

ボイラ・アキュムレータ制御系の動的解析

Dynamic Analyses of the Boiler-Accumulator Control System

内 田 恒 夫

Tsuneo UCHIDA

1. は し が き

バッチプロセスを含む工場では、蒸気の消費量は一般にはげしく変動する。このような工場では、ボイラにアキュムレータを付加すると、安定した蒸気を比較的小容量のボイラによってまかなうことができる。またボイラも定常状態で運転できる時間が長くなり、燃焼効率が増大する。

その際付加すべきアキュムレータの容量は蒸気負荷の大きさ、形状、変動量およびボイラの変動吸収能力などによって異なる。そこでアキュムレータの容量も含めて、このシステムの最適設計を行なうために、その特性を理論的に解析し、その結果から求められた制御系をアナログ計算機でシミュレートし、その動的な解析を行なった。

2. 解 析

筆者が解析を行なったボイラ・アキュムレータ制御系は図1のようである。

このシステムの平均の蒸気流量を q_0 [kg/sec]、平均アキュムレータ圧力を P_{a0} [kg/cm²] とし、平均値からの変化量を平均値で割った無次元量を \sim 記号によって、たと

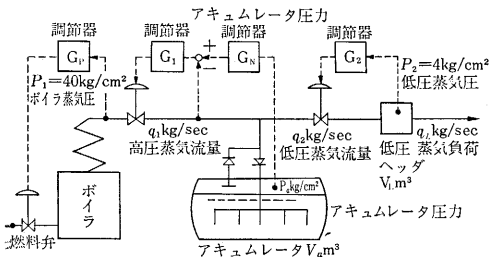


図1 ボイラ・アキュムレータ制御系

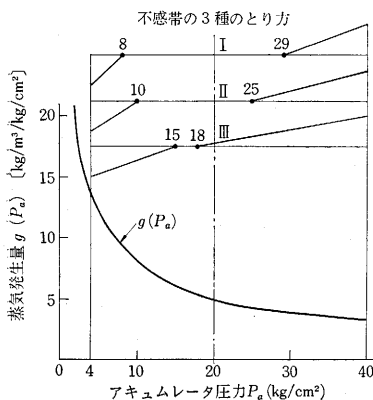


図2 蒸気発生量と不感帯のとり方

えば、 $(P_a - P_{a0})/P_{a0} = \Delta \tilde{P}_a$ などと表わす。

さて、いうまでもなく単位体積の飽和水から単位圧力変化によって自己蒸発する蒸気量は圧力に対して図2のように変化する。

この蒸発量を関数 $g(\Delta \tilde{P}_a)$ で表わすと、アキュムレータの伝達関数は次式のようにになる。

$$G_a(S) = \Delta \tilde{P}_a / (\Delta \tilde{q}_1 - \Delta \tilde{q}_2) = q_0 / (V_a g(\Delta \tilde{P}_a) P_{a0} \cdot S) \quad (1)$$

ただし、 S はラプラス演算子で V_a はアキュムレータ容積である。

低圧ヘッダの伝達関数は次式のようにになる。

$$G_L(S) = \Delta \tilde{P}_2 / (\Delta \tilde{q}_2 - \Delta \tilde{q}_L) = q_0 \cdot v_{20} / (V_L \cdot S) \quad (2)$$

ただし、 v_{20} は低圧蒸気の比体積 [m³/kg]、 V_L は低圧ヘッダ部の体積である。

弁流量については断熱流れと考え、その流量関数を $\phi(P_2/P_a)$ とする。低圧弁開度を μ_2 とすると、低圧弁流量は次式によって与えられる。

$$q_2 = \mu_2 P_a \phi_2(P_2/P_a) \sqrt{g/Rt_a} \quad (3)$$

ただし、 g は重力加速度、 R は気体定数、 t_a はアキュムレータ蒸気温度である。 $P_a \phi_2(P_2/P_a) \sqrt{g/Rt_a} = f_2(P_a)$ とおき、③式を無次元化した式で表わすと次式が得られる。

$$\Delta \tilde{q}_2 = \Delta \tilde{\mu}_2 + \Delta f_2(\Delta \tilde{P}_a) + \Delta \tilde{\mu}_2 \cdot \Delta f_2(\Delta \tilde{P}_a) \quad (4)$$

高圧弁流量についても同様の解析がなりたつが、この場合 $\Delta f_1(\Delta \tilde{P}_a)$ が小さいので④式の第3項に相当する項を省略すると次式を得る。

$$\Delta \tilde{q}_1 = \Delta \tilde{\mu}_1 + \Delta f_1(\Delta \tilde{P}_a) \quad (5)$$

以上の解析結果より、図1に示したボイラ・アキュムレータ

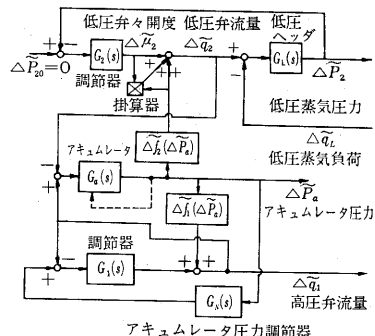


図3 ボイラ・アキュムレータ制御系のブロック線図

研究速報
 ータ制御系のブロック線図を描くと図3のようになる。

3. 実 験

シミュレーションでは 1/360 のタイムスケール変換を行なった (すなわち、計算機の 10 秒は実際の 1 時間に相当する) 平均蒸気流量は $q_0=60$ T/h, アキュムレータ圧力の変動範囲は 4 kg/cm^2 から 40 kg/cm^2 で、平均圧力は $P_{a0}=20 \text{ kg/cm}^2$, アキュムレータ容積は $V_a=20, 40, 60, 80 \text{ m}^3$ として実験を行なった。

このシステムで調節器 $G_N(S)$ の目的は負荷変動 Δq_L に対して、アキュムレータ圧力 ΔP_a を許容範囲内で有

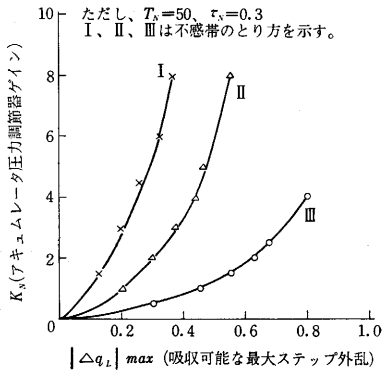


図 4 負荷変動の予想される最大ステップ変化から、調節器 $G_N(S)$ の最適なゲインを決定するためのグラフ。

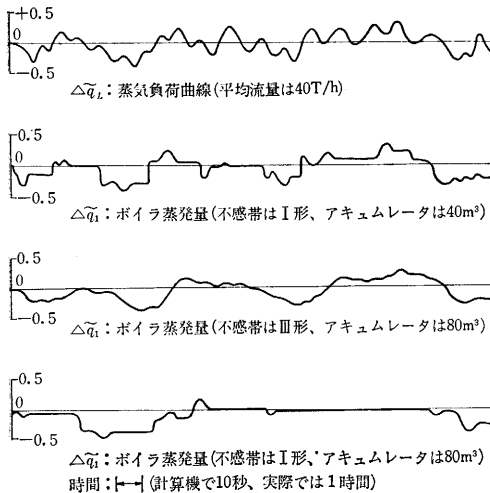


図 5 実際の蒸気負荷を加えたとき、調節器の不感帯のとり方およびアキュムレータ容量によって、ボイラの蒸気量が平滑化される様子の例。

効に変動させて、高圧弁蒸気流量 Δq_1 の変動をできるだけ小さくすることである。そこで $G_N(S)$ は不感帯と PID 調節器の直列接続として構成した。

不感帯はさきに求めたアキュムレータの動特性と蒸気負荷の形とを考慮して、本研究では図 2 に示した三つの例を設定し実験を行なった。

$G_a-G_N-G_1$ ループの減衰率 ζ を $G_1 \gg 1$ として線形近似計算によって求めたら次式を得た。

$$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_N}{\tau_N + (T_d/K_N)}}$$

ただし、 K_N, T_N, τ_N はそれぞれ PID 調節器のゲイン、積分時間、微分時間で、 T_d はアキュムレータの積分の係数の逆数である。

K_N, T_a を固定し、 ζ を 0.3 から 3 まで変えて、 Δq_L のステップと正弦波外乱に対しての動的解析を行なった。その結果、 T_N, τ_N の適正值として、 $T_N=50, \tau_N=0.3$ を得た。 Δq_1 の変動を小さくするためには、調節器 $G_N(S)$ のゲイン K_N は、アキュムレータ圧力が上下限を超えない限りは当然できるだけ小さい方がよい。そこで、図 2 に示した I, II, III の不感帯について、 K_N と吸収可能な最大ステップ外乱 $|\Delta q_L|_{max}$ との関係を求めて、図 4 を得た。

以上の方法によって設定した準最適な調節器 $G_N(s)$ と種々の容量のアキュムレータ $G_a(s)$ に対して、実際の幾つかの負荷 Δq_L を加えて、その応答を調べた結果、アキュムレータによって図 5 の例のような改善が見られた。

4. 結 論

理論的な解析によって図 1 のような一般的なボイラ・アキュムレータ制御系は図 3 のようなブロック線図に書き表わせることがわかった。

負荷変動に対して、比較的小さなアキュムレータでこのシステムを制御するときには調節器の不感帯幅を小さくとり、大きなアキュムレータでは、不感帯幅は大きくとれば良いことがわかった。

筆者が行なったこのシミュレーションの方法によれば、任意の形の蒸気負荷に対して、ボイラの負荷変動吸収能力に応じた適正なアキュムレータ容量を決定することができる。
 (1967 年 2 月 8 日受理)

文 献

- 1) 前田利春, 「アキュムレータ」 日刊工業新聞社
- 2) 第 2 回アキュムレータ研究会速記録
- 3) 山下英男, 電子計算機, アナログ計算機編・オーム社

