

JAERI-M  
5 1 6 4

ガスタービンサイクルの特性解析

1973年2月

武藤 康・梶山 武義

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

## ガスタービンサイクルの特性解析

日本原子力研究所動力炉開発管理室

武藤 康・梶山武義

(1973年2月10日受理)

閉サイクル原子炉-ガスタービン直結プラントの定常特性の解析を行つた。種々の設計因子(原子炉入口温度, 原子炉出口温度, 系の最高圧力, タービン圧力比, 系の圧力損失, 中間冷却段数)の熱効率, 比出力への影響を調べた。熱交換器の特性の影響についても, 熱交換器の2重管モデルにより簡単な考察を行つた。主な検討の結果として次の事柄が知られた。

原子炉出口温度1000℃, 圧力損失12%, 2段中間冷却, タービン圧力比2.3~3.0で熱効率49.0%が得られる。原子炉出口温度が100℃上昇すると熱効率は4~5%向上する。1段中間冷却により熱効率は2.5%向上するが, 2段目では0.5%向上するに過ぎない。熱交換器の容量と圧力損失の関係から考えて, 圧力損失と圧力の比 $\Delta P/P$ を一定として圧力比の影響を考へることは妥当である。 $\Delta P/P$ が10%増すと熱効率は約4%低下する。系の最高圧力は, 機器の大きさに従つて圧力損失に影響する。あまり低い原子炉入口温度は熱効率に悪影響を及ぼす。原子炉出口温度が1000℃であれば, 500℃以上の原子炉入口温度が必要である。ターボ機械の効率が10%変化すると熱効率は10%変化する。

## Analysis on the Gas-Turbine Cycle Characteristics

Yasushi MUTO, Takeyoshi KAJIYAMA

Office of power Reactor Projects, Tokai, JAERI

(Received February 10, 1973)

Steady-state characteristics of the closed-cycle gas turbine in a reactor plant have been studied analytically, i. e. the thermal effects of design parameters, including the reactor inlet and outlet temperatures, system maximum pressure, turbine pressure ratio, system pressure loss, and the number of inter-cooling stages. Characteristics of a heat exchanger are also examined, with the simple, annular-pipe exchanger model.

The maximum thermal efficiency of 49.0 % is obtained at reactor outlet temperature 1000°C, pressure loss 12%, the number of inter-cooling stages 2, and turbine pressure loss 2.3~3.0. The thermal efficiency rises by 4~5% by the increase of 100°C in reactor outlet temperature. It then rises by 2.5% by using one stage inter-cooling, but this gain reduces to 0.5% in addition of the second inter cooling stage. It is reasonable to observe the effect of pressure ratio on the thermal efficiency with constant pressure loss to pressure ( $\Delta P/p$ ), because of the relation between heat exchanger capacity and its pressure loss. With the increase of  $\Delta P/p$  by 10%, the thermal efficiency decreases by about 4%. Maximum system pressure influences the system pressure loss, via geometrical changes in the components. In order to obtain the high thermal efficiency, the reactor inlet temperature should not be low. With the reactor outlet temperature of 1000°C, it should be higher than 500°C. The thermal efficiency changes by 10% by 10% changes of the compressor and turbine efficiencies.

## 目 次

まえがき	1
1. 基礎概念	2
1.1 サイクルの構成と原理	2
1.2 理想単純サイクルの特性	3
1.3 単純サイクルの特性	4
1.4 再生サイクルの特性	5
1.5 圧力損失の影響	6
1.6 圧力の影響	11
1.7 中間冷却の影響	11
1.8 ターボ機械効率の影響	12
2. 再生サイクルの特性	20
2.1 再生熱交換器の対数平均温度差一定の場合	20
2.2 原子炉入口温度に制限がある場合	21
3. 中間冷却サイクルの特性	26
3.1 再生熱交換器の対数平均温度差一定の場合	26
3.2 原子炉入口温度に制限がある場合	26
4. 2段中間冷却再生サイクルの特性	32
4.1 再生熱交換器の対数平均温度差一定の場合	32
4.2 原子炉入口温度に制限がある場合	32
5. 計算コード	40
5.1 コードの構成	40
5.2 入力形式	41
5.3 出力形式	43

## ま え が き

ガスタービンと高温ガス炉の組合せによるガスタービン閉サイクルプラントは、従来の蒸気サイクル発電プラントよりも高熱効率でかつ資本費の廉価な発電プラントとなり得るものと期待されている。これに関しては、設計例、動特性解析、機器、材料の問題に関する報告が幾つかなされている。サイクルの定常特性に関してはほとんど明かにされているが、プラント設計上はより詳細なデータが必要であるので、サイクル計算コード“GASTUR-II”を作成し、出来る限り総合的な検討を行うことにした。検討に際しては、熱経済性の目安となる熱効率と、資本費の目安となる比出力(単位流量あたりの出力)に注目してこれを行つた。

前半に各設計因子(ガス温度、ガス圧力、圧力損失、熱交換器特性、中間冷却段数、ターボ機械効率等)の影響を研究し、後半においては再生サイクル、中間冷却サイクル、2段中間冷却サイクルにおける計算を行い、どの程度の熱効率、比出力の値が得られるかを調べた。

実際のプラントにおいては、圧縮機からタービンへのバイパス流、タービン羽根の冷却流が影響するが、ここではこれについては検討を省略した。

## 1. 基礎概念

## 1.1 サイクルの構成と原理

基本的なガスタービンサイクル (Brayton Cycle) は, Fig. 1 (a) に示すように加熱器 (原子炉), ガスタービン, 冷却器, 圧縮機より構成されている。更に一般的には, 熱効率を高めるため, 圧縮機を数段に分割して, 間に冷却器をはさむサイクルが用いられる。Fig. 1 (c) にサイクルの  $i-s$  線図を示す。空気, ヘリウム, 炭酸ガス, 燃焼ガスなどの作動ガスは加熱器で加熱されて (2→3) 高温となり, タービンでの膨張 (3→4) により熱エネルギーを運動エネルギーに変えて仕事をし, 温度, 圧力が低下する。続いて作動ガスは冷却器で冷却され (4→1) 低温ガスとなつて圧縮機に入り, 圧力を回復して (1→2) 加熱器に戻され, サイクルが完成される。ガスタービンを出るガス(4)は, 一般にかなり高温であるので, 再生熱交換器を設けて, 圧縮機を出るガス(2)を予熱することにより有効利用するようにする。圧縮機はタービンで駆動される。従つてタービンで発生する仕事から, 圧縮機で消費される動力を差し引いたものが外へ取り出される仕事となる。

膨張あるいは圧縮の前後の温度, 圧力を  $T_1, P_1, T_2, P_2$  とすると, この過程が断熱であれば, 次式で表される。 $i-s$  線図では 3→4, 1→2 となる。

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

$k$  は定圧比熱と定積比熱の比であつて, ガスの種類により定まる定数である。 $k$  の値は, ヘリウム 1.66, 空気 1.40, 炭酸ガス 1.30, 燃焼ガス 1.33 等である。膨張または圧縮による仕事は,  $T_1 - T_2$  に比例し,

$$T_1 - T_2 = T_1 \left\{ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right\} \quad (2)$$

と表される。

この式は圧力比  $P_2/P_1$  を一定とすると, 膨張または圧縮の仕事は絶対温度に比例することを示している。即ち低温で圧縮し高温で膨張させれば, その差を仕事として取り出し得る。これがガスタービンサイクルの原理である。 $i-s$  線図上では, 等圧線  $P_1 = \text{一定}$ ,  $P_2 = \text{一定}$  は温度が高くなるにつれて開く曲線になる。即ち断熱変化のエンタルピー差 (仕事量) は, 温度が高くなるにつれて大きくなることが知られる。 $i_3 - i_4$ ,  $i_2 - i_1$  がそれぞれタービン仕事, 圧縮機仕事に相当している。再生熱交換器が設置されている場合,  $i_3 - i_5$  は加熱量,  $i_6 - i_1$  が冷却量である。従つて  $(i_3 - i_4) - (i_2 - i_1)$  または  $(i_3 - i_5) - (i_6 - i_1)$  が外部に取り出される仕事に相当し, これと入力熱量  $i_3 - i_5$  の比がサイクル熱効率となる。 $i_5 - i_2 = i_4 - i_6$  の熱量は熱交換器内に蓄えられているだけでサイクル熱効率には関係しない。

以上のことから次の事柄が知られる。

(1) 出来るだけサイクル最低温度が低く, サイクル最高温度が高い方が熱効率が良い。サイ

クル最低温度は設置場所の自然条件（海水温度または大気温度）によつて決められるので、熱効率は専らサイクル最高温度に依存する。

- (2) 圧力比  $P_2/P_1$  が小さい方がタービン仕事と圧縮機仕事との比が高まる。
- (3) 圧力比  $P_2/P_1$  が大きい方がタービン仕事は大きくなる。
- (4) 膨張過程、圧縮過程を分割し、再熱、中間冷却を行うとタービン仕事と圧縮機仕事との比が高まる。

## 1.2 理想単純サイクルの特性

Fig. 1(a)に示す機器接続で、膨張、圧縮の過程が断熱変化 (Fig. 1(c) で  $3 \rightarrow 4'$ ,  $1 \rightarrow 2'$ ) であるサイクル。

この場合の熱効率は次式で表される。

$$\eta = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \quad (3)$$

サイクルの有効仕事（タービン出力－圧縮機動力）とサイクル最低温度に相当するエンタルピーの比を比出力  $L_{eff}$  と定義すると、単位ガス流量あたり取り出し得る仕事量、従つて単位出力あたりの機器の大きさの目安となる。この場合の比出力は次式の様になる。

$$\begin{aligned} L_{eff} &= \left\{ 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \right\} \left\{ \frac{T_3}{T_1} - \pi^{\frac{k-1}{k}} \right\} \\ &= \eta \left\{ \frac{T_3}{T_1} - \pi^{\frac{k-1}{k}} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{ここで } \pi = \frac{P_2}{P_1}$$

即ち熱効率  $\eta$  は圧力比  $\pi$ 、比熱比  $k$  にのみ依存し、サイクル最高温度  $T_3$  および最低温度  $T_1$  には関係しない。圧力比  $\pi$  が大きいほど熱効率は高い (Fig. 2 参照)。比出力  $L_{eff}$  はサイクル最高温度が高いほど大きくなる。圧力比に対する比出力の勾配を調べると次式のようになり、 $\pi$  が小さい間は正であるが、 $\pi$  が  $\frac{2(k-1)}{k} \sqrt{\frac{T_3}{T_1}}$  を超えると負になる、即ち比出力は減少に転ずることが分る。

$$\frac{\partial L_{eff}}{\partial \pi} = \frac{\frac{k-1}{k}}{\pi} \left( -\pi^{\frac{k-1}{k}} + \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \right) \quad (5)$$

計算 (Fig. 3) によると、圧力比 (1~5) 程度では、圧力比が大きくなるに従い比出力が大きくなっている。

Fig. 2, Fig. 3 には比熱比  $k$  の影響を調べるため、燃焼ガス ( $k = 1.33$ ) の結果を併せて

示してある。kは常に圧力比 $\pi$ の指数として関係してくるのでkの効果は圧力比の効果と同じと考えてよい。

### 1.3 単純サイクルの特性

Fig. 1(a)に示す機器接続で、膨張、圧縮の過程が断熱でない場合のサイクル。

膨張過程、圧縮過程の計算は次の効率を用いて行うことにする。

$$\begin{aligned} \text{タービン断熱効率 } \eta_T &= \frac{\text{実際の過程のエンタルピー降下}}{\text{断熱過程のエンタルピー降下}} \\ &= \frac{i_3 - i_4}{i_3 - i_4'} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{圧縮機断熱効率 } \eta_K &= \frac{\text{断熱過程のエンタルピー上昇}}{\text{実際の過程のエンタルピー上昇}} \\ &= \frac{i_2' - i_1}{i_2 - i_1} \end{aligned} \quad (7)$$

$\eta_T$ 、 $\eta_K$ の値は、通常85~90%である。本レポートでは、以下の計算では全て90%の値を用いている。 $\eta_T$ 、 $\eta_K$ が他の値をとる場合については1.8で述べる。

サイクル熱効率は次の様になる。

$$\eta = \frac{\eta_K \eta_T \frac{T_3}{T_1} - \pi^{\frac{k-1}{k}}}{\eta_K \left( \frac{T_3}{T_1} - 1 \right) + 1 - \pi^{\frac{k-1}{k}}} \left( 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \right) \quad (8)$$

理想サイクルで圧力比のみに依存していた熱効率は、ここでは最高温度と最低温度の比に依存するようになる。圧力比、 $T_3/T_1$ を変数として計算した結果をFig. 4に示す。圧力比が増すに従い、理想サイクルでは無制限に熱効率が増したが、この場合にはターボ機械の断熱効率のために極大値が現れ、また圧力比が大きい所では熱効率の低下が甚しい。実際のターボ機械の効率は80~90%なのでこのサイクルは実用的でない。

比出力は次の通りである。

$$L_{\text{eff}} = \left( \eta_T \cdot \frac{T_3}{T_1} - \frac{1}{\eta_K} \pi^{\frac{k-1}{k}} \right) \left( 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \right) \quad (9)$$

圧力比、 $T_3/T_1$ を変数として計算した結果をFig. 5に示す。比出力に関しては理想サイクルと同様の傾向を示している。

熱効率、比出力に関し、タービン効率 $\eta_T$ の影響は、圧縮機効率 $\eta_K$ の影響よりも著しい。



$\eta_K, \eta_T$  の定量的影響については1.8 に示される。

#### 1.4 再生サイクルの特性

Fig. 1(b)に示す機器接続のサイクルである。この場合再生熱交換器(蓄熱器)の設置によりタービンより放出されるガスの熱が有効利用されるので熱効率が向上する。Fig. 1(c)で  $i_4 - i_6$  の熱量が供給され、 $i_5 - i_2$  の熱量が吸収される。理想的にはタービン出口温度  $T_4$  と圧縮機出口温度  $T_2$  の差に相当する熱量が伝達されるはずであるが、実際には温度差  $\Delta T_m$  (対数平均温度差) が熱交換に必要であるために、伝熱量  $i_4 - i_6$  は  $i_4 - i_2$  よりも小さくなる。この割合を示すものとして熱交換器温度効率  $\eta_R$  が次のように定義され用いられる。

$$\eta_R = \frac{\text{実際に交換される熱量}}{\text{理想的に交換される熱量}} = \frac{i_4 - i_6}{i_4 - i_2} \quad (10)$$

$\Delta T_m$  は次式で定義される。

$$\Delta T_m = \frac{(T_4 - T_5) - (T_6 - T_2)}{\ln \frac{T_4 - T_5}{T_6 - T_2}} \quad (11)$$

ヘリウムの場合は定圧比熱は圧力に依らないので、

$$C_P(T_4 - T_6) = C_P(T_5 - T_2) \quad (12)$$

より、 $T_4 - T_5 = T_6 - T_2$  であり、従つて

$$\Delta T_m = T_4 - T_5 = T_6 - T_2 \quad (13)$$

である。

$\Delta T_m$  と  $\eta_R$  との関係は次の様になる。

$$\eta_R = 1 - \frac{\Delta T_m}{T_4 - T_2} \quad (14)$$

サイクル熱効率は次式で示される。

$$\eta = \frac{\left(1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}\right) \left(\frac{T_3}{T_1} - \pi^{\frac{k-1}{k}}\right)}{\left(1 - \frac{\eta_R}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}\right) \frac{T_3}{T_1} - (1 - \eta_R) \pi^{\frac{k-1}{k}}} \quad (15)$$

もし  $\eta_R = 100\%$  即ち理想再生サイクルでは

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (16)$$

となる。比出力に関しては単純サイクル(非再生サイクル)と同じになる。

熱効率を  $\eta_R$  を変数として示すと Fig. 6,  $\Delta T_m = 50^\circ\text{C}$  として示すと Fig. 7 の様になる。この図は、タービン排気温度と圧縮機出口温度が一致し、再生熱交換器の設置が不可能になる圧力比(再生サイクルと単純サイクルの曲線の一致する点)以下の圧力比の範囲では、熱効率が著しく向上することを示している。もしも伝熱が理想的に行われる( $\Delta T_m = 0, \eta_R = 100\%$ )とすれば、圧力比が小さいほど熱効率は良くなる。これは圧力比が小さいほど、膨張過程がより高温で、かつ圧縮過程がより低温で行なわれるためである。圧力比を小さくすると膨張圧縮が有効に行われ、仕事量自体は小さくなるが一方実際の過程では熱交換器対数平均温度差に対応する入力熱量が必要であり、この熱量は減少しないので入力熱量は仕事量ほど小さくならず、従つて熱効率が低下し、圧力比 1 では 0 となる。即ち圧力比により熱効率に極大値が存在することになる。

$\Delta T_m$  と  $\eta_R$  の関係式(4)で明かなように、 $\Delta T_m = \text{一定}$  として圧力比を大きくすると、タービン排気温度  $T_4$  が低くなることにより  $\eta_R$  が小さくなる。従つて  $\eta_R = \text{一定}$  とした曲線 (Fig. 6) と、 $\Delta T_m = \text{一定}$  とした曲線 (Fig. 7) では、最適圧力比の生ずる点が、 $\Delta T_m = \text{一定}$  の曲線の方が左にずれる傾向がある。特性解析を行う場合、 $\Delta T_m = \text{一定}$  とする方が良いか、 $\eta_R = \text{一定}$  とする方が良いか、問題であるが、 $\eta_R$  よりも  $\Delta T_m$  の方がより基本的な変数であることを考え、以下  $\Delta T_m = 50^\circ\text{C}$  (一定) として特性解析を行う。

### 1.5 圧力損失の影響

ガスタービンサイクルは、タービンと圧縮機における膨張、圧縮のエネルギー差を仕事として取り出すものであるから、その熱効率は圧力損失により大きく影響される。圧力損失は原子炉、再生熱交換器、冷却器等の熱交換器および配管において生ずる。ここではこれらの圧力損失が熱効率に及ぼす影響の違い、大きさを調べる。

Fig. 1(b) の再生サイクルについて考える。中間冷却を行つた場合にも全く同様に考えられる。

圧力損失をそれぞれ次の様におく。

原子炉圧力損失	$\Delta P_1$
冷却器圧力損失	$\Delta P_2$
再生熱交換器 高压側圧力損失	$\Delta P_3$
再生熱交換器 低压側圧力損失	$\Delta P_4$

タービン効率  $\eta_T$ , 圧縮機効率  $\eta_K$ , 圧縮機入口温度, 圧力  $T_1, P_1$ , 圧縮機出口圧力  $P_2$ , タービン入口温度  $T_3$  とすると、サイクル熱効率  $\eta$  は次式で表わされる。

$$\eta = \frac{1 - \left( \frac{P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_4}{P_2 - \Delta P_1 - \Delta P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} + \frac{T_1}{\eta_K \eta_T T_3} \left\{ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right\}}{1 - \left( \frac{P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_4}{P_2 - \Delta P_1 - \Delta P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} + \frac{\Delta T_m}{\eta_T T_3}} \quad (17)$$

この式から  $\Delta P_1$  と  $\Delta P_3$  および  $\Delta P_2$  と  $\Delta P_4$  は全く等価であることが分る。従つて次の様に表わせば

十分である。

$$\text{高圧側圧力損失} \quad \Delta P_H = \Delta P_1 + \Delta P_3$$

$$\text{低圧側圧力損失} \quad \Delta P_L = \Delta P_2 + \Delta P_4$$

従つて(17)式は次のようになる。

$$\eta = \frac{1 - \left(\frac{P_1 + \Delta P_L}{P_2 - \Delta P_H}\right)^{\frac{k-1}{k}} + \frac{T_1}{\eta_K \eta_T T_3} \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right\}}{1 - \left(\frac{P_1 + \Delta P_L}{P_2 - \Delta P_H}\right)^{\frac{k-1}{k}} + \frac{\Delta T_m}{\eta_T T_3}} \quad (18)$$

ここで  $\frac{\Delta P}{P}$  が 1 に比し十分小さいとして、2次以上の項を無視すると次式を得る。

$$\eta = \eta_0 - \Delta \eta_P \quad (19)$$

ここで  $\eta_0$  ; 圧力損失 0 の場合の熱効率

$\Delta \eta_P$  ; 圧力損失による熱効率低下分

$$\eta_0 = \frac{\left\{ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} \left\{ 1 - \frac{T_1}{\eta_K \eta_T T_3} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right\}}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 + \frac{\Delta T_m}{\eta_T T_3} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

$$\Delta \eta_P = \frac{\frac{\frac{k-1}{k} T_1}{\eta_K \eta_T T_3} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \left\{ \frac{\eta_K \Delta T_m}{T_1} + \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\}}{\left\{ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 + \frac{\Delta T_m}{\eta_T T_3} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right\}} \left( \frac{\Delta P_L}{P_1} + \frac{\Delta P_H}{P_2} \right)$$

この式から次のことが分る。

(1) 熱効率の低下  $\Delta \eta_P$  は、圧力損失の増加  $\sum \frac{\Delta P}{P}$  に比例する。

(2) 低圧側圧力損失は高圧側圧力損失よりも影響が大きい。

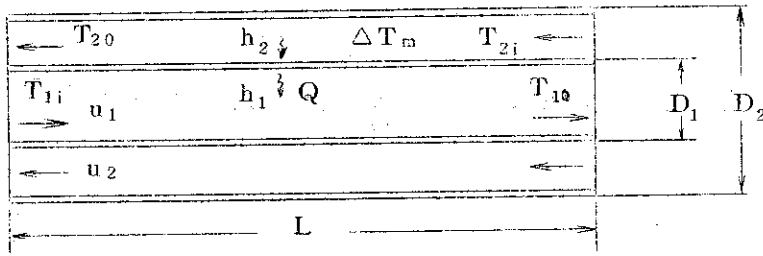
$\frac{\Delta P}{P}$  を変え熱効率の計算を行つると Fig. 8 に示すようになる。図の曲線は  $\sum \frac{\Delta P}{P}$  と  $\Delta \eta_P$  の比例関係を裏付けている他、圧力損失  $\sum \frac{\Delta P}{P}$  が 10% 増加する時、熱効率は 4~5% 程度低下することを示している。熱効率の低下の度合は、段数が増すに従い小さくなつてゐる。

以上のことから各熱交換器の  $\frac{\Delta P}{P}$  がほぼ一定になるように設計する方がよいこと、 $\frac{\Delta P}{P} =$

定とし特性解析をすると圧力および圧力損失の影響は一定に保たれ、他の因子間の関係を明らかにし易いことが知られる。しかし、例えば再生熱交換器を考えると高圧側圧力損失と低圧側圧力損失をこの様に規定すると熱設計上不都合が生じないか、また圧力比を増す場合、低圧側圧力が低下し、同時に熱交換器容量が小さくなるので、このことが  $\frac{\Delta P}{P} = \text{一定}$  と矛盾しないかという疑問が生ずる。従つて以下これらの問題について検討する。

(1) 再生熱交換器の高圧側と低圧側の熱設計上の関係

再生熱交換器の場合、高圧側熱伝達率と低圧側熱伝達率が同程度の値でないと設計上不利なので、このことが高圧側圧力損失と低圧側圧力損失にどのように影響するかを調べる。ここではモデルとして次の様に最も簡単な2重管構造を考える。



$T_{1i}, T_{1o}$	管側入口, 出口ガス温度	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{2i}, T_{2o}$	胴側入口, 出口ガス温度	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$u_1, u_2$	管側, 胴側ガス流速	[ $\text{m}/\text{sec}$ ]
$D_1, D_2$	管側, 胴側直径	[ $\text{m}$ ]
$g$	重力加速度	[ $\text{m}/\text{sec}^2$ ]
$\Delta T_m$	対数平均温度差	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$L$	管長	[ $\text{m}$ ]
$\gamma_1, \gamma_2$	管側, 胴側ガス比重量	[ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$C_{P1}, C_{P2}$	管側, 胴側ガス定圧比熱	[ $\text{Kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ]
$\lambda_1, \lambda_2$	管側, 胴側ガス熱伝導率	[ $\text{Kcal}/\text{m hr}^{\circ}\text{C}$ ]
$\nu_1, \nu_2$	管側, 胴側ガス動粘性係数	[ $\text{m}^2/\text{sec}$ ]
$P_{r1}, P_{r2}$	管側, 胴側ガスプラントル数	

管内流熱伝達式

重量流量  $G_1 = 3600 \times \frac{\pi}{4} D_1^2 u_1 \gamma_1$  [ $\text{kg}/\text{hr}$ ] (20)

伝熱量  $Q = C_{P1} G_1 (T_{1o} - T_{1i})$  [ $\text{Kcal}/\text{hr}$ ] (21)

レイノルズ数  $Re_1 = \frac{u_1 D_1}{\nu}$  (22)

熱伝達率  $h_1 = 0.023 \frac{\lambda_1}{D_1} Re_1^{0.8} Pr^{0.4}$  [ $\text{Kcal}/\text{m}^2 \text{hr}^{\circ}\text{C}$ ] (23)

管外流熱伝達式

重量流量  $G_2 = 3600 \times \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) u_2 \gamma_2$  (24)

伝熱量  $Q = C_{P2} G_2 (T_{20} - T_{2i})$  (25)

水力直径  $D_H = D_2 - D_1$  (26)

レイノルズ数  $Re_2 = \frac{u_2 D_H}{\nu_2}$  (27)

熱伝達率  $h_2 = 0.023 \frac{\lambda_2}{D_H} Re_2^{0.8} Pr_2^{0.4}$  (28)

熱通過式

熱貫流率  $K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}}$  (Kcal/m<sup>2</sup> hr°C) (29)

伝熱量  $Q = K \cdot \pi D_1 L \cdot \Delta T_m$  (30)

管内流圧力損失式

$\Delta P_1 = 4 \times 0.079 Re_1^{-\frac{1}{4}} \cdot \frac{r_1 u_1^2}{2g} \cdot \frac{L}{D_1}$  (Kg/m<sup>2</sup>) (31)

管外流圧力損失式

$\Delta P_2 = 4 \times 0.079 Re_2^{-\frac{1}{4}} \cdot \frac{r_2 u_2^2}{2g} \cdot \frac{L}{D_H}$  (32)

高圧側、低圧側ガスの熱伝導率、プラントル数、静粘性係数が等しいと仮定し、 $h_2$  と  $h_1$ 、 $\frac{\Delta P_2}{P_2}$  と  $\frac{\Delta P_1}{P_1}$  の比を求めると次の様になる。

$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{\frac{D_2}{D_1} - 1} \left( \frac{1}{\frac{D_2}{D_1} + 1} \right)^{0.8}$  (33)

$\frac{\Delta P_2/P_2}{\Delta P_1/P_1} = \frac{1}{\left(\frac{D_2}{D_1} - 1\right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1} + 1\right)^{1.75}} \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2$  (34)

$= C \left(\frac{D_2}{D_1}\right) \cdot \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2$

$D_2/D_1$  を変数として  $h_2/h_1$ 、 $C(D_2/D_1)$  を図示すると Fig. 9 の様になる。この図より次のことが知られる。

- a)  $D_2/D_1 = \sqrt{2}$  即ち流路断面積が等しい場合、熱伝達率  $h_1 \sim h_2$  となり熱設計上都合が良い。
- b)  $D_2/D_1$  の変化に対し、圧力損失比係数  $C(D_2/D_1)$  は熱伝達率比  $h_2/h_1$  よりも遙かに敏感である。つまり  $C(D_2/D_1)$  の値を 10 程度にしても、 $h_2/h_1$  の値は 2~3 程度であり、熱設計上それほど支障はない。

c)  $h_2 = h_1$  の時,  $C(D_2/D_1) = 1.8$  なので  $\frac{\Delta P_2}{P_2} / \frac{\Delta P_1}{P_1} = 1$  とするためには  $(\frac{P_1}{P_2})^2 = 0.5$  となり,  $P_1$  即ち管側が低圧の方が都合が良い。この時の圧力比は 1.5 である。

d) 圧力比 = 2.0, 3.0, 4.0 とすると, この時の  $h_2/h_1 = 1.4, 1.7, 2.1$  であり熱設計上それほど不利ではない。

以上のことから  $\Delta P_H/P_H \approx \Delta P_L/P_L$  として設計することは十分可能であると云える。

(2) 圧力比と熱交換器容量, 圧力損失の関係

(1)の場合と同じ熱交換器モデルを考える。(23), (28)式を(29)式に代入すると熱貫流率は次式で与えられる。

$$K = 0.023 \frac{\lambda}{D_1} R_{e1}^{0.8} P_r^{0.4} \frac{1}{1 + \frac{D_2 - D_1}{D_1} \left( \frac{D_2 + D_1}{D_1} \right)^{0.8}} \quad (35)$$

$D_2 = \sqrt{2} D_1$  とし(30)式を用いると

$$Q = 0.0125\pi L \Delta T_m R_{e1}^{0.8} P_r^{0.4} \quad (36)$$

管内圧力損失については次式を用いる。

$$\Delta P = 4 \left( 0.0014 + 0.125 R_{e1}^{-0.32} \right) \frac{\gamma_1 u_1^2 L}{2g D_1} \quad (37)$$

ここで  $D_1 = 1cm$ ,  $L = 30m$ ,  $\Delta T_m = 50C$ , 物性値の基準温度  $500C$  とし, 流速を変数として  $Q$ ,  $\Delta P$  を求め, 対応する  $Q$ ,  $\Delta P$  を図示すると Fig. 10 の様になる。この図は, ある一定形状寸法の熱交換器に対する伝熱量と圧力損失の関係を示している。これを式化すると次のようになる。

$$\Delta P = \frac{2.6}{P} Q^{2.16} \quad (38)$$

即ち同一の熱交換器で考えると圧力損失は圧力に反比例し, 伝熱量のは  $\approx 2$  乗に比例する。

高圧側圧力を一定にして圧力比を変える場合を考える。高圧側については, 例えば圧力比を増すと, 原子炉熱容量は増し, 再生熱交換器容量は減するが, この二つはほぼ相殺すると考えられる。低圧側については, 再生熱交換器低圧側を考えると次の様になる。タービン膨張比と圧縮機圧縮比が等しいとすると, 所要伝熱量は次式で与えられる。

$$Q = C_p G \left\{ \frac{T_3}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} - \pi^{\frac{k-1}{k}} T_1 - \Delta T_m \right\} \quad (39)$$

これを(38)式に代入すると次式を得る。

$$\frac{\Delta P_{46}}{P_4} \propto \pi^2 \left( \frac{T_3}{T_1} \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} - \pi^{\frac{k-1}{k}} - \frac{\Delta T_m}{T_1} \right)^2 \quad (40)$$

通常用いる数値で計算すると  $\frac{\Delta P}{P}$  は、圧力比  $\pi$  が増すにつれ始め緩かに ( $\pi = 1.5 \sim 2.5$ ), 次第に急激に減少することが知られる。従つて  $\frac{\Delta P}{P} = \text{一定}$  として解析することは、圧力比が大きい場合、圧力損失を若干過大評価することになる。冷却器については次式が成り立つ。

$$\frac{\Delta P_{61}}{P_1} \propto \pi^2 \left( \pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 + \frac{\Delta T_m}{T_1} \right)^2 \quad (41)$$

数値を入れて計算すると  $\frac{\Delta P_{61}}{P}$  は、圧力比  $\pi$  と共に増加する傾向を有す。従つてこの場合には圧力損失の過小評価に通ずる。再生熱交換器の圧力損失の過大評価分と冷却器の過小評価分と相殺するとは云えないが、それほど過大、過少が極端でない事も考えると、 $\frac{\Delta P}{P} = \text{一定}$  として特性解析を行つても良いと結論出来る。

### 1.6 圧力の影響

圧力の影響については系の圧力を一定にして他の圧力を変える(圧力比を変える)場合と、最高圧力自体を変える場合とがある。前者については、圧力損失の影響の節で述べた如く  $\frac{\Delta P}{P}$  を一定として考えれば良い。ここでは最高圧力を変える場合の影響について考える。

この場合、圧力比を一定とすると熱交換器容量は不変なので前述の(38)式より圧力損失は圧力に逆比例する。従つて  $\Delta P/P$  は圧力の2乗に逆比例することになる。

現在行われている諸設計例では、最高圧力として60 ata、圧力損失として10%程度が見込まれている。本報告においては、これを参考にし、再生サイクルに対し8%、1段中間冷却サイクルに対し10%、2段中間冷却サイクルに対し12%の圧力損失を見込んで検討を行っている。30 ata、40 ata等の最高圧力のプラントでは、板厚が薄くてすむので熱交換器もより大型化することが可能であるから、この場合、圧力の低下の2乗に逆比例して圧力損失が増すことは云えないが、傾向としては圧力損失が増加することになる。この場合の参考のために圧力損失を1.5倍、2倍にした場合の計算も行つた。

### 1.7 中間冷却の影響

ガスタービンサイクルにおいては、出来るだけ低温で圧縮を行い、出来るだけ高温で膨張させる方が有利であり、このことは中間冷却および再熱を行うことが得策であることを示している。原子炉加熱によるガスタービンプラントにおいては、再熱は困難であるので、中間冷却のみが行われる。中間冷却は Fig. 2.2, Fig. 3.1に示すようにして実行される。中間冷却の段数は多いほど熱効率が良くなるが、反面機器(圧縮機および中間冷却器)数が増すので、あまり多くすることは得策でない。更に、中間冷却器には圧力損失が伴うので、この点からも制限を受ける。

各熱交換器の圧力損失  $\Delta P/P$  が一定(2%)、従つて中間冷却器が増すごとに圧力損失も2%ずつ増すものとして、中間冷却が熱効率へ及ぼす効果を調べると Fig. 11の様になる。これによると1段目の中間冷却の効果は極めて大きい(熱効率4.5%増加)が、2段目は小さく(1%)、3段以上の中間冷却はほとんど効果が無いことが知られる。

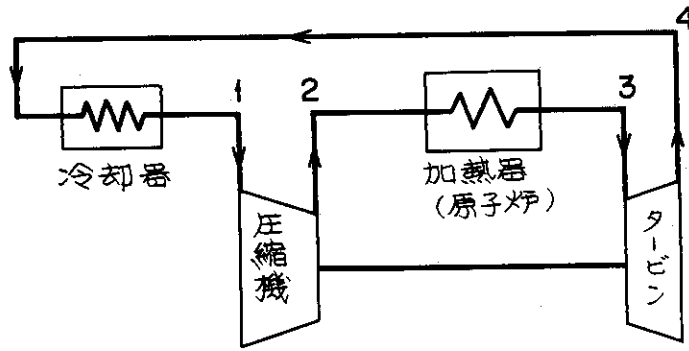
種々の因子を変えた場合の影響については、第3章、第4章で検討する。

### 1.8 ターボ機械効率の影響

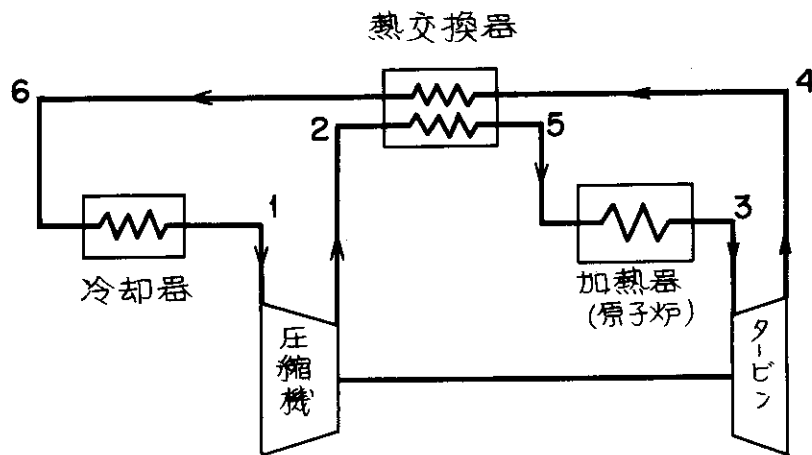
タービン、圧縮機の断熱効率が熱効率に大きな影響を及ぼすこと、特に圧力比の大きい場合に影響が大きいこと、およびタービンと圧縮機ではタービン効率の影響の方が大きいことについては、1.3節で述べた。ここでは、効率が熱効率、比出力に及ぼす影響を定量的に調べる。

タービン入口温度  $1000^{\circ}\text{C}$ 、タービン圧力比 3.0、熱交換器 1 基あたりの圧力損失 2% の場合について、ターボ機械の効率を変えて熱効率、比出力を計算した結果を Fig. 12, Fig. 13 に示す。これよりターボ機械の効率が 1.0% 増すと熱効率が 2.0%、比出力が 0.2% 増すことが知られる。これはタービン入口温度、タービン圧力比、圧力損失が上記の値でなくても、一般的に述べられることである。

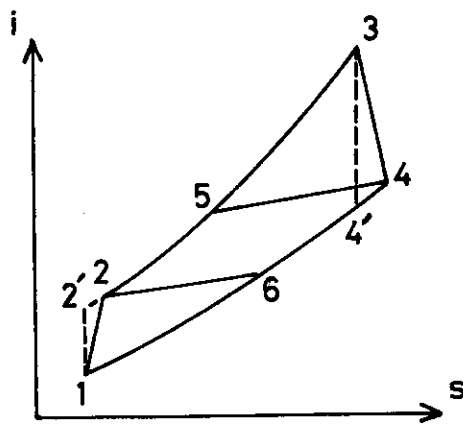




(a)



(b)



(c)

Fig.1 ガスタービン密閉サイクル

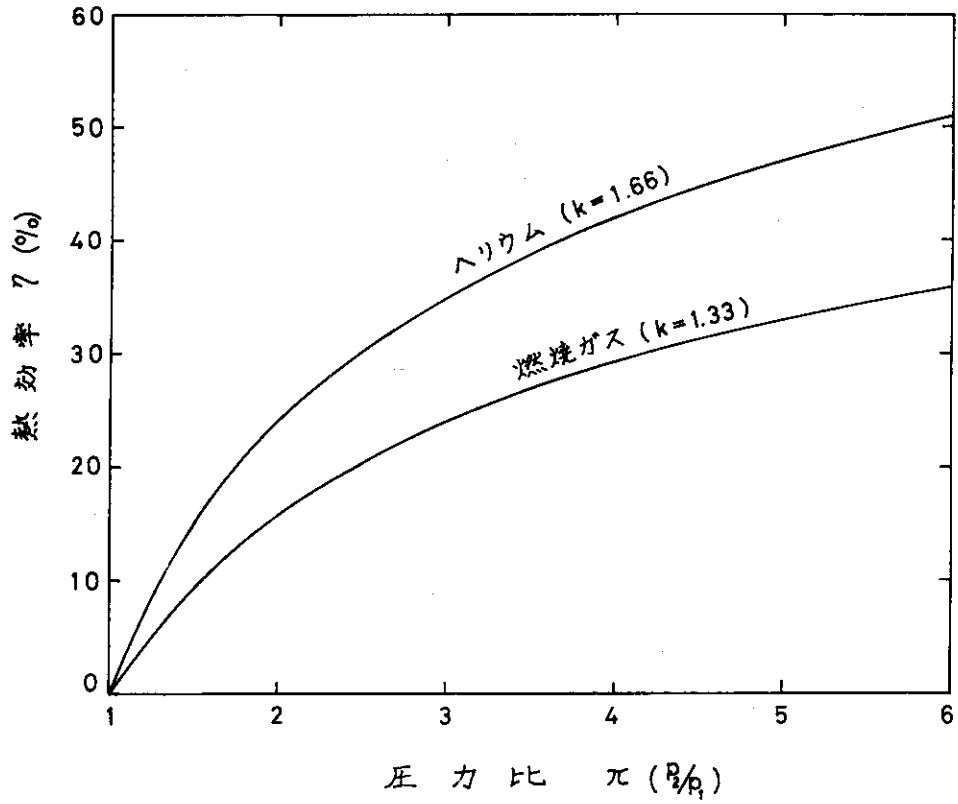


Fig. 2 理想単純サイクルの熱効率

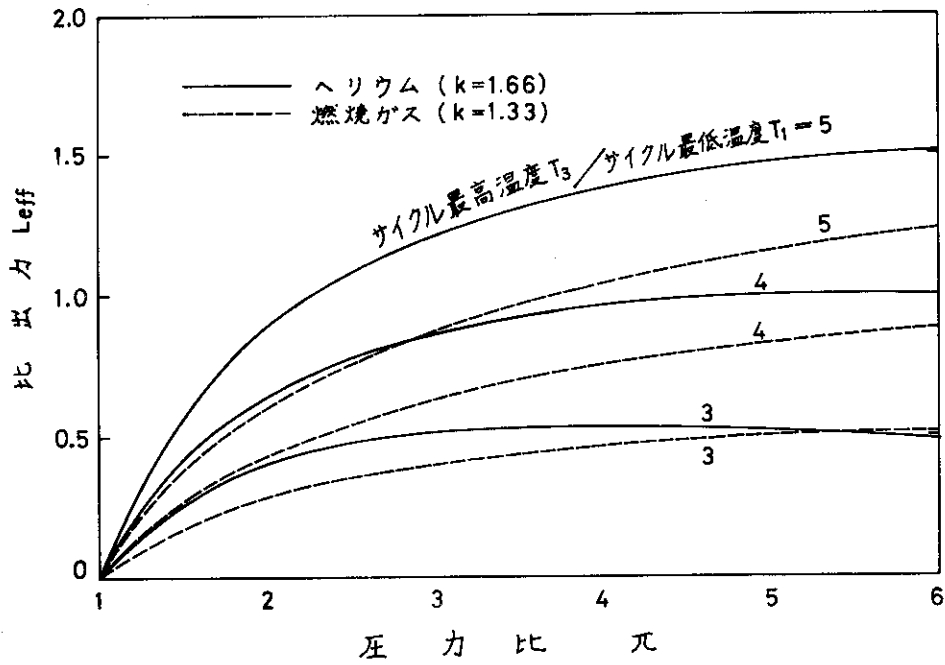


Fig 3 理想単純サイクルの比出力

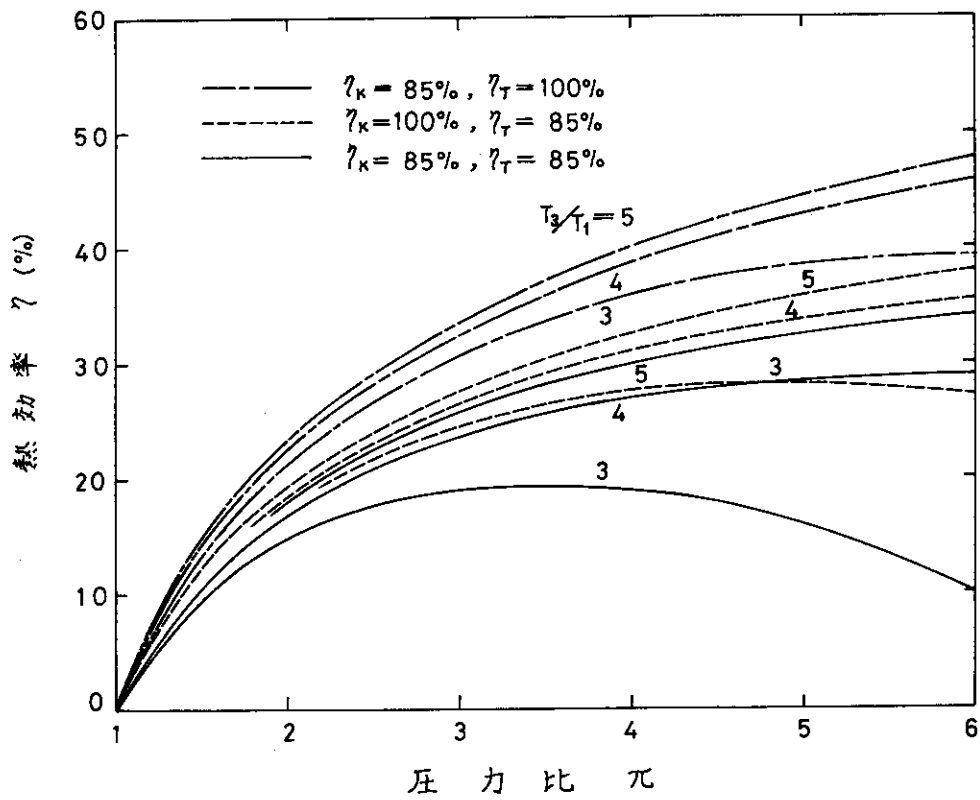


Fig.4 単純サイクルの熱効率 ( $\eta_{\kappa}=85\%$ ,  $\eta_{\tau}=85\%$  の場合)

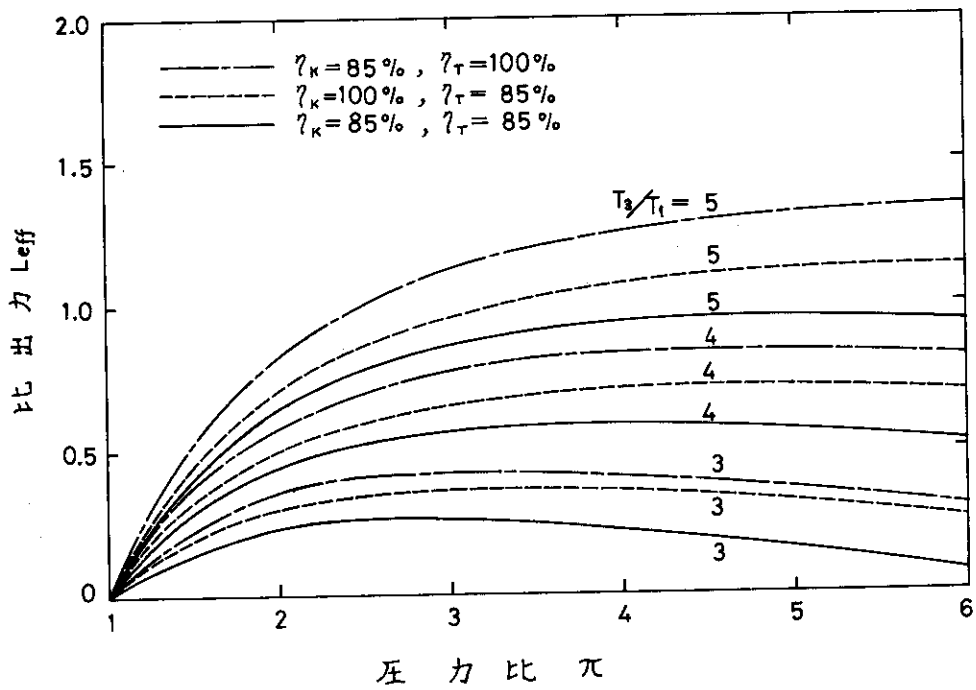


Fig.5 単純サイクルの比出力 ( $\eta_{\kappa}=85\%$ ,  $\eta_{\tau}=85\%$  の場合)

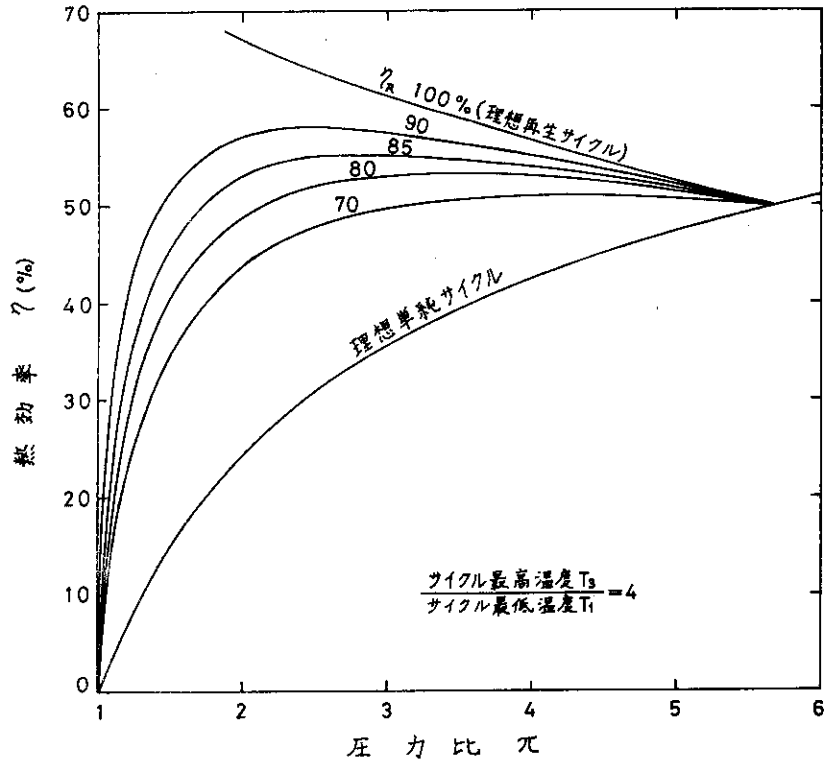


Fig.6 熱交換器効率の再生サイクル熱効率への影響

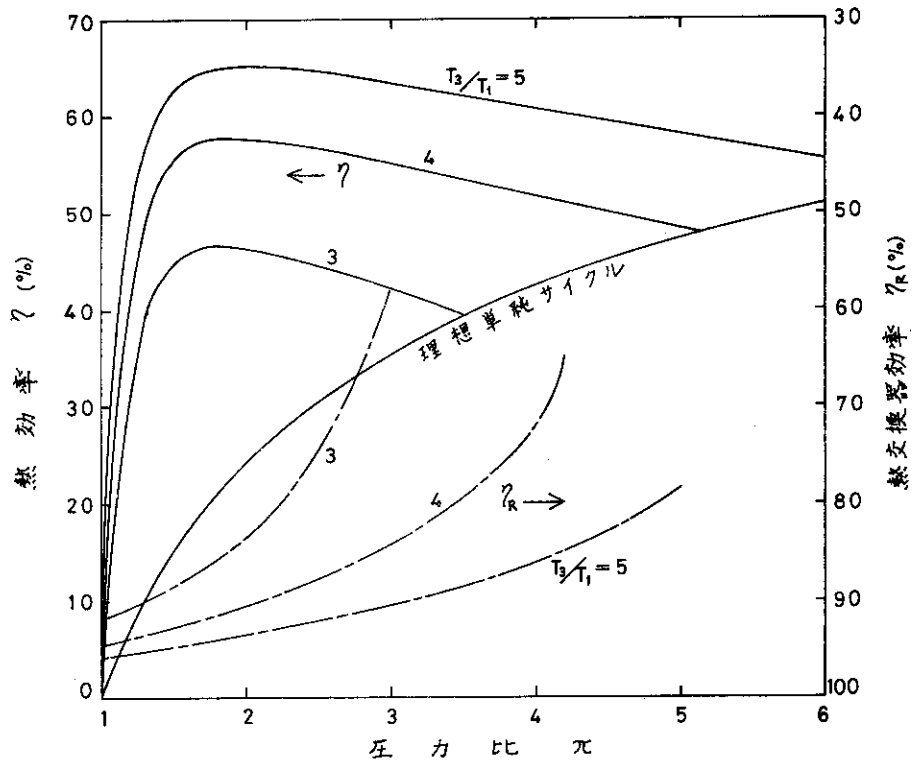


Fig.7  $\Delta t_m = 50^\circ\text{C}$  のときの再生サイクル熱効率

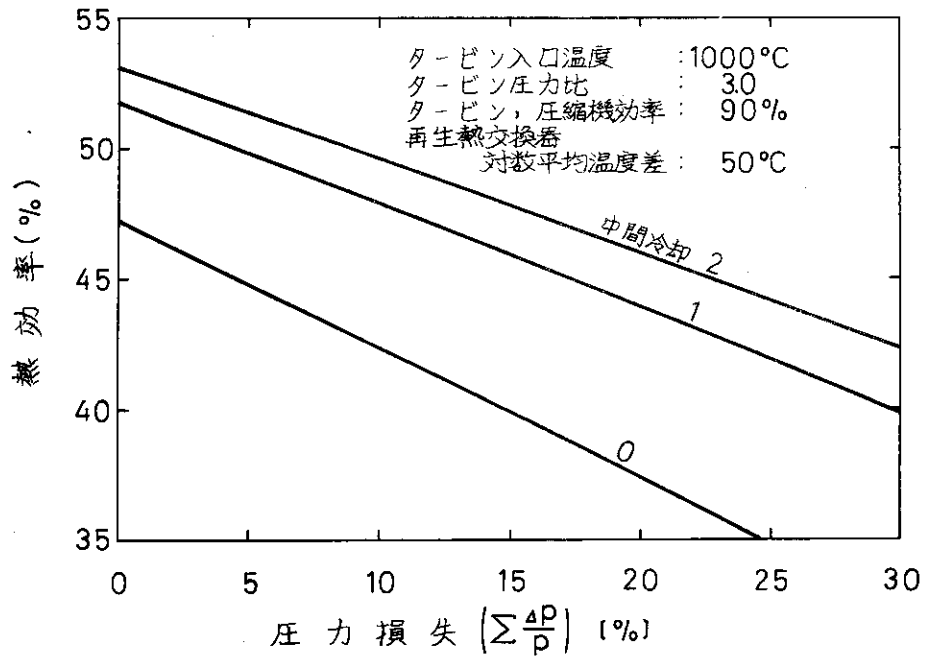


Fig. 8 圧力損失の熱効率への影響

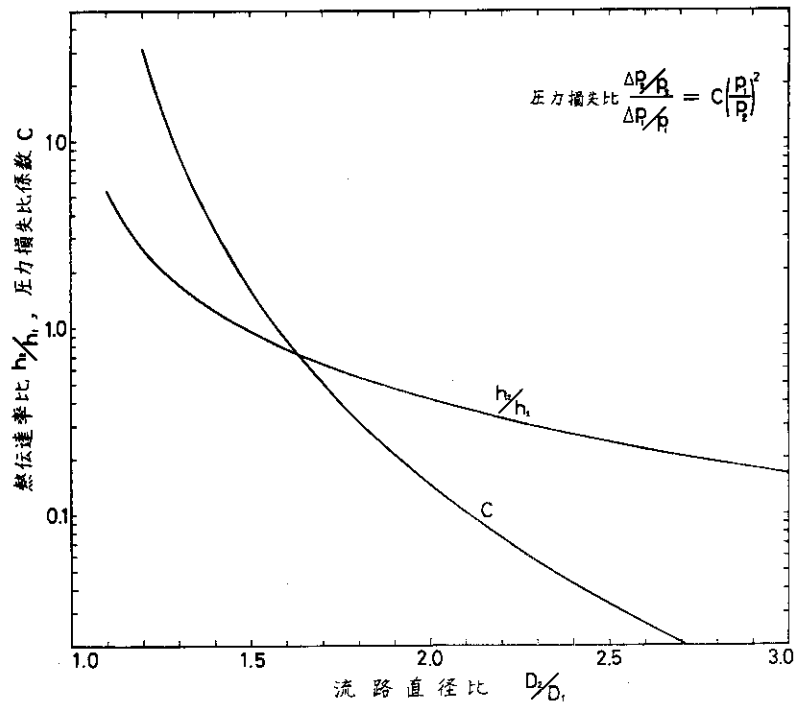


Fig. 9 再生熱交換器における胴側および管側設計因子の関係

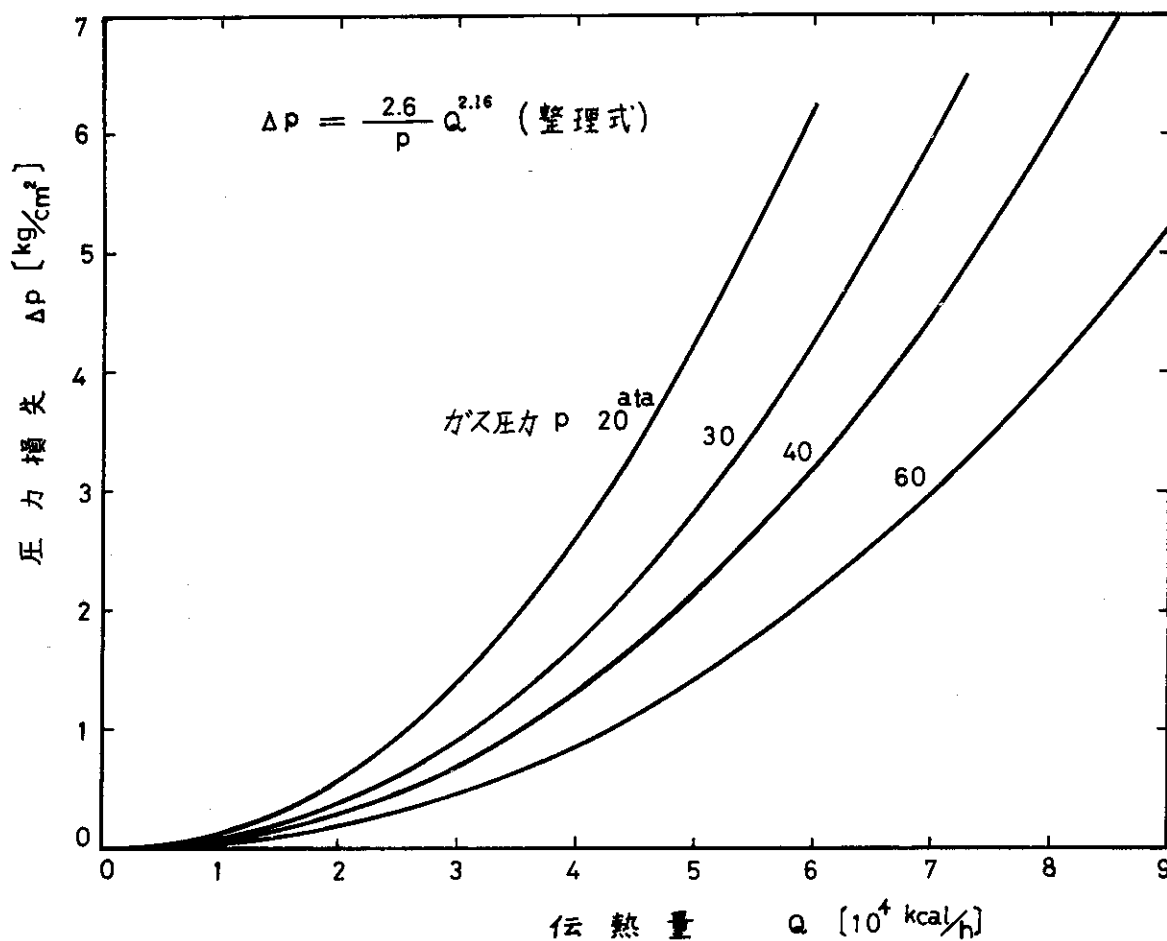


Fig.10 熱交換器の伝熱量と圧力損失の関係

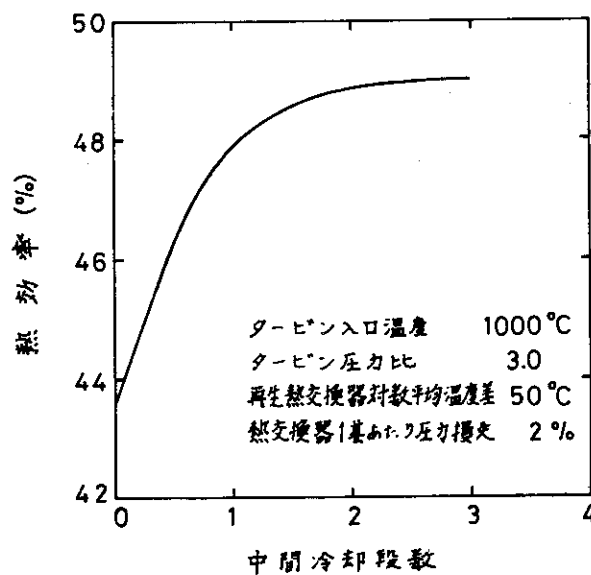


Fig.11 中間冷却の影響

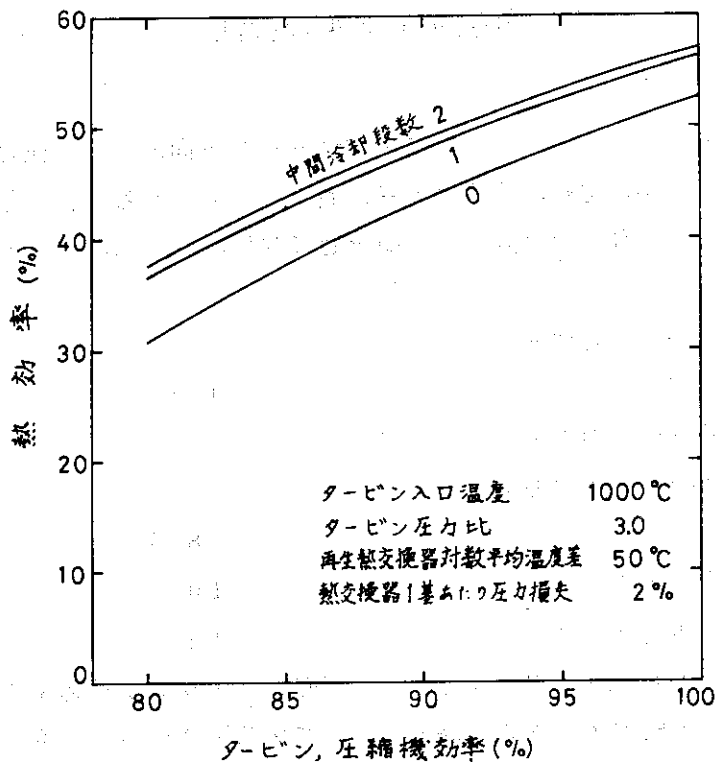


Fig.12 タービン, 圧縮機効率のサイクル熱効率への影響

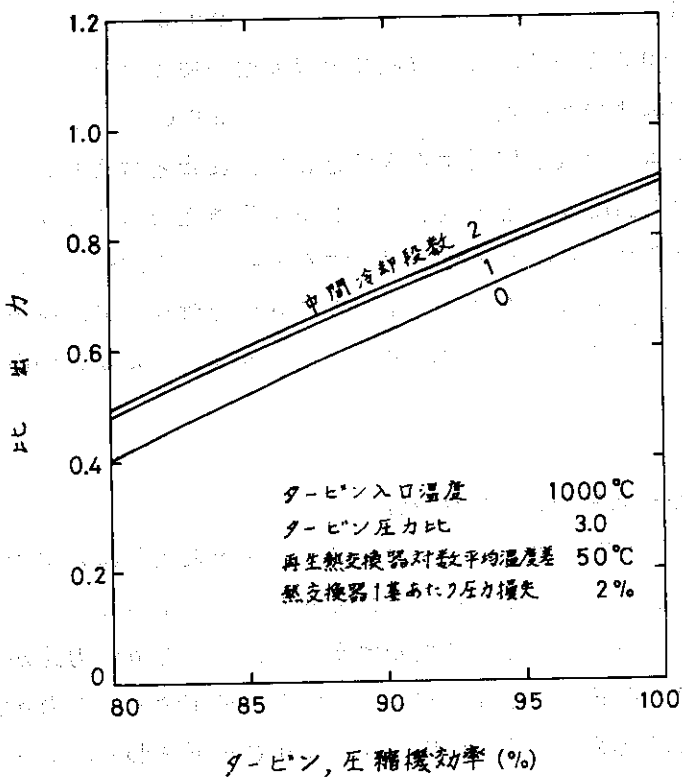


Fig.13 タービン, 圧縮機効率の出力比への影響

## 2. 再生サイクルの特性

これまで種々の設計因子が熱効率、比出力に及ぼす一般的傾向について検討を行つたが、本章および第3章、第4章においては、各設計因子に相当と考えられる数値を与え、熱効率、比出力を計算する。これにより任意の設計条件の組合せに対し、熱効率、比出力の値が明らかになる。

以下に記す設計因子は一定として考える。

圧縮機入口温度	40℃
熱交換器1基あたりの圧力損失 $\Delta P/P$	2%

従つて全圧力損失 $\Sigma \Delta P/P$ は次の通り。

再生サイクル	8%
中間冷却再生サイクル	10%
2段中間冷却再生サイクル	12%

これは諸設計例（ガス圧力60 ata程度）で、この程度の圧力損失が見込まれていることによる。熱交換器1基あたりの圧力損失が3%および4%である場合についても一部計算を行う。この様に圧力損失の値をその点の圧力に対する比として与えると、系の圧力は特性に無関係になる。

タービン断熱効率	90%
圧縮機断熱効率	90%

ターボ機械の効率は85~90%なので、この数値は上限に近い値である。

再生熱交換器対数平均温度差	50℃
---------------	-----

この値はヘリウム-ヘリウム熱交換器に対するものとしては妥当と考えられる。なお、再生熱交換器の制限を考慮するのに温度効率を一定として計算する考え方もあるが、これについては考えない。1.4節で述べたように温度効率を一定とすると最適圧力比は大きい方へずれる。

以上の条件の下に圧力比、タービン入口温度を変えて計算を行う。更に原子炉入口温度が制限を受ける場合の計算を行う。この場合には、再生熱量を十分にとることが出来ず熱効率が低下する。

### 2.1 再生熱交換器の対数平均温度差一定の場合

Fig. 14に圧力比、原子炉出口温度（タービン入口温度）を変えた時の熱効率の変化を示す。熱効率は圧力比2.0程度で最大となつている。これより圧力比が小さくなると対数平均温度差に相当する熱エネルギーの損失が利いてきて熱効率が下る。これより圧力比が大きくなると膨張、圧縮のエネルギー差である正味の仕事が減少し熱効率が低下する。圧力比がもつと大きくなると遂には、タービン出口温度が圧縮機出口温度+50℃を下まわり、タービン排気の熱の再利用が不可能になる。図の点線は単純（非再生）サイクルの熱効率を示したものである。熱効率の最大値は、原子炉出口温度900℃の時42.5%、1000℃の時46.5%である。原子炉出口温度が100℃上昇すると熱効率は4~5%向上することになる。



Fig. 15, Fig. 16 に圧力損失を 12%, 16% とした場合の結果を示す。これによると最大熱効率が 2~3%, 4~6% 低下していること、この時の圧力比が右へずれていることが分る。

比出力は Fig. 17 に示すようになる。熱効率が圧力比 1.8~2.0 で最大となるのに比し、比出力は 3~5 で最大となつている。このことは、熱効率、比出力を共に適当にするような設計が不可能であることを意味している。

## 2.2 原子炉入口温度に制限がある場合

原子炉入口ガスは通常耐圧構造に接するように設計される。耐圧構造は場所により金属材料が用いられ、この場合には 400~500°C の温度に制限される。また全く金属材料が使用されないにしろ、耐圧部に接するガス温度は出来る限り低くする方が得策である。

原子炉ガスタービン直結発電プラントにおいて、圧力比を小さくして熱効率を上げようとする、再生熱量が増加し、それ従つて原子炉入口温度が上昇する。ガスタービン出口ガスの熱量あるいは原子炉入口ガスの熱量を他のプロセス（蒸気タービン、プロセス蒸気、化学工業など）に利用するようになれば、原子炉入口温度を自由に調節し得るが、単独のプロセスではこの問題が生じる。

Fig. 18 に原子炉入口温度を 400°C とした場合、Fig. 19 に 500°C とした場合の熱効率を示す。図で曲線が切れる点は、 $\Delta T_m = 50^\circ\text{C}$  の曲線 (Fig. 14) との交点を示している。圧力比がこれより大きくなると、最早原子炉入口温度の制限は利かなくなり、熱効率は  $\Delta T_m = 50^\circ\text{C}$  の曲線に従つて変化する。

Fig. 14, Fig. 18, Fig. 19 において、各原子炉出口温度における熱効率の最大値およびその時の圧力比を図示すると Fig. 20, Fig. 21 のようになる。Fig. 20 より、原子炉入口温度の制限は非常に大きな影響を及ぼし、原子炉入口温度を 400°C 以下とすると良好な設計は不可能になることが分る。

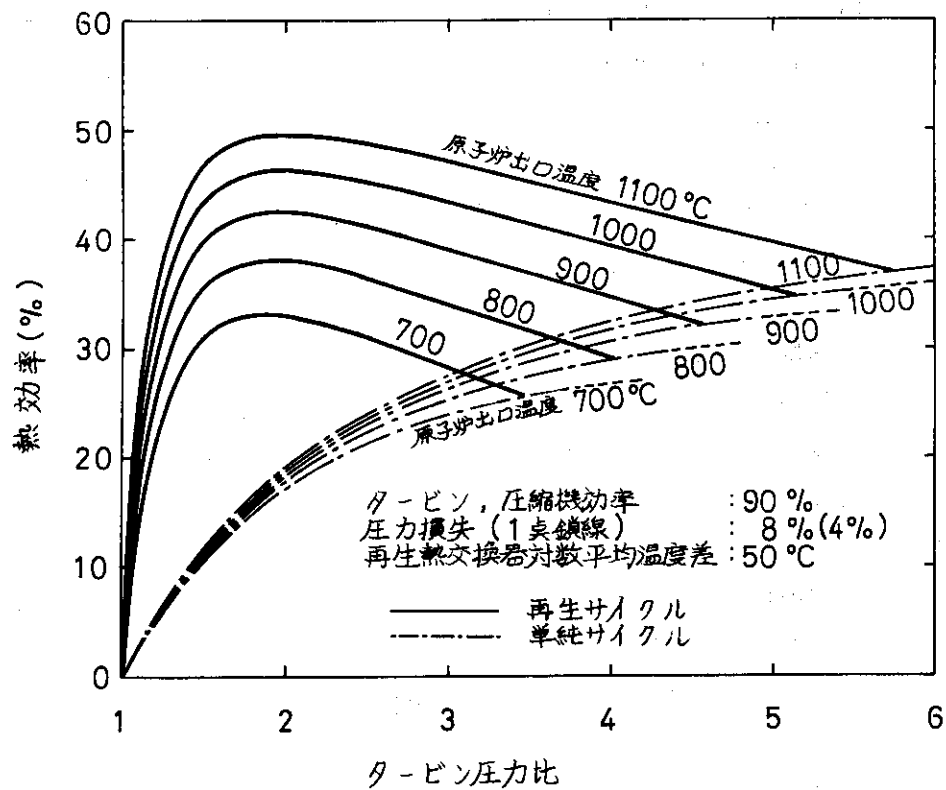


Fig. 14 再生サイクルの熱効率

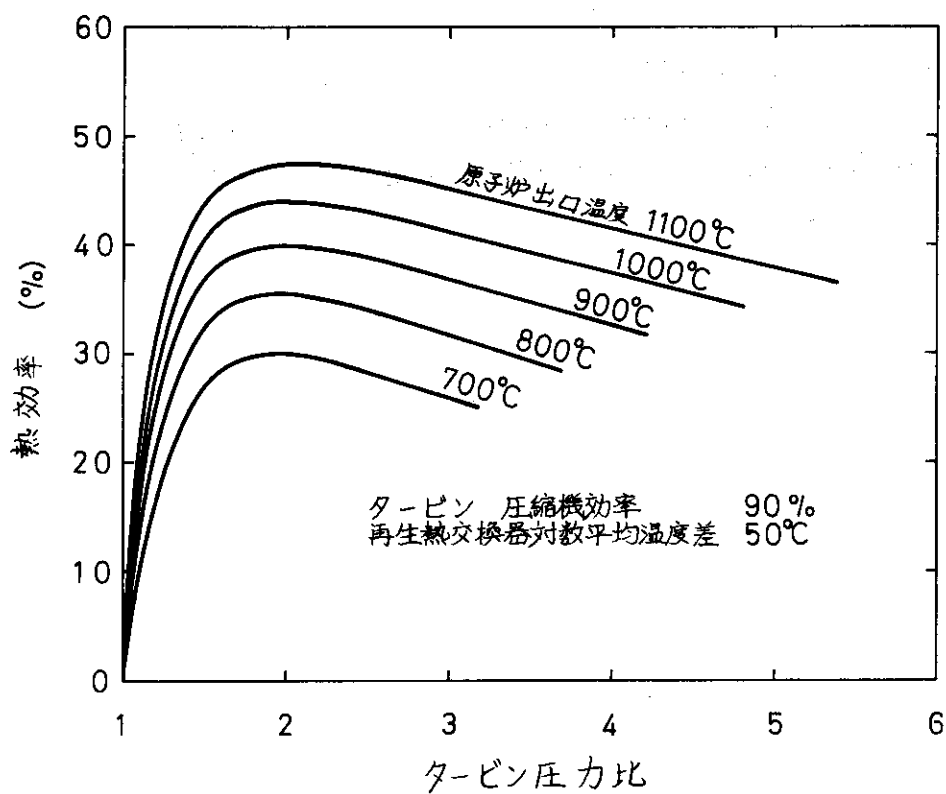


Fig. 15 再生サイクルの熱効率 (圧力損失12%)

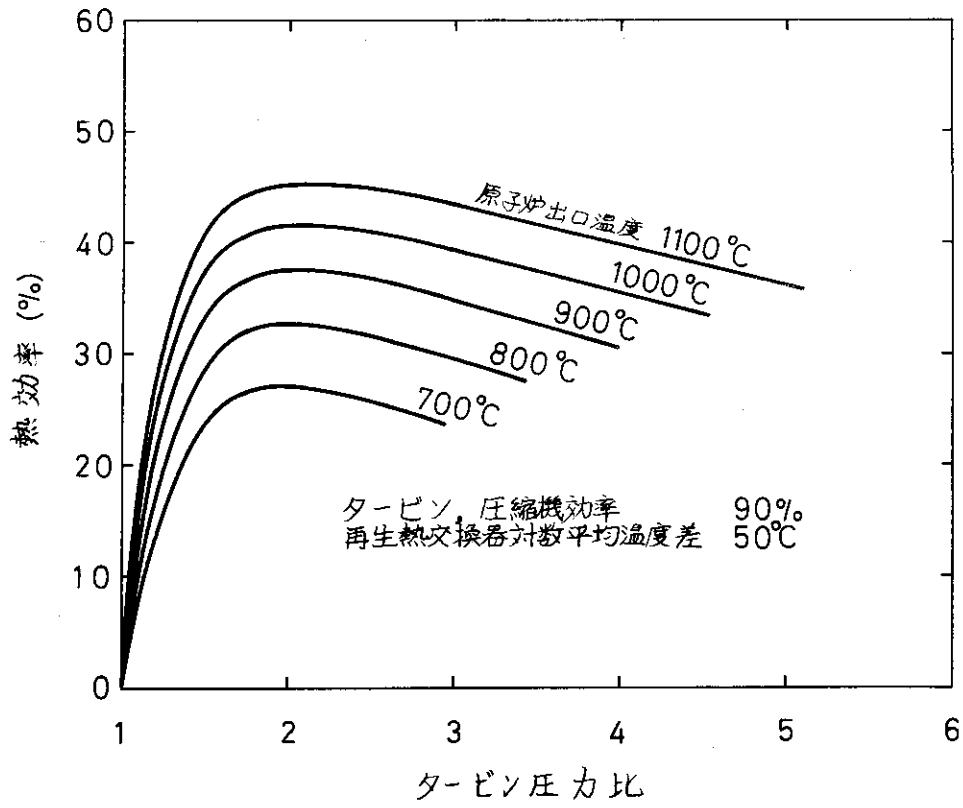


Fig.16 再生サイクルの熱効率(圧力損失16%)

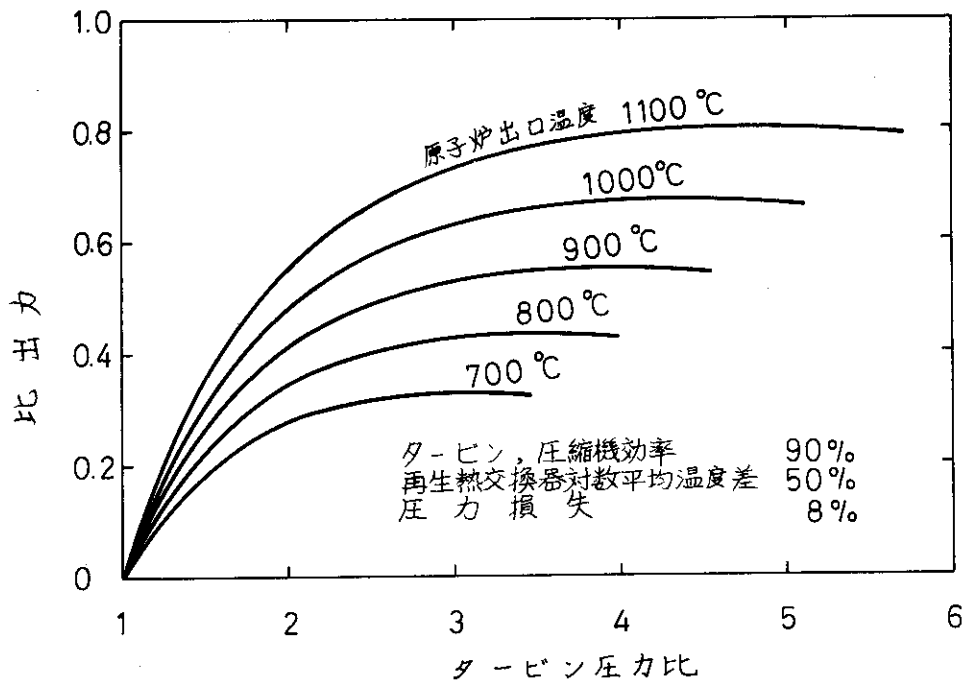


Fig.17 再生サイクルの比出力

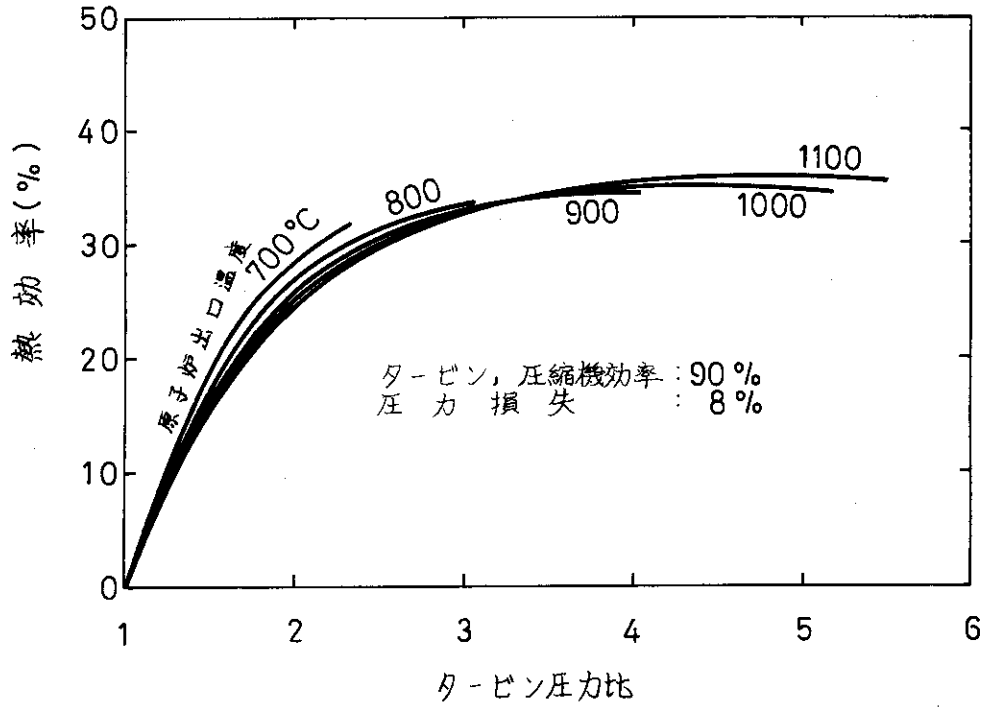


Fig.18 再生サイクルの熱効率 (原子炉入口温度 400°C)

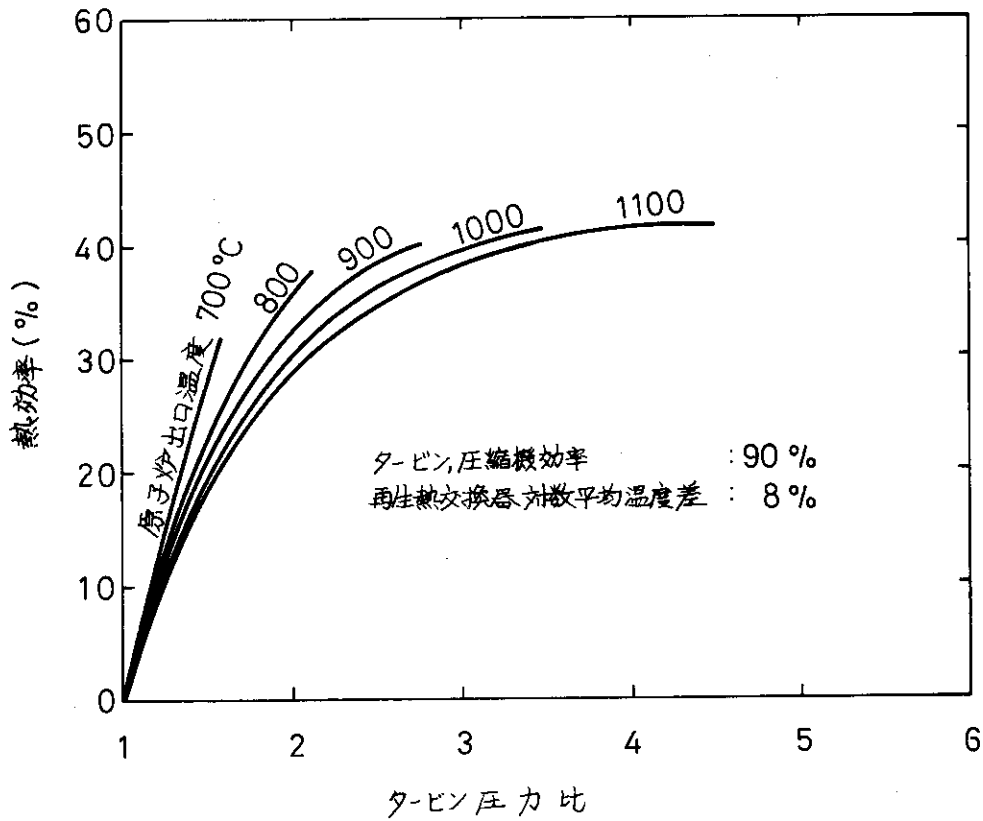


Fig.19 再生サイクルの熱効率 (原子炉入口温度 500°C)

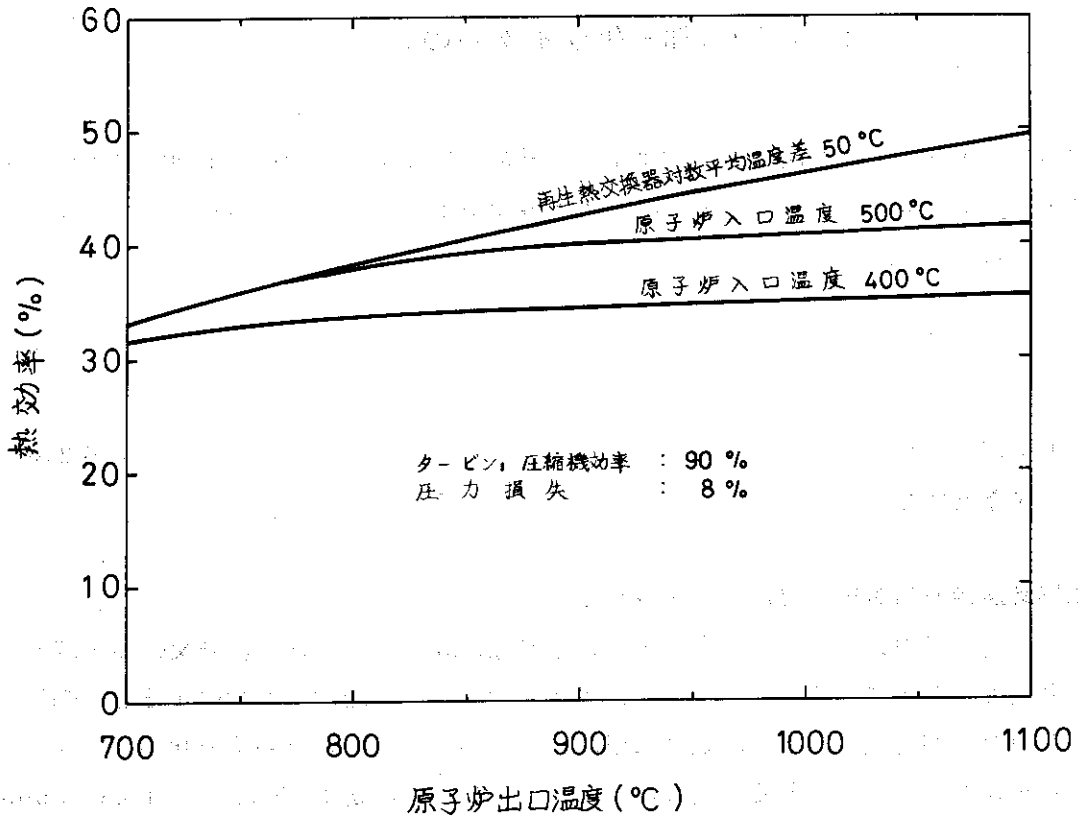


Fig. 20 再生サイクルの最大熱効率

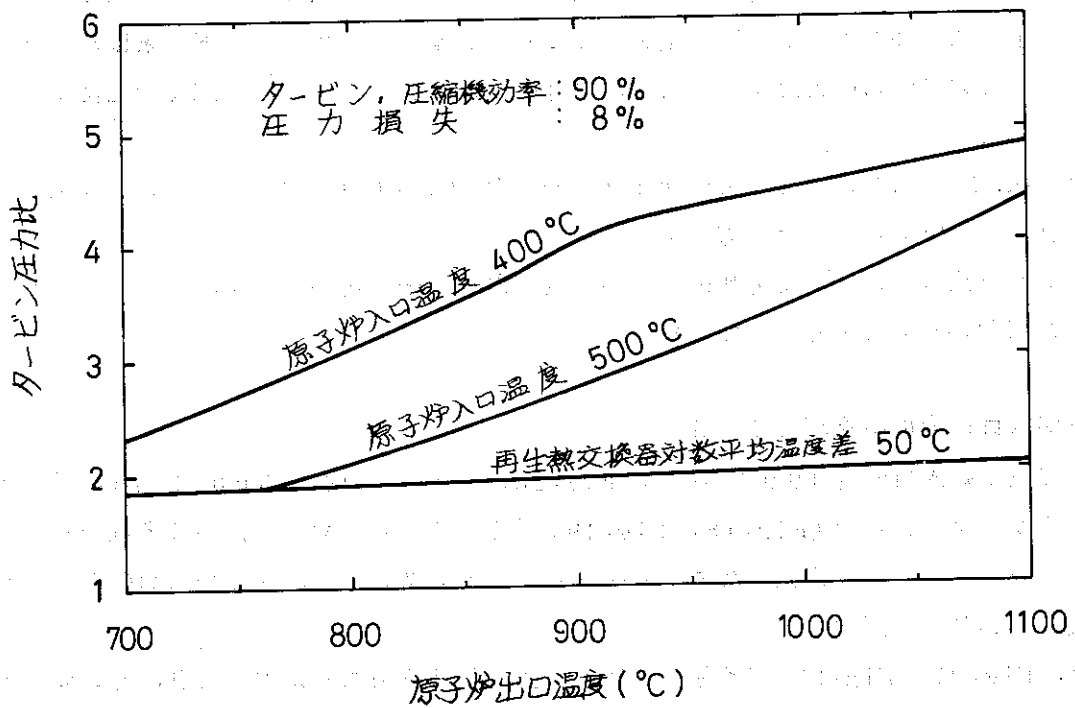


Fig. 21 再生サイクルの最適圧力比

### 3. 中間冷却再生サイクルの特性

中間冷却再生サイクルは、Fig. 22 に示すように圧縮機を2段に分割し、中間に冷却器を置いたものである。第1回の圧縮後の圧力は、圧縮仕事を最小にするように選んだ。従つて次式により求められる。

$$P'_2 = \sqrt{P_1 P_2} \quad (42)$$

中間冷却は1.7節で述べた如く、圧縮仕事を減少させることを目的としている。以下第2章に記したのと同様な条件で計算を行う。

#### 3.1 再生熱交換器の対数平均温度差一定の場合

原子炉出口温度、圧力比に対し熱効率を求めるとFig. 23 のようになる。熱交換器1基あたり2%の圧力損失を考えているので圧力損失は10%である。Fig. 14 と比較すると圧縮仕事の減少により熱効率が向上すること、並びに圧縮仕事の影響が小さいため圧力比が増す際の熱効率の低下が緩かであることが分る。最大熱効率は原子炉出口温度1000°Cの時48.5%、900°Cの時45%である。原子炉出口温度が100°C上昇すると熱効率は4~5%向上する。熱効率最大の点は圧力比2.2程度で生じ、圧力比2.0~2.8の間ではほぼ一定である。

圧力損失を15%および20%にした場合の熱効率をFig. 24 およびFig. 25 に示す。原子炉出口温度1000°Cの場合で見ると、熱効率は圧力損失15%で46.5%、圧力損失20%で44.2%に低下する。即ち10%の圧力損失増により、約4%の熱効率の低下を来したことになる。熱効率を最大にする圧力比については、大きい方へずれると共に、最大点の近傍でより平坦になつている。

比出力はFig. 26 のようになる。再生サイクルの場合(Fig. 17)に比べると、大巾な上昇を示している他、最適圧力比も大きい方へずれている。

再生サイクルと比較すると、圧力比に対する熱効率曲線の平坦化のために、熱効率の最適化と比出力の最適化が両立し易くなつている。

#### 3.2 原子炉入口温度に制限がある場合

Fig. 27 に原子炉入口温度400°Cの場合、Fig. 28 に原子炉入口温度500°Cの場合の熱効率を示す。再生サイクルの場合(Fig. 18, Fig. 19)と比較すると、熱効率がかなり向上している。これは、圧縮機出口温度が低いため、再生熱量をかなり増しても、原子炉入口温度がそれほど高くないことに因つている。

Fig. 23, Fig. 27, Fig. 28 で各原子炉出口温度における最大熱効率および、その時の圧力比の値を図示するとFig. 29, Fig. 30 のようになる。Fig. 29 より原子炉入口温度400°C以下とするとかなりの影響を受けるが、500°C以下とした場合には、原子炉出口温度950°C以下ではほとんど影響を受けないことが分る。

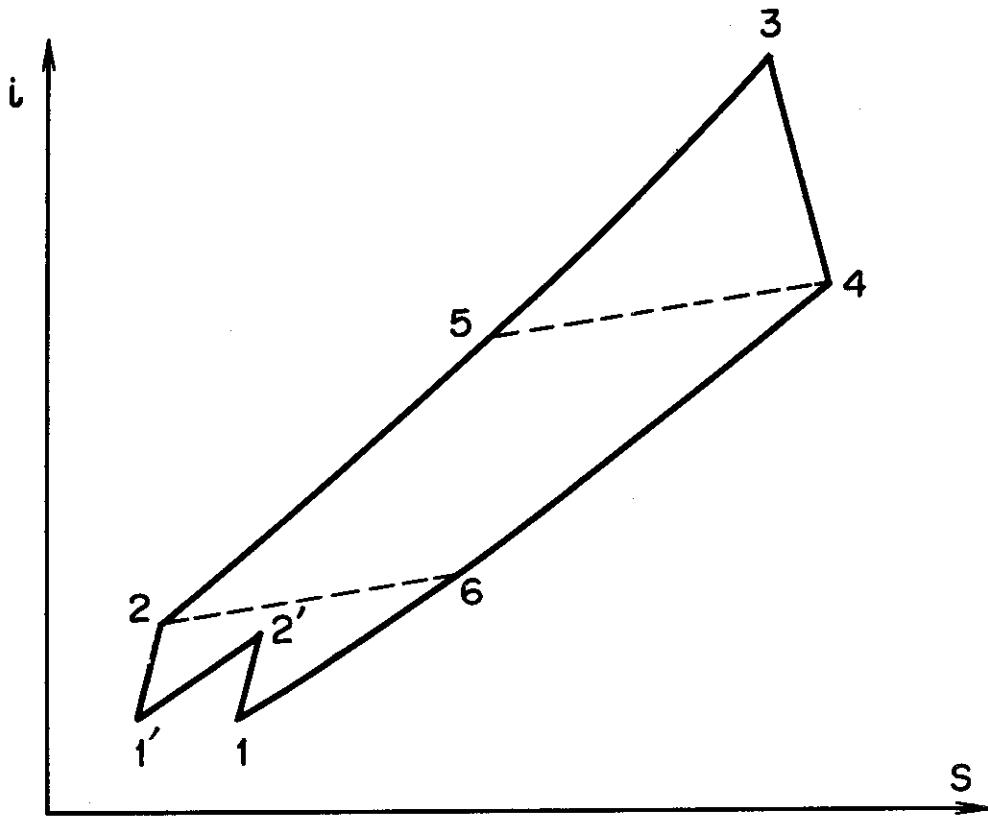
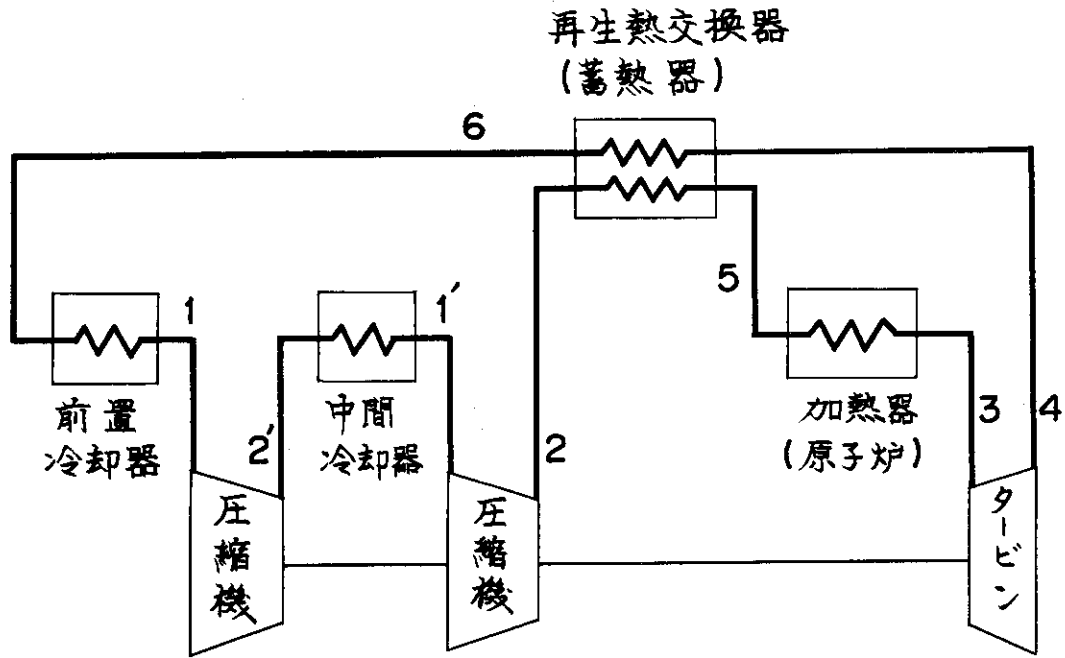


Fig. 22 中間冷却再生サイクル

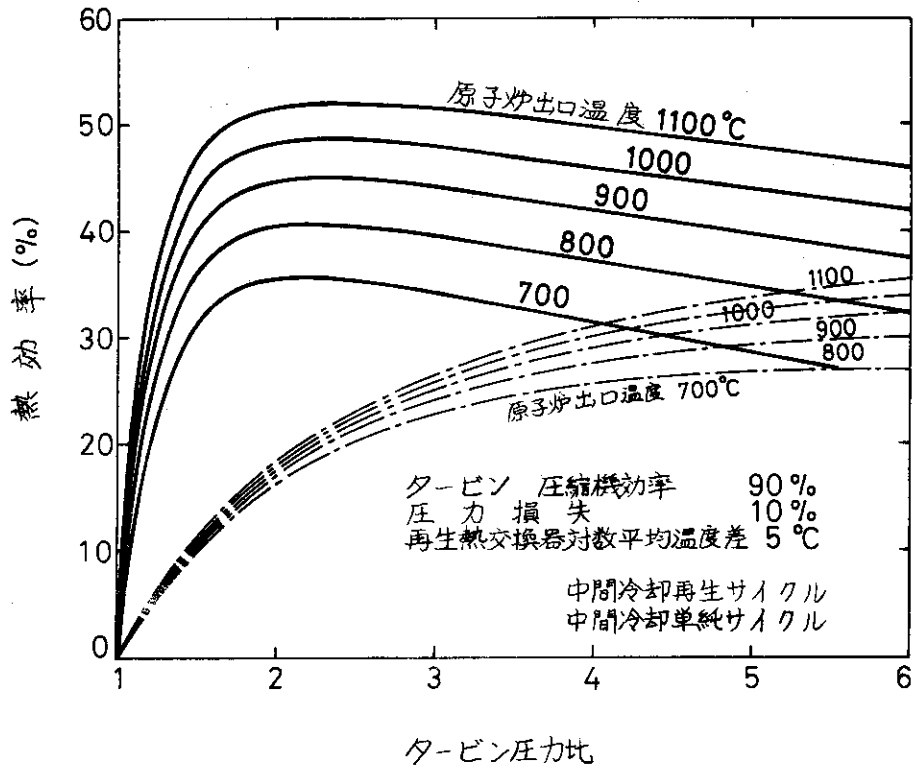


Fig. 23 中間冷却再生サイクルの熱効率

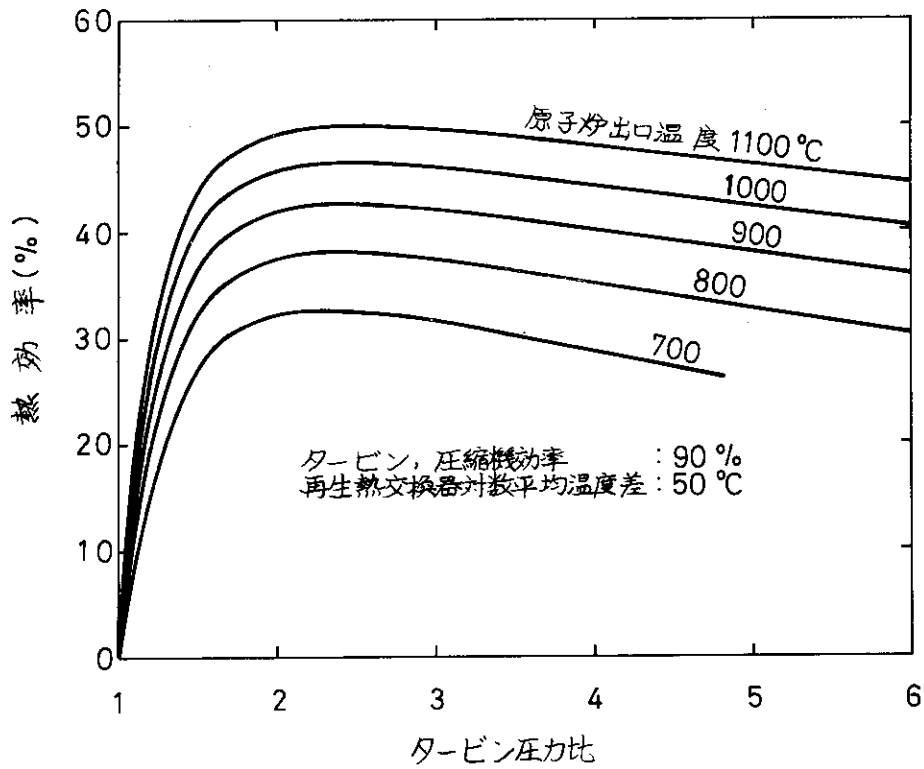


Fig. 24 中間冷却再生サイクルの熱効率 (圧力損失 15%)



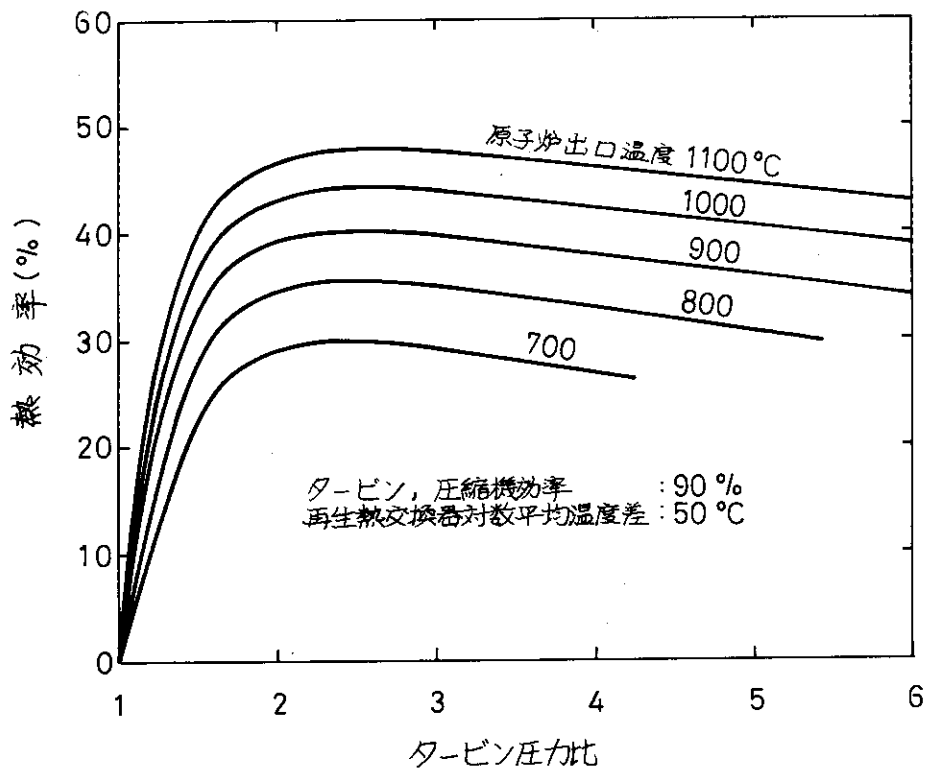


Fig. 25 中間冷却再生サイクルの熱効率(圧力損失 20%)

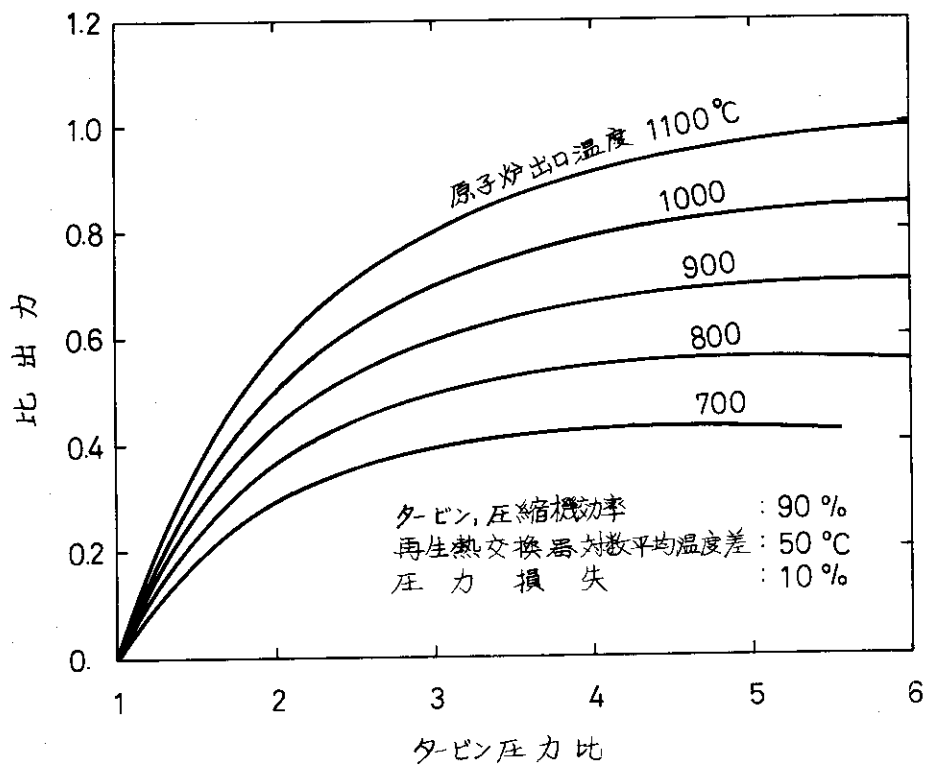


Fig. 26 中間冷却再生サイクルの比出力

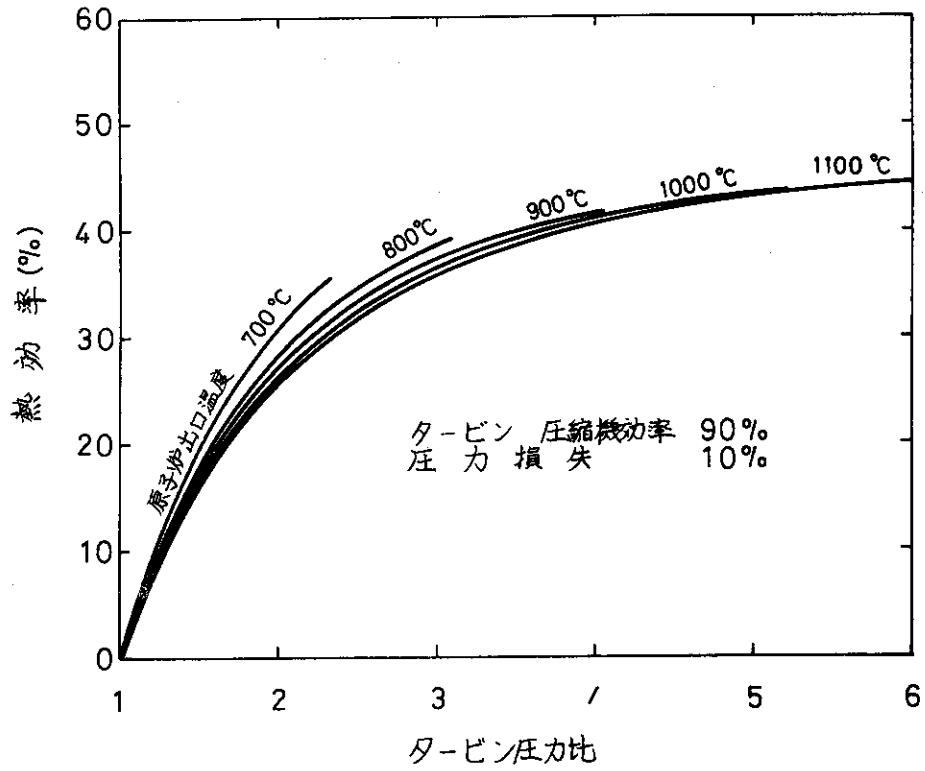


Fig. 27 中間冷却再生サイクルの熱効率 (原子炉入口温度 400°C)

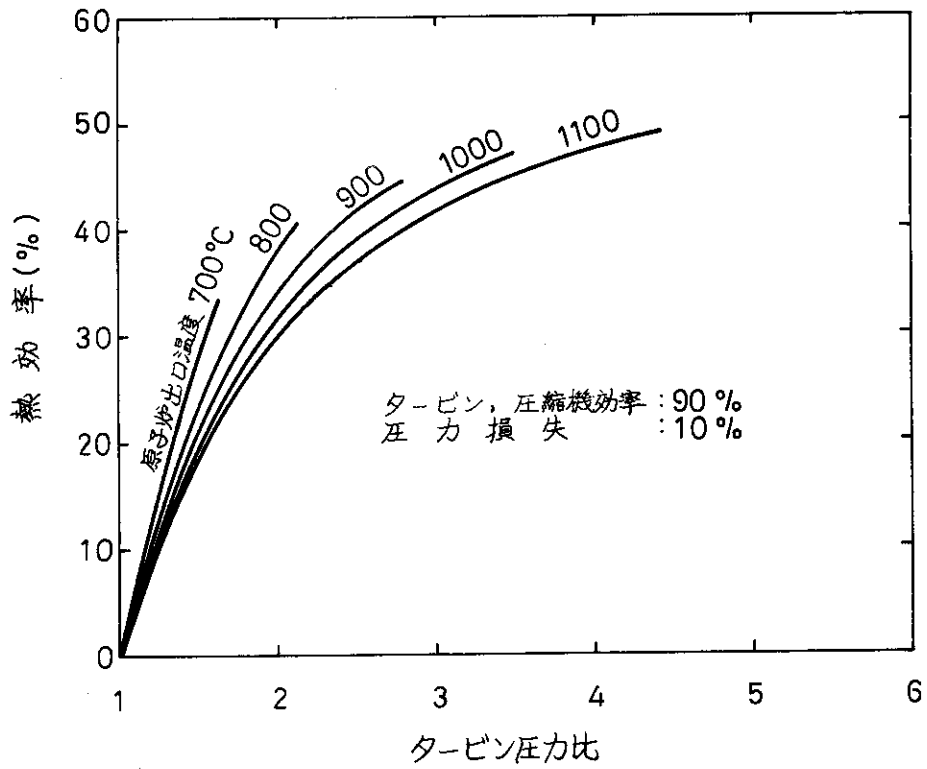


Fig. 28 中間冷却再生サイクルの熱効率 (原子炉入口温度 500°C)

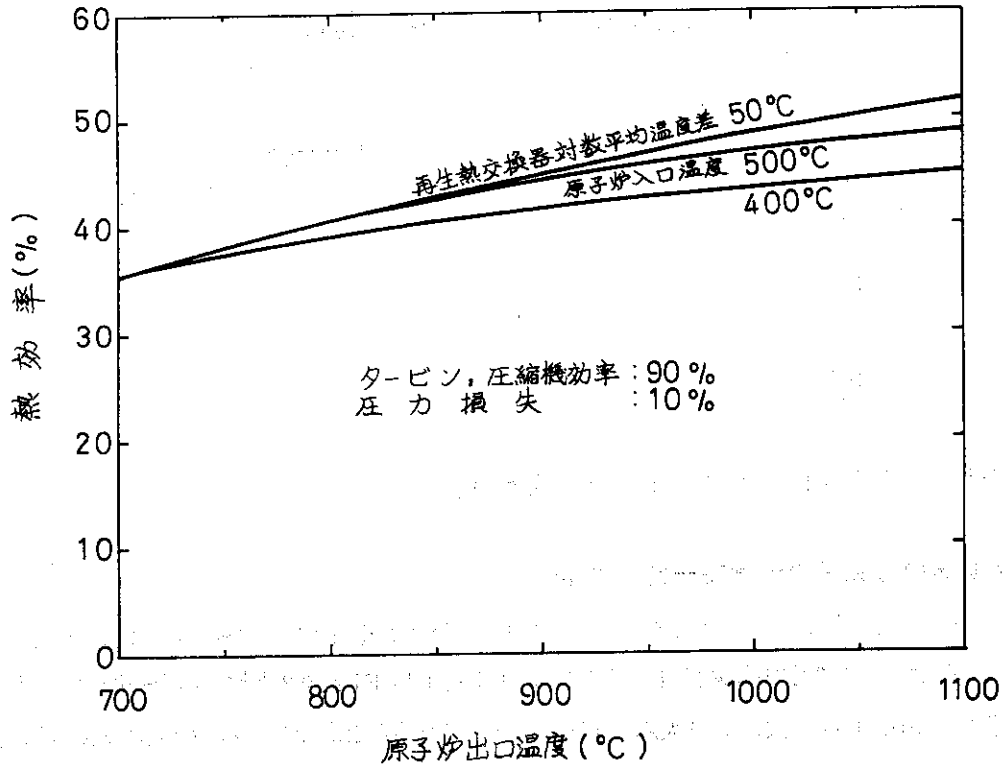


Fig. 29 中間冷却再生サイクルの最大熱効率

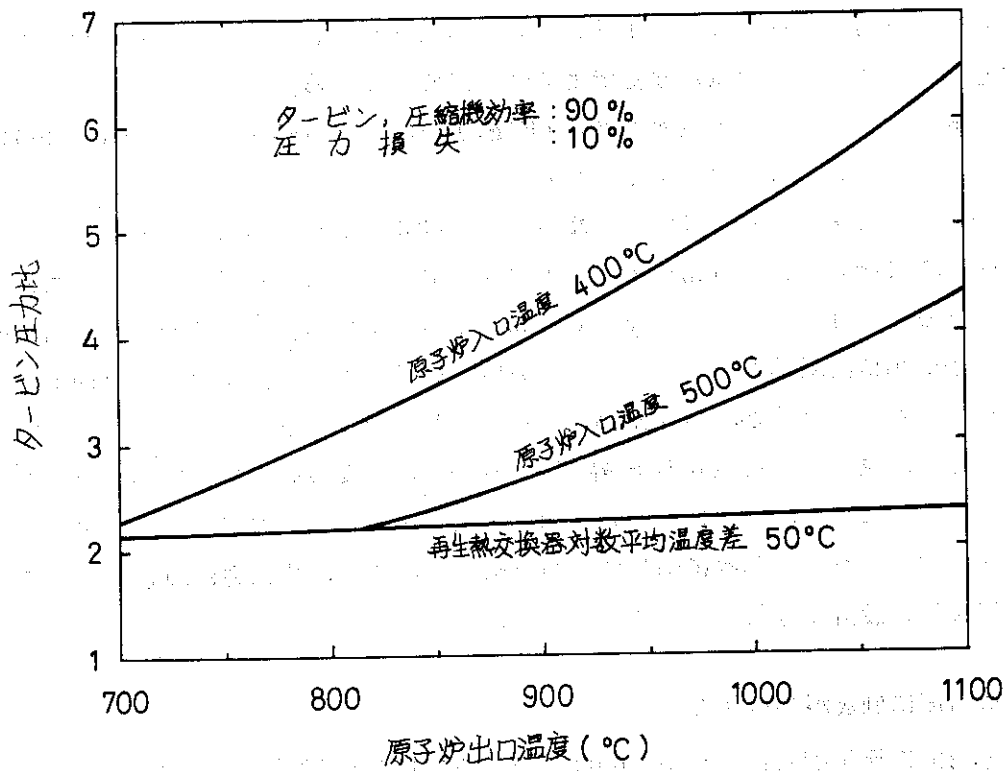


Fig. 30 中間冷却再生サイクルの最適圧力比

#### 4. 2段中間冷却再生サイクルの特性

2段中間冷却再生サイクルは、Fig. 31に示すように圧縮機を3段に分割し間に2基の冷却器を置いたものである。中間の圧力は圧縮仕事を最小にするように次式で与えられる。

$$\begin{aligned} P_2' &= P_1^{\frac{2}{3}} P_2^{\frac{1}{3}} \\ P_2'' &= P_1^{\frac{1}{3}} P_2^{\frac{2}{3}} \end{aligned} \quad (43)$$

以下第2章に記したのと同様な条件の下に計算を行う。

##### 4.1 再生熱交換器の対数平均温度差一定の場合

Fig. 32に原子炉出口温度、圧力比に対するサイクル熱効率を示す。熱交換器1基あたり2%の圧力損失を見込んでいるので圧力損失は12%である。Fig. 14, Fig. 23と比べると一層熱効率が向上し、かつ曲線が平坦化すると共に、最大点が右へ移動していることが知られる。最大熱効率は、原子炉出口温度1000℃の時、49.0%、900℃の時45.4%である。原子炉出口温度が100℃上昇すると熱効率は4~5%向上する。熱効率最大の点は圧力比2.5程度で生じ、圧力比2.2~3.2の間ではほぼ一定である。

圧力損失を18%、24%にした場合の熱効率をFig. 33, Fig. 34に示す。原子炉出口温度1000℃でみると、熱効率は圧力損失18%で46.9%に、圧力損失24%で44.6%に低下する。即ち10%の圧力損失増により約4%の熱効率の低下を来している。熱効率を最大にする圧力比は大きい方へずれ、最大点の近傍でより平坦になつている。

比出力はFig. 35のようになる。再生サイクル(Fig. 17)、中間冷却サイクル(Fig. 26)に比べると、なお圧縮仕事減少による影響が見られる。

中間冷却の効果についてまとめると次の様になる。Fig. 36に中間冷却段数を変えた時の最大熱効率を、Fig. 37にその時の圧力比を示す。1段目の中間冷却による熱効率の向上は大きい(2.5%)が、2段目ではずつと小さくなる(0.5%)ことが分る。またこの段数を増す場合の上昇値は、原子炉出口温度にはよらない。原子炉出口温度の上昇に伴う熱効率の向上は1000℃につき4~5%程度であるが、温度が高くなるにつれ向上率は小さくなる。一方熱効率を最大とする圧力比は、原子炉出口温度の上昇に伴い緩やかに、段数の増加に伴い相当量大きくなる。段数が増加するにつれ、圧力比がこの最適点を越えた場合の熱効率の低下は緩やかになる。従つて段数を増すにつれ、熱効率に關して適当な圧力比の値と、比出力に關して適当な圧力比の値は次第に接近し設計を容易にすることが分る。

##### 4.2 原子炉入口温度に制限がある場合

Fig. 38, Fig. 39に原子炉入口温度が400℃および500℃以下に制限されている場合の熱効率を示す。Fig. 40に原子炉入口温度の制限を受ける場合と受けない場合(Fig. 32)の最大熱効率を原子炉出口温度の関数として示す。

これより原子炉入口温度を400℃以下とするとかなり影響を受けること、500℃以下とした場合には、最大熱効率の値はほとんど変わらないことが分る。しかし原子炉出口温度が1000℃、1100℃と上昇するにつれ、最大熱効率を与える圧力比はかなり大きくなる。この現象は、比出力最大の点との適合という点からは良い理であるが、タービンの構造上あまり段数を大きく出来ない場合には支障となるものであり、設計上考慮しておかねばならぬ問題である。

再生熱交換器  
(蓄熱器)

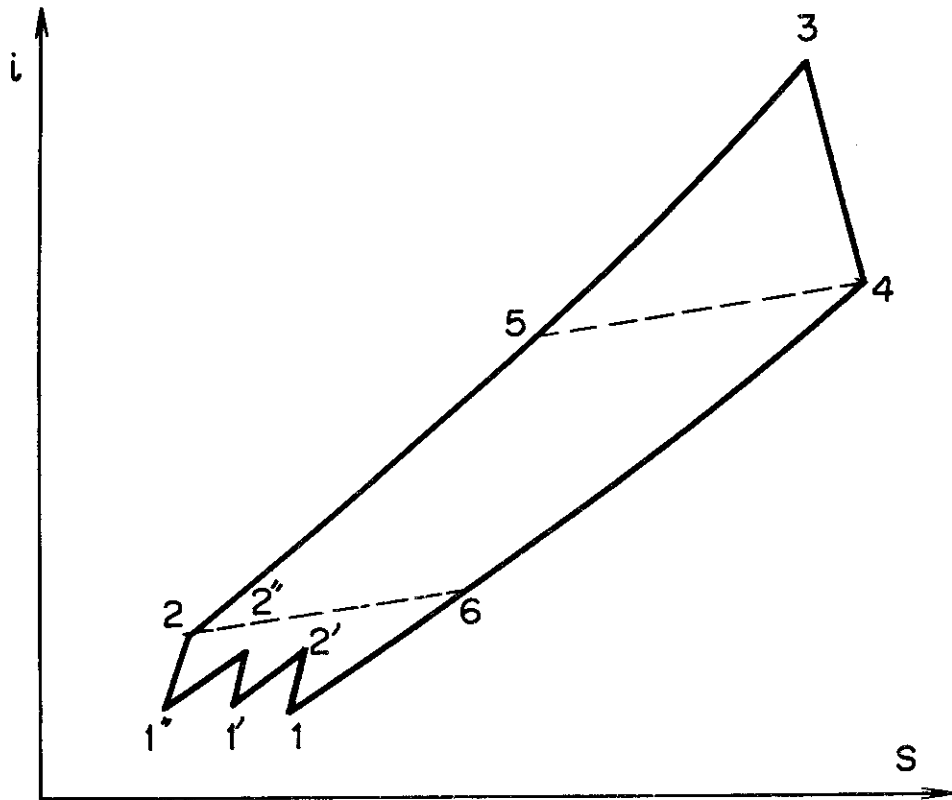
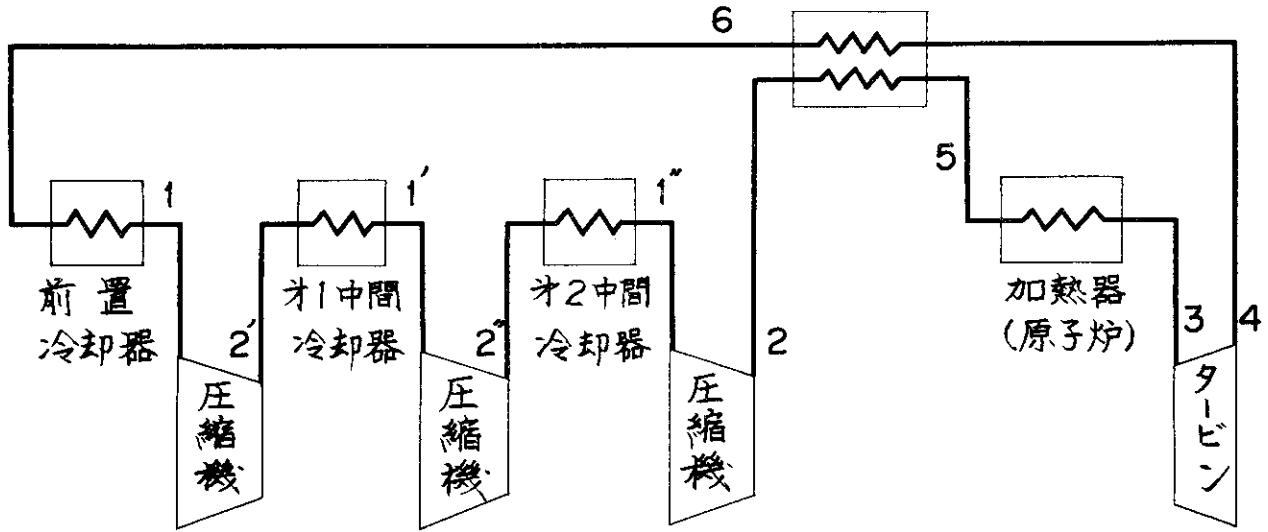


Fig. 31 2段中間冷却再生サイクル

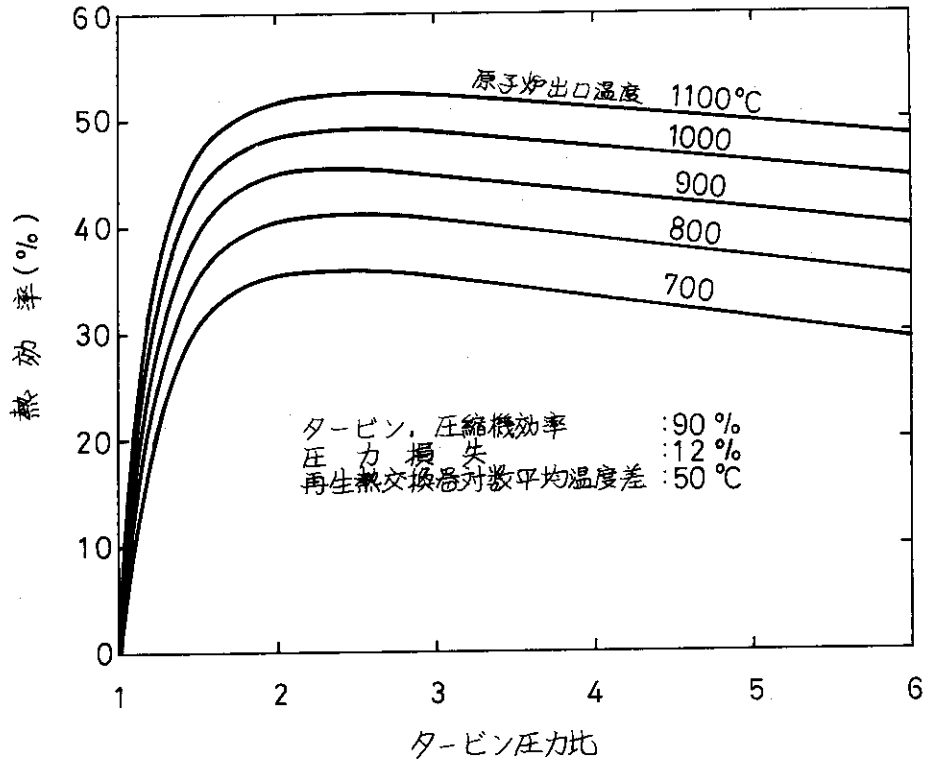


Fig.32 2段中間冷却再生サイクルの熱効率

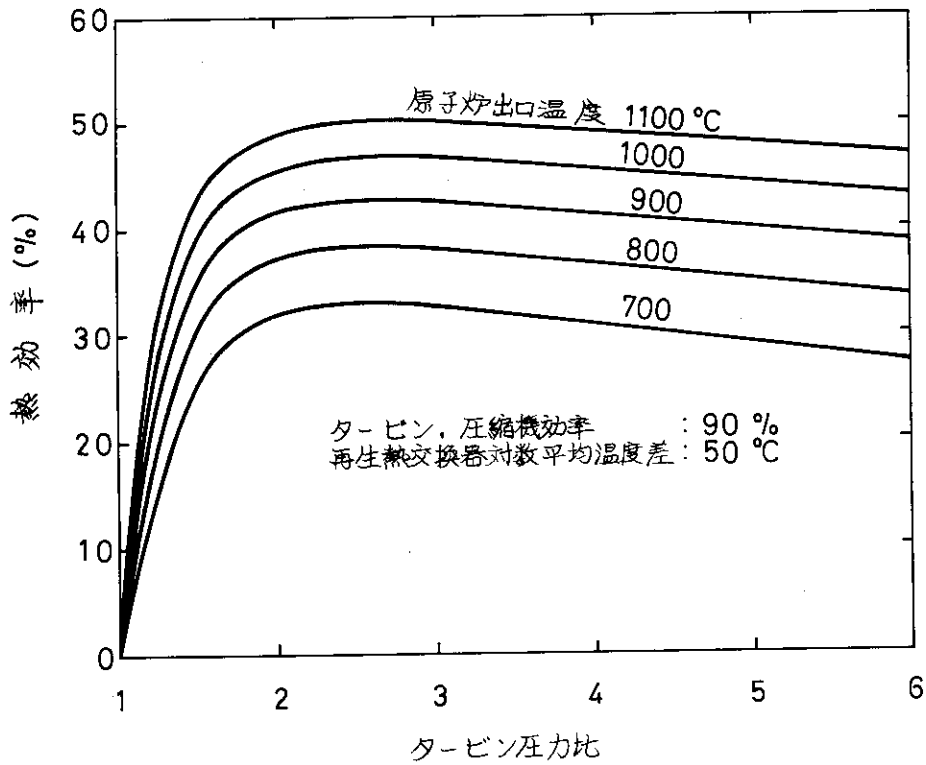


Fig.33 2段中間冷却再生サイクルの熱効率(圧力損失 18%)

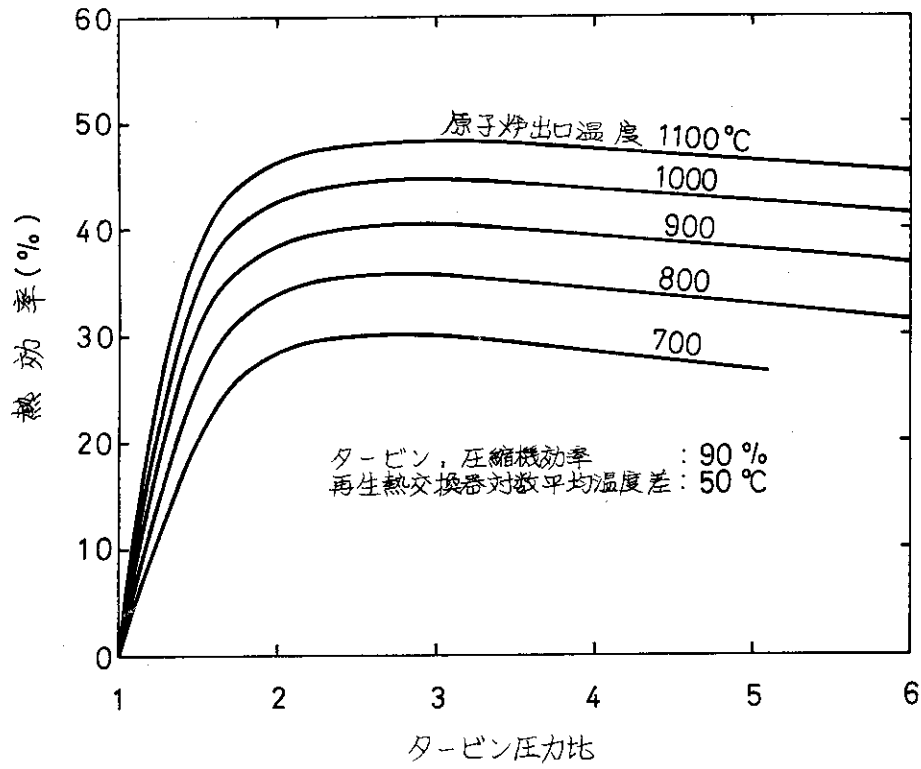


Fig. 34 2段中間冷却再生サイクルの熱効率(圧力損失 24%)

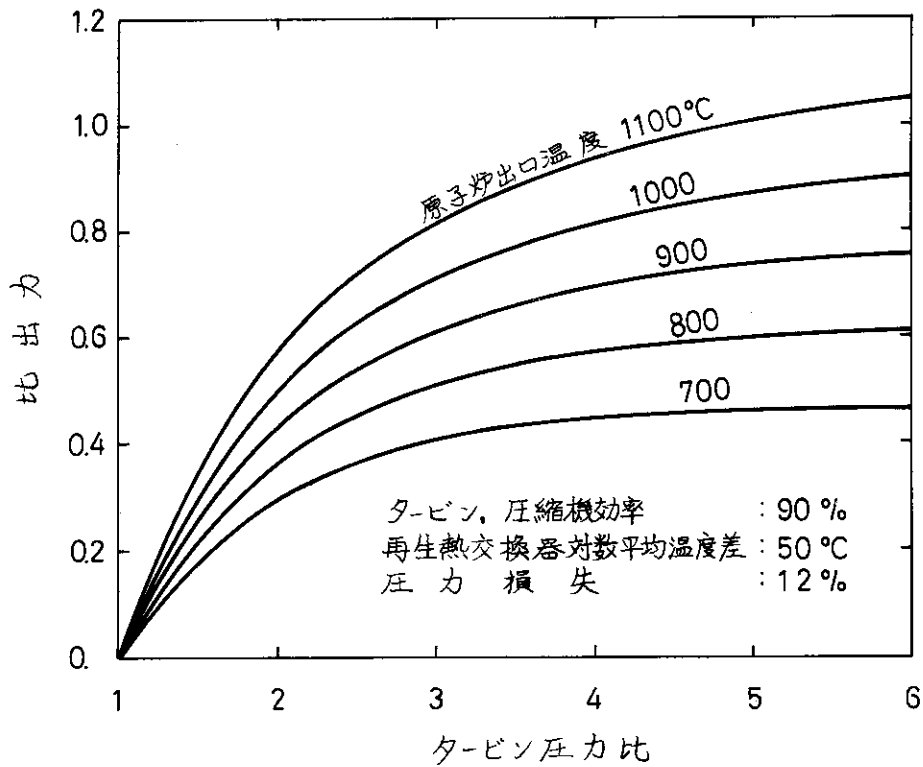


Fig. 35 2段中間冷却再生サイクルの比出力



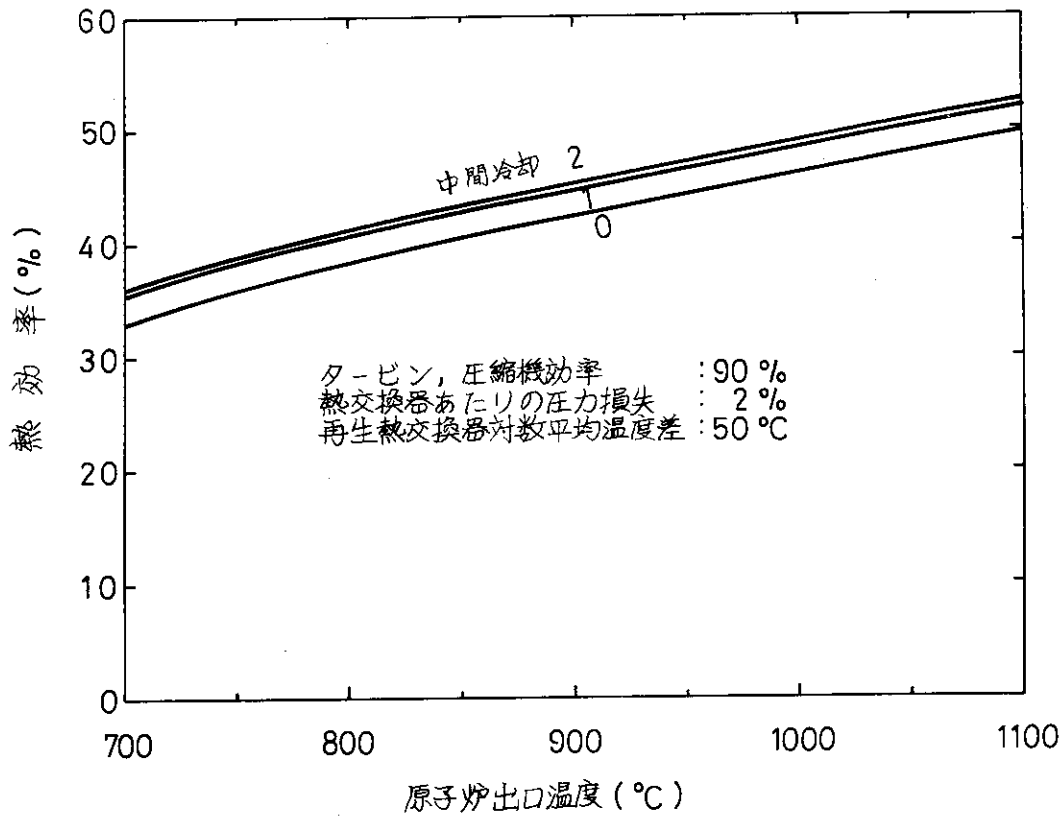


Fig. 36 中間冷却の最大熱効率への影響

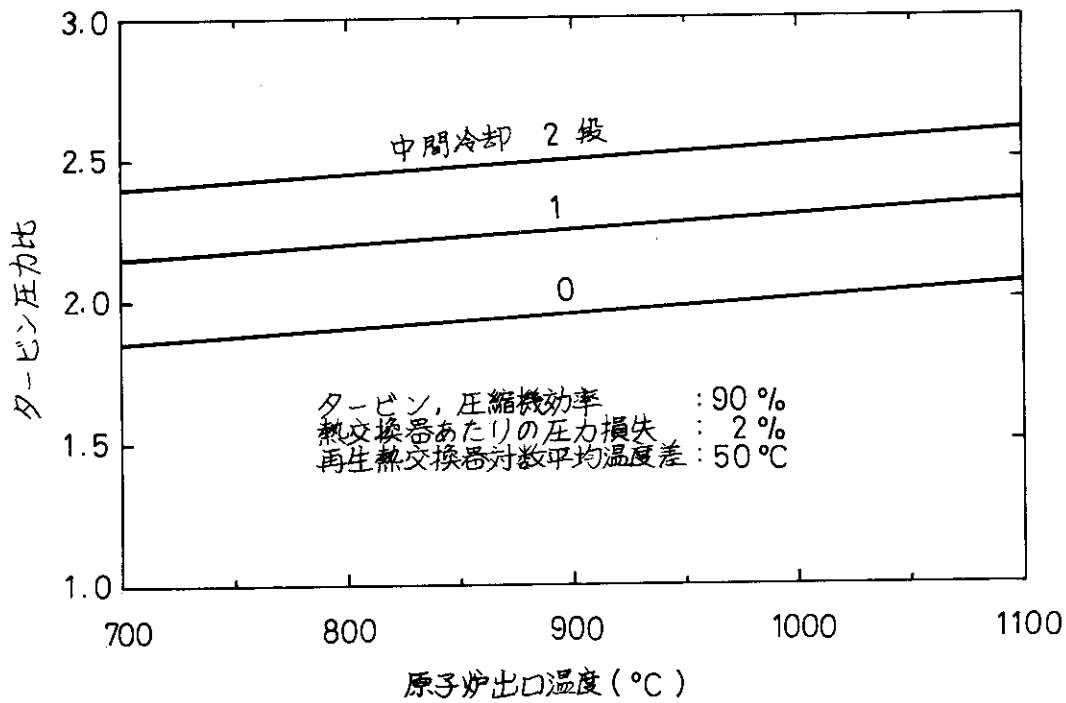


Fig. 37 中間冷却による最適圧力比の変化

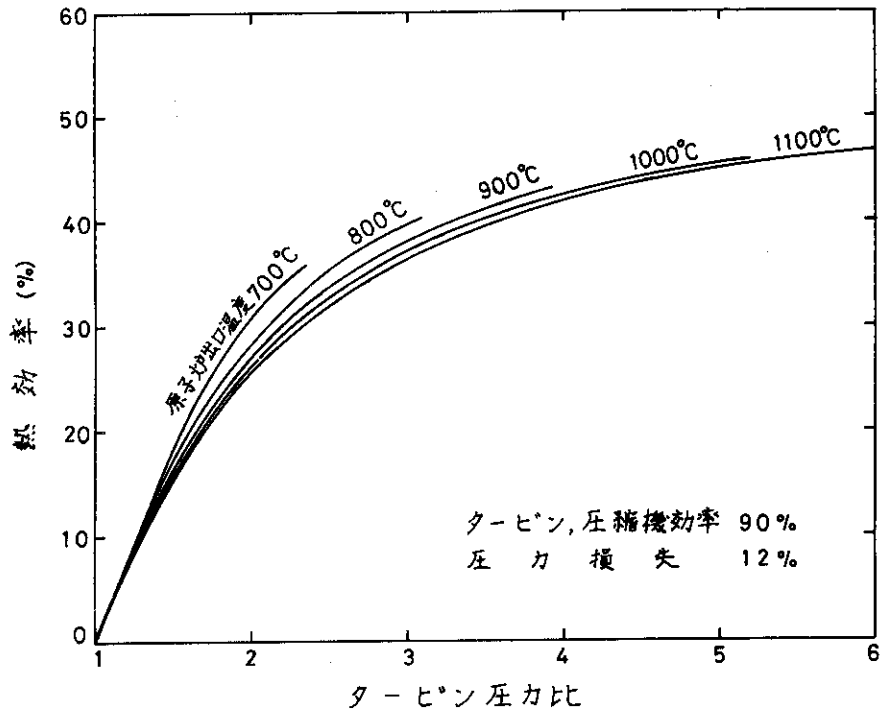


Fig.38 2段中間冷却サイクルの熱効率  
(原子炉入口温度 400°C)

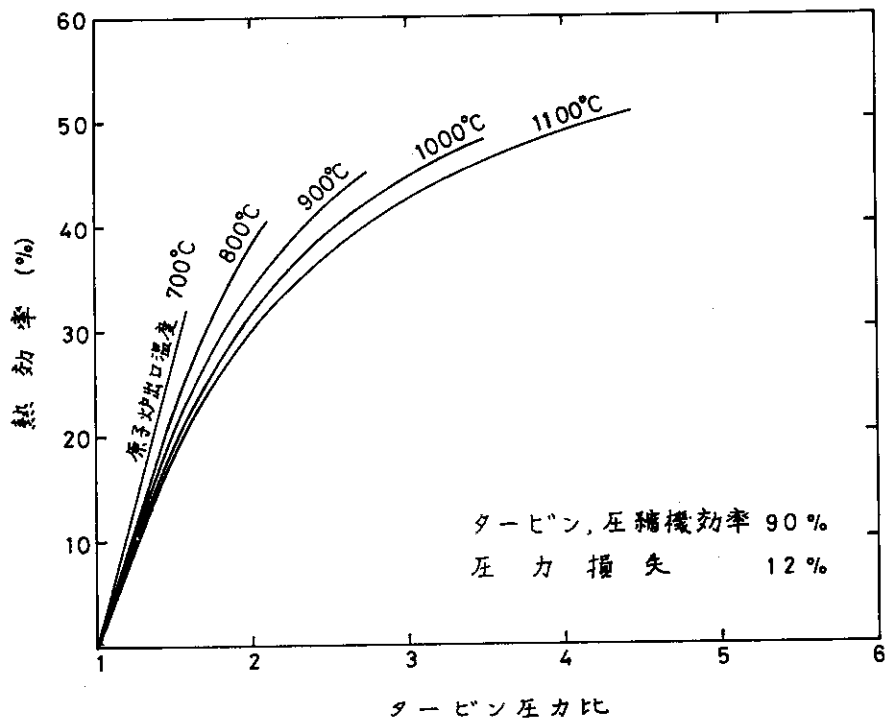


Fig.39 2段中間冷却再生サイクルの熱効率  
(原子炉入口温度 500°C)

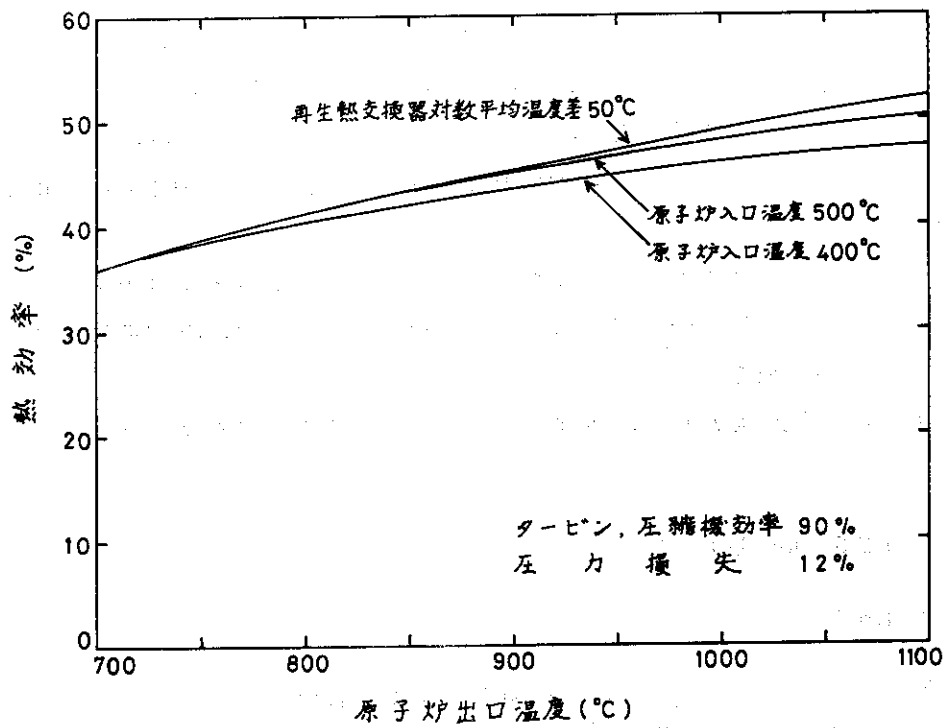


Fig.40 2段中間冷却再生サイクルの最大熱効率

## 5. 計算コード

## 5.1 コードの構成

本コード(GASTUR-II)は、ガスタービン密閉サイクルの特性解析を行うための計算機プログラムである。入力としてタービン入口温度、圧力、圧縮機入口温度、タービン圧力比、ターボ機械効率、熱交換器圧力損失等を与え、出力としてサイクル各点の温度、圧力、機器出力、熱効率、比出力等を算出する。使用語はFORTRAN-IV、機種はFACOM230-60である。

本コードは次の様な特徴を有している。

- (1) ヘリウムガスタービンサイクルを主な対象としているため、ガスを理想気体として取り扱っている。即ち定圧比熱は一定である。従つて定圧比熱が温度、圧力に依存するようなガスに対しては使用出来ない。
- (2) 定圧比熱  $C_p$ 、比熱比  $k$  の値は、便宜上次のようなヘリウムに対する値としてコード内に組み込まれている。

$$C_p = 1.255 \text{ kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$k = 1.66$$

従つてその他のガスに使用する場合には、この値を修正する必要がある。

- (3) タービンの膨張過程および圧縮機の圧縮過程については、断熱過程に効率を適用させる方法で取り扱う。
- (4) 多段圧縮、中間冷却過程を考慮することが出来る。
- (5) 特性解析においては圧力比をパラメーターとして計算する必要があるので、これに適するように一定のメッシュ巾(0.25)で区切られた圧力比により連続的に計算出来るように作られている。
- (6) 再生熱交換器を設置する再生サイクルおよび設置しない単純サイクルの計算が可能である。
- (7) 再生熱交換器を設置する場合の入力として、再生熱交換器対数平均温度差を用いることも、原子炉入口温度を用いることも可能である。
- (8) 熱交換器圧力損失の入力に関しては、個々の熱交換器の圧力損失値を入力することも可能であるし、圧力損失とその熱交換器の設置点の圧力との比を入力することも可能である。

次にコードにおける計算の過程を述べる。Fig. 41にガスタービンサイクルの*i-s*線図を示す。図の $P_i$ は*i*点の圧力、 $\Delta P_{i,k}$ は*i k*間の圧力損失、 $P_i(j)$ の*j*は第*j*番目の計算であることを示している。Fig. 42にフロー線図を示す。入力として各種のオプション、原子炉熱出力、圧縮機入口温度、原子炉出口温度および圧力、ターボ機械効率等が与えられる。まずタービン入口温度、圧力、タービン圧力比よりタービン断熱出口温度が求められ、タービン効率を用いて実際のタービン出口温度が求められる。続いて各熱交換器の圧力損失が加減され、各点の圧力が求められる。圧縮機入口温度とここで求めた圧縮機入口、出口圧力より、圧縮機効率を用いて圧縮機出口温度が求められる。多段圧縮の場合には、圧縮仕事を最小にするように中

間点の圧力が決められる。この値は次式で計算される。

$$P_1(i, j) = [K(j)]^{i-1} P_1(1, j) - \frac{\Delta P_{21}(i-1, j)}{2}$$

$$P_2(i, j) = [K(j)]^i P_1(1, j) + \frac{\Delta P_{21}(i, j)}{2}$$

ここで

$$K(j) = \left[ \frac{P_2(n, j)}{P_1(1, j)} \right]^{\frac{1}{n}}$$

再生サイクルの場合には、ここで対数平均温度差または原子炉入口温度が用いられ、再生熱交換器の出入口温度が求められる。この際、タービン出口ガス温度より50℃を減じた温度が圧縮機出口ガス温度を下まわっているようであれば、再生熱交換器の設置は不可能となるので、この場合には計算は行われぬ。原子炉入口温度を入力として計算する場合、この温度が原子炉入口温度を下まわるならば矢張り不都合が生じる。しかし原子炉入口温度は上限のみが制限されていると考えられるので、この場合には、タービン出口温度より50℃を減じた温度を原子炉入口温度として計算が続行される。

以上各点の温度、圧力が求められると、これを用いて各機器の出入口のエントルピー差即ち、単位ガス流量あたりの出力が計算される。これと原子炉熱出力よりガス流量が決り、続いて各機器の出力、熱効率、比出力が順次求められる。

以上のプログラムリストがTable 3 に示される。

## 5.2 入力形式

入力は以下のカード形式で行われる。ここで注意すべき点は次の通りである。

(1) タービン圧力比はオプション(NPOP)により、メッシュに分けて連続計算を行う場合と、任意の1個の値を入力する場合とに分けられる。メッシュに分ける場合、メッシュ巾は0.25、最大メッシュ数は $m=30$ である。1個の値を入力する場合にはメッシュ数 $m=1$ とする。

(2) 圧力損失を入力する場合、単純サイクルではP23IN(J), P41IN(J), 再生サイクルではP25IN(J), P53IN(J), P46IN(J), P61IN(J)の値を入力する。圧縮機数 $n \geq 2$ の場合には中間冷却器の圧力損失としてP21IN(J)を入力する。これらの値は各熱交換器に対し $m$ 個ずつ与えなければならない。

(3) #2カードの熱交換器圧力損失比Eは $\Delta P/P$ を示している。 $\Delta P$ は熱交換器圧力損失、Pはその平均の圧力である。従つて熱交換器により別々のEを与えることは出来ない。

#1(I2, 4X, I2A4)

○ CN(col. 1~2)

: ケース番号

○ TITLE(col. 7~54)

: タイトル名

#2(6I3, 6X, E10.4)

- N : 圧縮機基数 ( $N \leq 5$ )
  - M : タービン圧力比メツシユ数 ( $M \leq 30$ )
  - NPOP : タービン圧力比オプション
    - { = 0  $M \geq 2$  (0.25メツシユ)
    - { = 1  $M = 1$  (入力値による1個)
  - NCOP : サイクル・オプション
    - { = 0 単廻サイクル
    - { = 1 再生サイクル
  - NDOP : 圧力損失オプション
    - { = 0 圧力に対する比として与える
    - { = 1 入力値による
  - NHOP : 再生熱交換器オプション
    - { = 0 原子炉入口温度 T5IN を入力する。
    - { = 1 対数平均温度差 DLTMIN を入力する。
  - E : 熱交換器圧力損失比 (NDOP=1 のとき 0 を記入)
- # 3 (5E10.4)
- T1(I) : 圧縮機入口温度, °C ( $I=1 \sim N$ )
- # 4 (5E10.4)
- ETAK(I) : 圧縮機断熱効率 ( $I=1 \sim N$ )
- # 5 (5E10.4)
- QN : 原子炉熱出力, MW
  - T3 : 原子炉出口温度, °C
  - P3 : 原子炉出口圧力,  $\text{kg/cm}^2 \text{A}$
  - ETAT : タービン断熱効率
  - PITIN : タービン圧力比 (NPOP=0 のとき 0 を記入)
- # 6 (E10.4)
- T5IN : 原子炉入口温度, °C (NHOP=0 のとき)
- # 7 (E10.4)
- DLTMIN : 再生熱交換器対数平均温度差, °C (NHOP=1 のとき)
- # 8 (8E10.5)
- P23IN(J) : 原子炉圧力損失,  $\text{kg/cm}^2$  ( $J=1 \sim M$ )
- # 9 (8E10.5)
- P41IN(J) : 前置冷却器圧力損失,  $\text{kg/cm}^2$  ( $J=1 \sim M$ )
- # 10 (8E10.5)
- P25IN(J) : 再生熱交換器高圧側圧力損失,  $\text{kg/cm}^2$  ( $J=1 \sim M$ )
- # 11 (8E10.5)
- P53IN(J) : 原子炉圧力損失,  $\text{kg/cm}^2$  ( $J=1 \sim M$ )

# 12 (8E10.5)

◦ P461N(J) : 再生熱交換器低圧側圧力損失,  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (J=1~M)

# 13 (8E10.5)

◦ P611N(J) : 前置冷却器圧力損失,  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (J=1~M)

# 14 (8E10.5)

◦ P211N(I, J) : 中間冷却器圧力損失,  $\text{kg}/\text{cm}^2$  ( $N \geq 2$  の場合, I=1~N-1, J=1~M)

本コードの入力データの記入例を Table 1 に示す。

### 5.3 出力形式

出力データは入力データの出力を含め、サイクル各点の温度、圧力、圧力損失、サイクル構成機器の熱出力、サイクル熱効率などで構成される。Table 2 に出力データの例を示す。出力データ中の圧力比は圧縮機においてはその圧力比  $P_2(i, j)/P_1(i, j)$  の値を、タービンその他の熱交換器においてはタービン圧力比  $P_3/P_4(j)$  の値が印刷されている。

- 
- (注) 1. # 8, # 9 は NCOP=0, NDOP=1 の場合に入力する。  
2. # 10 ~ # 13 は NCOP=1, NDCOP=1 の場合に入力する。

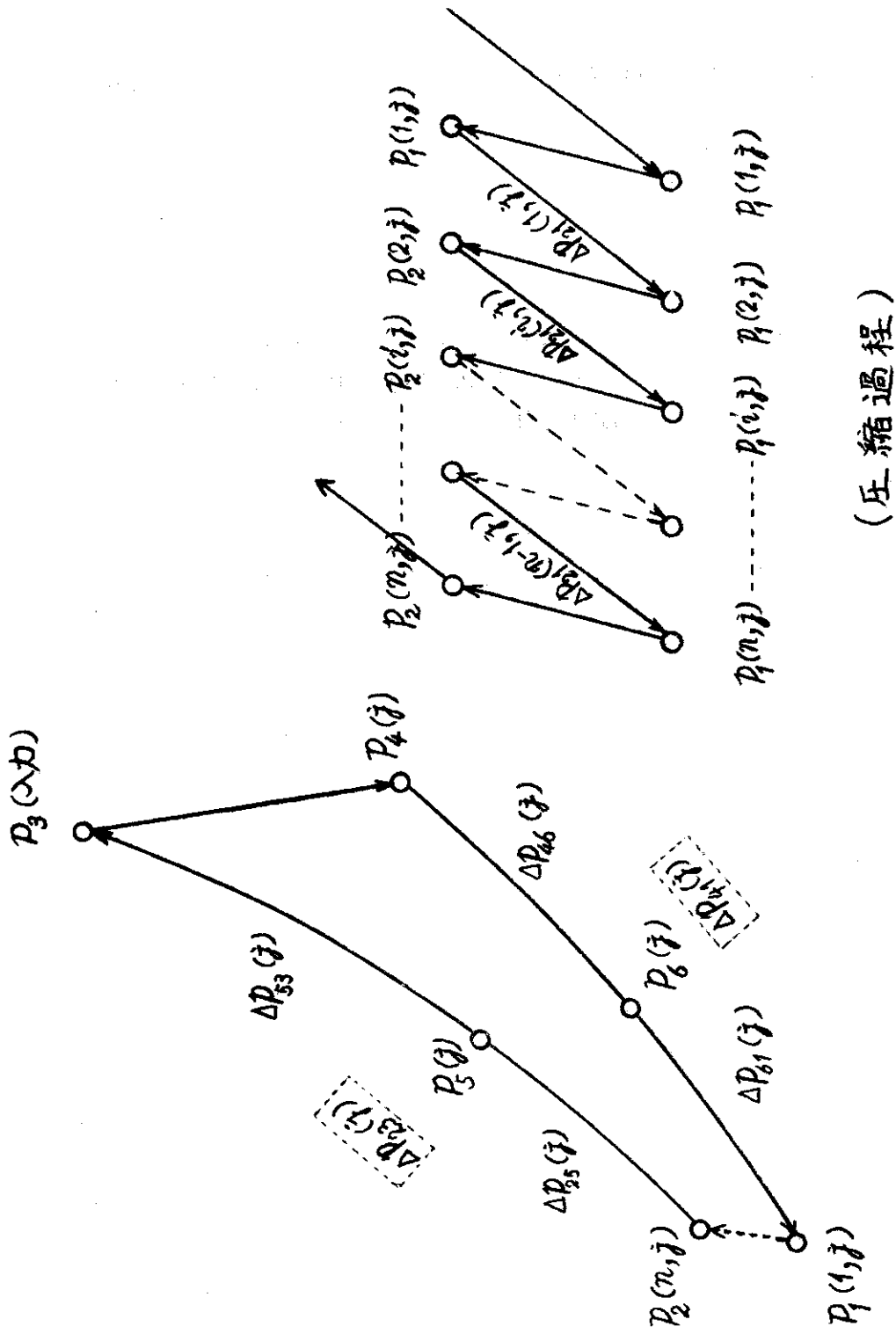


Fig. 41 ガスタービン・サイクル  $i-s$  線図



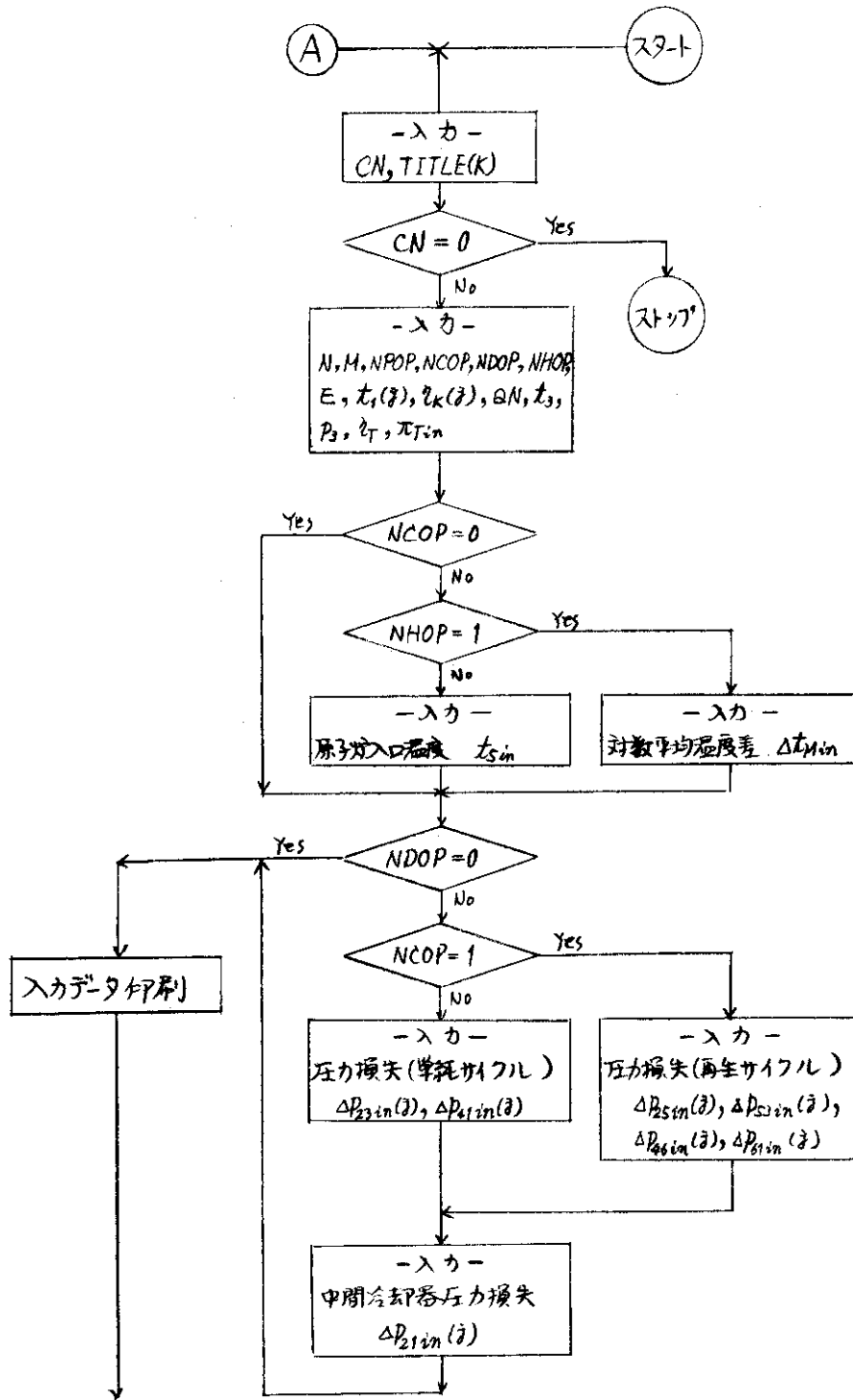
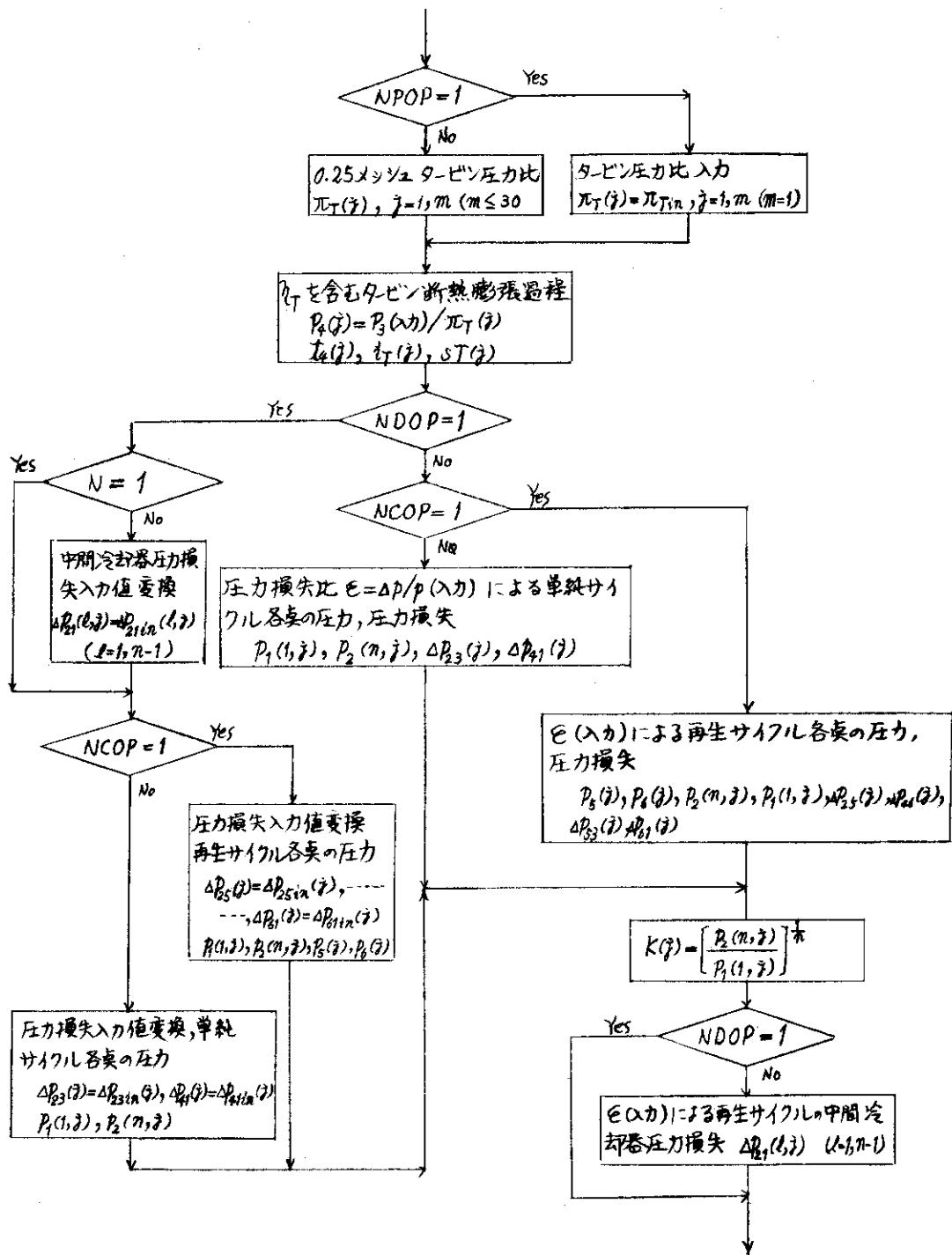
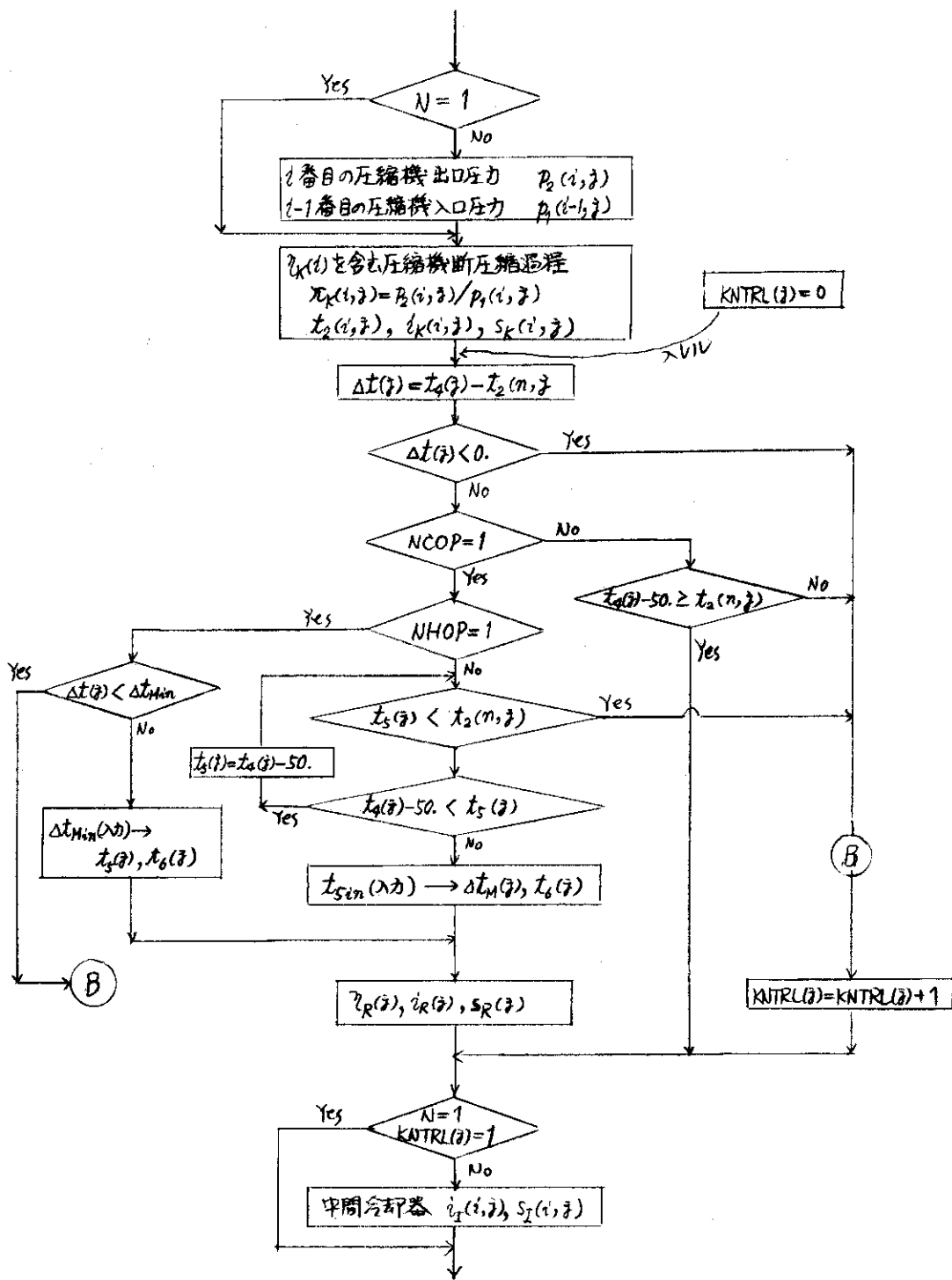


Fig. 42 計算フロー線図





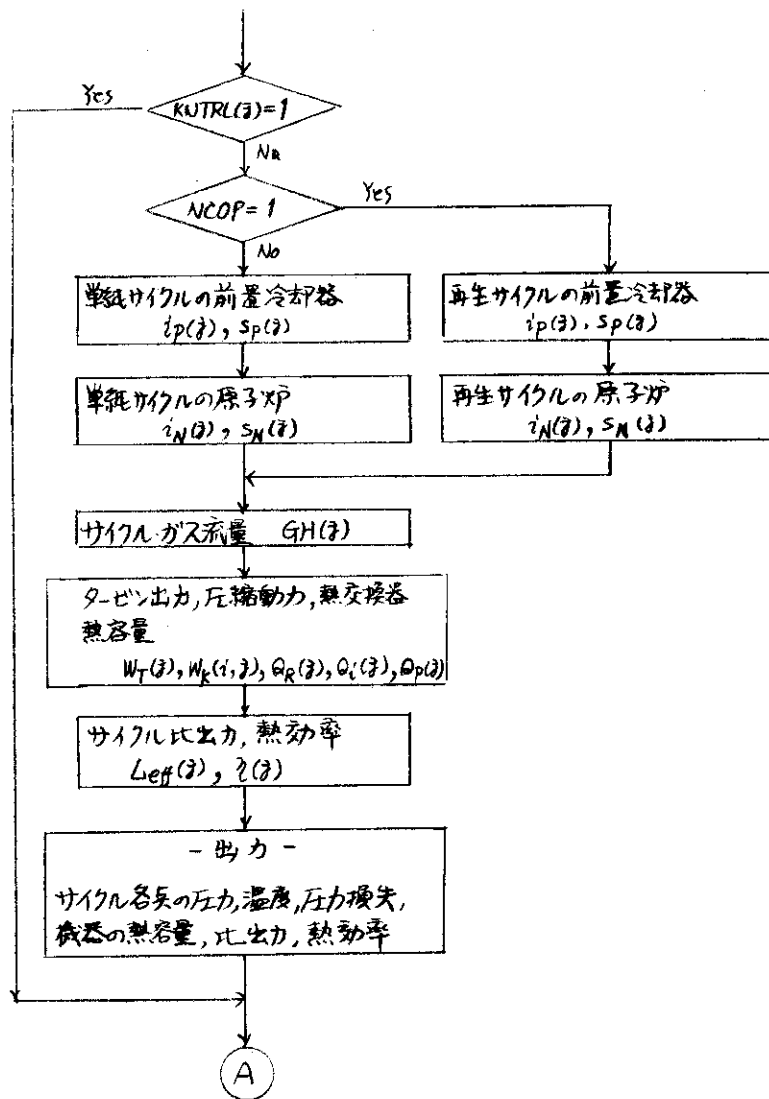




Table 2

```

*****
*
*   GAS - TURBINE CYCLE CALCULATION
*
*   CASE NO. 1   INTER-COOLING CYCLE, N=2
*
*****
    
```

\*\*\* INPUT DATA \*\*\*

```

NPOP= 0
NCOP= 1
NDOP= 0
NHOP= 1
N= 2
M= 24
E=0.2000E-01

      INLET      INLET      PRESSURE      ADIABATIC
      TEMPERATURE  PRESSURE      RATIO          EFFICIENCY
      (DEG-C)    (KG/SQ.CM*A)  (N.D.)         (N.D.)

COMPRESSOR
  1 ST  4.0000E 01  --          --          9.0000E-01
  2 ND  4.0000E 01  --          --          9.0000E-01

TURBINE  1.0000E 03  4.0000E 01  --          9.0000E-01

      OUTLET      OUTLET      THERMAL
      TEMPERATURE  PRESSURE      CAPACITY
      (DEG-C)    (KG/SQ.CM-A)  (MW)

REACTOR  1.0000E 03  4.0000E 01  6.0000E 02

PRE-COOLER  4.0000E 01  --          --

INTER
-COOLER
  1 ST  4.0000E 01  --          --

R.H.X.
  H.P.  --          --
  L.P.  --          --

LOG. MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE  5.0000E 01 DEG-C
    
```

\*\*\* RESULTS OF CALCULATION \*\*\*

	PRESSURE RATIO (N.D.)	INLET TEMPERATURE (DEG-C)	OUTLET TEMPERATURE (DEG-C)	INLET PRESSURE (KG/SQ-CM-A)	OUTLET PRESSURE (KG/SQ-CM-A)	PRESSURE DROP (KG/SQ-CM)	ENTHALPY (KCAL/KG)	ENTROPY (KCAL/ KG-DEG-C)	HEAT CAPACITY (MW)
COMPRESSOR									
1 ST									
1.1753E 00	4.0000E 01	6.3078E 01	3.0745E 01	3.6135E 01	--	2.8963E 01	8.6438E-03	9.4018E 01	
1.2875E 00	4.0000E 01	7.6772E 01	2.5621E 01	3.2986E 01	--	4.6149E 01	1.3258E-02	1.0002E 02	
1.3906E 00	4.0000E 01	8.8744E 01	2.1961E 01	3.0540E 01	--	6.1174E 01	1.7019E-02	1.0499E 02	
1.4868E 00	4.0000E 01	9.9416E 01	1.9216E 01	2.8567E 01	--	7.4567E 01	2.0176E-02	1.0935E 02	
1.5768E 00	4.0000E 01	1.0907E 02	1.7081E 01	2.6933E 01	--	8.6678E 01	2.2885E-02	1.1329E 02	
1.6621E 00	4.0000E 01	1.1789E 02	1.5373E 01	2.5521E 01	--	9.7756E 01	2.5251E-02	1.1688E 02	
1.7433E 00	4.0000E 01	1.2604E 02	1.3975E 01	2.4362E 01	--	1.0798E 02	2.7345E-02	1.2021E 02	
1.8208E 00	4.0000E 01	1.3361E 02	1.2811E 01	2.3325E 01	--	1.1748E 02	2.9220E-02	1.2330E 02	
1.8951E 00	4.0000E 01	1.4064E 02	1.1825E 01	2.2410E 01	--	1.2637E 02	3.0913E-02	1.2621E 02	
1.9667E 00	4.0000E 01	1.4739E 02	1.0980E 01	2.1595E 01	--	1.3473E 02	3.2455E-02	1.2894E 02	
2.0357E 00	4.0000E 01	1.5364E 02	1.0248E 01	2.0862E 01	--	1.4262E 02	3.3869E-02	1.3154E 02	
2.1024E 00	4.0000E 01	1.5960E 02	9.6079E 00	2.0200E 01	--	1.5010E 02	3.5173E-02	1.3400E 02	
2.1671E 00	4.0000E 01	1.6527E 02	9.0427E 00	1.9597E 01	--	1.5721E 02	3.6381E-02	1.3635E 02	
2.2300E 00	4.0000E 01	1.7068E 02	8.5403E 00	1.9045E 01	--	1.6400E 02	3.7506E-02	1.3859E 02	
2.2911E 00	4.0000E 01	1.7585E 02	8.0908E 00	1.8537E 01	--	1.7049E 02	3.8575E-02	1.4074E 02	
2.3506E 00	4.0000E 01	1.8081E 02	7.6883E 00	1.8067E 01	--	1.7671E 02	3.9543E-02	1.4281E 02	
2.4089E 00	4.0000E 01	1.8557E 02	7.3203E 00	1.7632E 01	--	1.8269E 02	4.0472E-02	1.4480E 02	
2.4653E 00	4.0000E 01	1.9015E 02	6.9876E 00	1.7227E 01	--	1.8844E 02	4.1348E-02	1.4672E 02	
2.5207E 00	4.0000E 01	1.9458E 02	6.6837E 00	1.6848E 01	--	1.9399E 02	4.2177E-02	1.4857E 02	
2.5750E 00	4.0000E 01	1.9884E 02	6.4053E 00	1.6493E 01	--	1.9935E 02	4.2963E-02	1.5037E 02	
2.6281E 00	4.0000E 01	2.0297E 02	6.1490E 00	1.6160E 01	--	2.0453E 02	4.3710E-02	1.5210E 02	
2.6801E 00	4.0000E 01	2.0697E 02	5.9123E 00	1.5846E 01	--	2.0955E 02	4.4422E-02	1.5379E 02	
2.7312E 00	4.0000E 01	2.1095E 02	5.6936E 00	1.5550E 01	--	2.1442E 02	4.5102E-02	1.5543E 02	
2.7813E 00	4.0000E 01	2.1462E 02	5.4902E 00	1.5270E 01	--	2.1914E 02	4.5752E-02	1.5702E 02	
2 ND									
1.1754E 00	4.0000E 01	6.3099E 01	5.5419E 01	4.1632E 01	--	2.8982E 01	8.6490E-03	9.4078E 01	
1.2876E 00	4.0000E 01	7.6788E 01	3.2333E 01	4.1632E 01	--	4.6169E 01	1.3263E-02	1.0006E 02	
1.3908E 00	4.0000E 01	8.8760E 01	2.9935E 01	4.1632E 01	--	6.1194E 01	1.7024E-02	1.0502E 02	
1.4868E 00	4.0000E 01	9.9432E 01	2.8061E 01	4.1632E 01	--	7.4587E 01	2.0180E-02	1.0938E 02	
1.5770E 00	4.0000E 01	1.0908E 02	2.6400E 01	4.1632E 01	--	8.6699E 01	2.2890E-02	1.1331E 02	
1.6623E 00	4.0000E 01	1.1791E 02	2.5045E 01	4.1632E 01	--	9.7777E 01	2.5255E-02	1.1691E 02	
1.7434E 00	4.0000E 01	1.2606E 02	2.3880E 01	4.1632E 01	--	1.0800E 02	2.7349E-02	1.2023E 02	
1.8209E 00	4.0000E 01	1.3363E 02	2.2863E 01	4.1632E 01	--	1.1750E 02	2.9224E-02	1.2333E 02	
1.8953E 00	4.0000E 01	1.4071E 02	2.1966E 01	4.1632E 01	--	1.2639E 02	3.0917E-02	1.2623E 02	
1.9668E 00	4.0000E 01	1.4737E 02	2.1167E 01	4.1632E 01	--	1.3475E 02	3.2459E-02	1.2897E 02	
2.0359E 00	4.0000E 01	1.5366E 02	2.0449E 01	4.1632E 01	--	1.4264E 02	3.3873E-02	1.3156E 02	
2.1027E 00	4.0000E 01	1.5962E 02	1.9890E 01	4.1632E 01	--	1.5012E 02	3.5177E-02	1.3402E 02	
2.1674E 00	4.0000E 01	1.6529E 02	1.9209E 01	4.1632E 01	--	1.5723E 02	3.6395E-02	1.3637E 02	
2.2302E 00	4.0000E 01	1.7069E 02	1.8668E 01	4.1632E 01	--	1.6402E 02	3.7510E-02	1.3861E 02	
2.2913E 00	4.0000E 01	1.7587E 02	1.8170E 01	4.1632E 01	--	1.7051E 02	3.8561E-02	1.4076E 02	
2.3508E 00	4.0000E 01	1.8083E 02	1.7710E 01	4.1632E 01	--	1.7674E 02	3.9547E-02	1.4283E 02	
2.4089E 00	4.0000E 01	1.8559E 02	1.7283E 01	4.1632E 01	--	1.8271E 02	4.0475E-02	1.4482E 02	
2.4656E 00	4.0000E 01	1.9017E 02	1.6885E 01	4.1632E 01	--	1.8847E 02	4.1351E-02	1.4674E 02	
2.5210E 00	4.0000E 01	1.9460E 02	1.6514E 01	4.1632E 01	--	1.9402E 02	4.2180E-02	1.4859E 02	
2.5752E 00	4.0000E 01	1.9887E 02	1.6167E 01	4.1632E 01	--	1.9938E 02	4.2966E-02	1.5039E 02	
2.6283E 00	4.0000E 01	2.0300E 02	1.5840E 01	4.1632E 01	--	2.0456E 02	4.3714E-02	1.5212E 02	
2.6804E 00	4.0000E 01	2.0699E 02	1.5532E 01	4.1632E 01	--	2.0958E 02	4.4426E-02	1.5381E 02	
2.7314E 00	4.0000E 01	2.1087E 02	1.5242E 01	4.1632E 01	--	2.1444E 02	4.5106E-02	1.5545E 02	
2.7815E 00	4.0000E 01	2.1466E 02	1.4967E 01	4.1632E 01	--	2.1917E 02	4.5755E-02	1.5704E 02	
TURBINE									
1.2500E 00	1.0000E 03	9.0272E 02	4.0000E 01	3.2000E 01	--	1.2209E 02	1.1590E-02	3.9631E 02	
1.5000E 00	1.0000E 03	8.2969E 02	4.0000E 01	2.6667E 01	--	2.1410E 02	2.1764E-02	4.6401E 02	
1.7500E 00	1.0000E 03	7.7143E 02	4.0000E 01	2.2857E 01	--	2.8686E 02	3.0890E-02	4.9231E 02	
2.0000E 00	1.0000E 03	7.2460E 02	4.0000E 01	2.0000E 01	--	3.4638E 02	3.9203E-02	5.0798E 02	
2.2500E 00	1.0000E 03	6.8420E 02	4.0000E 01	1.7778E 01	--	3.9633E 02	4.6862E-02	5.1799E 02	
2.5000E 00	1.0000E 03	6.5015E 02	4.0000E 01	1.6000E 01	--	4.3906E 02	5.3982E-02	5.2497E 02	
2.7500E 00	1.0000E 03	6.2055E 02	4.0000E 01	1.4545E 01	--	4.7621E 02	6.0648E-02	5.3014E 02	
3.0000E 00	1.0000E 03	5.9449E 02	4.0000E 01	1.3333E 01	--	5.0891E 02	6.6925E-02	5.3414E 02	
3.2500E 00	1.0000E 03	5.7130E 02	4.0000E 01	1.2308E 01	--	5.3802E 02	7.2866E-02	5.3733E 02	
3.5000E 00	1.0000E 03	5.5048E 02	4.0000E 01	1.1429E 01	--	5.6415E 02	7.8511E-02	5.3994E 02	
3.7500E 00	1.0000E 03	5.3164E 02	4.0000E 01	1.0667E 01	--	5.8779E 02	8.3895E-02	5.4213E 02	
4.0000E 00	1.0000E 03	5.1448E 02	4.0000E 01	1.0000E 01	--	6.0933E 02	8.9044E-02	5.4398E 02	
4.2500E 00	1.0000E 03	4.9875E 02	4.0000E 01	9.4118E 00	--	6.2907E 02	9.3984E-02	5.4556E 02	
4.5000E 00	1.0000E 03	4.8427E 02	4.0000E 01	8.8889E 00	--	6.4724E 02	9.8735E-02	5.4697E 02	
4.7500E 00	1.0000E 03	4.7087E 02	4.0000E 01	8.4211E 00	--	6.6406E 02	1.0331E-01	5.4820E 02	
5.0000E 00	1.0000E 03	4.5842E 02	4.0000E 01	8.0000E 00	--	6.7969E 02	1.0773E-01	5.4929E 02	
5.2500E 00	1.0000E 03	4.4681E 02	4.0000E 01	7.6190E 00	--	6.9426E 02	1.1200E-01	5.5026E 02	
5.5000E 00	1.0000E 03	4.3595E 02	4.0000E 01	7.2727E 00	--	7.0789E 02	1.1613E-01	5.5114E 02	
5.7500E 00	1.0000E 03	4.2576E 02	4.0000E 01	6.9565E 00	--	7.2068E 02	1.2014E-01	5.5194E 02	
6.0000E 00	1.0000E 03	4.1617E 02	4.0000E 01	6.6667E 00	--	7.3271E 02	1.2404E-01	5.5267E 02	
6.2500E 00	1.0000E 03	4.0712E 02	4.0000E 01	6.4000E 00	--	7.4407E 02	1.2783E-01	5.5334E 02	
6.5000E 00	1.0000E 03	3.9856E 02	4.0000E 01	6.1538E 00	--	7.5480E 02	1.3151E-01	5.5395E 02	
6.7500E 00	1.0000E 03	3.9045E 02	4.0000E 01	5.9259E 00	--	7.6498E 02	1.3510E-01	5.5451E 02	
7.0000E 00	1.0000E 03	3.8276E 02	4.0000E 01	5.7143E 00	--	7.7464E 02	1.3860E-01	5.5504E 02	

REACTOR

1.2500E 00	8.5272E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	1.8484E 02	1.5429E-01	6.0000E 02
1.5000E 00	7.7940E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	2.7685E 02	2.3880E-01	6.0000E 02
1.7500E 00	7.2143E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	3.4961E 02	3.0990E-01	6.0000E 02
2.0000E 00	6.7400E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	4.0913E 02	3.7122E-01	6.0000E 02
2.2500E 00	6.3420E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	4.5908E 02	4.2505E-01	6.0000E 02
2.5000E 00	6.0015E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	5.0181E 02	4.7310E-01	6.0000E 02
2.7500E 00	5.7055E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	5.3896E 02	5.1637E-01	6.0000E 02
3.0000E 00	5.4449E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	5.7166E 02	5.5575E-01	6.0000E 02
3.2500E 00	5.2130E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	6.0077E 02	5.9185E-01	6.0000E 02
3.5000E 00	5.0048E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	6.2690E 02	6.2519E-01	6.0000E 02
3.7500E 00	4.8164E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	6.5054E 02	6.5613E-01	6.0000E 02
4.0000E 00	4.6448E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	6.7208E 02	6.8499E-01	6.0000E 02
4.2500E 00	4.4875E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	6.9182E 02	7.1204E-01	6.0000E 02
4.5000E 00	4.3427E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	7.0999E 02	7.3747E-01	6.0000E 02
4.7500E 00	4.2087E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	7.2681E 02	7.6148E-01	6.0000E 02
5.0000E 00	4.0842E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	7.4244E 02	7.8419E-01	6.0000E 02
5.2500E 00	3.9681E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	7.5701E 02	8.0575E-01	6.0000E 02
5.5000E 00	3.8595E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	7.7064E 02	8.2626E-01	6.0000E 02
5.7500E 00	3.7576E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	7.8343E 02	8.4582E-01	6.0000E 02
6.0000E 00	3.6617E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	7.9546E 02	8.6451E-01	6.0000E 02
6.2500E 00	3.5712E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	8.0682E 02	8.8240E-01	6.0000E 02
6.5000E 00	3.4856E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	8.1755E 02	8.9955E-01	6.0000E 02
6.7500E 00	3.4045E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	8.2773E 02	9.1602E-01	6.0000E 02
7.0000E 00	3.3276E 02	1.0000E 03	4.0808E 01	4.0000E 01	6.0808E-01	8.3739E 02	9.3187E-01	6.0000E 02

PRE-COOLER

1.2500E 00	1.1309E 02	4.0000E 01	3.1366E 01	3.0745E 01	6.2112E-01	9.1732E 01	2.6328E-01	2.9777E 02
1.5000E 00	1.2679E 02	4.0000E 01	2.6139E 01	2.5621E 01	5.1760E-01	1.0892E 02	3.0701E-01	2.3605E 02
1.7500E 00	1.3876E 02	4.0000E 01	2.2405E 01	2.1961E 01	4.4365E-01	1.2394E 02	3.4402E-01	2.1271E 02
2.0000E 00	1.4943E 02	4.0000E 01	1.9604E 01	1.9216E 01	3.8820E-01	1.3734E 02	3.7612E-01	2.0141E 02
2.2500E 00	1.5908E 02	4.0000E 01	1.7426E 01	1.7081E 01	3.4506E-01	1.4945E 02	4.0446E-01	1.9533E 02
2.5000E 00	1.6791E 02	4.0000E 01	1.5683E 01	1.5373E 01	3.1056E-01	1.6053E 02	4.2984E-01	1.9194E 02
2.7500E 00	1.7606E 02	4.0000E 01	1.4257E 01	1.3975E 01	2.8233E-01	1.7075E 02	4.5280E-01	1.9009E 02
3.0000E 00	1.8363E 02	4.0000E 01	1.3069E 01	1.2811E 01	2.5880E-01	1.8025E 02	4.7378E-01	1.8919E 02
3.2500E 00	1.9071E 02	4.0000E 01	1.2064E 01	1.1825E 01	2.3889E-01	1.8914E 02	4.9309E-01	1.8890E 02
3.5000E 00	1.9737E 02	4.0000E 01	1.1202E 01	1.0980E 01	2.2183E-01	1.9750E 02	5.1098E-01	1.8902E 02
3.7500E 00	2.0366E 02	4.0000E 01	1.0455E 01	1.0248E 01	2.0704E-01	2.0539E 02	5.2764E-01	1.8943E 02
4.0000E 00	2.0962E 02	4.0000E 01	9.9020E 00	9.6079E 00	1.9410E-01	2.1287E 02	5.4323E-01	1.9004E 02
4.2500E 00	2.1529E 02	4.0000E 01	9.2254E 00	9.0427E 00	1.8268E-01	2.1998E 02	5.5788E-01	1.9079E 02
4.5000E 00	2.2069E 02	4.0000E 01	8.7129E 00	8.5403E 00	1.7253E-01	2.2677E 02	5.7170E-01	1.9164E 02
4.7500E 00	2.2587E 02	4.0000E 01	8.2543E 00	8.0908E 00	1.6345E-01	2.3326E 02	5.8478E-01	1.9256E 02
5.0000E 00	2.3083E 02	4.0000E 01	7.8416E 00	7.6863E 00	1.5528E-01	2.3949E 02	5.9719E-01	1.9354E 02
5.2500E 00	2.3559E 02	4.0000E 01	7.4682E 00	7.3203E 00	1.4768E-01	2.4546E 02	6.0899E-01	1.9455E 02
5.5000E 00	2.4017E 02	4.0000E 01	7.1287E 00	6.9376E 00	1.4116E-01	2.5122E 02	6.2025E-01	1.9559E 02
5.7500E 00	2.4460E 02	4.0000E 01	6.8188E 00	6.6837E 00	1.3503E-01	2.5677E 02	6.3102E-01	1.9665E 02
6.0000E 00	2.4887E 02	4.0000E 01	6.5347E 00	6.4053E 00	1.2940E-01	2.6213E 02	6.4132E-01	1.9772E 02
6.2500E 00	2.5300E 02	4.0000E 01	6.2733E 00	6.1490E 00	1.2422E-01	2.6731E 02	6.5121E-01	1.9879E 02
6.5000E 00	2.5699E 02	4.0000E 01	6.0320E 00	5.9125E 00	1.1945E-01	2.7233E 02	6.6072E-01	1.9986E 02
6.7500E 00	2.6087E 02	4.0000E 01	5.8086E 00	5.6936E 00	1.1502E-01	2.7719E 02	6.6986E-01	2.0093E 02
7.0000E 00	2.6464E 02	4.0000E 01	5.6011E 00	5.4902E 00	1.1091E-01	2.8192E 02	6.7868E-01	2.0200E 02

INTER-COOLER  
1 ST

1.2500E 00	6.3078E 01	4.0000E 01	3.6135E 01	3.5419E 01	7.1554E-01	2.8963E 01	8.9240E-02	9.4018E 01
1.5000E 00	7.6772E 01	4.0000E 01	3.2986E 01	3.2333E 01	6.5320E-01	4.6149E 01	1.3934E-01	1.0002E 02
1.7500E 00	8.8744E 01	4.0000E 01	3.0540E 01	2.9935E 01	6.0474E-01	6.1174E 01	1.8156E-01	1.0499E 02
2.0000E 00	9.9416E 01	4.0000E 01	2.8567E 01	2.8001E 01	5.6569E-01	7.4567E 01	2.1803E-01	1.0935E 02
2.2500E 00	1.0907E 02	4.0000E 01	2.6933E 01	2.6400E 01	5.3333E-01	8.6678E 01	2.5013E-01	1.1329E 02
2.5000E 00	1.1789E 02	4.0000E 01	2.5551E 01	2.5045E 01	5.0596E-01	9.7756E 01	2.7878E-01	1.1688E 02
2.7500E 00	1.2604E 02	4.0000E 01	2.4362E 01	2.3880E 01	4.8242E-01	1.0798E 02	3.0465E-01	1.2021E 02
3.0000E 00	1.3361E 02	4.0000E 01	2.3325E 01	2.2863E 01	4.6188E-01	1.1748E 02	3.2823E-01	1.2330E 02
3.2500E 00	1.4069E 02	4.0000E 01	2.2410E 01	2.1966E 01	4.4376E-01	1.2637E 02	3.4990E-01	1.2621E 02
3.5000E 00	1.4735E 02	4.0000E 01	2.1595E 01	2.1167E 01	4.2762E-01	1.3473E 02	3.6993E-01	1.2894E 02
3.7500E 00	1.5364E 02	4.0000E 01	2.0862E 01	2.0449E 01	4.1312E-01	1.4262E 02	3.8856E-01	1.3154E 02
4.0000E 00	1.5960E 02	4.0000E 01	2.0200E 01	1.9800E 01	4.0000E-01	1.5010E 02	4.0596E-01	1.3400E 02
4.2500E 00	1.6527E 02	4.0000E 01	1.9547E 01	1.9209E 01	3.8806E-01	1.5721E 02	4.2229E-01	1.3635E 02
4.5000E 00	1.7068E 02	4.0000E 01	1.9045E 01	1.8668E 01	3.7712E-01	1.6400E 02	4.3768E-01	1.3859E 02
4.7500E 00	1.7585E 02	4.0000E 01	1.8537E 01	1.8170E 01	3.6707E-01	1.7049E 02	4.5222E-01	1.4074E 02
5.0000E 00	1.8081E 02	4.0000E 01	1.8067E 01	1.7710E 01	3.5777E-01	1.7671E 02	4.6600E-01	1.4281E 02
5.2500E 00	1.8557E 02	4.0000E 01	1.7632E 01	1.7283E 01	3.4915E-01	1.8269E 02	4.7910E-01	1.4480E 02
5.5000E 00	1.9015E 02	4.0000E 01	1.7227E 01	1.6885E 01	3.4112E-01	1.8844E 02	4.9159E-01	1.4672E 02
5.7500E 00	1.9458E 02	4.0000E 01	1.6848E 01	1.6514E 01	3.3362E-01	1.9399E 02	5.0351E-01	1.4857E 02
6.0000E 00	1.9885E 02	4.0000E 01	1.6493E 01	1.6167E 01	3.2660E-01	1.9935E 02	5.1491E-01	1.5037E 02
6.2500E 00	2.0297E 02	4.0000E 01	1.6160E 01	1.5840E 01	3.2000E-01	2.0453E 02	5.2584E-01	1.5210E 02
6.5000E 00	2.0697E 02	4.0000E 01	1.5846E 01	1.5532E 01	3.1379E-01	2.0935E 02	5.3634E-01	1.5379E 02
6.7500E 00	2.1085E 02	4.0000E 01	1.5550E 01	1.5242E 01	3.0792E-01	2.1442E 02	5.4643E-01	1.5543E 02
7.0000E 00	2.1462E 02	4.0000E 01	1.5270E 01	1.4967E 01	3.0237E-01	2.1914E 02	5.5616E-01	1.5702E 02



R.H.X.  
H.P.

1.2500E 00	6.3093E 01	8.5272E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	9.9098E 02	1.5166E 00	3.2169E 03
1.5000E 00	7.6788E 01	7.7940E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	8.8178E 02	1.3820E 00	1.9110E 03
1.7500E 00	8.8760E 01	7.2143E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	7.9399E 02	1.2687E 00	1.3626E 03
2.0000E 00	9.9432E 01	6.7400E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	7.2108E 02	1.1709E 00	1.0575E 03
2.2500E 00	1.0908E 02	6.3420E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	6.5902E 02	1.0849E 00	8.6133E 02
2.5000E 00	1.1791E 02	6.0015E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	6.0521E 02	1.0083E 00	7.2363E 02
2.7500E 00	1.2606E 02	5.7055E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	5.5784E 02	9.3914E-01	6.2102E 02
3.0000E 00	1.3363E 02	5.4449E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	5.1563E 02	8.7619E-01	5.4119E 02
3.2500E 00	1.4071E 02	5.2130E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	4.7764E 02	8.1842E-01	4.7703E 02
3.5000E 00	1.4737E 02	5.0048E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	4.4315E 02	7.6505E-01	4.2414E 02
3.7500E 00	1.5366E 02	4.8164E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	4.1162E 02	7.1548E-01	3.7964E 02
4.0000E 00	1.5962E 02	4.6448E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	3.8260E 02	6.6921E-01	3.4156E 02
4.2500E 00	1.6529E 02	4.4875E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	3.5575E 02	6.2383E-01	3.0853E 02
4.5000E 00	1.7069E 02	4.3427E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	3.3078E 02	5.8501E-01	2.7954E 02
4.7500E 00	1.7587E 02	4.2087E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	3.0748E 02	5.4647E-01	2.5383E 02
5.0000E 00	1.8083E 02	4.0842E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	2.8563E 02	5.0997E-01	2.3083E 02
5.2500E 00	1.8559E 02	3.9681E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	2.6508E 02	4.7531E-01	2.1010E 02
5.5000E 00	1.9017E 02	3.8595E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	2.4570E 02	4.4232E-01	1.9129E 02
5.7500E 00	1.9460E 02	3.7576E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	2.2736E 02	4.1084E-01	1.7412E 02
6.0000E 00	1.9887E 02	3.6617E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	2.0996E 02	3.8075E-01	1.5837E 02
6.2500E 00	2.0300E 02	3.5712E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	1.9342E 02	3.5193E-01	1.4384E 02
6.5000E 00	2.0699E 02	3.4856E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	1.7767E 02	3.2428E-01	1.3039E 02
6.7500E 00	2.1087E 02	3.4045E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	1.6263E 02	2.9771E-01	1.1788E 02
7.0000E 00	2.1464E 02	3.3276E 02	4.1632E 01	4.0808E 01	8.2441E-01	1.4824E 02	2.7214E-01	1.0621E 02

L.P.

1.2500E 00	9.0272E 02	1.1309E 02	3.2000E 01	3.1366E 01	6.3366E-01	9.9098E 02	1.5166E 00	3.2169E 03
1.5000E 00	8.2940E 02	1.2679E 02	2.6667E 01	2.6139E 01	5.2805E-01	8.8178E 02	1.3820E 00	1.9110E 03
1.7500E 00	7.7143E 02	1.3876E 02	2.2857E 01	2.2405E 01	4.5262E-01	7.9399E 02	1.2687E 00	1.3626E 03
2.0000E 00	7.2400E 02	1.4943E 02	2.0000E 01	1.9604E 01	3.9604E-01	7.2108E 02	1.1709E 00	1.0575E 03
2.2500E 00	6.8420E 02	1.5908E 02	1.7778E 01	1.7426E 01	3.5204E-01	6.5902E 02	1.0849E 00	8.6133E 02
2.5000E 00	6.5015E 02	1.6791E 02	1.6000E 01	1.5683E 01	3.1683E-01	6.0521E 02	1.0083E 00	7.2363E 02
2.7500E 00	6.2055E 02	1.7606E 02	1.4545E 01	1.4257E 01	2.8803E-01	5.5784E 02	9.3914E-01	6.2102E 02
3.0000E 00	5.9449E 02	1.8343E 02	1.3333E 01	1.3069E 01	2.6403E-01	5.1563E 02	8.7619E-01	5.4119E 02
3.2500E 00	5.7130E 02	1.9071E 02	1.2308E 01	1.2064E 01	2.4372E-01	4.7764E 02	8.1842E-01	4.7703E 02
3.5000E 00	5.5048E 02	1.9737E 02	1.1429E 01	1.1202E 01	2.2631E-01	4.4315E 02	7.6505E-01	4.2414E 02
3.7500E 00	5.3164E 02	2.0366E 02	1.0667E 01	1.0455E 01	2.1122E-01	4.1162E 02	7.1548E-01	3.7964E 02
4.0000E 00	5.1448E 02	2.0962E 02	1.0000E 01	9.8020E 00	1.9802E-01	3.8260E 02	6.6921E-01	3.4156E 02
4.2500E 00	4.9875E 02	2.1529E 02	9.4118E 00	9.2254E 00	1.8637E-01	3.5575E 02	6.2383E-01	3.0853E 02
4.5000E 00	4.8427E 02	2.2069E 02	8.8889E 00	8.7129E 00	1.7602E-01	3.3078E 02	5.8501E-01	2.7954E 02
4.7500E 00	4.7087E 02	2.2587E 02	8.4211E 00	8.2543E 00	1.6675E-01	3.0748E 02	5.4647E-01	2.5383E 02
5.0000E 00	4.5842E 02	2.3083E 02	8.0000E 00	7.8416E 00	1.5842E-01	2.8563E 02	5.0997E-01	2.3083E 02
5.2500E 00	4.4681E 02	2.3559E 02	7.6190E 00	7.4682E 00	1.5087E-01	2.6508E 02	4.7531E-01	2.1010E 02
5.5000E 00	4.3595E 02	2.4017E 02	7.2727E 00	7.1287E 00	1.4401E-01	2.4570E 02	4.4232E-01	1.9129E 02
5.7500E 00	4.2576E 02	2.4460E 02	6.9565E 00	6.8188E 00	1.3775E-01	2.2736E 02	4.1084E-01	1.7412E 02
6.0000E 00	4.1617E 02	2.4887E 02	6.6667E 00	6.5347E 00	1.3201E-01	2.0996E 02	3.8075E-01	1.5837E 02
6.2500E 00	4.0712E 02	2.5300E 02	6.4000E 00	6.2733E 00	1.2673E-01	1.9342E 02	3.5193E-01	1.4384E 02
6.5000E 00	3.9856E 02	2.5699E 02	6.1538E 00	6.0320E 00	1.2186E-01	1.7767E 02	3.2428E-01	1.3039E 02
6.7500E 00	3.9045E 02	2.6087E 02	5.9259E 00	5.8086E 00	1.1735E-01	1.6263E 02	2.9771E-01	1.1788E 02
7.0000E 00	3.8276E 02	2.6464E 02	5.7143E 00	5.6011E 00	1.1315E-01	1.4824E 02	2.7214E-01	1.0621E 02

PRESSURE RATIO (N·D·)	HELIUM FLOW RATE (KG/SEC)	LOG. MEAN TEMP. DIF. (DEG-C)	R.H.X. TEMP. EFF. (N·D·)	SPECIFIC POWER (N·D·)	THERMAL EFFICIENCY (PERCENT)
1.2500E 00	7.7533E 02	5.0000E 01	9.4045E-01	1.6324E-01	3.4701E 01
1.5000E 00	5.1763E 02	5.0000E 01	9.3356E-01	3.0993E-01	4.3989E 01
1.7500E 00	4.0991E 02	5.0000E 01	9.2676E-01	4.1863E-01	4.7050E 01
2.0000E 00	3.5027E 02	5.0000E 01	9.1994E-01	5.0194E-01	4.8207E 01
2.2500E 00	3.1217E 02	5.0000E 01	9.1306E-01	5.6740E-01	4.8565E 01
2.5000E 00	2.8558E 02	5.0000E 01	9.0606E-01	6.1977E-01	4.8530E 01
2.7500E 00	2.6590E 02	5.0000E 01	8.9889E-01	6.6228E-01	4.8284E 01
3.0000E 00	2.5069E 02	5.0000E 01	8.9151E-01	6.9714E-01	4.7918E 01
3.2500E 00	2.3854E 02	5.0000E 01	8.8380E-01	7.2597E-01	4.7482E 01
3.5000E 00	2.2860E 02	5.0000E 01	8.7596E-01	7.4994E-01	4.7005E 01
3.7500E 00	2.2029E 02	5.0000E 01	8.6772E-01	7.6995E-01	4.6505E 01
4.0000E 00	2.1323E 02	5.0000E 01	8.5910E-01	7.8669E-01	4.5994E 01
4.2500E 00	2.0715E 02	5.0000E 01	8.5006E-01	8.0070E-01	4.5478E 01
4.5000E 00	2.0184E 02	5.0000E 01	8.4055E-01	8.1242E-01	4.4962E 01
4.7500E 00	1.9717E 02	5.0000E 01	8.3051E-01	8.2218E-01	4.4449E 01
5.0000E 00	1.9302E 02	5.0000E 01	8.1988E-01	8.3027E-01	4.3942E 01
5.2500E 00	1.8931E 02	5.0000E 01	8.0859E-01	8.3692E-01	4.3441E 01
5.5000E 00	1.8596E 02	5.0000E 01	7.9656E-01	8.4231E-01	4.2948E 01
5.7500E 00	1.8292E 02	5.0000E 01	7.8370E-01	8.4662E-01	4.2463E 01
6.0000E 00	1.8016E 02	5.0000E 01	7.6990E-01	8.4998E-01	4.1986E 01
6.2500E 00	1.7762E 02	5.0000E 01	7.5505E-01	8.5250E-01	4.1518E 01
6.5000E 00	1.7529E 02	5.0000E 01	7.3900E-01	8.5424E-01	4.1058E 01
6.7500E 00	1.7313E 02	5.0000E 01	7.2158E-01	8.5541E-01	4.0607E 01
7.0000E 00	1.7114E 02	5.0000E 01	7.0259E-01	8.5595E-01	4.0164E 01

\* SOURCE STATEMENT \*

```

C      A COMPUTER CODE FOR THE CALCULATION
C      OF GAS-TURBINE CYCLF. INTER-COOLING CONSIDERED.
C      ( DECEMBER/ 1972 )
1      DIMENSION
2      1 TITLE(12),KNTRL(30),
3      2 T1(5),T2(5,30),T2D(5,30),T4(30),T4D(30),T5(30),T6(30),
4      3 P1(5,30),P2(5,30),P4(30),P5(30),P6(30),P25(30),P53(30),P46(30),
5      4 P61(30),P21(4,30),P25IN(30),P53IN(30),P46IN(30),P61IN(30),
6      5 P21IN(4,30),PIT(30),PIK(5,30),EXT(30),EXK(5,30),PIMAX(30),
7      6 ETAK(5),ETAR(30),P23(30),P41(30),P23IN(30),P41IN(30)
8      DIMENSION
9      1 IT(30),ST(30),IK(5,30),SK(5,30),IRC(30),SR(30),IP(30),SP(30),
10     2 I1(4,30),SI(4,30),INC(30),SN(30),
11     3 WT(30),WK(5,30),WKO(30),ORC(30),OP(30),OI(4,30),OI(30),
12     4 WFFF(30),POWR(30),ALFFF(30),ETA(30),
13     5 DLTAT(30),DLTMC(30),HED(6),GH(30)
14     REAL
15     1 IT,IK,IR,IP,II,IN
16     INTEGER
17     1 CN
18     DATA
19     1 ( HED(K),K=J,6 )/4H ST ,4H ND ,4H RD ,4H TH ,
20     2 4HH.P.,4HL.P./,
21     3 CP, EK/ 1.255,1.66 /
22     C
23     C
24     READ INPUT
25     2 READ(5,4) CN,(TITLE(K),K=1,12)
26     4 FORMAT( 12,4X,12A4)
27     IF( CN.EQ.0 ) STOP
28     READ(5,6) N,M,NPOP,NCOP,NDOP,NHOP,E
29     6 FORMAT(6I3,6X,F10.4)
30     NN= N - 1
31     READ(5,8) (T1(I),I=1,N)
32     8 FORMAT(5E10,4)
33     READ(5,8) (ETAK(I),I=1,N)
34     READ(5,8) (N,T3,P3,ETAT,PITIN
35     IF( NCOP.EQ.0 ) GO TO 15
36     IF( NHOP.EQ.1 ) GO TO 14
37     READ(5,9) T5IN
38     9 FORMAT( E10,4 )
39     GO TO 15
40     14 READ(5,9) DLTMIN
41     15 IF( NDOP.EQ.0 ) GO TO 16
42     IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 17
43     READ(5,10) (P23IN(J),J=1,M)
44     24 FORMAT(8E10,5)
45     GO TO 18
46     17 READ(5,10) (P41IN(J),J=1,M)
47     18 READ(5,10) (P25IN(J),J=1,M)
48     READ(5,10) (P53IN(J),J=1,M)
49     READ(5,10) (P46IN(J),J=1,M)
50     READ(5,10) (P61IN(J),J=1,M)
51     18 IF( N.EQ.1 ) GO TO 16
52     DO 12 I=1,NN
53     12 READ(5,10) (P21IN(I,J),J=1,M)

```

```

* SOURCE STATEMENT (FTMAIN ) *
C
35 WRITE(6,20)
36 FORMAT(1H1,/)
37 WRITE(6,22)
38 FORMAT(1H ,18X,83(1H*))
39 WRITE(6,24)
40 FORMAT(1H ,18X,1H*,18X,81X,1H*)
41 WRITE(6,26)
42 FORMAT(1H ,18X,1H*,12X,57HG A S - T U R B I N E C Y C L E C A
    LL C U L A T I O N ,12X,1H*)
43 WRITE(6,24)
44 WRITE(6,28) CN,(TITLE(K),K=1,12)
45 FORMAT(1H ,18X,1H*,6X,RHCASF NO.,13,5X,12A4,11X,1H*)
46 WRITE(6,24)
47 WRITE(6,22)
48 WRITE(6,30)
49 FORMAT(1H0,42X,27H*** I N P U T D A T A ***/)
C
50 PRINT INPUT
51 WRITE(6,301) NPDP,NCOP,NDOP,NHOP
52 FORMAT(1H ,15X,5HNPOP=,12/16X,5HNCOP=,12/16X,5HNDOP=,12/
    116X,5HNHOP=,12)
53 WRITE(6,302) N,M
54 FORMAT(1H ,15X,2HN=,13/16X,2HM=,13)
55 IF(NDOP.EQ.1) GO TO 304
56 WRITE(6,303) E
57 FORMAT(1H ,15X,2HE=,E10,4)
58 WRITE(6,32)
59 FORMAT(1H0,10X,2(7X,5HINLET),5X,8HPRESSURE,3X,9HADIBATIC/
    1 15X,11HTEMPERATURE,2X,8HPRESSURE,6X,5HRATIO,4X,10HEFFICIENCY/
    2 17X,7H(DEG-C),2X,12H(KG/50.CM**A),3X,2(6H(N.D.),6X))
C
59 WRITE(6,34)
60 FORMAT(1H0,11H COMPRESSOR)
61 DO 40 I=1,N
62 IM1= I
63 IF( I.EQ.5 ) IM1=IM1-1
64 WRITE(6,36) I,HED(IM1)
65 FORMAT(1H ,5X,11,A4)
66 WRITE(6,38) T1(I),FTAK(I)
67 FORMAT(1H+,12X,1PE12,4,6X,2H--,10X,2H--,4X,1PE12,4)
68 CONTINUE
C
69 WRITE(6,42)
70 FORMAT(1H0,8H TURBINE)
71 WRITE(6,44) T3,P3,FIAT
72 FORMAT(1H+,12X,1P2F12,4,12X,1PE12,4)
73 IF( NPOP.EQ.0 ) GO TO 46
74 WRITE(6,45) PITIN
75 FORMAT(1H+,36X,1PE12,4)
76 GO TO 48
77 WRITE(6,47)
78 FORMAT(1H+,42X,2H--)
79 WRITE(6,49)

```

```

* SOURCE STATEMENT (FTMAIN ) *
80
49 FORMAT(1H0,10X,2(6X,6HOUTLET),5X,7HTHERMAL/15X,11HTEMPERATURE,
1 2X,8HPRESSURE,4X,8HCAPACITY/17X,7H(DEG-C),2X,12H(KG/SQ.CM-A),
2 4X,4H(MW))
WRITE(6,50)
50 FORMAT(1H0,8H REACTOR)
WRITE(6,51) T3,P3,WN
51 FORMAT(1H+,12X,1P3E12,4)
WRITE(6,52)
52 FORMAT(1H0,11H, PRE-COOLER)
WRITE(6,53) T1(L1)
53 FORMAT(1H+,12X,1PE12,4,6X,2H--,10X,2H-- )
IF( N.EQ.1 ) GO TO 57
WRITE(6,54)
54 FORMAT(1H0,6H INTER/5X,7H-COOLER)
DO 56 L=1,NN
WRITE(6,36) L,HED(L)
WRITE(6,53) T1(L)
56 CONTINUE
57 IF( NCOP.EQ.0 ) GO TO 70
WRITE(6,58)
58 FORMAT(1H0,7H, R.H.X.)
WRITE(6,60) HED(5)
60 FORMAT(1H, 5X,A4)
IF( NHOP.EQ.1 ) GO TO 64
WRITE(6,62) T5IN
62 FORMAT(1H+,12X,1PE12,4,6X,2H-- )
GO TO 65
64 WRITE(6,66)
66 FORMAT(1H+,8X,2(10X,2H--))
65 WRITE(6,67) HED(6)
67 FORMAT(1H, 5X,A4,9X,2H--,10X,2H-- )
IF( NHOP.EQ.0 ) GO TO 70
WRITE(6,68) DLTMIN
68 FORMAT(1H0,5X,32HLOG, MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE,
1 5X,1PE12,4,6H DEG-C)
70 IF( NDOP.EQ.0 ) GO TO 80
WRITE(6,72)
72 FORMAT(1H0,26H PRESSURE DROP (KG/SQ.CM))
WRITE(6,50)
IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 73
WRITE(6,74) (P23IN(J),J=1,M)
74 FORMAT(1H, 12X,1PRF12,4)
WRITE(6,52)
WRITE(6,74) (P41IN(J),J=1,M)
GO TO 75
73 WRITE(6,74) (P53IN(J),J=1,M)
75 WRITE(6,52)
WRITE(6,74) (P61IN(J),J=1,M)
75 IF( N.EQ.1 ) GO TO 78
WRITE(6,54)
DO 76 L=1,NN
WRITE(6,36) L,HED(L)
WRITE(6,74) (P21IN(L),J=1,M)
76 CONTINUE
78 IF( NCOP.EQ.0 ) GO TO 80
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131

```

\* SOURCE STATEMENT (FTMAIN )\*

```

132 WRITE(6,58)
133 WRITE(6,60) HED(5)
134 WRITE(6,74) (P25IN(J),J=1,M)
135 WRITE(6,79) HED(6)
136 79 FORMAT(IH,2X,A4)
137 WRITE(6,74) (P46IN(J),J=1,M)

C
138 EPSI = (EK-1.0) / EK
139 T3 = T3+ 273.15
140 DO 82 I=1,N
141 82 T1(I) = T1(I) + 273.15

C
C
C TURBINE CHARACTERISTICS
142 IF( NPOP.EQ.1 ) GO TO 102
143 DO 101 J=1,M
144 PIT(J) = 1.0 +0.25*FLOAT(J)
145 101 CONTINUE
146 GO TO 103
147 PIT(1) = PITIN
148 DO 104 J=1,M
149 P4(J) = P3/PIT(J)
150 EXT(J) = PIT(J)*EPSI
151 T4(J) = T3/EXT(J)
152 T4(J) = -ETAT*T3*(1.0-1.0/EXT(J))-1.0/ETAT
153 IT(J) = CP*(T3-T4(J))
154 SIT(J) = CP*ALOG(T4(J)/T40(J))
155 104 CONTINUE

C
C
C PRESSURE, PRESSURE DROP
156 IF( NPOP.EQ.1 ) GO TO 107
157 DO 106 J=1,M
158 IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 105
159 P1(L,J) = (2.0-F)/(2.0+F)* P4(J)
160 P2(N,J) = (2.0+F)/(2.0-F)* P3
161 P23(J) = (2.0*E)/(2.0-E)* P3
162 P41(J) = (2.0*E)/(2.0+F)* P4(J)
163 GO TO 106
164 P5(J) = (2.0+E)/(2.0-E)* P3
165 P6(J) = (2.0-E)/(2.0+E)* P4(J)
166 P2(N,L,J) = (2.0+F)/(2.0-F)* P5(J)
167 P1(L,L,J) = (2.0-F)/(2.0+E)* P6(J)
168 P25(J) = (2.0*E)/(2.0-F)* P5(J)
169 P46(J) = (2.0*E)/(2.0+E)* P4(J)
170 P33(J) = (2.0*E)/(2.0-E)* P3
171 P61(J) = (2.0*E)/(2.0+E)* P6(J)
172 106 CONTINUE
173 GO TO 111
174 DO 110 J=1,M
175 IF( N.EQ.1 ) GO TO 109
176 DO 108 L=1,NN
177 P21(L,J) = P21IN(L,J)
178 108 CONTINUE
179 IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 250
180 P23(J) = P23IN(J)
181 P41(J) = P41IN(J)

```

\* SOURCE STATEMENT (FTMAIN )\*

```

182 P1(L,J)= P4(J)-P41(J)
183 P2(N,J)= P3+P23(J)
184 GO TO 110
185 P25(J)= P25IN(J)
186 P46(J)= P46IN(J)
187 P53(J)= P53IN(J)
188 P61(J)= P61IN(J)
189 P1(L,J)= P4(J)-P46(J)-P61(J)
190 P2(N,J)= P3+P53(J)+P25(J)
191 P5(J)= P2(N,J)-P23(J)
192 P6(J)= P4(J)-P46(J)
193 CONTINUE
C
111 COMPRESSOR CHARACTERISTICS
112 REXP= 1.0/ FLOAT(N)
113 DO 120 J=1,M
114 P1MAX(J)= ( P2(N,J)/P1(L,J) )**REXP
115 IF( NDCOP.EW.1 ) GO TO 113
116 DO 117 L=1,NN
117 P21(L,J)= E*P1MAX(J)**(L)*P1(L,J)
118 CONTINUE
119 DO 118 I=1,N
120 IF( N.EW.1 ) GO TO 116
121 IF( L.EW.N ) GO TO 114
122 P2(L,J)= P1MAX(J)**(I)*P1(L,J)+ 0.5*P21(L,J)
123 IF( L.EW.1 ) GO TO 116
124 P1(L,J)= P1MAX(J)**(I-1)*P1(L,J)- 0.5*P21(L-1,J)
125 PIK(L,J)= P2(L,J)/P1(L,J)
126 EXK(L,J)= PIK(L,J)**EPSI
127 T2D(L,J)= 1/(1)*EXK(L,J)
128 T2(L,J)= 1.0/FTAK(I)*T1(I)*EXK(L,J)-1.0)+ETAK(I)*T1(I)
129 IK(L,J)= CP*(T2(L,J)-T1(I))
130 SK(L,J)= CP*ALOG(T2(L,J)/T2D(L,J))
131 CONTINUE
132 CONTINUE
C
DO 130 J=1,M
KNTRL(J)= 0
DLTAT(J)= T4(J)-T2(N,J)
IF( DLTAT(J).LT.0. ) GO TO 129
IF( NCOP.EW.1 ) GO TO 121
IF( T4(J)-50.0.GE.T2(N,J) ) GO TO 130
KNTRL(J)= KNTRL(J)+1
GO TO 130
C
RECUPERATOR CHARACTERISTICS
121 IF( NHOP.EW.1 ) GO TO 126
122 T5(J)= T5IN+ 273.15
123 IF( T5(J).LT.T2(N,J) ) GO TO 129
124 IF( T4(J)-50.0.LT.T5(J) ) GO TO 124
125 DLTMC(J)= T4(J)-T5(J)
126 T6(J)= T2(N,J)+DLTMC(J)
127 GO TO 128
128 T5(J)= T4(J)-50.0
129 T5(J)= T4(J)-50.0
GO TO 122

```

\* SOURCE STATEMENT (FTMAIN) \*

```

232 C
233   126 IF( DLTA(T(J),LT-DLTMIN) ) GO TO 129
234   DLTM(J)= DLTMIN
235   T5(J)= T4(J)-DLTM(J)
236   T6(J)= T2(N,J)+ DLTM(J)
237   128 ETARG(J)= (T5(J)-T2(N,J))/(T4(J)-T2(N,J))
238   IR(J) = CP*( T5(J)-T2(N,J) )
239   SRC(J) = CP*ALOG(T5(J)/T2(N,J))
240   GO TO 130
241   129 KNTR(J)= KNTRI(J)+ 1
242   130 CONTINUE
243 C
244 C COOLFR CHARACTERISTICS
245   ( PRE=COOLFR, INTFR=COOLER )
246 IF( N.EQ.1 ) GO TO 134
247 DO 132 I=1,NN
248 DO 132 J=1,M
249 IF( KNTRL(J).EQ.1 ) GO TO 132
250 I(I,J)= CP*(T(I,J)-T(I*1))
251 SI(I,J)= CP*ALOG(T(I,J)/T(I*1))
252 132 CONTINUE
253 C
254 134 DO 136 J=1,M
255 IF( KNTRC(J).EQ.1 ) GO TO 136
256 IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 135
257 IP(J)= CP*(T4(J)-T1(1))
258 SP(J)= CP*ALOG(T4(J)/T1(1))
259 GO TO 136
260 135 IP(J)= CP*(T6(J)-T1(1))
261 SP(J)= CP*ALOG(T6(J)/T1(1))
262 136 CONTINUE
263 C
264 C REACTOR CHARACTERISTICS
265 DO 138 J=1,M
266 IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 137
267 IN(J)= CP*(T3-T2(N,J))
268 SNC(J)= CP*ALOG(T3/T2(N,J))
269 GO TO 138
270 137 IF( KNTRC(J).EQ.1 ) GO TO 138
271 INC(J)= CP*(T3-T5(J))
272 SNC(J)= CP*ALOG(T3/T5(J))
273 138 CONTINUE
274 C
275 DO 140 J=1,M
276 IF( KNTRC(J).EQ.1 ) GO TO 140
277 GRC(J)= @N/(4.1868E-3*IN(J))
278 140 CONTINUE
279 C
280 C THERMAL CAPACITY, THERMAL EFFICIENCY
281 DO 146 J=1,M
282 IF( KNTRC(J).EQ.1 ) GO TO 146
283 WTC(J)= 4.1868E-3*ITC(J)*GRC(J)
284 @PC(J)= 4.1868E-3*IPC(J)*GRC(J)
285 IF( NCOP.EQ.0 ) GO TO 141
286 @RC(J)= 4.1868E-3*IRC(J)*GRC(J)
287 146 CONTINUE

```

\* SOURCE STATEMENT (FTMAIN) \*

```

277   141 WK0(J)=0.
278   @I0(J)=0.
279   DO 142 I=1,N
280   WK(I,J)= 4.186RE-3*IK(I,J)*GH(J)
281   WK0(J) = WK0(J)+WK(I,J)
282   142 CONTINUE
283   IF( N.E0.1 ) GO TO 146
284   DO 144 K=1,NN
285   @IK(K,J)= 4.186RE-3*I(K,J)*GH(J)
286   @I0(K) = @I0(K)+@I(K,J)
287   144 CONTINUE
288   146 CONTINUE
C
289   T3= T3-273.15
290   DO 149 I=1,N
291   T1(I)= T1(I)-273.15
292   DO 148 J=1,M
293   T2(I,J)= T2(I,J)-273.15
294   148 CONTINUE
295   149 CONTINUE
296   DO 150 J=1,M
297   T4(J)= T4(J)-273.15
298   IF( NCUP.F0.0 ) GO TO 151
299   T5(J)= T5(J)-273.15
300   T6(J)= T6(J)-273.15
301   IF( KNTRL(J).E0.1 ) GO TO 150
302   WFFF(J)= W1(J)-WK0(J)
303   POWR(J)= WFFF(J)/WT(J)
304   ALFFF(J)= ( 238.889*WFFF(J) ) / ( CP*(T1(I)+273.15)*GH(J) )
305   FTA(J) = 100.0*WFFF(J)/QN
306   150 CONTINUE
C
307   PRINT OF RESULTS
308   WRITE(6,152)
309   I 28H CALCULATION ***/
310   WRITE(6,154)
311   154 FORMAT(1H0,14X,8HPRESSURE,2(7X,5HINLET,6X,6HOUTLET),5X,8HPRESSURE,
312   14X,8HENTHALPY,5X,7HENTROPY,6X,4HHEAT/19X,5HRATIO,
313   2 2X,2(12H TEMPRATURE),2X,2(8HPRESSURE,4X),2X,
314   34HDROP,18X,6H(KCAL/6X,8HCAPACITY/17X,6H(N.D.)),
315   4 1X,2(5X,7H(DEG-C)),2X,2(12H(KG/S0,CM-A)),1X,
316   510H(KG/S0,CM),2X,9H(KCAL/KG),4X,9H(KG-DEG-C),5X,4H(CMW))
317   WRITE(6,154)
318   DO 160 I=1,N
319   IM= I
320   IF( I.E0.5 ) IM=IM-1
321   WRITE(6,156) I,HED(IM)
322   DO 310 J=1,M
323   WRITE(6,155) PIK(I,J),T1(I),T2(I,J)
324   155 FORMAT(1H,12X,1P3F12.4)
325   IF( KNTRL(J).E0.1 ) GO TO 157
326   WRITE(6,156) PI(I,J),P2(I,J),IK(I,J),SK(I,J),WK(I,J)
327   156 FORMAT(1H+,48X,1P2F12.4,5X,7H--,4X,1P3E12.4)
328   GO TO 310

```



\* SOURCE STATEMENT (FTMAIN) \*

```

323 157 WRITE(6,158)
324 158 FORMAT(1H+,43X,6(10X,2H--))
325 310 CONTINUE
326 160 CONTINUE
327 WRITE(6,42)
328 DO 314 J=1,M
329 WRITE(6,155) PIT(J),T3,T4(J)
330 IF( KNTRL(J),EQ.1 ) GO TO 312
331 WRITE(6,156) P3,PA(J),IT(J),ST(J),WT(J)
332 GO TO 314
333 312 WRITE(6,158)
334 314 CONTINUE
335 WRITE(6,50)
336 DO 164 J=1,M
337 WRITE(6,161) PIT(J)
338 161 FORMAT(1H ,12X,1PF12.4)
339 IF( KNTRL(J),EQ.1 ) GO TO 163
340 IF( NCOP,EQ.1 ) GO TO 320
341 WRITE(6,162) T2(N,J),T3,P2(N,J),P3,P23(J),IN(J),SN(J),QN
342 162 FORMAT(1H+,24X,1P8F12.4)
343 GO TO 164
344 320 WRITE(6,162) T5(J),T3,P5(J),P3,P53(J),IN(J),SN(J),QN
345 GO TO 164
346 163 WRITE(6,159)
347 159 FORMAT(1H+,19X,8(10X,2H--))
348 164 CONTINUE
349 WRITE(6,52)
350 DO 166 J=1,M
351 WRITE(6,161) PIT(J)
352 IF( KNTRL(J),EQ.1 ) GO TO 165
353 IF( NCOP,EQ.1 ) GO TO 322
354 WRITE(6,162) T4(J),T1(1),P4(J),P1(1,J),P41(J),P(J),SP(J),OP(J)
355 GO TO 166
356 322 WRITE(6,162) T4(J),T1(1),P6(J),P1(1,J),P61(J),P(J),SP(J),OP(J)
357 GO TO 166
358 165 WRITE(6,159)
359 166 CONTINUE
360 IF( N,EQ.1 ) GO TO 171
361 WRITE(6,54)
362 DO 169 L=1,NN
363 WRITE(6,36) L,MED(L)
364 DO 168 J=1,M
365 WRITE(6,161) PIT(J)
366 IF( KNTRL(J),EQ.1 ) GO TO 167
367 WRITE(6,162) T2(L,J),T1(L+1),P2(L,J),P1(L+1,J),P21(L,J),
      1 T1(L,J),ST(L,J),@I(L,J)
368 GO TO 168
369 167 WRITE(6,159)
370 168 CONTINUE
371 169 CONTINUE
C
372 171 IF( NCOP,EQ.0 ) GO TO 185
373 WRITE(6,58)
374 WRITE(6,170) HFD(5)
375 170 FORMAT(1H ,5X,A4)

```

\* SOURCE STATEMENT (FTMAIN) \*

```

376 DO 180 J=1,M
377 WRITE(6,161) PIT(J)
378 IF( KNTRL(J).EQ.1 ) GO TO 176
379 WRITE(6,162) T2(N,J),T3(J),P2(N,J),P5(J),P25(J),IR(J),SR(J),OR(J)
380 GO TO 180
381 WRITE(6,159)
382 CONTINUE
383 WRITE(6,170) HFD(6)
384 DO 184 J=1,M
385 WRITE(6,161) PIT(J)
386 IF( KNTRL(J).EQ.1 ) GO TO 182
387 WRITE(6,162) T4(J),T6(J),P4(J),P6(J),P46(J),IR(J),SR(J),OR(J)
388 GO TO 184
389 WRITE(6,159)
390 CONTINUE
C
391 WRITE(6,186)
392 FORMAT(1H0,8X,8MPRESSURE,2X,6HELIUM,6X,9HLOG. MEAN,3X,6HR,H,X,
16X,8HSPECIFIC,4X,7HTHERMAL,79X,5HRATIO,6X,9HFLOW RATE,2X,
210HTMP. DIF,2X,11HTMP. EFFI.,3X,5HPOWER,7X,10HEFFICIENCY/
35X,6H(N,D.),5X,8H(KG/SEC),4X,7H(DEG-C),2(6X,6H(N,D.)),
45X,9H(PERCENT))
DO 200 J=1,M
393 WRITE(6,190) PIT(J)
394 FORMAT(1H,4X,1PE12.4)
395 IF( KNTRL(J).EQ.1 ) GO TO 194
396 IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 192
397 WRITE(6,191) GH(J),ALFF(J),ETA(J)
398 WRITE(6,191) GH(J),ALFF(J),ETA(J)
399 WRITE(6,191) GH(J),ALFF(J),ETA(J)
400 GO TO 200
401 FORMAT(1H+,16X,1PF12.4,5X,2H--,10X,2H--,5X,1P2E12.4)
402 WRITE(6,192) GH(J),DLTM(J),ETAR(J),ALEFF(J),ETA(J)
403 FORMAT(1H+,16X,1P5E12.4)
404 GO TO 200
405 WRITE(6,196)
406 FORMAT(1H+,11X,5(10X,2H--))
407 CONTINUE
408 GO TO 2
END

```