

制御診断システムの構築と 実プラントへの適用

住友化学(株) 生産技術センター
久下本 秀 和

Development of Control Performance Diagnosis System and its Industrial Applications

Sumitomo Chemical Co., Ltd.
Process & Production Technology Center
Hidekazu KUGEMOTO

The control performance diagnosis system, **PID Monitor**, and the PID tuning tool, **PID Tune**, have been developed. These systems are useful in improving the control and maintaining high productivity of plants. **PID Monitor** observes the performance of all controllers in the plant, and it picks out the loops which have problems. The diagnosis report is displayed as a Web page on the intranet. The operator and the staff can efficiently improve the control by supervising it. **PID Tune** is used to tune extracted loops. It is able to do the tuning safely without process changes, as it does not need specific plant tests. This paper introduces the technical background of these systems and some applications in a real plant.

はじめに

プラントでは数多くのコントローラが稼動し、工場の安全、安定操業を支えている。このうちPIDコントローラが約90%を占めており、基本制御を担う重要な役割を果たしている。一方で、PIDコントローラのチューニング不良が指摘されている。制御性の良好なPIDループは32%に過ぎず、マニュアルモードで運転されているループが実に36%を占めているといった報告もある¹⁾。こうしたなか、国内では、プラントの生産性を向上させるために、1990年代後半から2000年代前半にかけてTPM (Total Productive Maintenance) 活動を母体とする制御改善活動が盛んになり、各社において魅力的な取り組みが成された。例えば、制御改善手法を体系化してノータッチオペレーションを実現した事例^{2),3)}や、PIDコントローラのチューニングを支援する制御改善ツールを開発して全社展開した事例⁴⁾、新たな制御アルゴリズムやPID調整法を開発した事例⁴⁾などが報告されている。当社においても、アラーム、DCS操作の削減、高度制御の適用、運転支援システムの導入など、自動化に主眼を置いた活動を進めてきた。TPM活動が進むと、制御改善の更なる効率化や、これまでの活動を維持、定着化する仕組みが求められるようになり、制御診断システムへのニーズが高まった⁵⁾。

プラント運転データからコントローラの性能を評価する技術として、最小分散制御をベンチマークとする制御性能評価法⁶⁾があり、この制御性能評価法と各種診断技術を組み合わせることで、効率的にプラント内の制御不具合を抽出することができる。この技術を組み込んだ制御診断システム (**PID Monitor**) は、工場全体のコントローラを診断することも可能で、PDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルを回して改善することで、プラントの生産性を維持、向上させるのに役立っている。

一方、TPM活動で各社も取り組んだように、PIDコントローラのチューニングには多大な時間と労力を要している。そこで、チューニングの効率化を図るため、PIDチューニングツール (**PID Tune**) を開発した。近年、データ駆動型チューニング法⁷⁾や、VRFT、FRIT⁸⁾、自励振動データに基づくチューニング法^{9),10)}など、運転データを使ったPID調整法が注目されている。自励振動データに基づく方法は、チューニング不良で振動している閉ループデータを用いて、プラントに変動を与えることなく安全にチューニングができるという特長があり、**PID Tune**は本法を採用した。

本稿では、制御診断システムとPIDチューニングツールの構築と、実プラントへの適用事例について紹介する。

制御診断システム (PID Monitor)¹¹⁾

工場のIT化が進み、大量のプラント運転データがPIMS (Plant Information Management System) で収集されるようになり、Fig. 1のようなオンライン型の制御診断システムを構成できるようになった。PID Monitorは、Webサーバ上で稼動し、予め登録したタグリストに従ってプラント運転データを解析し、診断結果をWebファイルとして出力する。診断結果は、現場に設置されている端末から参照することができ、診断結果に基づいて改善を進めることで、プラント全体の制御性を向上させることができる。このように制御改善のPDCAサイクルを回しながら、1つずつ制御不具合を解消できるので、現場の理解を得やすく、また、向上させた制御性を維持する仕組みとしても有効である。

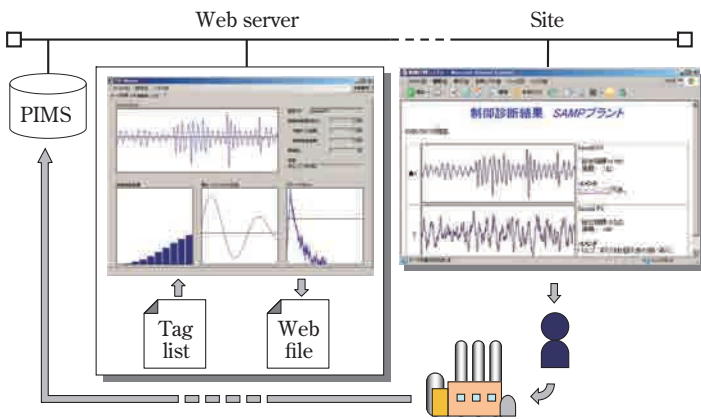


Fig. 1 Control performance diagnosis system¹¹⁾

1. 制御性能指標

まず、プラント運転データからコントローラの性能を評価する方法について述べる。Fig. 2のように、コントローラをC、プロセスをP、外乱伝達関数をDとすると、離散時間システムの制御量yと操作量uの関係は次式のように表される。

$$y(t) = P(z^{-1})u(t) + D(z^{-1})w(t) \tag{1}$$

$$u(t) = C(z^{-1})(r(t) - y(t)) \tag{2}$$

ここで、wはホワイトノイズ、rは設定値を表している。プロセスにd-1ステップのむだ時間があるとして、外乱伝達関数をむだ時間内の影響Fとむだ時間以降の影響Gに分割すると次式が得られる。

$$D(z^{-1}) = F(z^{-1}) + z^{-d}G(z^{-1}) \tag{3}$$

z^{-d} は遅延演算子で、dステップの遅れを表している。

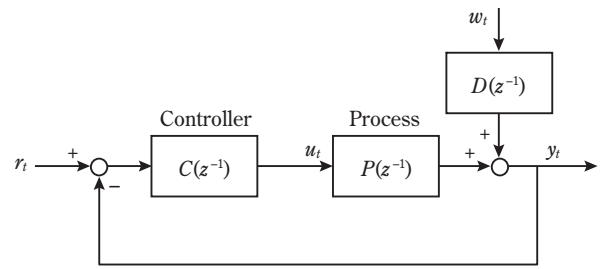


Fig. 2 Block diagram

制御量yは、設定値変更がなければ、 $r(t) = 0$ として、次式のように表される。

$$\begin{aligned} y(t) &= \frac{D}{1+CP} w(t) \\ &= \frac{F+z^{-d}G}{1+z^{-d}C\tilde{P}} w(t) \\ &= \left\{ F+z^{-d} \frac{G-FC\tilde{P}}{1+z^{-d}C\tilde{P}} \right\} w(t) \\ &= Fw(t) + Hw(t-d) \end{aligned} \tag{4}$$

\tilde{P} はむだ時間のないプロセスの伝達関数を表している。(4)式は、コントローラを含むプロセス全体をブラックボックスとして捉え、むだ時間内にホワイトノイズが外乱伝達関数を通して直接プロセスに影響を与える第1項と、むだ時間以降にフィードバックループを通して与えられる影響の第2項に分割されている。ここで、 $Fw(t)$ と $Hw(t-d)$ は互いに独立であるため、次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} Var\{y(t)\} &= Var\{Fw(t) + Hw(t-d)\} \\ &= Var\{Fw(t)\} + Var\{Hw(t-d)\} \\ &\geq Var\{Fw(t)\} = \sigma_{MV}^2 \end{aligned} \tag{5}$$

Varおよび σ^2 は分散を表し、 σ_{MV}^2 は最小分散を表している。(5)式は、どんなコントローラもむだ時間内は影響を与えることができず、制御量yの分散 σ_y^2 は最小分散 σ_{MV}^2 に等しいか又は大きくなることを意味している。(4)式の第2項 $Hw(t-d)$ は、むだ時間以降の影響を表しており、制御で小さくできる可能性がある。この分散をゼロ、すなわち(5)式の第2項 $Var\{Hw(t-d)\} = 0$ とする究極の制御を最小分散制御と呼んでいる。

最小分散制御で制御したときの分散は σ_{MV}^2 であるから、現在の制御量yの分散 σ_y^2 との比を取ることによってコントローラの性能を指標化することができる。

$$\eta(d-1) = \frac{\sigma_{MV}^2(d-1)}{\sigma_y^2} \tag{6}$$

制御性能指標 η は0~1の範囲の値となり、 η が1に近ければ制御性能が良く、0に近ければ制御性能が低いと判断できる。制御性能指標の算出において、プロセスに影響を与えているとされるホワイトノイズ w は計測されないため、時系列モデルである自己回帰移動平均 (ARMA) モデルを使って、制御量 y からプロセスモデルとホワイトノイズ w を推定する。プロセスは、白色ノイズで駆動されているという前提の下でモデル化され、最小分散制御をベンチマークとする制御性能指標は、コントローラの形式に依存することなく、制御量 y だけから算出することができる。

他にもさまざまな制御性能評価法が提案されており、最も簡単な手法は、制御量 y の分散、あるいは制御量 y と操作量 u の分散を使う方法であろう。Fig. 3に制御量 y の標準偏差 σ_y と最小分散制御をベンチマークとする制御性能指標 η で評価した例を示す。グラフ上は、ノイズを模擬したホワイトノイズデータで、グラフ下は正弦波にホワイトノイズを加えてチューニング不良を模擬したデータである。標準偏差は、Data1の方が値が大きく、制御性が低いと評価してしまうが、制御性能評価法では、Data1を制御性が良く、Data2を制御性が悪いと正しく評価している。

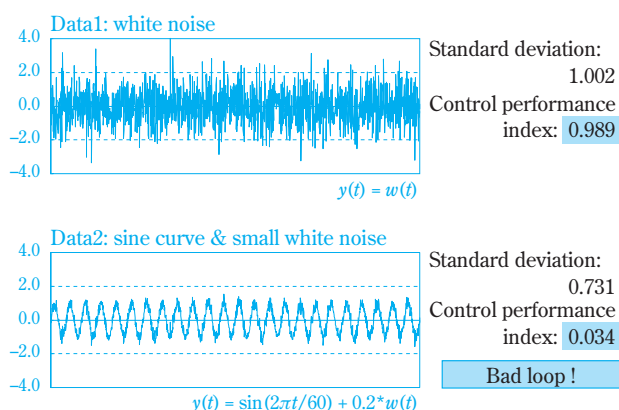


Fig. 3 Comparison between standard deviation and control performance index

オートモードで運転されている制御ループの他に、時々手動介入しているループや、常時マニュアルモードで手動操作回数の多いループも制御不具合として検出される方が望ましい。そこで、DCS操作履歴のデータから得られる手動操作も加味して、総合指標 γ として反映されるようにした。

$$\gamma = \eta \times \exp(-N \cdot 24/100) \quad (7)$$

N は1日当たりの手動操作回数で、総合指標 γ は、制御性能指標 η との積で表される。

最小分散制御をベンチマークとする制御性能評価法は、理想的な最小分散制御を基準として評価されるため、一般的に制御性能指標 η が低くなる傾向がある。 η は0.7程度でも十分な制御性が得られているため、制御診断システムでは、総合指標 γ が0.3未満のもの、周期的に振れているものを制御不具合ループとして抽出している。

2. 各種診断法

次に、制御不具合として抽出されたコントローラについて、その不具合原因を特定するための各種診断法について述べる。実プラントのコントローラ60ループについて制御性能を評価し、制御性能が低いものについて原因を調査したところ、次のような結果が得られた。

- ① データ収集精度に起因する誤検知
- ② マニュアルモードのループ
- ③ コントローラのチューニング不良
- ④ バルブ不具合
- ⑤ 他ループからの干渉
- ⑥ バッチ使用/洗浄操作などによる外乱

このうち、①および②はコントローラの性能に関係がなく、前処理で評価対象から除去する必要がある。⑥については、まだ有効な検出手段がなく、バッチ操作を多く含むプラントを対象に検出法を開発中である。

(1) マニュアルモードの判定

コントローラの制御モードは、PIMS容量の関係から一般的には収集されておらず、制御量 y 、設定値 r 、あるいは、操作量 u のデータを使って、次式の基準でマニュアルモードの判定を行う。

マニュアルモード

$$r > \bar{y} + 3\sigma_y \quad \text{または} \quad r < \bar{y} - 3\sigma_y \quad (8)$$

あるいは、

$u = \text{Constant}$ の場合

マニュアルモードと判定された②に該当するループは、制御性能指標 $\eta = 1$ として、解析対象から除外している。

(2) バルブ不具合の判定^{5), 12), 13)}

制御不具合として、チューニング不良の他に、バルブ固着による動作不良などがある。バルブ不具合の直接的な原因として、グランドパッキン部の過度な締め付けや、バルブ本体のグリース切れ、流体の漏出による固着、バルブポジションナの不良、機械的なヒステリシスなどがあげられ、制御診断システム

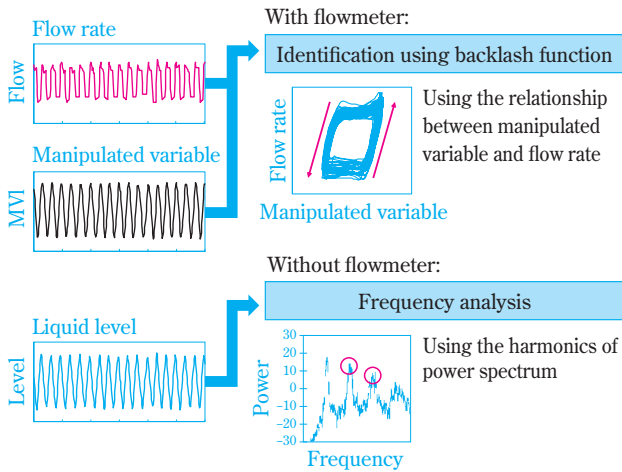


Fig. 4 Methods for detecting valve failure (example of liquid level control)¹⁴⁾

では、これらのバルブ不具合を検出するため、Fig. 4に示す周波数解析法とバックラッシュ逆関数で同定する方法を使って診断を行っている。検出精度は後者の方が高く、流量データが得られれば後者を用いる。

① 周波数解析法

バルブに不具合があると、流量制御の場合は矩形波、液面制御の場合は三角波に近い挙動を示す性質がある。本手法は、周波数解析を用いて波形の特徴を検出するもので、流量データが得られない場合に適用する。周期的に振動している矩形波のフーリエ級数展開とパワースペクトルは、

$$x(t) = \frac{4}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right) \quad (9)$$

$$P_x = X \cdot X^*$$

となり、 X は $x(t)$ のフーリエ変換、 X^* は共役複素根、 P_x はパワースペクトルを表している。(9)式から明らかのように、矩形波のパワースペクトルには、基本周波数の他に、奇数倍周期毎に高調波が現れ、パワーが $1/(2n+1)^2$ ずつ減衰する。三角波も似た傾向を示し、パワースペクトルに高調波が観察される。そこで、パワースペクトルに現れる高調波のピークを利用して、チューニング不良で生ずる正弦波との違いを判別する。

② バックラッシュ逆関数で同定する方法

バルブに不具合があると、Fig. 4のように操作量 u と流量の関係は平行四辺形に近い挙動を示す。本手法は、この性質を利用したもので、次式で表されるバックラッシュ逆関数 F を使ってこの平行四辺形の形状を検出する。

$$F(t) = \max [\min \{F(t-1) + \Delta u(t), F_{\max}\}, 0] \quad (10)$$

バックラッシュ逆関数 F は、平行四辺形の右辺が左辺に重なるようにスティック幅 (F_{\max}) 分だけシフトさせる関数で、変換後の操作量 u と流量の関係が線形となるように F_{\max} を求める。スティック幅である F_{\max} は、バックラッシュ逆関数 F と流量の相関係数の絶対値が大きくなるように、最適化計算で求め、相関係数の絶対値が0.7以上で、 F_{\max} が0.5以上であればバルブ不具合と判定している。

(3) 原因ループの検出法

1つのチューニング不良が、他のループに伝播し、制御性能を悪化させている事例をFig. 5に示す。左のグラフはトレンド、右は各々の相互相関係数と自己相関係数を表している。

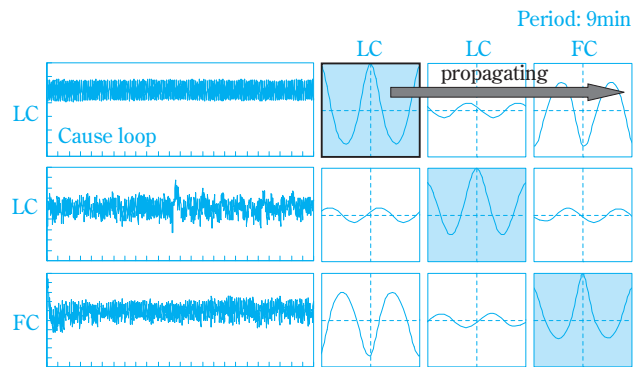


Fig. 5 Method for detecting root cause¹¹⁾

相互相関係数は、2つの時系列データで一方の時刻をシフトさせながら相関係数を取ったもので、次式で表される。

$$C_{xy}(\tau) = E\{x(t)y(t+\tau)\} \quad (11)$$

$$R_{xy}(\tau) = \frac{C_{xy}(\tau)}{\sqrt{C_{xx}(0)C_{yy}(0)}}$$

$x(t)$, $y(t)$ は時系列データで、 C_{xy} は相互相関関数、 R_{xy} は相互相関係数を表している。相互相関係数から、2つの時系列データの関連性や、時間遅れなどを知ることができる。同様に、自己相関係数は、同じ時系列データで一方の時刻をシフトさせながら相関係数を取ったもので、データの周期性の強度や周期などを知ることができる。

$$C_{xx}(\tau) = E\{x(t)x(t+\tau)\} \quad (12)$$

$$R_{xx}(\tau) = \frac{C_{xx}(\tau)}{C_{xx}(0)}$$

C_{xx} は自己相関関数、 R_{xx} は自己相関係数を表している。

原因ループの同定は、まず、プラント運転データの中から同じ周期で振れているデータを抽出し、相互相関係数を使って関連性を解析する。このとき、相互相関係数の絶対値の最大値が0.5以上あれば関連ありと判定する。次に、関連するループのうち、自己相関係数が最も大きいものを原因ループとして特定している。

(4) PID チューニング不良の判定

周期的に振動しているデータのうち、(2) 以外の単独で振れているループと、原因ループとして特定されたものをPID チューニング不良と判定する。その他、周期的に振動していないが、制御性能の低いループもチューニング対象として診断している。

PIDチューニングツール (PID Tune)^{10), 15)}

制御診断システムで診断されたチューニング不良ループに対して、Fig. 6のPID チューニングツールを用いて効率的にチューニングを行う。PID Tuneは、閉ループのプラント運転データから、遺伝アルゴリズム (GA) を使ってプロセスを同定し、一般化最小分散制御に基づくPID調整法で最適パラメータを算出する。本手法は、ステップテストなどを必要とせず、プロセスに変動を与えることなく、素早くチューニングができるといった実産業界優れた利点がある。

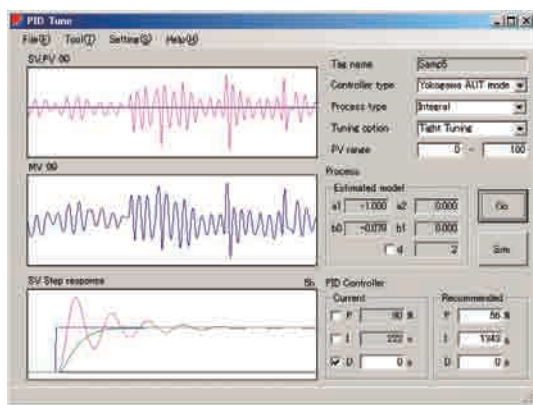


Fig. 6 PID tuning tool

1. 遺伝アルゴリズム (GA) を用いた同定法

遺伝アルゴリズム (GA) は、生体の進化過程を模倣した最適化手法の1つで、離散値で構成した離散値GAのほか、実数値で構成した実数値GAなどがあり、線形システムだけでなく、非線形、離散値、整数値を含む最適化問題に対して同じアルゴリズムを適用できるといった利点がある。

Fig. 7のように、GAを用いてプラント運転データからコントローラとプロセスを同定する。対象とするプロセスは、次の積分系を含む2次遅れ+むだ時間システムまでとし、コントローラはPIDコントローラに限定する。

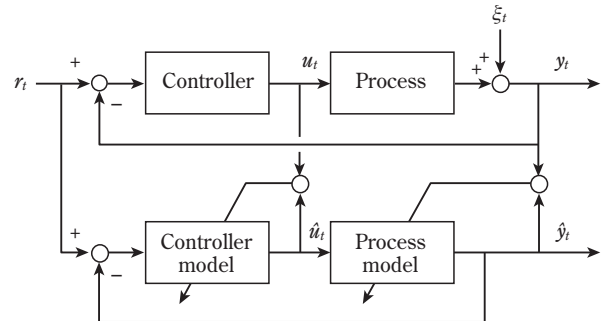


Fig. 7 Identification structure based on GA¹⁰⁾

Case1: $\frac{K}{(1+Ts)} e^{-Ls}$ (13)

Case2: $\frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)} e^{-Ls}$ (14)

Case3: $\frac{1}{Ts} e^{-Ls}$ (15)

Case4: $\frac{K}{s(1+Ts)} e^{-Ls}$ (16)

s はラプラス変換子、 K, T, L は、それぞれ、システムゲイン、時定数、むだ時間を表している。Case1~Case4を離散時間システムに変換すると、いずれも次式で表すことができる。

$$y(t) = -a_1y(t-1) - a_2y(t-2) + b_0u(t-d-1) + b_1u(t-d-2) + \frac{\xi(t)}{\Delta} \quad (17)$$

ξ はノイズ、 Δ は差分オペレータを表している。 a, b はシステムパラメータで、Case1は $a_2=0$ 、Case2は制約なし、Case3は $a_1=-1, a_2=0$ 、Case4は $a_2=-(a_1+1)$ として同定する。(17)式はCARIMA (Controlled Auto-Regressive and Integrated Moving Average) モデルと呼ばれ、しばしばシステム同定手法として用いられている。

一方、逆動作の比例先行型PID (I-PD) コントローラは、次式で表される。

$$\Delta u(t) = \frac{k_c \cdot T_s}{T_I} e(t) - k_c \left(\Delta + \frac{T_D}{T_s} \Delta^2 \right) y(t) \quad (18)$$

$$e = r(t) - y(t)$$

k_c, T_I, T_D はPIDパラメータで、それぞれ、比例ゲイン、積分時間、微分時間であり、 T_s はサンプリング周期、 e は設定値と制御量の偏差を表している。

(17)式と(18)式の差分を取ると、予測モデルは、

$$\hat{y}(t) = y(t-1) - a_1 \Delta y(t-1) - a_2 \Delta y(t-2) + b_0 \Delta \hat{u}(t-d-1) + b_1 \Delta \hat{u}(t-d-2) \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \hat{u}(t-d-1) &= u(t-d-2) \\ &- k_c \Delta y(t-d-1) + k_c \frac{T_s}{T_I} e(t-d-1) \\ &- k_c \frac{T_D}{T_s} \Delta \{y(t-d-1) - y(t-d-2)\} \end{aligned} \quad (20)$$

となり、GAでシステム同定するための評価関数を次のように定義する。

$$f = \sum_{t=d+1}^T [\{\hat{y}(t) - y(t)\}^2 + \{\hat{u}(t-d-1) - u(t-d-1)\}^2] \quad (21)$$

(19)式、(20)式で表されたプロセスとコントローラの予測モデルについて、Fig. 8のように、パラメータ $a_1, a_2, b_0, b_1, d, k_c, T_I, T_D$ を遺伝子列として、ランダムな個体を発生させ、選択、交叉、突然変異の演算を繰り返して、(21)式の評価関数を最小化するパラメータ列を求める。

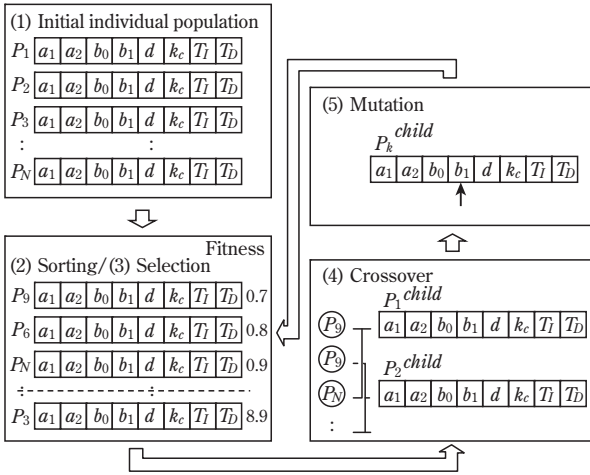


Fig. 8 Process of evolutionary identification using GA¹⁰⁾

2. PIDパラメータ調整法

次に、システム同定で求めたプロセスモデルから、一般化最小分散制御 (GMVC) に基づいて最適PIDパラメータを算出する手法について述べる。

(17)式の離散時間のプロセスモデルは、

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-(d+1)}B(z^{-1})u(t) + \xi(t)/\Delta \quad (22)$$

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} \\ B(z^{-1}) &= b_0 + b_1 z^{-1} \end{aligned}$$

(18)式のコントローラは、

$$C(z^{-1})y(t) = \Delta u(t) - C(1)r(t) = 0 \quad (23)$$

$$C(z^{-1}) := k_c \left\{ \left(1 + \frac{T_s}{T_I} + \frac{T_D}{T_s} \right) - \left(1 + \frac{2T_D}{T_s} \right) z^{-1} + \frac{T_D}{T_s} z^{-2} \right\}$$

のように書き直すことができる。GMVC評価規範¹⁶⁾を

$$J = E \{ [P(z^{-1})y(t+d+1) + \lambda \Delta u(t) - P(1)r(t)]^2 \} \quad (24)$$

とし、 $P(z^{-1})$ の多項式を次のように設計する。

$$P(z^{-1}) = 1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} \quad (25)$$

$$p_1 = -2e^{-\frac{\rho}{2\mu}} \cos \left(\frac{\sqrt{4\mu-1}}{2\mu} \rho \right)$$

$$p_2 = e^{-\frac{\rho}{\mu}}$$

$$\rho := T_s/\alpha$$

$$\mu := 0.2(1-\delta) + 0.51\delta$$

ここで、 λ は重み係数、 α は立ち上がり時間を表すパラメータ、 μ は応答の減衰特性を表すパラメータである。 α は時定数とむだ時間の総和の0.3~1.0倍が望ましく、ここでは0.75倍とする。 μ は δ で調整されるが、 δ を0.0とする。むだ時間を考慮したDiophantine方程式は次式で表され、

$$P(z^{-1}) = \Delta A(z^{-1})E(z^{-1}) + z^{-(d+1)}F(z^{-1}) \quad (26)$$

$$E(z^{-1}) = 1 + e_1 z^{-1} + \dots + e_d z^{-d}$$

$$F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2}$$

これと(22)式から、(24)式を最小化する制御則として、次式が得られる。

$$F(z^{-1})y(t) + \{E(z^{-1})B(z^{-1}) + \lambda\} \Delta u(t) - P(1)r(t) = 0 \quad (27)$$

ここで(27)式の第2項を定常項に置き換えると、

$$F(z^{-1})y(t) + \{E(1)B(1) + \lambda\} \Delta u(t) - P(1)r(t) = 0 \quad (28)$$

となり、(23)式との関係から、PIDパラメータは次式から求めることができる。

$$k_c = -\frac{1}{E(1)B(1) + \lambda} (f_1 + 2f_2)$$

$$T_I = -\frac{f_1 + 2f_2}{f_0 + f_1 + f_2} T_s \quad (29)$$

$$T_D = -\frac{f_2}{f_1 + 2f_2} T_s$$

次に、偏差 e と操作量 Δu の分散の和 $I(\lambda)$ を最小化する重み係数 λ の求め方について説明する。

$$I(\lambda) = E[e^2(t)] + K^2 E[\Delta u(t)^2] \quad (30)$$

K はシステムゲインで、偏差 e と操作量 Δu は、定常過程において、次の関係が成り立っている。

$$e(t) = -\frac{1}{T(z^{-1})} \xi(t) \quad (31)$$

$$\Delta u(t) = -\frac{C(z^{-1})}{T(z^{-1})} \xi(t) \quad (32)$$

$$T(z^{-1}) = \Delta A(z^{-1}) + z^{-1} B(z^{-1}) C(z^{-1}) \quad (33)$$

このとき、それぞれの分散を H_2 ノルムで計算するものとする、(30)式は、

$$I(\lambda)' = \left\| -\frac{1}{T(z^{-1})} \right\|_2^2 + K^2 \left\| -\frac{C(z^{-1})}{T(z^{-1})} \right\|_2^2 \quad (34)$$

となる。この(34)式を最小とする λ を求め、 $E(z^{-1})$ と $F(z^{-1})$ の値を計算して、最適なPIDパラメータを算出する。

3. 適用例

本手法を使って、実プラントのコントローラをチューニングした例を示す。PID Tuneで算出した結果に基づいて液面制御のチューニングを実施し、Fig. 9のように安定化することができた。

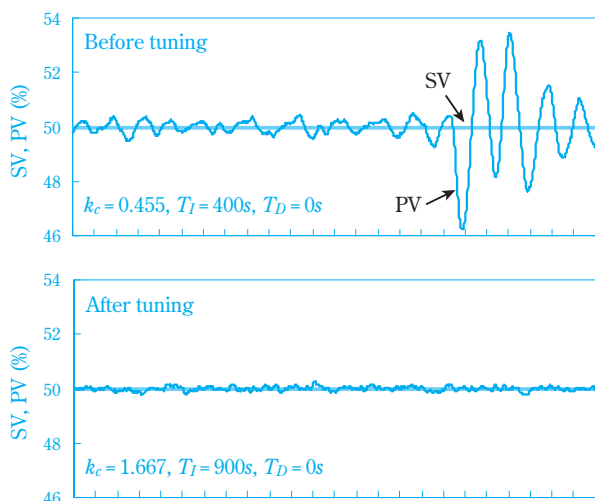


Fig. 9 Result of tuning (liquid level control)¹⁰⁾

実プロセスへの適用¹⁴⁾

最後に、制御診断システム、PIDチューニングツールを活用して、プラント全体の制御性を改善した事

例について紹介する。

ループ数170前後の2つのプラントにおいて、制御診断を実施し、改善に取り組んだ。制御不具合と診断されたループのうち、PIDチューニングを実施した33ループ、72ループの比較をFig. 10に示す。チューニングによって、全体的に制御性能が向上したことがわかる。

また、同じ周期の振れが複数確認された精留工程について、制御診断システムを使って原因ループを特定し、PIDチューニングで安定化した具体例をFig. 11に示す。周期的な振れを解消することができ、工程全体の安定化につながった。

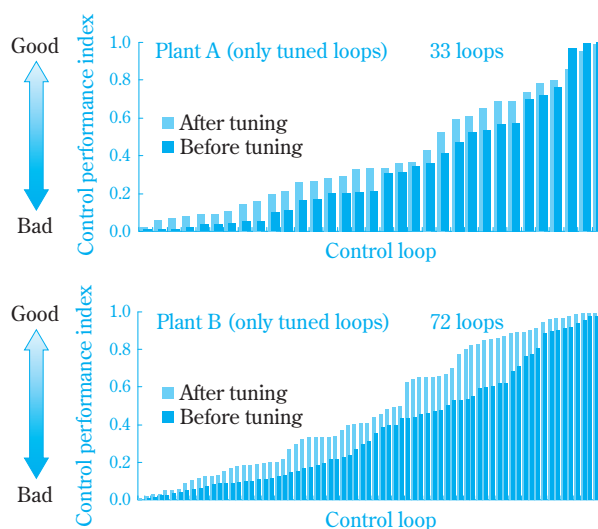


Fig. 10 Comparison of control performances in plants A and B¹⁴⁾

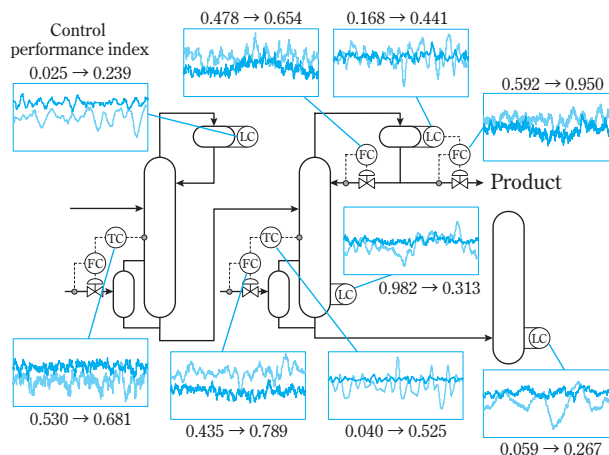


Fig. 11 Improved control performance in distillation process¹⁴⁾

さらにバルブ不具合が疑われるループもいくつか検出され、これらのループについてはバルブの点検を実施した。内部に汚れがあったものは、清掃・整

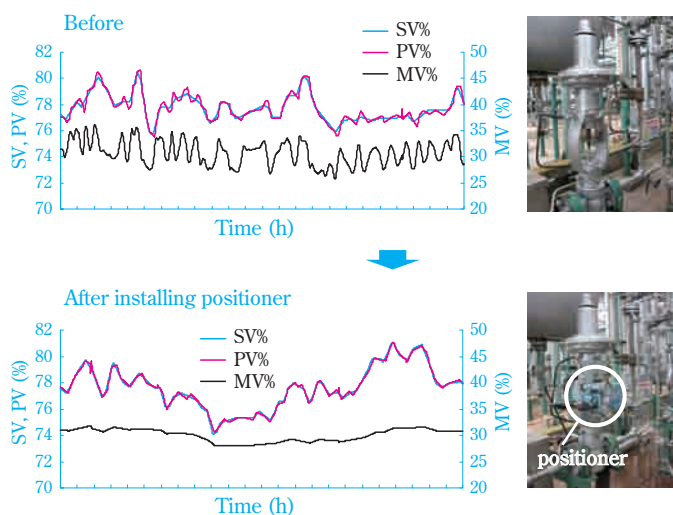


Fig. 12 Improvement of control performance by installing valve positioner¹⁴⁾

備を実施し、ポジショナが設置されていなかったバルブについては、バルブポジショナを設置した。Fig. 12はバルブポジショナを設置して制御性が向上した例である。

おわりに

制御診断システム (PID Monitor)、PIDチューニングツール (PID Tune) の技術的背景と実プラントへの適用事例について紹介した。これらのシステムは、現在、プラント全体の制御性を改善しプラントの生産性を維持する仕組みとして全社展開を進めている。その中で、既存プラントの制御性改善ばかりでなく、新規起業プラントの早期安定化を図る上で強力なツールであることを確認した。また、今回、化学、石油化学プラントだけでなく、石油精製プラントでも実績を得ることができた。今後は、更なる機能向上を図ると共に、適用範囲の拡大を目指したい。

謝辞

前半の制御診断技術の一部は、日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会ワークショップNO.25「制御性能監視」の共同成果に基づいており、後半のPID調整法は、広島大学との共同成果である。本会の皆様、および広島大学の山本透氏に謝意を表します。

引用文献

- 1) R. Miller, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**, 6708 (2005).
- 2) 佐山 隼敏, “続工場少人化の進め方 さよなら「ムダ作業」”, 日本プラントメンテナンス協会 (1999), p. 126.
- 3) 西澤 淳, 計測と制御, **44**(2), 135 (2005).
- 4) 藤井 憲三, 大寶 茂樹, 山本 透, システム制御情報, **52** (8), 270 (2008).
- 5) 久下本 秀和, 住友化学, **2005-II**, 41 (2005).
- 6) T. J. Harris, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, **67**, 856 (1989).
- 7) T. Yamamoto, K. Takao and T. Yamada, *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, **17** (1), 29 (2009).
- 8) 田坂 謙一, 加納 学, 小河 守正, 増田 士朗, 山本 透, システム制御情報学会論文誌, **22** (4) 137 (2009).
- 9) H. Seki and T. Shigemasa, *Journal of Process Control*, **20**, 217 (2010).
- 10) 久下本 秀和, 川田 和男, 山本 透, 計測と制御, **47** (11), 937, (2008).
- 11) 久下本 秀和, 計装制御技術会議, S2-5-1 (2006).
- 12) 久下本 秀和, 加納 学, 計測と制御, **44** (2), 143 (2005).
- 13) M. Jelali, B. Huang (eds.), “*Detection and Diagnosis of Stiction in Control Loops*”, Springer (2010), p. 103.
- 14) 影山 孝, アロマティックス, **61** (夏季), 230 (2009).
- 15) T. Yamamoto, K. Kawada, H. Kugemoto and Y. Kutsuwa, *15th IFAC Symposium on System Identification*, 729 (2009).
- 16) D.W. Clarke and P.J. Gawthrop, *IEE Proc. of Control Theory and Applications*, **126** (6), 633 (1979).

PROFILE



久下本 秀和
Hidekazu KUGEMOTO
住友化学株式会社
生産技術センター
主席研究員