

(様式 5)

2022 年 12 月 13 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 応用化学 専攻 (major) 2019 年度入学 (Admission year) 学籍番号 19832302 氏名 大寶 茂樹 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	山下 善之
論文題目 (Title)	化学プロセスにおける PID 制御装置の PID パラメータ最適設計に関する研究
論文要旨 (2000 字程度) 第 1 章は「序論」であり、化学プラントの代表的な制御手法である PID 制御器に対して歴史および各種調整法の整理を経て、実プロセスへ適用する調整法として内部モデル制御 (IMC) が適していることを示した。しかしながら、積分モデル適用時の IMC フィルター時定数決定方法に関して課題が残っており、この課題の整理および課題解決の方向性を述べた。 第 2 章は「IMC 理論に基づく化学プラント液面制御に適した PID 制御設計」と題し、新たな IMC フィルター形状を提案し、新たな PID 調整則を導出した。また、課題である IMC フィルター時定数の決定方法に関しては約 200 個の実プロセス液面制御器のプロセスゲインによる統計解析結果に基づいて決定方法を提案し、プロセスゲインから IMC フィルター時定数を算出できるようにした。この IMC フィルター時定数算出式には調整指針も付加し、推奨 PID パラメータ初期値を設定後の PID パラメータ微調整を感覚的に実施できるようにした。更に実プロセスでの適用事例・実績から調整指針もモデル化され、最適な PID 値を提示できるようにした。 第 3 章は「PID パラメータ値の不適切設定による自励振動制御器の閉ループ同定」と題し、制御変数および操作変数の自励振動周期を示す時系列データおよび PID パラメータ値のみから、むだ時間を含む 1 次遅れモデルおよび積分モデルの 2 種類のモデルに対する閉ループ同定方法を提案した。なお、1 次遅れモデルに対して本手法を適用した場合、数値計算のみでは複数の閉ループ同定結果解が得られる場合がある。これに対して、「DCS の PID 制御器を用いた制御性能改善を主目的としたモデル同定」という制約条件から、計装エンジニアの視点を取り入れ一意のモデル同定結果を得る方法を提案した。この提案手法を酢酸ビニルモノマー (VAM) プラントシミュレータへ適用し、制御性能を改善した事例を示した。 第 4 章は「不適切な PID パラメータ設定による自励振動応答の自動検出と PID 再調整」と題し、化学プラントに導入されている一般的な RTDB から自励振動応答を示す不具合 PID 制御器の検出と閉ループ同定に適用する最適な自励振動応答の自動抽出方法を提案した。併せて、第 2 章および第 3 章での提案手法も含めたアプリケーションを開発した。このア	

アプリケーションをVAMプラントシミュレータへ適用した結果、第3章で目視および手動操作によって選定した自励周期期間と同等の時系列データを自動的に取得し、最適PIDパラメータ値を提示した。また、数千個のPID制御器の時系列データが蓄積されている実プラントのRTDBに適用した結果、約3hで全PID制御器の制御性能評価が行われ、数十個の不具合PID制御器の検出および最適PIDパラメータ値が自動算出された。更に、温度制御器に適用し制御性能が改善した事例を示した。

本論文を通して、化学プラントでのPID制御を用いた運転安定化（最適PIDパラメータチューニング）に対して、種々の事象を伝達関数モデルを用いた数式により示し、かつ、実プラントでの一般的な環境（DCS、RTDBなど）を配慮し、プラントでの新たなテストを不要としたPIDパラメータ設計技術を提案した。さらに同技術を現場へ容易に実装できるアプリケーションツールも開発した。そして、このアプリケーションツールを実プラントへ適用し、性能および効果を実証した。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

The introduction chapter discusses the purpose of this study. After reviewing the history and various PID parameter tuning rules for PID controllers, which are a typical controller for chemical plants, it was shown that internal model control (IMC) is suitable as a tuning rule that can be applied to actual plants. However, there is a problem in determining the time constant of the IMC filter when applying the integral model. Therefore, I summarized these problems and described the direction to solve them.

The 2nd chapter proposes a new PID tuning rule using a new IMC filter. A method for determining the IMC filter time constant was proposed based on the results of statistical analysis of process gains of about 200 level controllers in actual chemical plants. Furthermore, an adjustment guideline was added to the calculation formula for the IMC filter time constant. This can be done intuitively if you want to fine-tune the PID parameters after setting the recommended PID parameter as the initial values.

The 3rd chapter proposes a closed-loop identification method for a first-order lag with dead time and an integral model with dead time. This method is using only the PID parameter values and the self-excited oscillatory time series data of control variables and the manipulated variables. When this method is applied to the first-order lag model, multiple closed-loop identification results may be obtained. This problem was solved by incorporating the philosophy of an instrumentation engineer. The proposed method was applied to the vinyl acetate monomer (VAM) plant simulator and presented improved control performance.

The 4th chapter proposes an automatic detection method for PID controllers exhibiting self-excited oscillatory response. An application incorporating this method and the methods proposed in chapter 2 and 3 was developed. As a result of applying this application to the VAM plant simulator, optimal PID parameter values

were automatically suggested. Furthermore, this application was applied to a real plant with several thousands of PID controllers, and successfully found dozens of poorly tuned controllers and suggested optimal PID parameter values.

Throughout this thesis, design methodology of optimal PID parameters for chemical plants was proposed, which does not require system identification experiments. An application tool was also developed to easily apply this technique to a real plant. This application tool was applied to an actual plant to demonstrate its performance and effectiveness.