

審査の結果の要旨

氏名 重政 隆

PID 制御はプロセス制御を中心に様々な産業分野で幅広く使われている中核的制御技術である。しかし、多変数制御への展開など各分野で多様化が進み、現実の広範なプロセス動特性をカバーする調整則が無いままに、口伝的な局所的な調整則が数多く提案されてきた。そのため、団塊エンジニアの定年退職とともに、技術移管が十分でなくプラントの制御性からは好ましくない状況になりつつあるという問題点が浮き彫りになってきている。この状況を改善すべく、現場応用を前提とした上で制御系設計・調整の考え方が分かり易く、かつ技術移管しやすい汎用・広範化を目指したプロセス制御技術の確立が望まれている。

本論文は、このような産業界の問題認識のもとで、その経路に向けた幾つかの具体的な PID 制御則とその調整法を提案したもので、「汎用・広範化を目指したプロセス制御 モデル駆動 PID 制御に関する研究」と題し、全 8 章と付録からなる。

第1章「序論」では、本研究の背景と技術的課題を整理し、本論文の主張は以下の 5 点であると述べている。①上位に2自由度 IMC (Internal Model Control) と下位に PD フィードバック補償系を配置したカスケード制御系 (モデル駆動 (MD) PID 制御系と称する)、② MD-PID 制御系から 2 自由度 PID 制御系への変換方法、③ 多変数モデル駆動 PID 制御、④ PD ループの FRIT 法によるデータ駆動調整法、⑤ プロセス制御の現場をサポート支援する技術。

第2章「モデル駆動 PID 制御」では、汎用・広範化を目指したプロセス制御である MD-PID 制御の構成、設計法とその特徴について述べている。制御器内にモデルを持つモデル駆動制御の概念に基づき、制御対象に制約のある IMC の汎用化を試みている。具体的には、産業プロセスに存在する積分系、逆応答系、振動系、不安定系などの広範な制御対象に対して、制御対象を含む PD フィードバック補償ループを下位系に2自由度 IMC を上位系に配したカスケード構成のモデル駆動 PID 制御構造を提案している。PD フィードバック補償による下位系の動特性をむだ時間 + 1 次遅れ系に近似し IMC を適用する方法を提案し、幾つかの事例を通じてその有効性を示している。本章の成果は、産業プロセスへの実適用例 (第7章) に見られるように、DCS レベルで広範な制御対象に対する汎用プロセス制御を一貫的に構築することを可能にしている。

第3章「2自由度 PID 制御への変換」では、広範な制御対象に対して共通的に使える2自由度 PID 制御器 (目標値応答と外乱応答との2つが独立に設定できる制御器) に対する汎用設計則の提案を行っている。具体的には、既存 DCS に広く存在する 2 自由度 PID 制御器の制御パラメータを正確・容易に設定するために、モデル駆動 PID 制御器を仮想的に設計し、Taylor 展開と感度関数のマッチングによる変換方法を提案し、幾つかの数値例を通じてその有効性を示している。

第4章「多変数モデル駆動 PID 制御」では、干渉のある多変数プロセスに対する MD-PID 制御系の構成方法とその特徴をまとめている。具体的には、フィードフォワード補償で容易に

実現できる近似逆非干渉化方法と分散型でモデル駆動 PID 制御システムを組み合わせる制御方法を提案している. この方式により, PD フィードバック補償器はそのループの動特性にのみ関与するので調整が容易となり, また動特性変動に対しても対応する局所動特性モデルだけを再同定するだけで済むので, モデル化や保守作業も容易になることを説明し, DCS レベルで容易に実現することができる利点を有していることを示している.

第5章「PD ループのデータ駆動型調整法(FRIT) とその応用」では, 産業界の現場において困難な作業であるモデル化の負荷を低減化できるデータ駆動型調整方法を提案している. すなわち, 制御対象の目標値応答試験などの操作信号(入力) と制御量(出力) の1回の応答データから PD フィードバック補償ループを FRIT(Fictitious Reference Iterative Tuning) 的に調整する方法を提案している. その結果は, MD-PID 制御と 2 自由度 PID 制御系に適用可能であり, 各種感度関数, 最大感度, シミュレーションまでの評価が可能となり, 調整結果の客観性を増すことができることを示している.

第6章「プロセス特性の 3 D 表示とその応用」では, 各種感度関数をナイキスト線図上にカーテン状に 3D 表現する手法を提案し, 特に安定度の良くない逼迫性が視覚的に容易に検知できることを検証している. このツールの開発は, 時間応答だけでなく周波数応答からも有益な情報が得られることを明示的に示しており, 産業応用への貢献は高いものである.

第7章「産業プロセスへの応用事例」では MD-PID 制御の産業プロセスでの応用例をまとめている. 具体的には, むだ時間があり積分性の動特性であるために現場で自動化できてなく手動運転が余儀なくされていたプロセスや, 周期動揺が発生し変動幅が大きかった微粉炭炊きボイラなどの実産業プロセスへの適用例を示し, 提案手法の有用性を検証している.

第8章「結論」では, 本論文の結果をまとめ, 今後の課題を述べている.

以上を要するに, 本論文は, プロセス制御を中心に幅広く使われている PID 制御の汎用・広範化を目指した制御則とその調整法を提案し, その有用性を実プロセスへの適用を通して検証したもので, 工学上貢献するところ大である. よって本論文は, 博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。