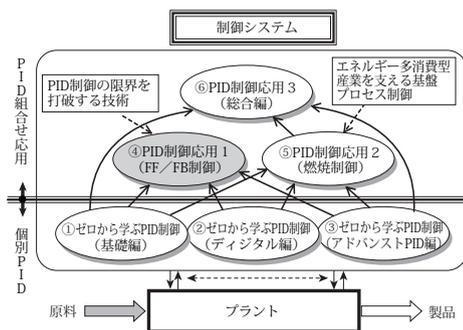


# ゼロから学ぶ PID 制御 (④ FF / FB 制御) コース

## 第 1 回 PID 制御の原理的境界と FF 制御

### 1. 基本コンセプトと位置付け

筆者は「広義の PID 制御を駆使すれば『他の制御技術は不要である』と言っても過言ではない」という経験的持論を持っている。言い換えれば、PID 制御を制御対象特性や運転上のニーズ・制約条件に適合するように使いこなせば、高性能プラント制御システムを実現できるということを意味している。この考え方による高性能制御システムの制御機能構成を第 1.1 図に示す。これまでは「ゼロから学ぶ PID 制御」と題して、PID 制御そのものについて、その生い立ち、実用形態や調整法などを説明した基礎編、連続系からのデジタル化方法やデジタル化に伴う諸問題とその対応を説明したデジタル編および PID 制御の基本機能を高度化した 2 自由度 PID 制御、制御対象特性に適合するように工夫・改良したむだ時間補償制御、非線形 PID 制御、非干渉制御などについて説明したアドバンスト PID 編を 51 回わたり説明してきた。

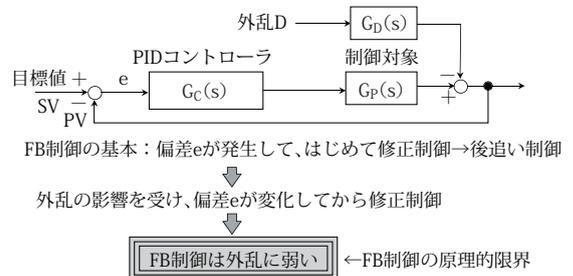


第 1.1 図 PID 制御による高性能制御システムの構成

今回から単一 PID 制御を用いたフィードバック FB (Feed Back : FB) 制御系が持っている外乱の影響を大きく受けるという原理的境界をブレイクスルーする FF (Feed Forward) / FB 制御について、基礎から先端までその応用について説明する。

### 2. PID 制御の原理的境界とは？

PID 制御はシンプルな構成であるにもかかわらず、多くの制御対象に対してすぐれた制御性能を発揮する制御方式である。しかし、第 1.2 図に示す単一の PID 制御を用いた FB 制御系は外乱 D (Disturbance) の影響を大



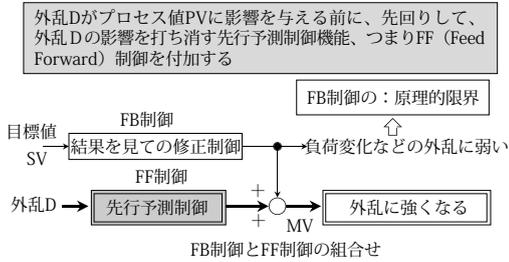
第 1.2 図 FB (Feed Back) 制御の原理的境界

きく受ける、つまり「外乱に弱い」という原理的境界を持っている。この原因は FB 制御では外乱 D の影響を受けて偏差 e が発生してから、この偏差 e をゼロにしようとして、はじめて制御動作を開始するためである。つまり、FB 制御の基本は外乱 D が発生すると、その外乱 D の影響を受けて偏差 e が生じてから修正制御する「後追い制御：結果駆動形制御」であるために、外乱 D の影響を避けることができない。戦法に例えると、敵(外乱 D)に攻め込まれて、被害(偏差 e)が出てから、初めて防戦する専守防衛型戦法に当たる。この戦法では、敵に国境を越えて攻め込まれて、必ず被害が出ることになってしまう。

### 3. 外乱の影響を抑制するには？

この FB 制御が持っている原理的境界をブレイクスルーするには、専守防衛型戦法に敵(外乱 D)の情報収集をして敵の戦力に対応した戦力を準備し、先回りして国境で迎え撃つ「敵情報活用待ち伏せ型戦法」を組み合わせる必要がある。この「敵情報活用待ち伏せ型戦法」が FF 制御に当たるものである。

第 1.3 図に示すように、外乱 D を検知して、外乱 D がプロセス値 PV に影響を与える前に、先回りして外乱 D の影響を打ち消す先回り制御のことを FF 制御(予測先行制御あるいは原因駆動形制御)と呼んでいる。この FF 制御は外乱 D の変化の大きさから、操作信号 MV をいくらにすれば、外乱の影響を抑制できるかを予測演算して制御出力を出す機能のみで、偏差 e をゼロにする機能を持っていないため、通常 FB 制御とお互いの長所を活かすように協動的に組み合わせて「FF / FB 制御」を構

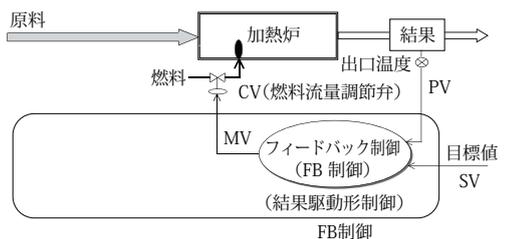


第 1.3 図 外乱 D の影響を抑制するには？

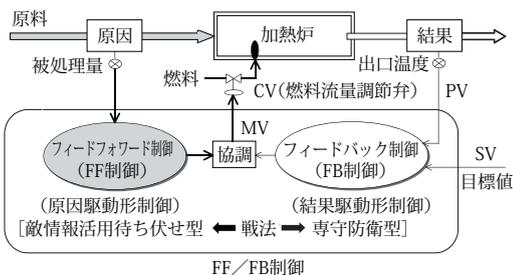
成して対応することになる。

#### 4. FF / FB 制御の基本構成

以上、FF 制御の必要性と FF / FB 制御の構成について説明した。ここではもう少しマクロな視点から、第 1.4 図および第 1.5 図を参照しながら FB 制御系の基本構成と FF / FB 制御系の基本構成の特徴を眺めてみる。第 1.4 図は単一の PID 制御を用いた FB 制御系の基本構成を示す。FB 制御は外部から取り込んでいる情報は制御した結果であるプロセス値 PV の出口温度のみである。つまり、原料流量などのプロセス値 PV に影響与える外乱 D に関する情報は全く取り込んでいないために、外乱 D を抑制する対応は全くできないことになる。これに対して、第 1.5 図に示す FF / FB 制御系の基本構成では、外乱である原料流量を測定して、原料流量が変化したときに燃料流量をいくら変化させると出口温度を目標値に維持できるかの「燃料量とその投入タイミング」を予測演算して FF 制御信号として出力する機能が付加されている。この FF 制御出力信号と偏差 e をゼロにする機能を持っている FB 制御出力信号は双方の長所を活かすように協調的に合成され、操作信号 MV として燃料流量



第 1.4 図 FB 制御系の基本構成



第 1.5 図 FF / FB 制御系の基本構成

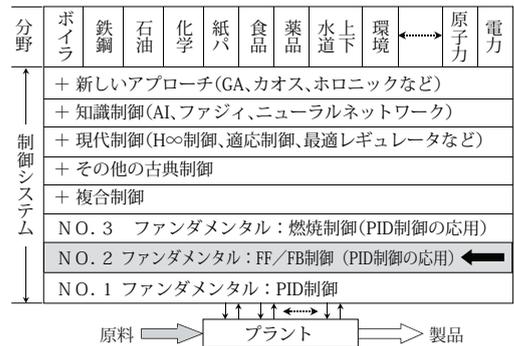
調節弁 CV に印加するように構成されている。

当然のことながら、FF 制御においては、「量」のみを合せても、その投入のタイミングが早過ぎたり遅過ぎたりすると、タイミングのズレに起因する影響が現れる。したがって、FF 制御の効果を有効に発揮させるには、外乱 D を抑制させるために必要な「量」と「投入タイミング」を合せなければならない。「量」と「投入タイミング」を正確にすれば、するほど、外乱の影響を限りなくゼロに近づけることができる。

FF 制御と FB 制御が協調し合せて制御目的を達成することは、人工物においても生物においても戦争においても共通した基本的な制御の枠組みとなっている。

#### 5. FF / FB 制御の位置付け

一般に、FF / FB 制御は狭義の PID 制御とは区別されており、産業界では最も多用され、最も効果が大きい「アドバンスト (Advanced: 先進的) 制御」と位置付けられている。しかし、FF / FB 制御は狭義の PID 制御に予測先行制御機能を付加して、狭義の PID 制御が外乱に弱いという原理的限界を打破したものであるため、このコースでは第 1.6 図に示すように PID 制御応用形態の 1 つとしてとらえて「PID 制御の仲間」、つまり「広義の PID 制御」と分類し、取り扱うことにする。



第 1.6 図 制御システムの制御機能構成

FF / FB 制御は生産量の規制緩和や製品在庫量圧縮のメガトレンドの中で、省エネルギーや環境汚染防止を図りながら、需要変動に対応するフレキシブルプロダクション (変量・変質・変種生産) の限界を追求する Key Control Technology の 1 つとして、今後ますます重要視されて行くものと予測される。

#### <参考文献>

- (1) 広井:『実用アドバンスト制御とその応用』, 工業技術社 (2000)
- (2) 広井:「プロセス制御を解剖する」(第 18 回), 計装, Vol.42, 工業技術社 (1999.12)
- (3) 広井・宮田:『シミュレーションで学ぶ自動制御技術入門』, CQ 出版社 (2005.3)