

立水管ボイラにおける自動設計法

(第1報 熱計算について)

片山 剛之丞, 砂原 照雄

Method of Automatic Design on Upright Water-Tube Boiler (I)

By Gonojo KATAYAMA and Teruo SUNAHARA

In case of the design of boiler, when we decided the catalogue, the main structure and the size, generally calculated heat calculation at the maximum heat load condition.

Then until designate capacity satisfied, redesign by changed hypothesis condition.

Then, it is so many hypothesis condition that the hand calculation have need of much time. Therefore, this report plan the systematization by computer and study to less on human power of design.

1. ま え が き

一般にボイラを設計する場合, その手順として Fig. 1 のフローチャートに示す方法がとられる。

- i) 客先から購入仕様書等で示された設計方針を尊重しつつ, 類似プラントの実績を参考にして, ボイラの基本的な形式, 主要な構造, 寸法が決定される。
- ii) 概略の計画の行われたボイラについて, 予想性能を算出する。そして, 過負荷, 部分負荷でまた, 燃焼方法を変えて各種の運転条件によって熱計算が行われる。
- iii) 予想の数値に対して, 性能値が希望のものかを判定する。
- iv) なんらかの問題点が予想された場合, それを解決する方向に設計変更を行う。
- v) 以上のステップでボイラ計画図が得られる程度まで計画を進め, 各部の詳細な構造寸法を決定する。

Fig. 1 でわかるように, ステップ2), 3), 4) について, 繰返して計算する必要があることがわかる。

とくに, ステップ2) については典型的な繰返し計算であり, 大型ボイラの場合です。一つの負荷について手計算で2~3日かかるのが普通である。このように熱計算についてのみ多大な時間を費やすことは, 創造的な設計を行う上でのネックとなる。

また, コンピュータの汎用化にともなって自動設計化を計られている部門は多いが, ボイラの設計における自動化に関するテーマをとり上げたものは少ないようである。

著者らは, このような点から考えて, ボイラの自動設計化についてとくに繁雑な繰返し計算を必要とする熱計算について検討を加えてみた。これは, 広島工業大学工学部機械工学科岩根研究室に設置されている。佐原製作所製の立水管ボイラ, エハラヘンセルボイラ HKL-250KS を用いて, 熱計算順序について電算機による解析を行うとともに, 実験によってもその結果の信頼性について確認を行なった。その結果, かなりの精度で計算値の信頼性が確認されたので, ここに紹介する。

なお, 本報では燃焼室の熱計算までについて報告し, さらに後部伝熱面については続報で紹介する予定であ

る。

記号表

HL	: 低位発熱量 (kcal/kg)
HH	: 高位発熱量 (kcal/kg)
LT	: 理論空気量 (Nm ³ /kg)
W	: 燃料中の水分の割合
H	: 燃料中の水素の割合
CO ₂ I	: 燃焼ガス中の CO ₂ の体積割合 (%)
CO ₂ M	: 完全燃焼した乾燥燃焼ガス中の CO ₂ の体積割合 (%)
E1	: 給水のエンタルピ (kcal/kg)
E01	: 飽和水のエンタルピ (kcal/kg)
E02	: 飽和蒸気のエンタルピ (kcal/kg)
VG T	: 理論燃焼ガス量 (Nm ³ /kg)
VG C	: 火炉における燃焼ガス量 (Nm ³ /kg)
VG 0	: 燃焼室における総燃焼ガス量 (Nm ³ /kg)
VG 1	: 乾燥排ガス量 (Nm ³ /kg)
VG 2	: ボイラ出口における総排ガス量 (Nm ³ /kg)
CPG	: 排ガスの平均比熱 (kcal/Nm ³ °C)
CPC	: 燃焼室出口ガスの平均比熱 (kcal/Nm ³ °C)
TG 1	: 排ガス温度 (°C)
T 0	: 大気温度 (°C)
T 1	: 平均火炎温度 (燃焼室出口温度) (°C)
T 01	: 燃焼室出口ガスの平均温度 (°C)
T 02	: ボイラ水の飽和温度 (°K)
R 0	: 排ガス中に含まれるススの割合
R 01	: 乾燥排ガスによる損失 (kcal/kg)
R 02	: CO による熱損失 (kcal/kg)
R 03	: ススによる熱損失 (kcal/kg)
R 04	: 燃えがら中の未燃損失 (kcal/kg)
R 05	: 雑損失 (kcal/kg)
R 06	: 放射による損失 (kcal/kg)
EATA	: ボイラ効率 (%)
WMAX	: 最大蒸発量 (kg/h)
B	: 燃料消費量 (kg/h)
BC	: 燃焼室で熱管ガスとなる燃料 (kg/h)
Q 1	: 全供給熱量 (kcal/h)
Q 2	: 燃焼ガス供給熱量 (kcal/h)
QQ	: 未燃損失熱量 (kcal/h)
QC	: 燃焼室伝熱面の熱吸収量 (kcal/h)
CE	: 有効放射係数 (kcal/m ² h°K ⁴)

A	: 全伝熱面積 (m ²)
A 1	: 燃焼室伝熱面積 (m ²)
LC	: 火炉における空気量 (Nm ³ /kg)
LL	: 燃焼室における供給空気量 (Nm ³ /kg)
AIRE	: 空気過剰係数

ボイラ仕様

形 式	: 立水管ボイラ
名 称	: エハラヘンセルボイラ HKL-250
K S	
最高使用圧力	: 10(kg/cm ²)
最大蒸発量 (換算蒸発量)	: 250(kg/h)
蒸気の種類	: 飽和蒸気
伝熱面積	: 4.45(m ²)
使用燃料	: A重油
燃焼方式	: 重油噴霧式バーナ燃焼
製造	: 荏原製作所

2. 計算方法

Fig. 2 に熱計算プログラムのフローチャートを示す。また、Fig. 3 には使用ボイラの縦断面図と、平面図を示す。

一般に、ボイラにおける熱計算は、Fig. 3 に示す燃焼室と第一伝熱面、第二伝熱面、さらに節炭器、空気予熱器などを合わせた、いわゆる後部伝熱面の2つに分けられる。

Fig. 2 に従って計算順序を説明すると、まず、データの読み込みが行われる。ここでは、すべての計算に必要な初期値を読込ませる。それには次に示すような項目について、データを入れる必要がある。

- i) 燃料の性状に関するデータ (燃料の組成、発熱量など)
- ii) 運転条件に関するデータ (蒸気、給水、圧力、温度および各種コントロール量、空気比など)

ここでは、燃料の組成について化学分析を行なわないので、発熱量測定により得られた値を、燃料の発熱量とする。

次に理論空気量及び理論ガス量は、空気過剰係数を最初に仮定し、理論的な空気過剰係数算出式 $AIRE2 = CO2M/CO2$ により求められる値と比較しながら、空気過剰係数を決定する。

本ボイラは、最高使用圧力が 10(kg/cm²) であるのでここでは、これに対する飽和蒸気の特異値を蒸気表¹⁾ によって求める。

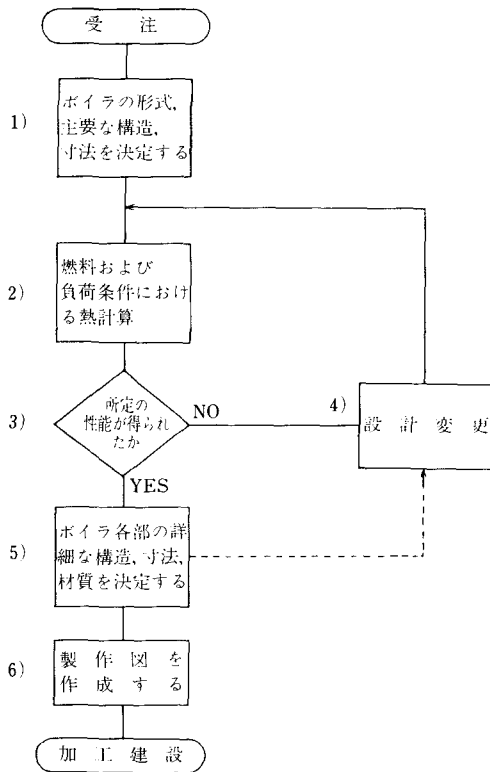


Fig. 1 ボイラの設計手順

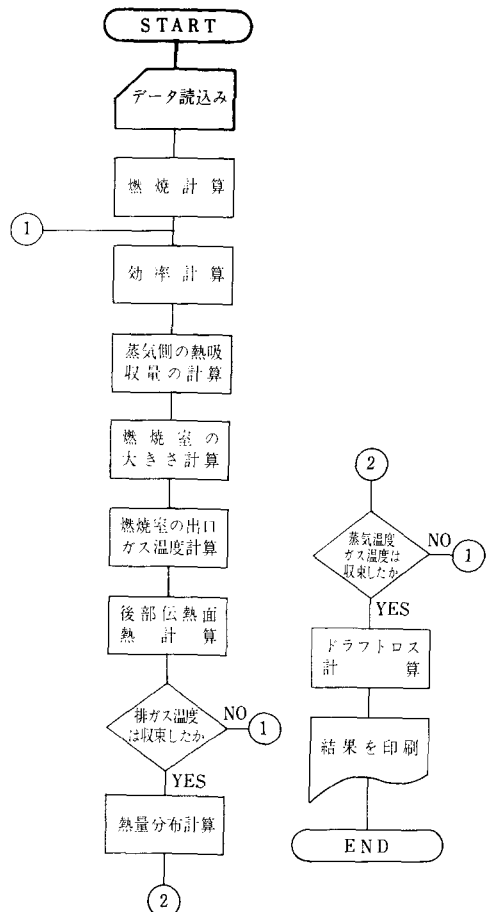
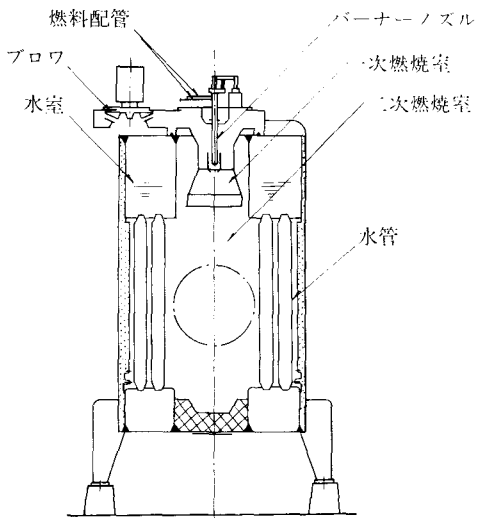
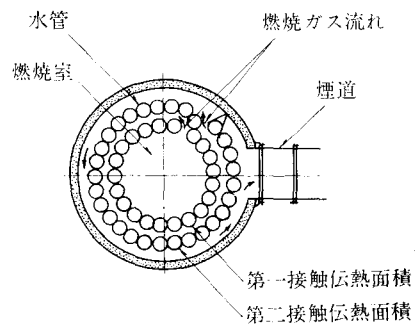


Fig. 2 熱計算順序



ボイラおよび燃焼室断面図



煙道断面図

Fig. 3 ボイラ構造図

次にボイラ効率 EATA を求めるわけであるが、これには、各種の熱損失を求め、さらに雑損失を仮定してすすめるのが一般的である。そこで、ボイラ効率の値に一番大きく影響を与える、乾燥排ガスによる熱損失を計算する。この値は、排気ガス温度の大きさに大きく依存するから、この温度の決定は慎重に行う。

また、この温度の推定にあたっては、重油中に含まれるイオウ分によって硫酸露点の上昇にともない、低温伝熱面等に硫酸が発生し、腐食あるいは流路閉塞などの事故を起すことになるから、法意する必要がある。そこで、ここでは、 $TG1 = 270(^{\circ}C)$ と仮定し以下の計算を進めていく。

その他の熱損失の中で、燃えがら中の未燃損失、放射による熱損失などについては、計測が出来にくいので、また、その他ボイラのブロー量、安全弁の吹出し等の熱損失があるが、これらは雑損失の一部とみなして、仮定する。

ボイラ効率 EATA が求まれば、ボイラ効率の定義²⁾より燃料消費量を定める。

以上の値よりボイラ側の吸収熱量を計算していく。次に、燃焼室の大きさを定めるわけであるが、本報ではボイラの大きさが既知であるので省略する。このときに燃焼室における必要伝熱面積が決められることになる。

3. プログラム

燃焼室の大きさがわかると、ボイラ燃焼室出口ガス温度および、燃焼室伝熱面（一般には水冷壁伝熱面）における熱吸収量を計算する。

普通、伝熱面側の熱吸収量を求めるためには、QC の式によってなされる。一方燃料によって供給される総熱量から、燃焼室を出る燃焼ガスの保有熱量を差引いたもの QC1 が QC と等しくなるはずであるから、 $QC = QC1$ における燃焼室出口ガス温度 T01 ($^{\circ}C$) を見出せばよいことになり、ここで、燃焼室出口ガス温度が決定される。

```
begin
  real HL, HH, W, H, LT, AIRE1, VGT, CO2M,
    CO21, AIRE2, CO2, CO, CPG, TG1, T0, R0,
    R01, R02, R03, R04, R05, R06, LC, VGC,
    VG0, EATA, B, WMAX, E02, E1, E01,
    WQ1, WQ2, WQ3, Q1, QQ, Q2, BC, VG1, L,
    VG2, A, A1, D, N, L, N1, QC, CE, T1, T02,
    QC1, CPC, T01;
```

```
HAJIME : Read real(HH); if HH=99999.9 then
  go to END; Read real(H); Read real(W)
; Read real(CO21); Read real(AIRE1);
  Read real(CO2); Read real(CPG); Read
  real(TG1); Read real(T0); Read real(CO)
; Read real(R0); Read real(R04); Read
  real(R05); Read real(R06); Read real
  (WMAX); Read real(E02); Read real(E1);
  Read real(E01); Read real(D); Read real
  (N); Read real(L); Read real(N1); Read
  real(CE); Read real(T1); Read real(T02);
  HL=HH-600.0*(W+9.0*H);

START1 :
  LT=12.38*AIRE1*(HL-
    1100.0)/10000.0;
  VGT=(12.38+3.37)*(HL-
    1100.0)/10000.0-2.18;
  CO2M=CO21/(CO21+LT*0.79);
  AIRE2=CO2M/CO2;
  if abs(AIRE1-AIRE2)<0.005 then
  begin
    CRLF; Print string('LT,'); Print real
    (LT,10); Print string('VGT,'); Print
    real(VGT,10); Print string('CO2M,');
    Print real(CO2M,10); CRLF; Print
    string('AIRE1=,'); Print real(AIRE1,7)
    ; Print string('AIRE2=,'); Print real
    (AIRE2,10) CRLF;
  end else
  begin
    if abs(AIRE1-AIRE2)>=2.1 then
    begin
      CRLF; Print string('AIRE1=INITIA-
        L ERROR,')
      CRLF;
    end else
    begin
      AIRE1=AIRE1+0.01;
      go to START1;
    end;
  end;
  LC=AIRE2*LT;
  VGC=VGT+(AIRE2-1.0)*LT;
  VG0=VGC-22.4*((W+9.0*H)/100.0)/
```

```

18.0;
R01=VG0*CPC*(TG1-T0);
R02=VG0*CO*3050.0/100.0;
R03=R0*VG0*8100.0;
EATA=(1.0-(R01+R02+R03+R04+
R05+R06)/HL)*100.0;
B=100.0*WMAX*(E02-E1)/(HL*EAT-
A);
WQ1=WMAX*(E01-E1);
WQ2=WMAX*(E02-E01);
WQ3=WMAX*(E02-E1);
Q1=B*HL;
QQ=Q1*R04/HL;
Q2=Q1-QQ;
BC=Q2/HL;
VG1=BC*VGC;
LL=BC*LC;
VG2=BC*VGC;
A=3.14*D*N*L;
A1=A*N1/N/2;
START2:
QC=1.10*CE*A1*((T1/100.0)**4-(T02
/100.0)**4);
T01=T1-273.0;
CPC=3.85*0.00001*T01+0.33;
QC1=BC*(HL-VGC*CPC*T01);
if abs(QC-QC1)<400 then
begin
  CRLF;Print string('QC,');Print real(QC,
10);Print string('QC1,');Print real(QC1,
10);CRLF;Print string('T01=,');Print
real(T01,10);CRLF;
end else
begin
  T1=T1+1;
  go to START2;
end;
CRLF;Print string('LC,');Print real(LC,
10);Print string('VGC,');Print real(VGC,
10);CRLF;Print string('VG0,');Print
real(VG0,10);Print string('R01,');Print
real(R01,10);CRLF;Print string('R02,')
;Print real(R02,10);Print string('R03,')
;Print real(R03,10);CRLF;Print string

```

```

('EATA,);Print real(EATA,10);Print
string('B,);Print real(B,10);CRLF;Print
string('WQ1,);Print real(WQ1,10);Print
string('WQ2,);Print real(WQ2,10);CRL-
F;Print string('WQ3,);Printreal(WQ3,
10);Print string('Q1,);Print real(Q1,10);
CRLF;Print string('QQ,);Printreal(QQ,
10);Print string('Q2,);Print real(Q2,10);
CRLF;Print string('BC,);Printreal(BC,
10);Print string('LL,);Printreal(LL,10)
;CRLF;Print string('VG2,);Print real
(VG2,10);Print string('W,);Print real
(W,10);CRLF;Print string('H,);Print
real(H,10);Print string('CPC,);Print
real(CPC,10);CRLF;Print string('TG1,')
;Print real(TG1,10);Print string('T0,')
;Print real(T0,10);CRLF;Print string
('CO,);Print real(CO,10);Print string
('R0,);Print real(R0,10);CRLF;Print
string('VG1,);Print real(VG1,10);Print
string('WMAX,);Print real(WMAX,10)
;CRLF go to HAJIME;

```

```

END;
end;

```

4. あとがき

本報では、燃焼室出口ガス温度を決めるところまでを報告したが、以下の後部伝熱面における熱計算については、第2報で報告する。

なお、本報をまとめるにあたり多大な御協力をいただいた、本学電子計算機室玉野正代助手、ならびに、本学電子工学科柏原美喜、および研究室の岡田敏幸、豊田雅弘の各学生諸君に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本機械学会, 蒸気表 (1969)
- 2) 石谷, 赤川, 蒸気工学, コロナ社 pp. 152-188
- 3) 江草, 植田, 機械設計製図演習2 (ボイラ編)
- 4) 中島編, 設計シリーズ6, 自動設計, 丸善 pp. 163-176