

製糖工程における計算制御

A Computing Control System for Sugar Refinery

山口 楠雄*・原島 文雄*・石谷 久*

Kusuo YAMAGUCHI, Fumio HARASHIMA and Hisashi ISHITANI

1. はじめに

製糖工程においては、バッチおよび連続工程が多数混在しており、一部半製品はリサイクルされる等全系の物流に関して直感的に理解しにくい点がある。しかも一部プロセスでは物流が途切れることを嫌う半面、バッチ・プロセスとの間のバッファ・タンク容量は有限であり、他方に製品々質の許容限界がある等製造上の制約条件も多く、これを満足して円滑かつ効率的な運転を行うためには全系の流れを定量的に把握した上で適当な制御指針を与える必要がある。これらの要求を満たすために筆者らは既にプロセスと計算機とをオンラインで結合し、適当なアルゴリズムによる上記プロセスの計算制御を試み実用化した¹⁾。しかしながら、一口に全工程の最適化といっても、その中には単純な収支バランス計算からバッチのパターン選定まできわめて多様な内容を含み最適化

の評価基準自体が明確でないこと。仮に評価基準が与えられても非線形、論理的切替等の要素が強く、数理的な求解が困難なことや一意的な解が存在せず、最終的な選択は人間の手によって行うことが望ましいこと、また計算機（ソフトウェア体系を含む）の信頼性等の理由から一概に計算機のみで最適化実行をめざすことは現実的でない。そこで、計算機利用が必ずしも有効ではない運転パターン選定（バッチ・プロセス）等には積極的に人間の判断を介入させ、そのために必要な情報提供、あるいは計算論理が簡単でも計算は複雑大規模で直感的理解不可能な部分については計算機能力を有効に活かすことをめざした計算制御方式の開発を試みた。

この方式は昭和49年7月に操業開始した伊藤忠製糖株式会社衣浦工場にて同年10月より使用を開始しているのでここにその概要を報告する。

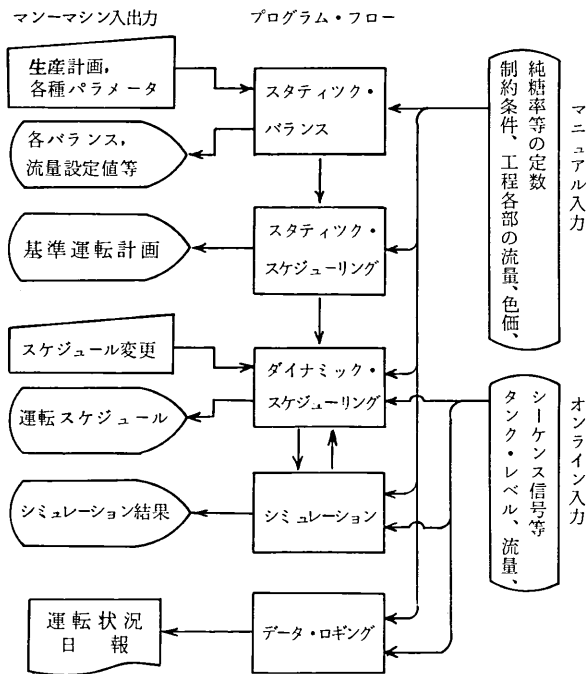


図1 計算制御システム概念図

* 東京大学生産技術研究所 第3部

2. 計算制御システムの概要

上記目的を達成するためには、CRTを利用したマンマシン・システムの導入が不可欠であり、周辺装置も多くなるので系全体の信頼性を考慮してプロセスから計算機への情報伝達（任意時刻に取得可）を除き両系は分離される。これによりプロセスの最新情報は常時計算機側へ与えられロギングされるほか、必要な処理結果と共に運転者にその情報を伝え、運転パターン選定の判断資料を与える。

本システムは具体的には図1のように構成されるが、基本的には次の三つに大別され、時分割で必要に応じて処理される。

(1) 定常的バランス計算

ここでは一日当たりの製品別生産目標および原料その他の状態を表わすパラメータを与えて、物質収支および色価、純糖率の収支条件を考慮して具体的な生産量を算出する。この解に対してプロセスにおける生産、流量の上下限值、品質管理上の色価上限、純糖率下限等の制約条件が存在し（いずれも不等号制約）、求解値がこれらの条件を満たすかどうかを判定し、結果を表示する。この計算はパラメータ P を適当に選択することにより線形方程式に帰着し、 u を変数、目標値を y_0 とすると、

$$\left. \begin{aligned} y &= f(u, P) = A(P)u \\ u_0 &= f^{-1}(y_0, P) = A^{-1}(P)y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

という逆行列演算で求解される。一方制約は次の線形制約で表現されるので、上で求めた u_0 、 y_0 がこの条件を満足するか否かの判定は直ちに行なわれる。

$$C_{\min} \leq Ky + Lu \leq C_{\max} \quad (2)$$

もし条件を満足できない場合、 y_0 を変更することになるが、この変更のアルゴリズムは明確でなく、人間の判断力を利用するのが有効である。原価計算、プロセス・パラメータ等の条件を考慮した客観的判定基準が得られるようになれば計算機により自動的に求めることが可能となる。以上の計算は静バランス計算と呼ばれ、これから具体的な基準運転計画（定常的な平均起動間隔）決定を行う。

両者は基本的な平均流量を管理するという意味での計画の第一段階である。

(2) ダイナミック・スケジューリング

プロセス上に何等外乱がなく予定通り全工程が進行すれば前項で得られたスケジュールはそのまま実行される。現実には予測不能な外乱、パラメータの変化等が常に発

生し、プロセス状態を把握しながら予定通り回復するか、予定を修正する必要がある。前者は自動的に行われるが後者に対しては、特に結晶工程では起動、停止の複雑なバッチ・プロセスが含まれ、バッファ・タンクの容量も考慮してある程度の予測を行いながら円滑な操業を行う必要がある。ここでも操業の最適化基準が不明確な上、起動、停止を含む非線形最適化は殆んど不可能であるがダイナミック・シミュレーションは計算機に適しているので、適当な操業パターンを設定してはその結果を表示するマンマシン・システムを導入し、人間の判断により操業スケジュールをチェック、決定する方式をとる。入力としてプロセス状態（タンク・レベル、流量、バッチの起動・停止の履歴）が計算機に直結して送られ、操業パターンは運転者により決定される。この結果適当な時間までのタンク・レベル変化が計算表示され、オーバーフロー、欠乏がチェックされ、人間が満足できる状態までこの試行が繰返されると、ハードコピーがとられ以後のスケジュールは修正される。

(3) データ・ロギング

以上のほか、適当な点数のプロセス状態量を一定時間毎に印刷および記憶する。

3. おわりに

以上、計算内容に従って適宜計算機と人間の役割を分離した点に特徴があるが、全体としては個々の制御装置あるいはバッチ・プロセスの設定目標決定までを行ういわば頭脳に相当する部分である。現在まだ開発の第一段階であって今後実際の運転経験、プロセス状態の把握が進むにつれてより一層高度の計算制御に移行せしめる予定である。おわりに、ご協力下さった東京大学生産技術研究所元助手嶋田淑男氏、伊藤忠製糖株式会社、中野和哉氏、協立電業株式会社、山本徳幸氏および松田啓作氏に感謝の意を表します。 (1976年8月16日受理)

参考文献

- 1) 沢井・森・山口：「精製糖工程の総合制御システム」、計測と制御、6, 2, 1967. 2.
- 2) 石谷、他：「精糖工程における計算制御」、第14回計測自動制御学会学術講演会、1309, 1975. 8.
- 3) K. Yamaguchi, F. Harashima, H. Ishitani, M. Satoh and K. Nakano: Instrumentation and Man-Machine Interfaced Computing Control System for Sugar Refinery, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol. IECI-23, No 3, 233/237, August 1976.