

ゼロから学ぶPID 制御 (⑤ 燃焼制御) コース

第4回 基本燃焼制御方式とその問題点

燃焼制御の基本原則は燃焼負荷がどのように変化しても、燃料流量と燃焼用空気流量の比を「最適燃焼ゾーン」内に維持するように制御することである。今回はアナログ制御時代に多用されていたシンプルな構成の基本燃焼制御方式を取り上げて、上記の燃焼制御の基本原則を実現できるかどうかを検討して見る。

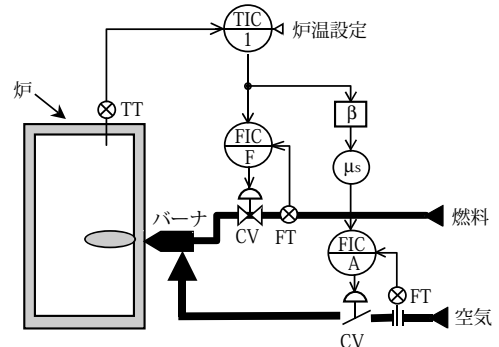
1. 基本燃焼制御方式の構成

第4.1 図に炉温制御を例にした三つの基本燃焼制御方式の構成を示す。第4.1 図(a)に示す並列カスケード方式は温度調節計(TIC-1)の出力信号をマスター信号として、燃料流量調節計(FIC-F)および空気流量調節計(FIC-A)の目標値信号として並列に与えて、燃料流量および空気流量を制御する構成である。また第4.1 図(b)に示す空気先行形直列カスケード方式は温度調節計(TIC-1)の出力信号をまず空気流量調節計(FIC-A)の目標値信号として空気流量を制御し、さらにその実測空気流量信号に比率を乗じた信号を燃料流量調節計(FIC-F)の目標値信号として燃料流量を制御する構成である。さらに第4.1 図(c)に示す燃料先行形直列カスケード方式は温度調節計(TIC-1)の出力信号をまず燃料流量調節計(FIC-F)の目標値信号として燃料流量を制御し、さらにその実測燃料流量信号に空燃比係数を乗じた信号を空気流量調節計(FIC-A)の目標値信号として空気流量を制御する方式である。これらの方式はアナログ制御時代に多用されていたものであるが、燃焼負荷がほぼ一定と見なせる場合や燃焼負荷が緩やかに変化する場合のみに適用できるという大きな制約を持っている。

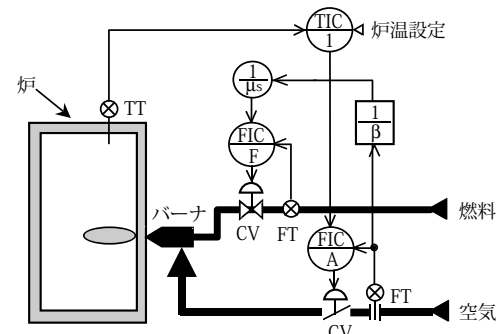
2. 基本燃焼制御方式の問題点

生産性向上のための高速化、需要変動に対応した本格的フレキシブル運転、省エネ思想の徹底に伴うエネルギー消費量の急増減などの進展に伴い、燃焼負荷の変化率や変化幅が増大してきている。そこで、これらの基本燃焼制御方式が燃焼負荷の急変に問題なく追従できるかどうかを重油燃焼の例を用いて、まず第4.1 図(a)の並列カスケード方式について確認して見よう。

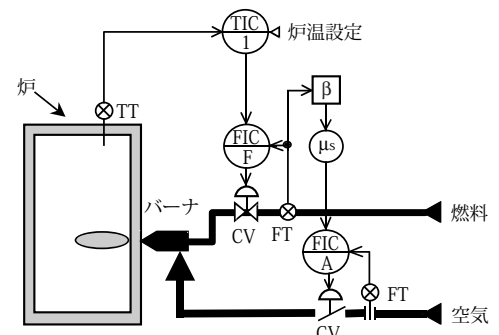
重油系は供給圧力が高く、流量調節弁口径が小さいので、応答速度が速く、かつ重油は非圧縮性流体であるた



(a) 並列カスケード方式



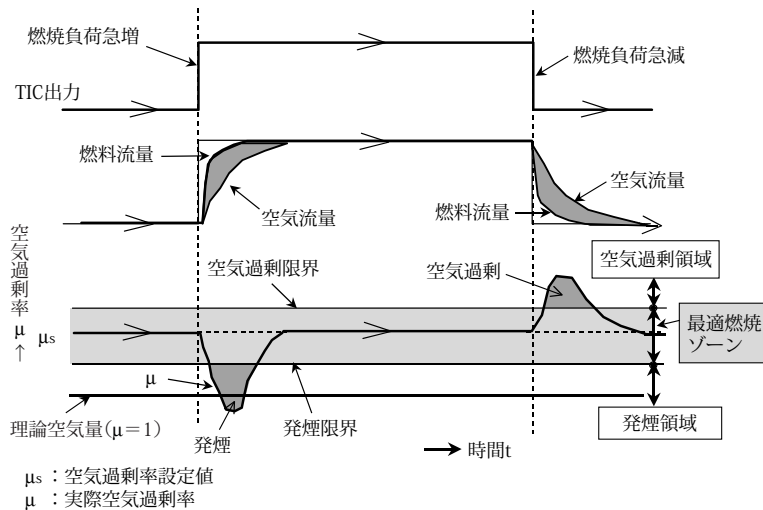
(b) 空気先行形直列カスケード方式



(c) 燃料先行形直列カスケード方式

TIC : 温度調節計
 FIC-F : 燃料流量調節計
 FIC-A : 空気流量調節計
 μs : 空気過剰率設定値
 β : 変換係数

第4.1 図 基本燃焼制御方式の構成



第 4.2 図 基本燃焼制御方式（並列カスケード方式）の過渡応答

めに重油流量制御の応答は速い。他方の空気系は供給圧力が低く、流量調節弁口径が大きいので、応答速度が遅く、かつ空気は圧縮性流体であるために空気流量制御の応答は重油に比べて遅くなってしまふ。したがって、並列カスケード方式において、燃焼負荷信号が燃料流量制御系と空気流量制御系の目標値として並列に与えられても、両系の応答差によって燃焼負荷変化が急峻になればなるほど、実際の空気過剰率の変動幅が大きくなり、「最適燃焼ゾーン」をはみ出して熱損失や環境汚染を増大させてしまうことになる。詳細な説明は省略するが、第 4.1 図(b)に示す空気先行形カスケード方式も第 4.1 図(c)に示す燃料先行形カスケード方式も空気系および燃料系の応答速度の特徴が強調されて一長一短となり、燃焼制御方式の評価として、並列カスケード方式を超えることはできない。

3. 過渡応答

燃焼制御はデジタル制御時代になって、相当なレベルに高度化されてきているが、そのベースとなっているのは第 4.1 図(a)に示す並列カスケード方式である。この方式で燃焼負荷が急変した時の過渡応答を第 4.2 図に示す。図に示すように燃焼負荷が急増すると、まず応答の速い燃料流量が先行増加し、空気流量が遅れて増加するため、実際の空気過剰率 μ は過渡的に最適燃焼ゾーンの下限の発煙限界を超えて低下し、黒煙を発生させる。逆に燃焼負荷が急減すると、まず応答の速い燃料流量が先行減少し、空気流量が遅れて減少するため、実際の空気過剰率 μ は過渡的に最適燃焼ゾーンの上限の空気過剰限界を超えて上昇し、排ガス熱損失と環境汚染の増加を招く。

このように燃焼負荷が急増しても、急減しても最適燃焼ゾーンからはみ出して、むだな熱損失や環境汚染を増加させる。とりわけ、黒煙は環境汚染発生を周辺にビジブルに示すため、黒煙発生を避けようとして空気過剰率設定値 μ_s を大きく設定すると、定常状態の排ガス熱損失が大きくなると共に、空気過剰に起因する環境汚染増加を招くことになってしまうという二律背反の問題を持っている。

4. 致命的な問題点を解消するには？

以上説明した並列カスケード方式の基本燃焼制御方式では、燃焼負荷が急増または急減した場合に実際の空気過剰率が大きく変化して「最適燃焼ゾーン」をはみ出してしまふ。燃焼制御にとって、この致命的な問題点を解消するには、実際の空気過剰率 μ が「最適燃焼ゾーン」の上下限値に達したことを判定し上下限値を逸脱しないように演算処理し、燃料流量制御または空気流量制御の目標値に制限を加える方法を取れば良いことになる。このような改良のための演算処理は、デジタル制御時代になって自由自在にできるようになり、大きく進展してきている。次回から、これらの問題点を解消しながら高度化する考え方や具体的な方法について詳しく説明していく。

<参考文献>

- (1) 広井：『実用アドバンス制御とその応用』，工業技術社（2003.11）
- (2) 広井：「プロセス制御を解剖する」第 45 回，計装，Vol.45，No.4（2002.3）