

冷房における室内空調制御

2002MM015 服部 智将

指導教員 陳 幹

1 はじめに

PID 制御は比例要素、積分要素、微分要素を構成要素に持つ構造の限定された制御器である。各パラメータをチューニングする事が容易であるという特徴が挙げられ、現在でも幅広く利用されている。そのため、ほとんどの空調プラントの現場では、単純な PID 制御で運転しているのが実状である。そこで、本研究では制御対象に室内空調制御を用いて PID 制御の理解を深めていきたい [1]。

2 空調プラント

制御対象は、冷房における室内空調制御を取り上げる。空調する部屋の大きさは $2[m] \times 2.5[m] \times 2.5[m]$ である。空調プラントモデルを一般的な伝達関数 (1 次遅れ + むだ時間系) とし、アクチュエータは冷水バルブになる。冷水バルブは冷水タンクから冷水コイルへの冷水流量を調節するものであり、開度 100% が全開、0% が全閉となっている。アクチュエータならびにセンサはプラントの伝達関数 (1) 式に含めて考える。コントローラは汎用アナログコントローラを想定し、伝達関数 $G_c(s)$ を次のように与える [2]。

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \frac{s}{1 + \tau_s} \quad (1)$$

K_p 、 K_i 、 K_d は比例、積分、微分ゲインであり、微分動作は高周波域でゲインが高くなるので不完全微分として、 $\tau = 0.1(K_d/K_p)$ としている [2]。冷水バルブの開度は通常運転時における動作点 (30%) を原点として $-30\% \leq \mu \leq 70\%$ と表示する。 μ は操作量である [1]。年平均値として操作量 30% 程度であるので、本研究では操作量 μ は年平均値 30% を採用して伝達関数を決定した。

2.1 空調プラントのモデリング

伝達関数 (1 次遅れ + むだ時間系) に得られたステップ応答をあてはめると、むだ時間は 3[min] 程度であるが、定常ゲイン K_p 、時定数 T_p には大きな違いがある。定常ゲイン、時定数ともに開度が小さくなるほど大きくなる傾向にある部屋の伝達関数を以下のように与える [2]。

$$G_p(s) = \frac{-K_p}{1 + T_p s} e^{-L_p s} \quad (2)$$

ここで、 $K_p = 0.1$ 、 $T_p = 15[\text{min}]$ 、 $L_p = 3[\text{min}]$ である。そして、本研究で扱うブロック線図が図 1 である [1]。

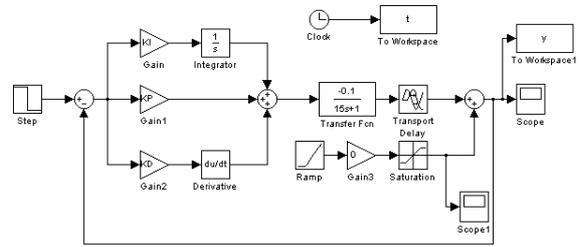


図 1 PID 制御のブロック線図

3 Ziegler and Nichols のステップ応答法

Ziegler and Nichols のステップ応答法は PID 制御の R、L と関連づける調整則を提案している。プラントの動特性をむだ時間を含む 1 次遅れ系とみなした場合の時定数、むだ時間、ゲインを用いて、PID 制御器のパラメータを簡単に決定する設計法である [3]。図 2 はシミュレーションによって得られた目標値応答と外乱応答であるが、目標値応答では整定時間が約 20[min] 遅く、さらにはオーバーシュートが非常に大きく、良い結果が得られなかった。

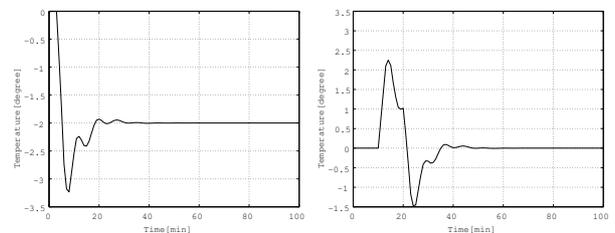


図 2 Ziegler and Nichols のステップ応答法の目標値応答と外乱応答

4 Chien, Hrones and Reswick の調整則

Chien, Hrones and Reswick の調整則は 1 次遅れとむだ時間のシステムに対して、外乱と目標値それぞれのステップ状変化に対し、行き過ぎ量を 0% とする場合、20% とする場合という 4 つの組み合わせを考え、制御量を定常値に達するまでの時間を評価基準としている。また、20% 行き過ぎの場合には制御量をはじめで定常値を通るまでの時間を到達時間としている [1]。図 3、図 4 はそれぞれ Chien, Hrones and Reswick の調整則のオーバーシュート 0% とオーバーシュート 20% のものであるが目標値応答の整定時間は約 12[min] 程でありオーバーシュートも小さくなかなか良い結果を得た。

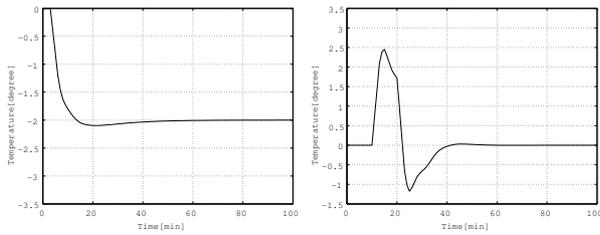


図3 Chien, Hrones and Reswick の調整則の目標値応答と外乱応答 (オーバーシュート 0%)

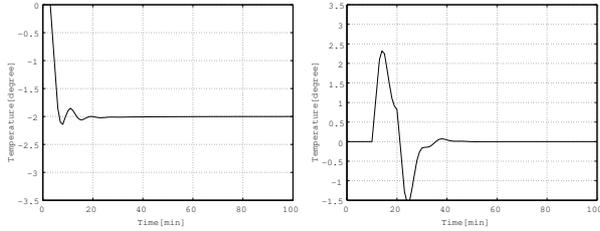


図4 Chien, Hrones and Reswick の調整則の目標値応答と外乱応答 (オーバーシュート 20%)

5 I-PD 制御

PID 制御とは異なり、比例・微分先行型 PID 制御とも呼ばれるように、I 動作と P、D 動作が分離して [4]、PD 動作をフィードバック補償に移したのが I-PD 制御になる [1]。図 5 は I-PD 制御のブロック線図であり、Chien, Hrones and Reswick の調整則 (オーバーシュート 0%) を用いた結果が図 6 である。図 3 と比較して、外乱応答は同じであるが目標値変化がすぐには操作量に反映されないため目標値応答は遅くなった。

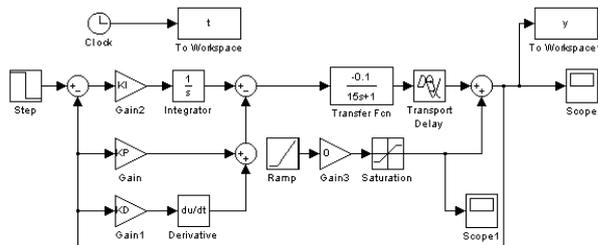


図5 I-PD 制御のブロック線図

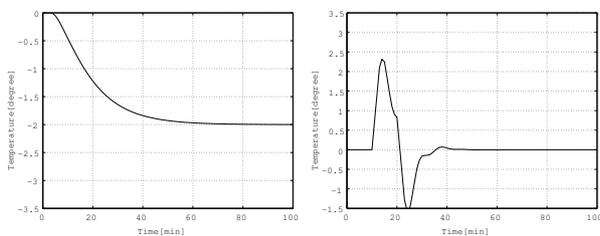


図6 I-PD 制御の目標値応答と外乱応答

6 部分的モデルマッチング法

部分的モデルマッチング法 (以下 PMM 法) は、望ましい制御系の伝達関数を与え、これにできるだけ等しくなるような制御器のパラメータを、プラントの部分的知識から決定する設計法である [3]。そして、PMM 法を用いて PID 制御器を設計したのが図 7 であり、図 4 と酷似した結果を示した。

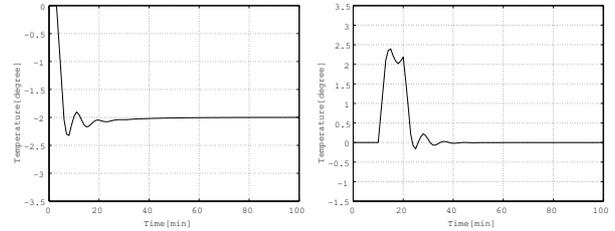


図7 PID 制御での部分的モデルマッチングにおける目標値応答と外乱応答

7 おわりに

本研究では Chien, Hrones and Reswick の調整則 (オーバーシュート 0%) が整定時間、オーバーシュートの点においても最も良い結果を得ることができた。I-PD 制御においては整定時間が遅くて良い結果は得られなかった。これは I-PD 制御において PID 制御の調整則をそのまま用いると、目標値変化がすぐには操作量に反映されない構造上、目標値変化に対する制御量の応答が遅くなるということが原因である。最後に PMM 法を用いたが、Chien, Hrones and Reswick の調整則 (オーバーシュート 20%) に酷似した結果を示した。I-PD 制御への導入も試みたが同様に応答が遅くなった。

8 謝辞

本研究を進めるにあたってご多忙の中、陳 幹助教授、高見 勲教授、尾崎 俊治教授に御指導頂きまして誠にありがとうございました。

参考文献

- [1] 須田信英：PID 制御、朝倉書店 (1992)。
- [2] 笠原雅人、松葉邦彦、葛生克明、山崎敬則、橋本幸博、神村一幸、黒須茂：特性変動に伴う空調システムへの PID 制御の適用、計測自動制御学会論文集 Vol.36、No.5、pp.431-437 (2000)。
- [3] 赤松貴文、瀬戸昇、北森俊行：むだ時間を含む一次遅れ系に対する PID 制御の部分的モデルマッチング法に基づいた設計法、システム情報学会論文誌 Vol.16、No.1、pp.46-52 (2000)。
- [4] 北森俊行：I-PD 制御方式の原理と設計法、システム情報学会論文誌 Vol.42、No.1、pp.7-17 (1998)。