化学反应用制御用ニューロプロセスコントローラの開発研究

Development of Neuro Process Controller for Chemical Reaction Control

○正 山内 紀宏 正 朝倉 俊行

Norihiro YAMAUCHI, Todoroki Industry 9-157 Kita Kanazu cho Sakai gun Fukui
Toshiyuki ASAKURA, Fukui University 3-9-1 Bunkyo Fukui

The purpose of this study is to develop a neuro process controller for use in a synthesis system of chemical reactions. Chemical reactions are very complex, it is difficult to control the reaction temperature. We developed new type of synthesis systems using a PID controller to control the temperature of the reaction. But, the PID controller was not useful for change of chemical dynamics. Therefore, in this research, a neural network is applied for controlling the temperature of the reaction. First, neural networks controller is constructed to control the temperature of the chemical reaction using an original evaluation function. Second, neural networks estimated suitable parameters for the original evaluation function. The effectiveness is examined through experiments. Finally, using the designed the neuro process controller, it is verified that it can efficiently control chemical reactions.

Key Words: neural network, neuro process control, chemical reaction

1. はじめに

化学プラントの合成反応は、あらかじめ実験室で合成反応実験を繰り返し、目的の機能を持つ高分子を合成して、次にパイロットプラントで化学プラントへのスケールアップの実験をして最適な反応プロセスで反応が行われている。しかし実験室レベルの合成反応実験は、人手による作業が中心で、望ましい結果が得られるまで、条件を変え何度も行う必要があった。また従来の化学プラントの9割近くがPID制御またはPID制御を応用した制御を使用しているが、反応時にはそれぞれの適したPIDパラメータを決定し入力する必要がある。またそれらのパラメータは、装置が異なる場合や反応の種類が異なると使用できないことが多かった。本研究では、実際に化学反応装置を製作して、知能化技術であるニューラルネットワークを用いて独自の制御手法を提案し、さらに提案手法を組み込んだニューロプロセスコントローラを開発を行った。そして提案した制御手法により異なる装置、異なる実験によって良好な制御性が確認できたので報告する。

2. 反応計測装置

本研究では、実験室レベルの化学反応装置とパイロットスケールの自動反応装置と、さらに化学反応の監視制御のための反応計測装置を開発した。その一例として Fig.1 に、反応計測装置を示す。ジャケットに熱媒を通し、内側には反応させる試料を仕込んでおく二重層のジャケット反応容器を用いて反応を行わせている。反応容器容量は、1000cc で、反応容器の材質は、耐熱ガラスである。下部に熱媒循環用の加熱冷却装置を備えている。攪拌機により、反応容器内の試料の攪拌をしている。温度制御方法は、常時ジャケット内に熱媒を送り込み、加熱冷却装置内のヒータと冷却比例バルブによって間接的に反応容器内の温度制御を行う。さらに滴下ポンプにより反応開始剤や、モノマーの自動滴下を行う。

Fig.1 Chemical Reaction Measuring system

3. 提案する化学反応制御

本研究で扱う多くの化学反応は、高発熱反応でかつ状態変化の激しい重合反応であり、基礎実験を中心としたものである。そのため試薬の種類や反応温度は反応ごとに異なり、その度毎に対象物のモデル化を行うことは非常に難しい。化学反応の状態変化が生じるときに何らかの手法で目標温度の定常偏差を減少させ、またオーバーシュートの生じない制御をする必要がある。ここではニューラルネットワークを用いて従来の制御理論では同定が困難であるような非線形システムの制御を行い、実験室レベルから化学プラントレベルまで化学反応に多く用いられているジャケット反応容器の温度制御に、独自の評価関数を提案しオーバーシュートが生じず、化学反応の状態変化に追従する良好な制御を目指す。Fig.2 にブロック線図と式 (1) から (4) には、温度制御と係数推定に用いたニューラルネットワークの誤差関数と評価関数を示す。

Fig.2 Structure of Neuro Process Controller

$$e_1 = a(X_{t1} - X_1) + b(X_{t2} - X_2) \quad (1)$$

$$E_1 = \frac{1}{2} e_1^2 \quad (2)$$

e_1 : 制御用誤差関数 (NNC)

E_1 : 制御用評価関数 (NNC)

X_{t1} : 第1設定値 (主設定値), X_1 : 反応容器温度,

X_{t2} : 第2設定値, X_2 : ジャケット(バース)温度, a, b : 係数

$$e_2 = X_{t1} - X_1 \quad (3)$$

$$E_2 = \frac{1}{2} e_2^2 \quad (4)$$

e_2 : 係数推定用誤差関数 (NNE)

E_2 : 係数推定用評価関数 (NNE)

4. ニューロプロセスコントローラの開発

実験室レベル、パイロットプラント、化学プラントの化学反応制御において知能化技術であるニューラルネットワークを応用し、独自の制御手法を提案し、異なる装置、実験によって制御手法の良好な制御性を確認した。これまで化学反応制御専用開発されたプロセスコントローラは、ほとんどなかった。本研究では、提案制御手法を用いた化学反応専用のプロセスコントローラの開発研究に取り組み、コントローラ内部コンピュータ回路設計から基本プログラムの作成、ニューラルネットワーク制御プログラムの作成までを行い、従来までにはなかった新タイプの知能型コントローラを開発を行った。現在まで市販されているPIDコントローラと開発した知能型プロセスコントローラとの制御性の比較をし同等以上の結果が得られた。以上の結果から、知能型プロセスコントローラを化学反応制御に用いることにより、従来よりも優れた化学反応と再現性の良い化学反応が行えるものであると思われる。今後は、実際の化学産業界で使用できるように、知能型プロセスコントローラの機能強化と温度制御以外の機能も追加していく必要があり、今後の研究課題として進めていきたい。Fig.3に、開発した知能型プロセスコントローラの写真を示す。CPUに日立製作所の32ビット、SH2を使用し、ROM256kb、RAM1Mbの容量を持つ。温度入力4点、10ビットアナログ入力8点、通信ポート3本、テンキー、その他の外部操作端のスイッチ機能も含む。最大12点の入力を持ち、ニューラルネットワークの機能を発揮できる設計思想で開発を行った。

Fig.3 Neuro Process Controller

5. 制御性の比較実験

開発したニューロプロセスコントローラの制御性の確認に、C社とY社から市販されているPIDコントローラを用いて比較実験を行った。Fig.4,5は、設定値を安定後に変更しFig.8,9は、安定後に、外乱を加える2種類の実験結果を示している。

・C社との比較 (自動反応装置, 水 10L)

Fig.4 PID Control

Fig.5 Neuro Control

・Y社との比較 (自動反応装置, 水 10L)

Fig.8 PID Control

Fig.9 Neuro Control

6. まとめ

制御性は、ニューロコントロールの方がC社のPIDコントローラでの2種類の実験結果よりも優れており、またY社PIDコントローラの外乱を加える実験結果より優れていることが確認できた。さらに本コントローラは、制御対象に合わせてパラメータの初期設定は必要であるがPIDコントローラとは異なり、オートチューニングの必要はないために、短時間で良好な制御性が発揮できることが分かった。

参考文献

- 1) 山内, 朝倉: 自動反応装置用高性能ニューロコントローラの開発研究, システム制御情報学会論文誌, 14-03, 39/45, (2001)