

氏 名	戸 莉 吉 孝 と がり よし たか
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1273 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	DDC系の基礎的制御方式に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 高松武一郎 教 授 井伊谷鋼一 教 授 水科篤郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、プロセス制御としての DDC (Direct Digital Control) の最も末端に近い部分、すなわち PID 操作を行なわせる部分を中心とする制御方式について検討したものである。すなわち、プロセスの制御対象がむだ時間を含む 2 次遅れ系で表わされる一般の DDC 系において、離散的 PID 制御を適用する場合の最適調整問題に対し簡明で実用に便利な最適調整法を導くこと、またこの離散的 PID 制御にデジタル計算機のもつ本質的能力を生かした制御方式を附加することにより一層制御性を改善させること、さらに最適調整法の適用に便利なプロセス同定法を考察することを目標に行った研究結果をまとめたもので、7 章と付録よりなりたっている。

第 1 章は緒論で、本研究の目的と概要について述べている。

第 2 章では先ず本研究の背景を明らかにすべく DDC 全般の問題点を整理している。すなわち DDC の制御方式の問題の位置づけを明確にし、これらを 1) Classical DDC アルゴリズム, 2) Improved DDC アルゴリズムおよび 3) Advanced DDC アルゴリズムの 3 つに分類し、それぞれの制御方式の理論的研究の経過と現状についてレビューを行っている。

第 3 章では、多くの化学プロセス制御系においてプロセス動特性の近似表現として最も妥当とされているむだ時間を含む 2 次遅れ系で与えられるプロセスの DDC 系において、離散的 PI ないし PID 制御を行う場合の最適制御パラメータ調整の問題を、数多くの数値実験により検討している。制御対象のプロセスの伝達関数が決定論的に求まり、制御パラメータである比例ゲイン、積分時間および微分時間の値とサンプリング周期の値とが具体的に与えられれば、この系のステップ応答は計算可能である。本数値実験において、最適評価の基準には目標値のステップ変化による制御応答の各サンプリング時刻での偏差の 2 乗和を用い、制御パラメータの最適値探索には Powell の共役傾斜法を使用している。数値実験の結果を整理するに際し、2 次以上の制御応答曲線に存在する S 字状曲線上の変曲点を利用して決定されるパラメータを使うと、一般の非振動形の 2 次遅れ系に対しての最適な比例ゲイン、積分時間および微分時間の組を与える一般的な解が、図的にしかも簡便で実用向きにまとめ得ることが示されている。そして、この最適

制御パラメータ値を与える二つの時定数，むだ時間およびサンプリング周期の各変数それぞれの影響と干渉の様子を考察している。

第4章では前章の結果をふまえ，DDCの制御アルゴリズムはソフトウェアにより実現されるというその融通自在性を積極的に利用して制御応答を改善するための具体的な方策として，前章で求めたDDCの基本制御方式の拡張利用を検討している。すなわち制御パラメータのセルフチューニング方式，制御モードの切替え方式およびむだ時間対策の制御方式について，各パラメータに具体的な数値を与えた例でもって検討を試みている。その結果，いずれの方式も簡単なプログラムでもって表現できるものであり，定量的なつめは残されているが，その使い方により制御応答改善の効果が期待できることを確かめている。

第5章では系の特性変化について検討を試みている。すなわち前章までの議論では，プラントの特性が変化しない，あるいは，無視できる程変化速度が小さい場合を対象としているが，現実には運転条件の変化や外乱などによって，系の特性の変化が無視し得ない場合もあり得る。このような場合には，第3章で与えた制御パラメータの最適値は必ずしも保証されるわけではなくなる。そこで本章では，2次遅れ系に対する離散のPI制御の目標値変更後の定値制御時において，時定数の変化による制御応答への影響を調べその性質を明らかにしている。すなわち，二つの時定数の値が大きく違う場合では，大きい方の時定数が極端に小さい方へ変化する場合にのみ，発散して不安定におちいることがあることを確かめている。これは特性変化前にセットした比例ゲインが高すぎることに起因するものであることが，第3章で導いた最適比例ゲインの結果から説明されている。そしてこのプロセスの特性変化対策として，偏差の累積和の性質を利用したゲインのオンラインチューニングアルゴリズムを考え，単純な適応制御系を構成することにより，比例ゲインの単独調整が効果的であることが示されている。

第6章では，高次遅れ系でも2次遅れ系に直接近似できる同定法について検討している。すなわち本論文で先に導かれた最適調整法も，他のこれまでに提案されている調整法と同様に，制御対象のプロセスの伝達関数が何らかの方法で決定論的に求まることが前提となっている。この前提条件の一つの解決手段として，プロセスの伝達関数を近似的に2次遅れの形で実験的に求める，モーメントの概念を利用した方法が導かれている。次に加熱炉モデルプラントの実データに，本章で導かれた同定方法と第3章で与えられた最適調整法を適用し，それらの実際への適用の有効性を確認している。

第7章は結論で，これまでに得られた結果を総括するとともに，今後のこの方面の研究の発展の動向について述べている。

最後に付録において，むだ時間を含む2次遅れ系の応答を求める関係式と，制御応答のデジタル・シミュレーションおよび最適制御パラメータ値探索のFORTRANプログラムなどが示されている。

論文審査の結果の要旨

プロセス制御としてのDDC系において，プロセスに直結する末端での制御方式の問題は一般的な基礎的問題であり，これらの動作はほとんど計算機のソフトウェアで実現されるところから，その融通自在性を積極的に生かして制御性の向上を計ることは実用上有意義である。

従来，PID制御動作のための制御パラメータの選択に関する一般的な結論は，その殆んどが「1次遅

れ+むだ時間」系を対象としているといってもよい。しかし化学プロセスの動特性解析の立場からすれば、「2次遅れ+むだ時間」系を対象として、最適な制御パラメータが簡単に求められる一般的結論が得られれば、実用上極めて有効であると同時に、その結果を利用して制御対象の特性変化に対応する制御パラメータや制御モードの切替方式などの対策が簡単に実行できる可能性が出てくる。

本論文は上で述べたような目的のもとに、DDC系の基本的制御方式としての離散的PID制御方式の「2次遅れ+むだ時間」系への適用に関する研究結果をまとめたものであり、得られた成果の主なものは次のごとくである。

(1) むだ時間を含まない「2次遅れ」系に対し、その過渡応答曲線の変曲点の位置と傾斜から定められる2種類の時間パラメータの比とサンプリング周期とにより、偏差の2乗和最小の評価基準による最適制御パラメータの値が統一的に表現された。

(2) (1)の統一的な表現から、最適比例ゲインの値はサンプリング周期の大なる程、また上記の時間パラメータの比の値が小さくなる程小さくなる、積分時間、微分時間などは上記の時間パラメータの比には殆んど関係しないなどの特性が明らかになった。

(3) 「2次遅れ+むだ時間」系に対して、上記(1)、(2)と同様の数多くの計算を行ない、最適制御パラメータの値を統一的にしかも簡潔に表現すると同時に、むだ時間、サンプリング周期が大なる程最適比例ゲインの値が小さくなるなどの特性を定量的に明らかにしている。

(4) プロセスモデルの近似表現やプロセスの特性変化等に起因する制御性の不十分さを補うための現実的な手段として、制御パラメータのセルフチューニング方式、制御モードの切替え方式などを既に求めた最適制御パラメータを用いた制御系に附加することの有効性を具体的な数値計算により確かめている。特にプロセスの特性変化対策として、偏差の累積和の性質を利用した、オンラインでの比例ゲインの単独調整の制御方式が効果的であることを示している。

(5) プロセスの伝達関数を近似的に「2次遅れ+むだ時間」系の形で実験的に直接求めるためモーメントの概念を利用した簡単な方法を導いている。この結果から、最適制御パラメータを決定するために必要な過渡応答曲線の変曲点に関する二つの時間パラメータの比が簡単に求められるようになった。

(6) 上に示したシミュレーションによる制御パラメータの決定法を軽油燃焼式ダウサム加熱炉に適用してその有効性を確かめている。

以上、本論文は化学プロセスの動特性のよりよい近似を与える「2次遅れ+むだ時間」系に対する最適制御パラメータの一般法則を導くことを中心に、DDC系の基礎的制御方式の改善に関して有意義な知見を与えており、学術上工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。