高い制御手法であり、制御対象を安定・安全に制御することができる。しかし、より安定・安全なプロセスの運用を目指すことは重要なことであり、不確かさを考慮した制御則の構築を検討する必要がある。故に本論文ではロバスト性を拡張するアプローチについても考察する。まず制御対象を計測可能な部分と不確かさの一部として計測不可な部分に分けることとし、この計測不可な部分を補償するフィードバックループを制御入力に加えることで、不確かさの影響をキャンセルまたは減少させることが出来ると考えた。不確かさは実環境では必ず存在しており、それは未知のものである。故にその影響を減少またはキャンセルすることは、より良い制御を目指す上で重要になる。すなわち不確かさの影響をキャンセルできる本手法は、実際の環境においても有効に作用すると考えられる。そこで本手法の有効性を確認するため、むだ時間を含む制御対象についてシミュレーションを行い、CAGPCでは目標値に追従しないが、提案手法では目標値に追従するという結果を得た。次に実機としてアルミ板温度制御装置へと適用し、提案手法の有効性を確認した。さらに内部の干渉や、相互作用が複雑になる多入出力系へと拡張し、その複雑な不確かさに対しても有効であることをシミュレーションにより示している。

論文審査結果の要旨

化学プラントや電力プラントなどのプロセス系と呼ばれるシステムを対象とした制御をプロセス制御と呼ぶ。他の生産活動と同様に、プロセス系では供給された原料をもとに、より付加価値の高い製品を得ることを目的とするが、目的の製品・品質・生産量の実現と合わせてプロセス系の安定化・安全性を確保していくには流量・温度・圧力などの運転条件の調節が必要である。またプロセス制御系設計では、制御対象を正確に記述するモデルが得られないこと、経年劣化によりプロセスの特性が変化すること、雨、風という環境の影響といった多様な外乱が存在することなど、制御対象が不確かさを含むという問題がある。不確かさを考慮しない場合、制御系が不安定になり制御できなくなることや、目標値と出力の間に許容できない誤差が発生し、目標とする品質の製品を算出できなくなるなどの品質劣化の原因となる。故にこの不確かさに対しロバスト性が高く、また何らかの補償が行われることは、より良い制御則を構築する上で非常に重要である。

連続時間一般化予測制御（Continuous-time Generalized Predictive Control : CGPC）を基にした発展した連続時間アンチワインドアップ一般化予測制御（Continuous-time Anti-windup Generalized Predictive Control : CAGPC）に対して申請者が行った研究について述べる。一般に制御対象は非線形微分方程式で表され、これを線形近似したときの高次微分項の総和である残余誤差をプロセス制御分野では不確かさと呼ぶ。これまでの研究では不確かさに対して制御則がもつロバスト性で対処しており、その不確かさを積極的に考慮するまたは補償を行うといったアプローチがとられていなかった。そこでまず制御対象が持つ不確かさをコントローラで考慮するために、実際の入出力データをもとにシステム行列などのパラメータを推定する拡張カルマンフィルタを用いて制御系を構築する手法を提案した。また、既約分解によって GPC に導入したパラメータを代数的に決定することで、フィードバックループが切断された場合にもあらかじめ設計した閉ループ系と同じ定常特性を有する制御系の構成法を提案した。

以上を総合して、本論文は制御工学における連続時間アンチワインドアップ一般化予測制御において有益な提案がされており、博士論文として価値あるものと認められる。