

720

微生物培養プロセスにおけるフォアキャストエキスパート制御

((現) 工技院・名工試) o 鈴木高広

(MIT・BPEC) Gregory M. O'Connor, Charles L. Cooney

1・目的

微生物や動物細胞の成長は自己触媒性を有しており、また、物質生成は物理的・化学的環境因子に影響されるため、発酵効率を向上させるためには常に最適条件を維持するための自動制御システムが必要である。この際、センサーや計測機器の実用性、生化学的制御の知見の利用の可能性、およびプロセス制御アルゴリズムの不可変性が制御システムに対する制限要因となるが、実際の発酵プロセスの操作には、一般にオペレーターの知識と経験に基づいた方法が実行される場合が多く、その判断基準となる知識の多くはヒューリスティックであり逸話的ですからあるため、プロセス制御用アルゴリズムに用いることは困難である。すなわち、細胞の生育が再現良く進行する場合には、細胞濃度や代謝物濃度あるいは時変数を基準としてあらかじめ設定したスケジュールにしたがって操作することができるが、多くの発酵プロセスでは、未知の要因による細胞の予想外の挙動や、機器の故障、誤作動、オペレーターの誤判断、誤操作等により生産性を向上させることが困難である。また、これらに起因した様々なトラブルがプロセスを自動化する上での妨げとなっている。そこで、我々は発酵プロセス制御系において知能監視システムとして働くソフトウェアに、量的および質的情報を知識として組み込み、実用性の高い自動制御システムの開発を行っている。

これまでに、Symbolics 3640 Lisp Machine (推論用) と DEC PDP 11/23 (制御用) を用いた IFCONS (Intelligent Fermentation CONTROL System) について報告した¹⁾。このシステムでは主に次の項目について検討した。

- (1) 発酵プロセス用知識ベース監視システムのプロトタイプング
- (2) バイオリアクターと周辺機器の異常診断、および細胞の生育状態の監視
- (3) 基質流加に対する最適制御方策の選択

ここでは、IBM PC/AT - Symbolics 系の新システムにより、これまでの機能に加え、さらに発酵状態の未来の挙動変化を推定し、制御方策を選択するためのシステムの構築を行った。

2・方法と結果

本システムは IBM PC/AT (1 M RAM, 40 M disk space, Math Co-processor 80387) 上でプロセスコントロール用ソフトウェアである PARAGON Control program (Intech Control Co., MA) を起動し、30 L ジャーファーマンターのコントローラーとし、さらに、知識ベースシステムとして Symbolics 3640 Lisp Machine (8 M RAM, 280 M disk space) を上位コンピューターとしている。未来変化予測のアルゴリズムは、PARAGON 上でC言語を用いて記述した。未来変化の予測を行うためには、現時点における培養状態を正確に把握する必要がある。そのためには多くの情報を集め、そして、情報の信頼性を評価したのち、データの重みを考慮して予測に用いる必要がある。また、発酵状態を表現するためのふさわしい代表値を選択し、その後の変化を予測し、制御指標とすることが望まれる。ここでは、パン酵母の培養において、比増殖速度、菌体収率を代表値とし、これらの値の未来変化から、生産性および経済性を予測することにより最適制御方策を実行するシステムを試作した。

比増殖速度は菌体濃度、酸素消費速度、炭酸ガス発生速度、グルコース消費速度、アンモニウム流量から、それぞれタイムスパンを10分以内として計算した短期値と、30分から60分の間隔で計算した長期値を求め、信頼度の高い値をそれぞれ選定した。そして、短期値からは、主として近未来 (5 - 10分後) の変化を予測し、一方、長期値は長期的な未来変化を行うデータとして重みを設けた。未来変化の予測は、(1) 統計学的処理、(2) 増殖モデルによるシミュレーション、(3) パターンマッチング、および (4) データの経時的変化のトレンドの解析、と4通りの方法を用いて、最も信頼度の高い方法を逐次選択した。各予測方法の信頼度の比較は、各方法による予測値と実際の結果値との偏差を逐次調べ、短期予測には直前の的中率を、また、長期予測には過去の長期間にわたる的中率を比較することにより行った。また、生育状態を数値表現化し、パラメータとするために、各測定値に対しアラームレベルを設定し、上位コンピューターとのネットワークを容易にし、IFCONS の高機能化を試みている。

- 1) C.L.Cooney et al. Computer Application in Fermentation Technology :
4th International Congress, Sept. '88

Forecast and expert control for fermentation process.

- o Takahiro Suzuki (Govern. Ind. Res. Inst. Nagoya, Hiratecho 1, Kitaku, Nagoya 462)
Gregory M. O'Connor, Charles L. Cooney (BPEC, MIT, Cambridge, MA 02139, USA)