

J21

管理幅を基にした故障診断法の診断精度の改善に役立つ誤差推定法の提案

(九大工)〇(学)畑中 聡*・(正)木村 直樹・(正)柘植 義文

1. 緒言

化学プラントでは、運転最適化のために高度制御を導入しており、正確な測定値が必要である。しかし、流量計に限ってはプラント運転中に取り外せない測定器であるため、定期修理期間中にしか校正を行うことができず、長期連続運転下では定期修理期間の間隔が長くなるため、指示値の信頼性を維持できているとは言い難い。そこで本研究では、測定値に大きな誤差が含まれる流量計を運転中に診断すると同時に、測定値に含まれる誤差を推定する方法について検討した。

2. 故障診断法と誤差推定法

2-1 故障検出問題 n 個の質量流量 z_j ($j = 1 \sim J$) に関して、 m 個の関係式が得られるものとする。

$$\sum_{j \in J} c_{ij} z_j = 0 \quad (i \in I) \quad (1)$$

ここで、 c_{ij} は関係式の係数、 J は全流量計の集合、 I は全関係式の集合を表す。質量流量 z_j の測定値 z_j^* は誤差 e_j を含むものとする。その誤差 e_j の許容範囲 $[-L_j, L_j]$ を管理幅、管理幅内の測定誤差を許容誤差、管理幅外の測定誤差を故障誤差と呼ぶ。誤差 e_j を式(2)のように管理幅で規格化すると式(1)から式(3)が得られる。

$$x_j = \frac{e_j + L_j}{2L_j} \quad (j \in J) \quad (2) \quad \sum_{j \in J} a_{ij} x_j = b_i \quad (i \in I) \quad (3)$$

x_j は誤差 e_j を規格化した値で、 $[0, 1]$ が管理幅となる。故障検出問題は、関係式(3)を制約条件とする線形計画問題として定式化でき、故障流量計の有無を判定できる。

2-2 故障診断問題 2-1 で故障流量計があると判定された場合、どの流量計が故障であるか診断するために、故障流量計の候補集合 F を仮定して、それらを式(3)から消去し、式(4)とする。

$$\sum_{j \in J-F} a_{ij}^F x_j = b_i^F \quad (i \in I-R) \quad (4)$$

R は変数の消去に伴って除去された関係式の集合である。集合 F 以外の流量計が関係式(4)を許容誤差の範囲内で満足すれば、集合 F が故障流量計の候補集合と判断される。

2-3 許容誤差、故障誤差の推定 2-2 で集合 F 以外に故障がないと判断された場合、集合 F 以外の流量計の許容誤差を以下の最小化問題によって求める。

$$\text{Minimize}_{x_j (j \in J-F)} E = \frac{1}{2} \sum_{j \in J-F} (x_j - \frac{1}{2})^2 \quad (5)$$

$$\text{subject to } \sum_{j \in J-F} a_{ij}^F x_j = b_i^F \quad (i \in I-R) \quad (4)$$

一方、故障誤差の推定値は、許容誤差の推定値を関係式(3)に代入して連立方程式を解くことで求めることができる。推定した

許容誤差と故障誤差が以下の不等式(6)を満たせば推定値として採用できる。不等式(6)を満たさない場合、集合 F を変更してもう一度誤差推定を行う。

$$0 \leq x_j \leq 1 \quad (j \in J-F), \quad x_j < 0 \text{ or } 1 < x_j \quad (j \in F) \quad (6)$$

3. 数値実験

図1に対象プロセスを示す。流量真値 z_j はプロセスシミュレータ“HYSYS”より取得し、式(1)には物質収支を用いた。測定値は、流量真値と一様乱数により作成した許容誤差の和とし、50組準備した。f1~f18がそれぞれ単独で故障する場合を想定し、その故障誤差は $L_j \times 1.5$ の大きさを与えて測定値とした。これらの測定データに対して故障診断および誤差推定を実行した。

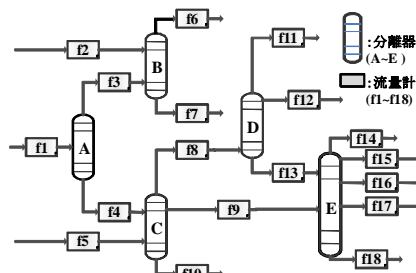


図1 エタノール分離・精製プロセス

f2を故障と想定した結果の一例を図2に示す。図2(a)が誤差の設定値であり、故障診断で「故障なし」と診断されたため、 $F = \phi$ として誤差推定を行ったところ、全流量計が許容誤差を持つ必要があるのに、f2が故障誤差を持つ解(図2(b))が得られ、不等式(6)を満足しなかった。そこで、推定値の値を基に $F = \{f2\}$ と変更して誤差推定をやり直したところ、f2だけが故障誤差を持つ解(図2(c))が得られ、不等式(6)を満たした。故障診断で見逃した故障を、誤差推定を行うことで見つけてきたことになる。

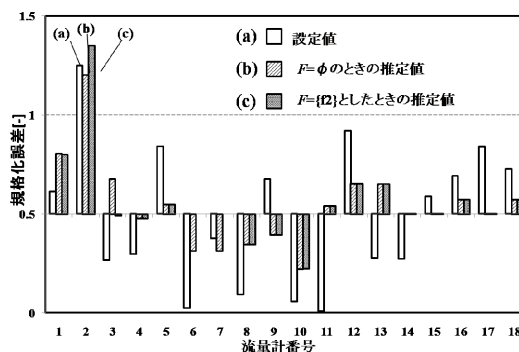


図2 f2を故障と想定したときの推定値

4. 結言

誤差推定を行うことで、故障診断で見逃した故障を見つけるケースも多く見られ、診断精度の向上が期待できるといえる。

*E-mail: s-hatanaka@kyudai.jp