

JAERI-M

7 3 2 2

ロータ冷却流のあるヘリウムタービン
サイクルの特性解析

1977年10月

武 藤 康

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

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ロータ冷却流のあるヘリウム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・安全性研究管理部

武藤 康

(1977年9月12日受理)

ヘリウムタービン直結高温ガス炉プラントの熱効率の特性解析を行った。この高温ガス炉プラントはヘリウムタービンをはじめ、ヘリウム圧縮機、再生熱交換器、前置冷却器、中間冷却器を有している。圧縮機を出るヘリウムガスの1部は冷却のためタービンロータへと送られる。タービン入口温度、タービン圧力比およびロータ冷却流量を変えて、計算コード“GASTUR-III”により熱効率を求めた。

計算の結果次の結論を得た。

- (1) タービン入口温度1,000°Cの再生サイクルで得られる最大熱効率は、冷却流量比0%, 0.5%, 1%の場合、それぞれ46.2%, 45.6%, 45.1%である。
- (2) タービン入口温度1,000°Cの中間冷却再生サイクルでは、上記の値はそれぞれ、48.5%, 48.0%, 47.5%である。
- (3) 冷却流量を増すと熱効率はほぼ線形に低下する。冷却流量が1%増すと、熱効率は約1%低下する。

Parametric Study on Thermal Efficiency of the
Helium Turbine Cycle with Rotor Cooling Flow

Yasushi MUTO

Division of Power Reactor Projects, JAERI

(Received September 12, 1977)

Thermal efficiency of a HTGR plant with helium turbine has been studied parametrically. The HTGR plant includes helium compressor, helium turbine, regenerative heat exchanger, pre-cooler and intercooler. Small part of the outlet flow from the compressor is introduced into the high-temperature turbine rotor for cooling. With turbine inlet temperature, turbine pressure expansion ratio and cooling flow rate as parameters, thermal efficiencies were calculated numerically by computer code GASTUR-III.

- (1) In the regenerative cycle with turbine inlet temperature 1000°C, the maximum thermal efficiencies are 46.2%, 45.6% and 45.1% for cooling flow rates 0%, 0.5% and 1% respectively.
- (2) In the intercooling regenerative cycle with turbine inlet temperature 1000°C, the values are 48.5%, 48.0% and 47.5%.
- (3) With increase of the cooling flow, the thermal efficiency decreases almost linearly; 1% increase of the cooling flow results in 1% reduction of the thermal efficiency.

Keywords: Helium Turbine, HTGR plant, Thermal Efficiency,
Regenerative Cycle, Rotor Cooling

目 次

1. まえがき	1
2. 基礎概念	1
2.1 サイクルの構成と原理	1
2.2 ロータ冷却の必要性とその影響	4
2.3 基本パラメータの影響	4
2.4 原子炉入口温度制限とその影響	5
3. 再生サイクルの特性	9
4. 中間冷却再生サイクルの特性	22
5. 謝 辞	35
6. 参考文献	35
付録 解析コード "GASTUR-III"	36
A.1 コードの構成	36
A.2 入力形式	38
A.3 出力形式	40

1. まえがき

高温ガス炉直結ヘリウムタービンサイクルは、高温における熱効率が高いこと、資本費が安いこと、部分負荷時の特性が良好なこと、内陸立地に適していること等の良好な基本的特性を有していることから、将来の発電プラント形式として期待され、各国において鋭意研究が進められている。

基本特性のうち、サイクル熱効率に関しては、種々の設計例において値が示されており、また幾つかのパラメータサーベイの結果も報告されている〔1〕〔2〕〔3〕。

しかしながらこれらの報告書においては、高温のタービンの設計に不可決なロータ冷却流の影響を十分検討していない。報告書〔4〕において、タービンロータの冷却には、主流ガスの0.5~1%のガスを圧縮機よりタービンロータに送る必要性が明らかにされている。従って、本報告書においては、この冷却流量をタービンをバイパスして流すものとして、サイクル熱効率がどのような値になるかを解析した。

なお、解析にあたっては、ガスタービン特性解析コードGASTUR-IIを、ロータ冷却流の効果を考慮できるように改良し(GASTUR-III)，解析を行った。

2. 基礎概念

2.1 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、図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。図1(c)にサイクルのi-S線図を示す。空気，ヘリウム，燃焼ガスなどの作動ガスは加熱器で加熱されて(図中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)，低温ガスとなって圧縮機に入り、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。この際、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、再生熱換器(蓄熱器)を設けて、圧縮機を出るガス(2)を予熱することにより、熱の有効利用を図っている。これが図1(b)に示す再生サイクルである。圧縮機はタービンで駆動されるので、タービンで発生する仕事を、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(絶対温度)，圧力をT₁，P₁，T_{2'}，P₂とするとき、この過程が断熱であれば、次式で表わされる。i-s線図上では3→4'，1→2'となる。

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

1. まえがき

高温ガス炉直結ヘリウムタービンサイクルは、高温における熱効率が高いこと、資本費が安いこと、部分負荷時の特性が良好なこと、内陸立地に適していること等の良好な基本的特性を有していることから、将来の発電プラント形式として期待され、各国において鋭意研究が進められている。

基本特性のうち、サイクル熱効率に関しては、種々の設計例において値が示されており、また幾つかのパラメータサーベイの結果も報告されている〔1〕〔2〕〔3〕。

しかしながらこれらの報告書においては、高温のタービンの設計に不可決なロータ冷却流の影響を十分検討していない。報告書〔4〕において、タービンロータの冷却には、主流ガスの0.5～1%のガスを圧縮機よりタービンロータに送る必要性が明らかにされている。従って、本報告書においては、この冷却流量をタービンをバイパスして流すものとして、サイクル熱効率がどのような値になるかを解析した。

なお、解析にあたっては、ガスタービン特性解析コードGASTUR-IIを、ロータ冷却流の効果を考慮できるように改良し(GASTUR-III)，解析を行った。

2. 基礎概念

2.1 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、図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。図1(c)にサイクルのi-S線図を示す。空気、ヘリウム、燃焼ガスなどの作動ガスは加熱器で加熱されて(図中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)，低温ガスとなって圧縮機に入り、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。この際、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、再生熱換器(蓄熱器)を設けて、圧縮機を出るガス(2)を予熱することにより、熱の有効利用を図っている。これが図1(b)に示す再生サイクルである。圧縮機はタービンで駆動されるので、タービンで発生する仕事を、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(絶対温度)、圧力をT₁、P₁、T_{2'}、P₂とするとき、この過程が断熱であれば、次式で表わされる。i-s線図上では3→4'、1→2'となる。

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

k は定圧比熱と定積比熱の比であって、ガスの種類により定まる定数である。 k の値は、ヘリウムガス 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、 $T_1 - T'_2$ に相当し、

$$T_1 - T'_2 = T_1 \left\{ 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \right\} \quad (2)$$

と表わされる。

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。すなわ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。すなわ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。従って $(i_3 - i_4) - (i_2 - i_1)$ 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。

- (i) 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高い。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）によって決められるので、熱効率は専らサイクル最高温度に依存する。
- (ii) 圧力比 P_1/P_2 が小さい方がタービン仕事と圧縮機仕事との差が大きくなる。
- (iii) 圧力比 P_1/P_2 が大きい方がタービン仕事は大きくなる。
- (iv) (ii)(iii)より、熱効率を最大にするような最適圧力比が存在する。
- (v) 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差が大きくなる。
- (vi) 比熱比 k を大きくすることは圧力比 P_1/P_2 を大きくすることと同じ効果をもつ。換言すると k が大きいガス（ヘリウムガス）では、 k が小さいガスのあるサイクル状態と同じ状態を、小さな圧力比で達成でき、それだけ有利である。
- (vii) 上記述べた方法のうち、再熱のためには原子炉を 2 基以上必要とし、かつ再熱用の原子炉はかなりの高温状態で使用しなければならないので、現状では現実的でない。中間冷却は、機器数を増す欠点があるものの、熱効率の著しい改善に役立つことから、各国の設計側において一般に採用されている。これを図示すると図 2 のようになる。

タービンにおける膨張、圧縮機における圧縮の実際の過程は、断熱ではなく、図 1(c)の 3 → 4, 1 → 2 に示すようになる。この際、実際の温度降下あるいは上昇と断熱変化の場合の値との割合を、断熱効率として次のように定義している。

$$\text{タービンにおける断熱効率 } \eta_T = \frac{\text{実際のエンタルピー降下 } (i_3 - i_4)}{\text{断熱エンタルピー降下 } (i_3 - i'_4)} \quad (3)$$

$$\text{圧縮機における断熱効率 } \eta_K = \frac{\text{断熱エンタルピー上昇} (i_2' - i_1)}{\text{実際のエンタルピー上昇} (i_2 - i_1)} \quad (4)$$

この η_T , η_K の値は、作動ガスの種類や、温度、圧力、タービンあるいは圧縮機の翼形状、回転数などによって決まる値であるが、本報告書においては、一定値 90%をとるものとして解析を行っている。

断熱効率を用いるとタービン、圧縮機における仕事量は次式で与えられる。

$$W_T = C_p (T_3 - T_4) G_T = C_p \eta_T T_3 \left\{ 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \right\} G_T \quad (5)$$

$$W_K = C_p (T_2 - T_1) G_K = \frac{C_p T_1}{\eta_K} \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} G_K \quad (6)$$

ここで

W_T : タービン仕事	[kcal/sec]
W_K : 圧縮機動力	[kcal/sec]
C_p : 定圧比熱	[kcal/kg°C]
T_3 : タービン入口温度	[°K]
T_4 : タービン出口温度	[°K]
T_1 : 圧縮機入口温度	[°K]
T_2 : 圧縮機出口温度	[°K]
G_T : タービン作動ガス流量	[kg/sec]
G_K : 圧縮機作動ガス流量	[kg/sec]
P_3 : タービン入口圧力	[kg/cm²A]
P_4 : タービン出口圧力	[kg/cm²A]
P_1 : 圧縮機入口圧力	[kg/cm²A]
P_2 : 圧縮機出口圧力	[kg/cm²A]
η_T : タービン断熱効率	[—]
η_K : 圧縮機断熱効率	[—]
k : 比熱比	[—]

中間冷却サイクルにおいては、第 1 圧縮機と第 2 圧縮機で、どのような割合で圧縮を行うかということがあるが、ここでは、圧縮仕事を最小にするように中間圧力（図 2 の 1', 2' の圧力）を選定している。

すなわち

$$P_2' = \sqrt{P_1 P_2} \quad (7)$$

と定めている。

また再生熱交換器を用いる際、熱交換のためにある温度差が必要となる。ここでは、高温側の出入口における温度差が 50 °C必要なものとして解析している。

また熱交換器の圧力損失は、ガス圧力の 0.2%であるものとして解析している。

2.2 ロータ冷却の必要性とその影響

ヘリウムガスタービンの作動ガス温度は800~1,000°Cとなるが、この温度では鋼材の強度は著しく低下するため、図3に示すように圧縮機出口の低温ガスをタービンロータに導き冷却することが一般に行われている。これを再生サイクルの場合について、T-S線図で示すと図4のようになる。図では例として、タービン入口温度1,000°C、圧力比3.0、冷却流量比1%の場合の数値を示してある。

圧縮機を出る250°Cのヘリウムガスは、99%が再生熱交換器、原子炉を経由してタービンへと流れ、1%がロータ冷却を行った後、タービン出口で主流ガスと合流する。従ってタービン出力は、(タービン温度降下) × (99%流量)となるのに対し、圧力機動力は(圧縮機温度上昇) × (100%流量)となり、1%流量分は無効動力となる。またロータ冷却の際、高温ガスから冷却ガスに熱が流れ、高温ガス温度が僅かに低下する。

従って、この2つの要因(圧縮機無効動力、伝熱損失)によりサイクル熱効率が低下する。

本報告書においては、このうち、圧縮機無効動力の効果のみを考慮して、サイクル熱効率の解析を行った。これは以下の理由によるものである。

- (i) 圧縮機無効動力の効果の方が伝熱損失の効果よりもかなり大きい。
- (ii) 圧縮機動力は、冷却流量の主流量に対する割合を定めれば、一義的に定まる。かつこの流量比としては0.5%~1.0%が適切であることが知られている[4]。
- (iii) 伝熱損失の効果を考慮するためには、タービンの形状、ガス温度を定める必要があり、問題を複雑にする。

2.3 基本パラメータの影響

基本パラメータの影響については、報告書[2]で詳しく検討を行っているので、ここでは結論のみを示す。

(a) 熱交換器圧力損失の影響

熱交換器の圧力を P_i 、圧力損失を ΔP_i とすると、サイクル熱効率は次式で与えられる。

$$\eta = \eta_0 - f(T, P, \eta_K, \eta_T) \sum_i \frac{\Delta P_i}{P_i} \quad (8)$$

ここで $f(T, P, \eta_K, \eta_T)$ は温度、圧力、ターボ機械断熱効率に依る係数、 η_0 は圧力損失の無い場合の熱効率である。

(8)式より、各熱交換器の圧力損失の影響は圧力との比、すなわち $\Delta P_i / P_i$ の形で与えられることが知られる。式(8)を計算すると、 $\sum \Delta P_i / P_i$ が1%増すと、熱効率 η が約0.5%低下することが知られる。

本報告書では、熱交換器1基あたりの圧力損失 $\Delta P_i / P_i$ を2%と仮定している。これは再生サイクルの場合、全圧力損失8%，中間冷却再生サイクルの場合、全圧力損失10%に相当している。

(b) 圧力の影響

系の圧力は、サイクル熱効率には直接には影響しない。しかし、圧力を高くすると $\Delta P/P$ を小さくすることが可能なので、熱効率に好影響を及ぼす。

なお、熱効率には無関係であるが、圧力を増すと、同じ体積流量でも重量流量従って熱容量が増す。すなわち同じ大きさの機器により、大出力を取り出せることになる。

(c) 中間冷却の影響

中間冷却によって熱効率を増すことができることは、すでに述べたとおりであるが、定量的には1段中間冷却を行うことにより約2%熱効率が向上する。2段中間冷却を行うとさらに約0.5%熱効率が向上する。しかし、3段以上の中間冷却は、ほとんど効果が無い。

以上の理由で、本報告書においては、中間冷却なしの場合と、1段中間冷却の場合について検討を行った。

(d) ターボ機械効率の影響

タービン効率 η_T 、圧縮機効率 η_K の効果を比較するとタービン効率の効果の方が大きい。定量的にはターボ機械効率($\eta_T + \eta_K$)を1%増すと、熱効率は約2%上昇する。

本報告書においては、 $\eta_T = \eta_K = 90\%$ の値を用いることとした。

2.4 原子炉入口温度制限とその影響

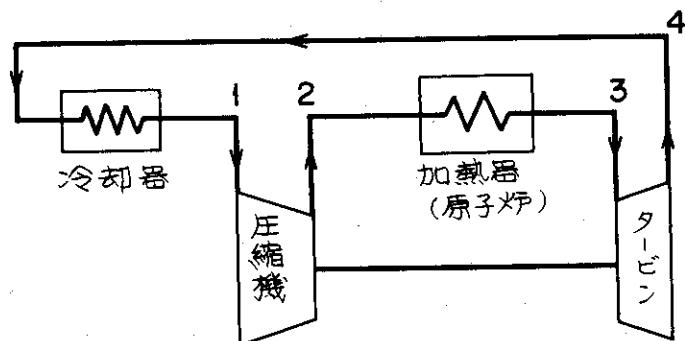
ガスタービンサイクルの場合、サイクル熱効率はタービン入口温度すなわち原子炉出口温度によってほぼ決定される。しかし、次に述べる理由で原子炉入口温度もまた重要な意味をもつてている。

すなわち、図5に示す熱効率の図に示すように、タービン圧力比を最適の値にとり熱効率を最大にしようとするとき、原子炉入口温度もまたかなり高くならざるをえない。例えば、タービン入口温度1,000°Cの場合、熱効率を最大の値46.5%にしようとするとき、原子炉入口温度は650°Cにとらなければならない。

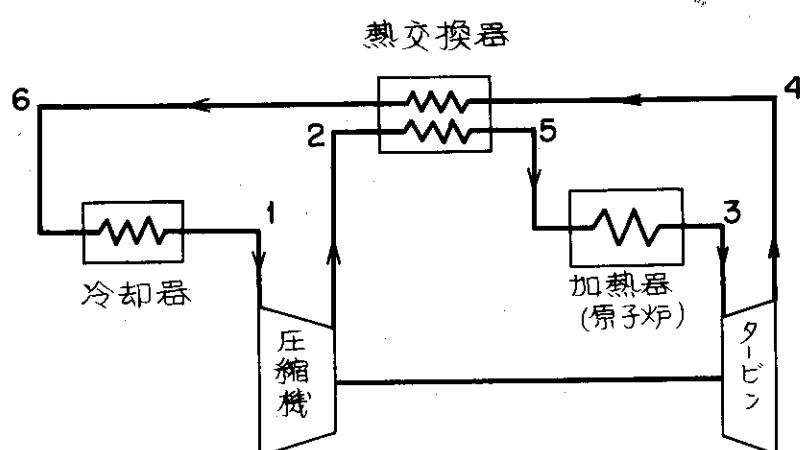
しかしながら、現在の高温ガス炉の設計および建設経験では、原子炉入口温度は400°C以下であり、この温度を上昇させるには例えば次のような問題を生ずる。

- (i) PCRV内の高温領域が増し、断熱構造の設計と機器配置に制限が加わる。
- (ii) 炉心入口が高温となるため、制御棒の挿入部の設計が難しくなる。その他計測孔をも含め、高温高圧ガスのシール部が増す。

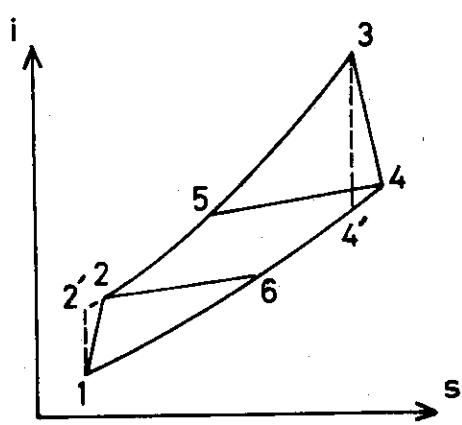
従って本報告書においては、原子炉入口温度に制限(400°C以下、500°C以下、600°C以下)を設けた場合の熱効率についても検討を行った。



(a) 単純サイクル



(b) 再生サイクル



(c) i - s 線図

図1 ガスタービン密閉サイクル

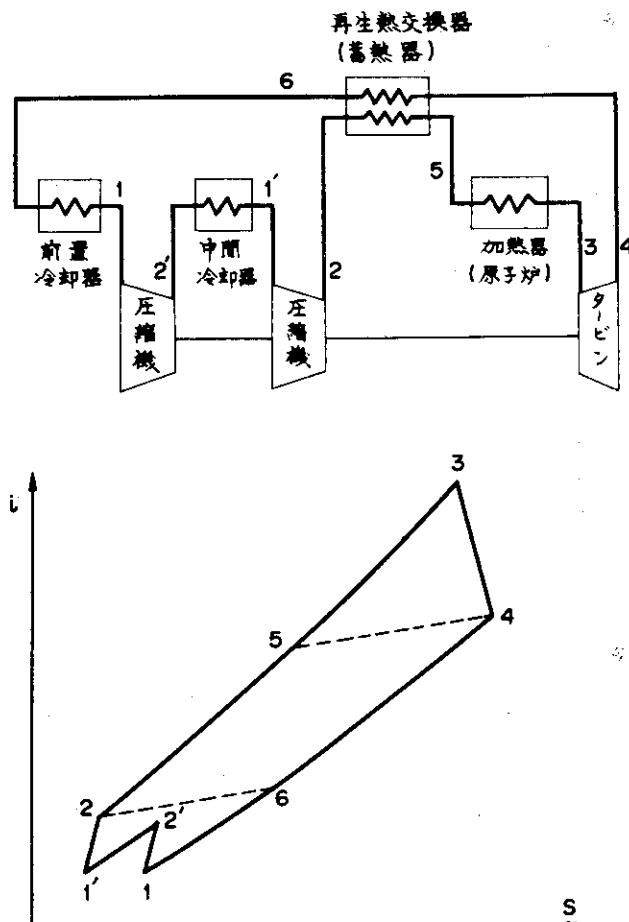


図2 中間冷却再生サイクル

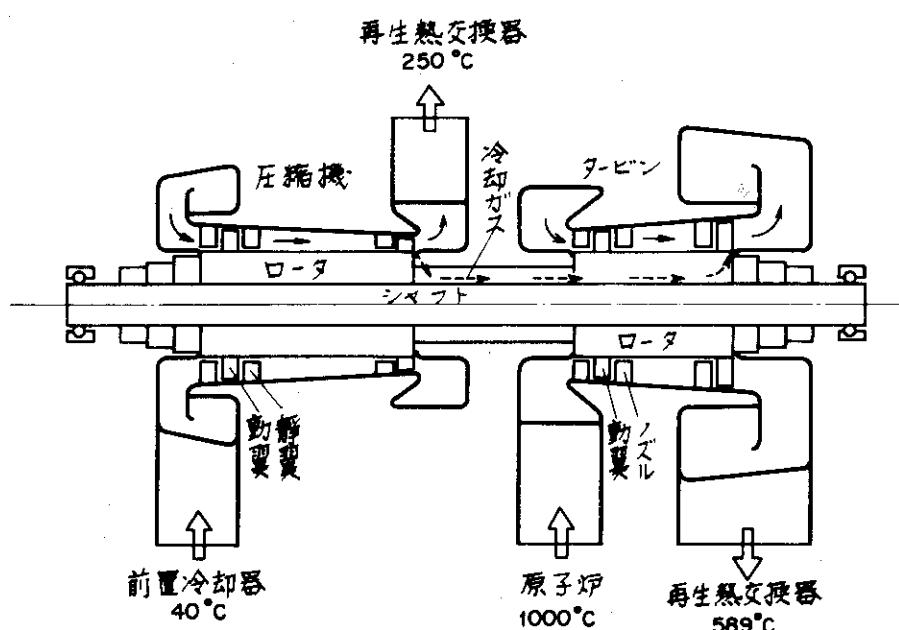


図3 タービン、圧縮機における冷却ガスの流れ

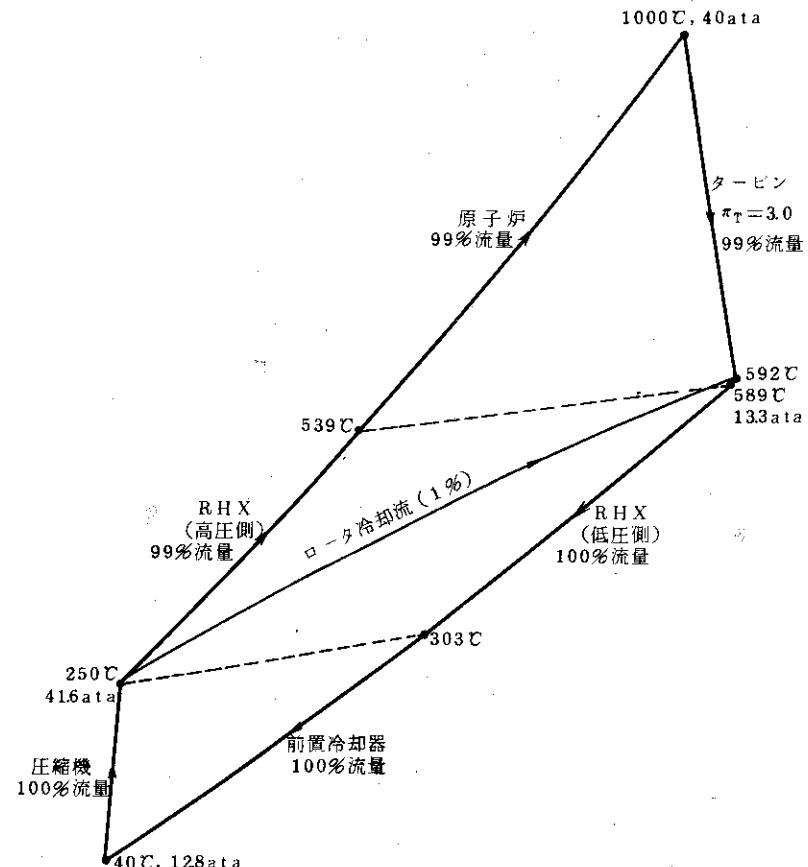


図4 再生サイクルの T - S 線図

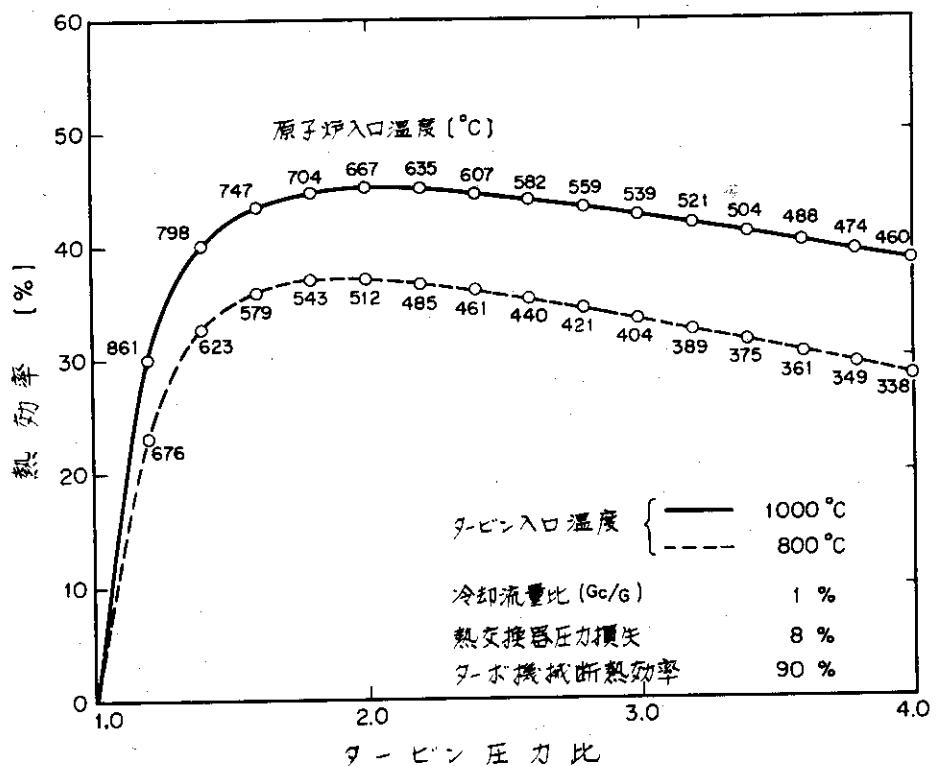


図5 原子炉入口と熱効率の関係 (再生サイクル)

3. 再生サイクルの特性

再生サイクルは図1(b)(c), 図4に示すような機器構成 i-s 線図のサイクルである。

本サイクルの熱効率の算出にあたっては、次の条件を設定した。

タービン入口温度	800°C, 900°C, 1,000°C
ターボ機械断熱効率	90%
熱交換器圧力損失	8%
冷却流量比 (冷却流量 G_c / 主流量 G)	0 ~ 2%
再生熱交換器の高温側出入口温度差 (原子炉入口温度制限のない場合)	50°C
原子炉入口温度制限	400°C, 500°C, 600°C
圧縮機入口温度	40°C

図6より図25まで、次の順序に計算結果を示す。

図6～図9 冷却流量比 $G_c/G = 0$ の場合

図6は原子炉入口温度制限なし、図7, 図8, 図9は制限ありの場合、以下同様。

図10～図13 冷却流量比 $G_c/G = 0.5\%$ の場合

図14～図17 冷却流量比 $G_c/G = 1.0\%$ の場合

図18～図21 冷却流量比 $G_c/G = 1.5\%$ の場合

図22～図25 冷却流量比 $G_c/G = 2.0\%$ の場合

これらの図より、熱効率最大となるような圧力比をとった場合の熱効率の値を示すと表1(a), (b), (c)のようになる。この値を図示すると図26～28のようになる。計算にあたって採用した前述の条件は、全て十分一般性のあるものであり、従って、次の一般的結論をうる。

- (I) 原子炉出口温度 1,000°C の場合、再生サイクルで得られる最大熱効率は 46.2% である。
- (II) 冷却流量比として 0.5% および 1.0% を必要とする場合には、上記の値は 45.6% および 45.1% となる。
- (III) 原子炉入口温度に 600°C, 500°C, 400°C の制限を設ける場合には、冷却流量比 1% の場合で、最大熱効率の値は、各々、44.3%, 40.6%, 34.6% となる。
- (IV) 冷却流量比の増加による熱効率の低下の割合は、おむね線型であり、冷却流量比が 1% 増すと熱効率は約 1% 低下する。
- (V) 冷却流量比增加の影響は、原子炉入口温度に制限を設けても、あまり変わらない。

表1 再生サイクルの最大熱効率

(a) タービン入口温度 800°C

(%)

冷却ガス流量比 G_C/G	0	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
再生熱交換器高温側入口温度差一定 ($= 50^\circ\text{C}$) の場合	38.0	37.5	37.0	36.5	36.0
原子炉入口温度に制限を設ける場合	600°C以下				
	500°C以下	37.8	37.2	36.9	36.4
	400°C以下	33.8	33.4	33.0	32.8
					32.5

(b) タービン入口温度 900°C

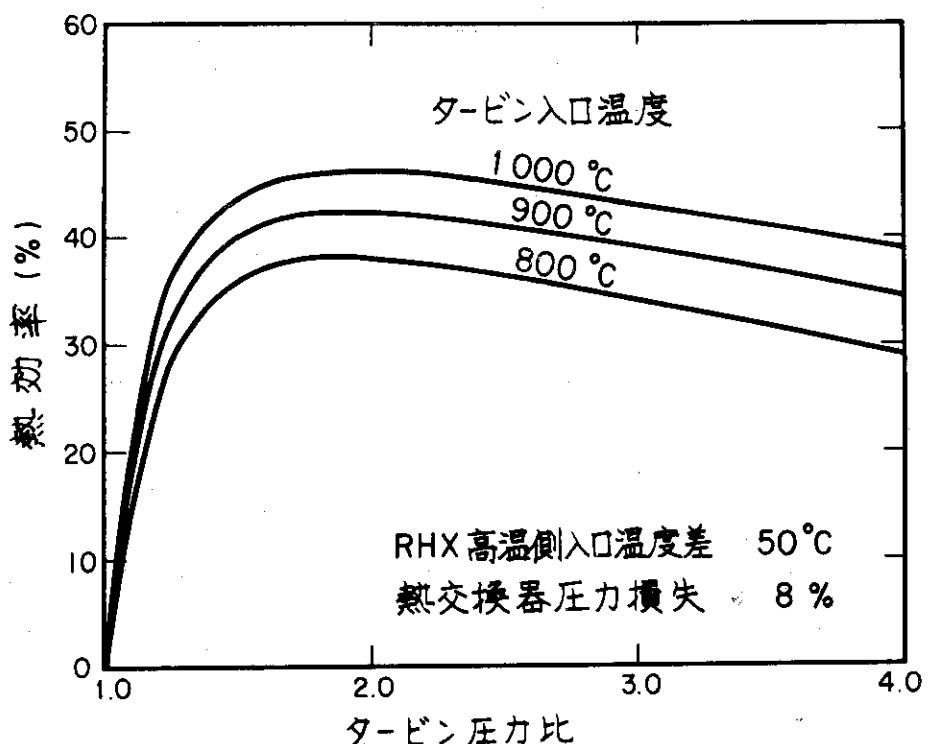
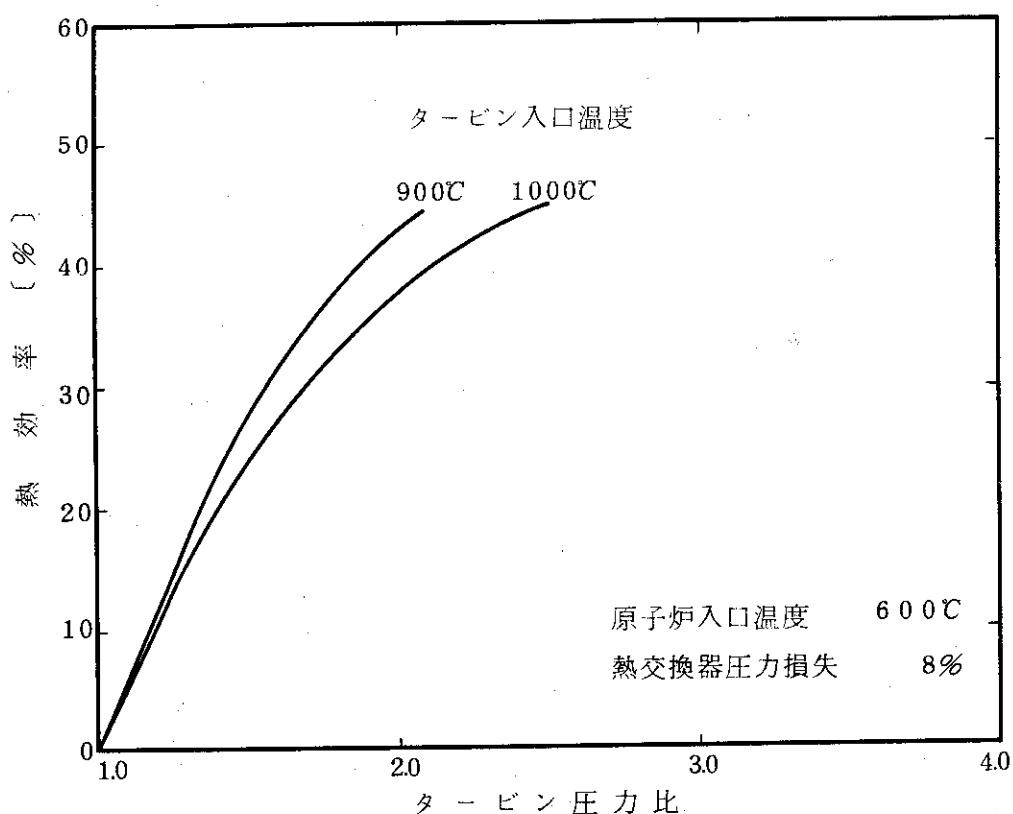
(%)

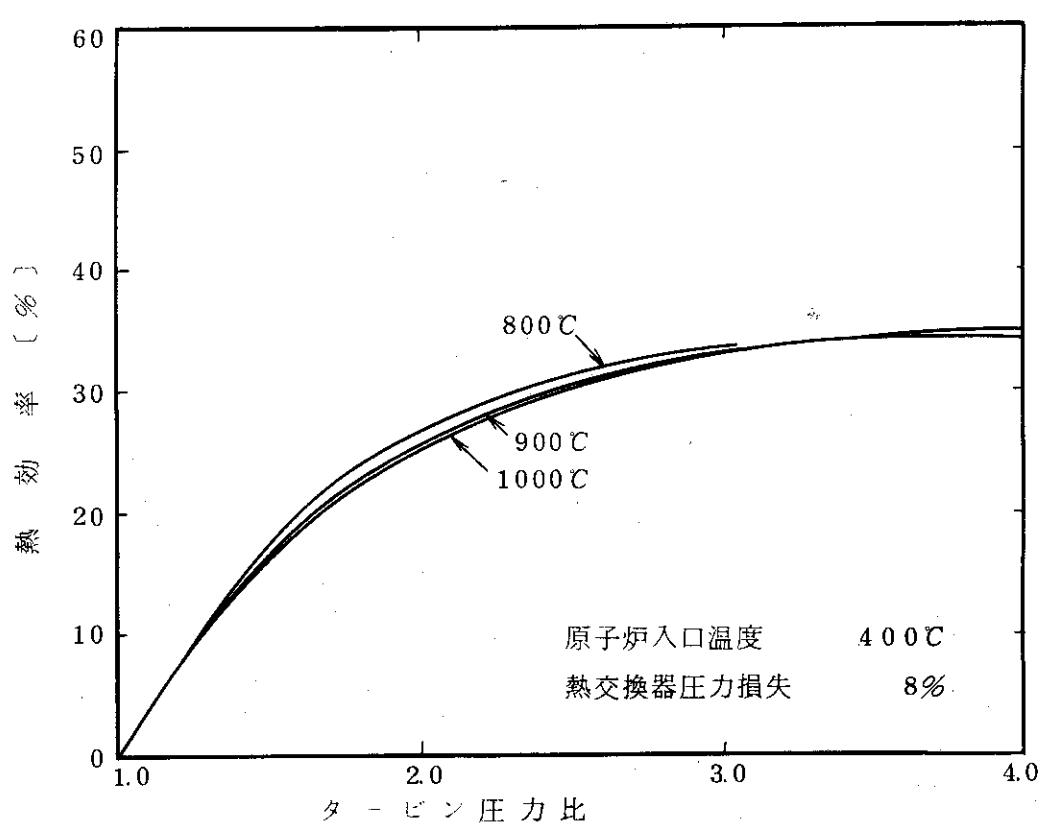
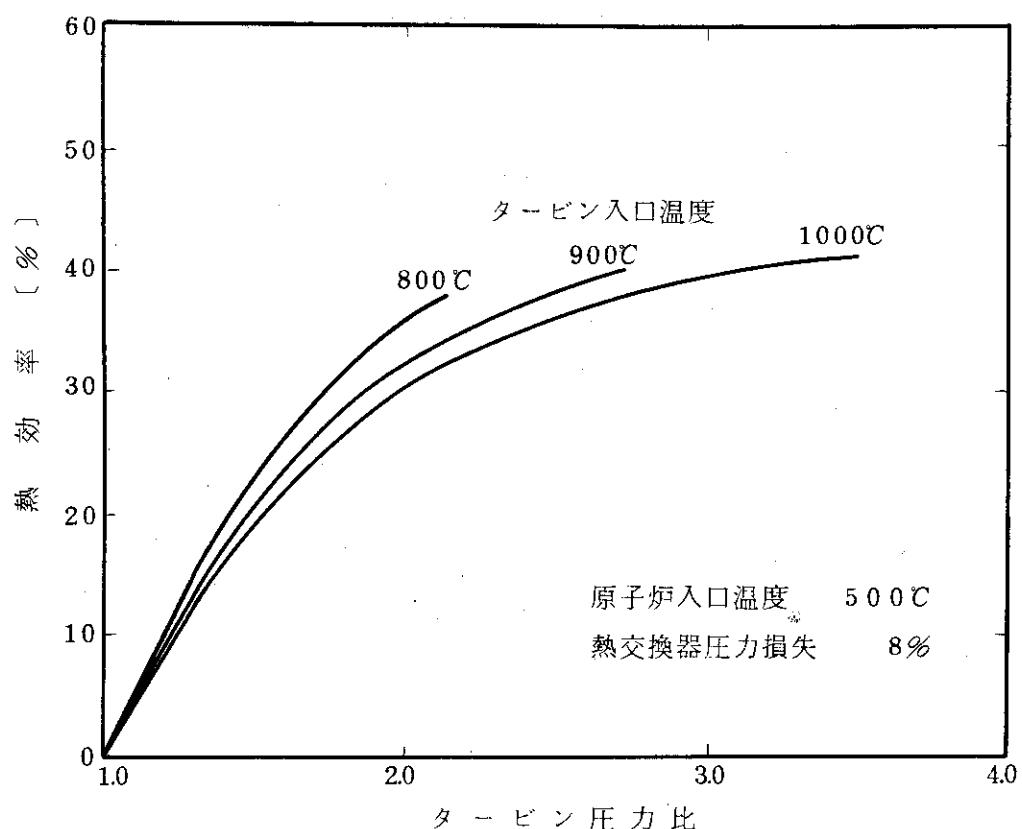
冷却ガス流量比 G_C/G	0	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
再生熱交換器高温側入口温度差一定 ($= 50^\circ\text{C}$) の場合	42.4	41.9	41.3	40.8	40.3
原子炉入口温度に制限を設ける場合	600°C以下	42.4	41.9	41.3	40.7
	500°C以下	40.1	39.8	39.4	39.1
	400°C以下	34.5	34.2	33.8	33.6
					33.4

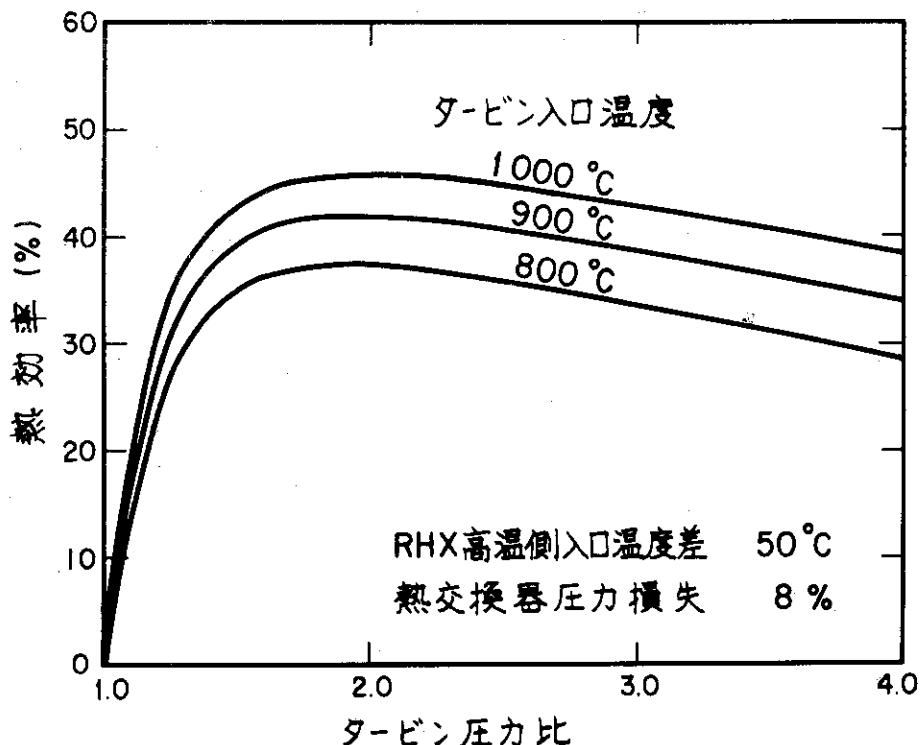
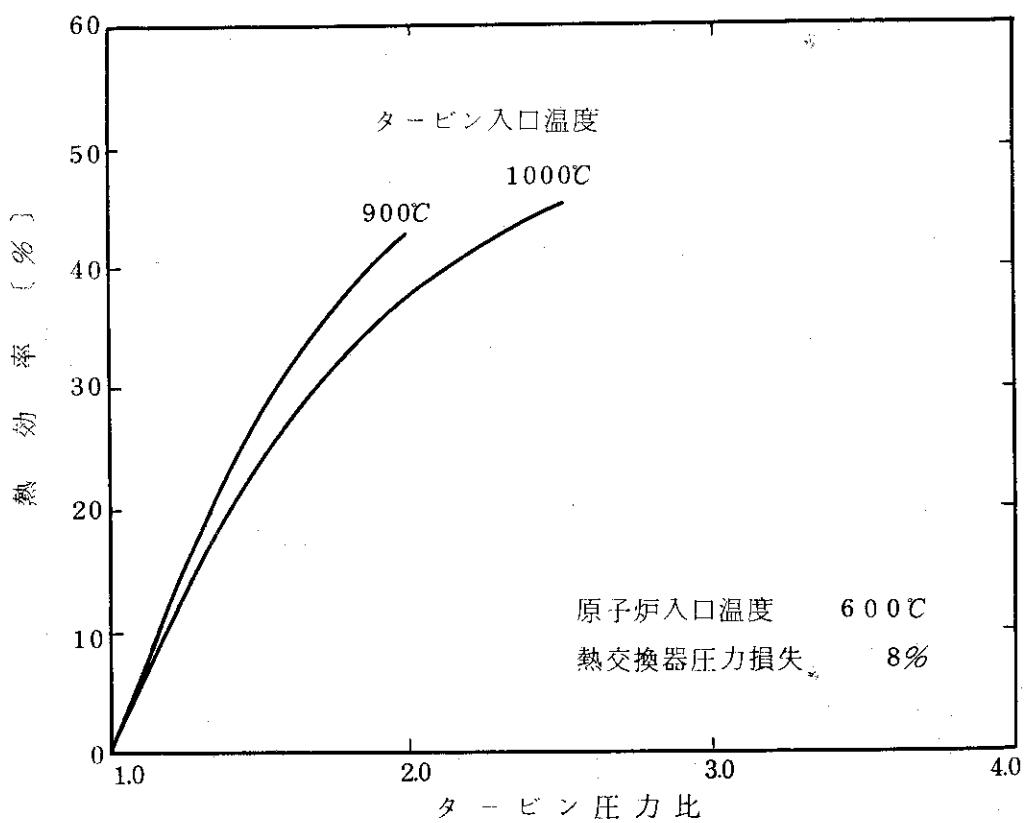
(c) タービン入口温度 1,000°C

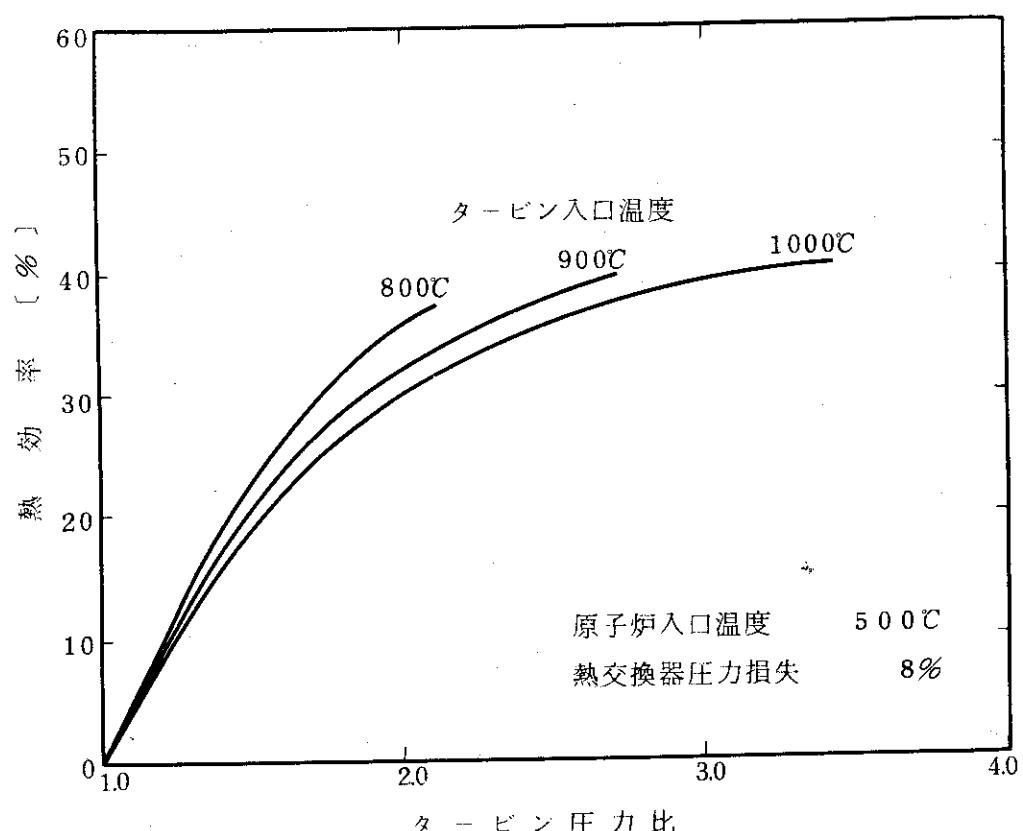
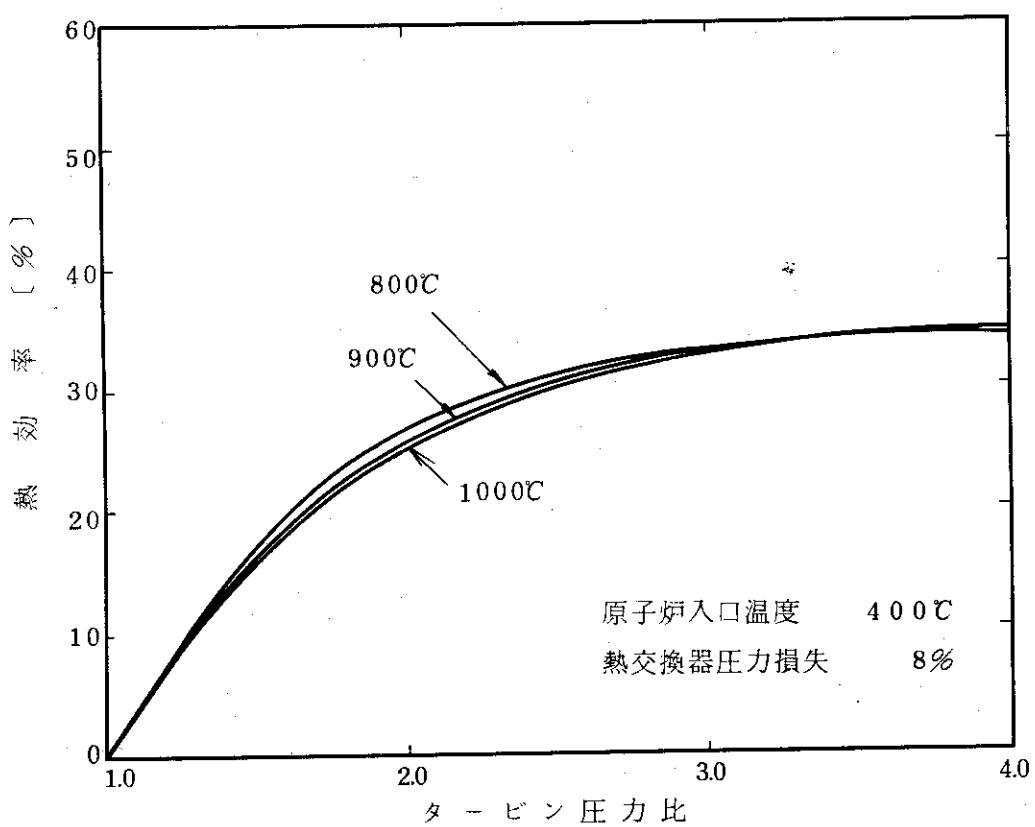
(%)

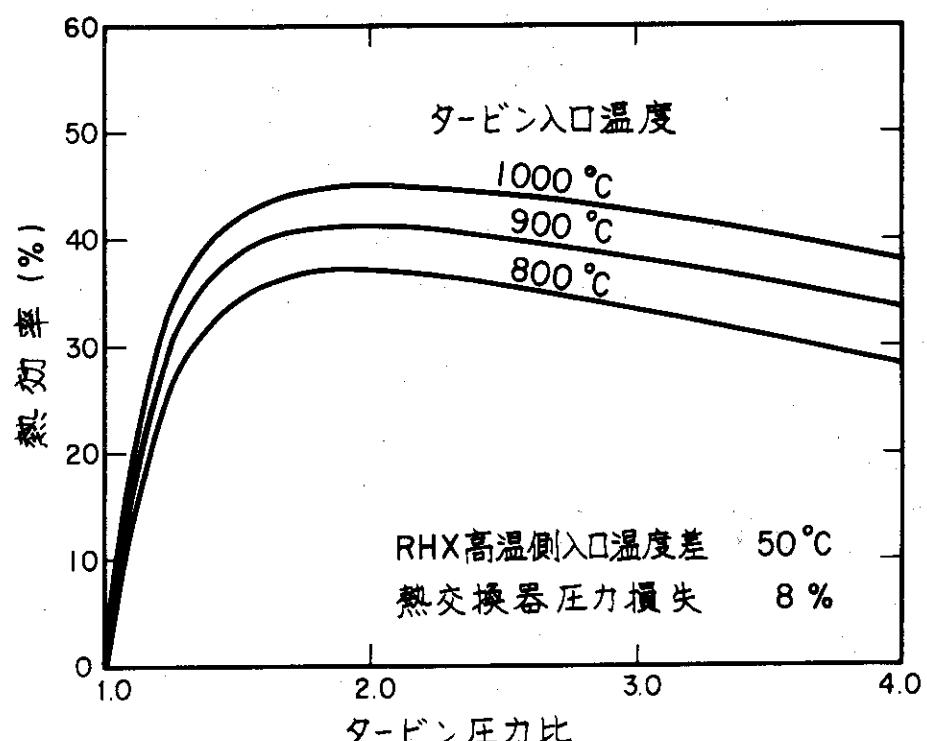
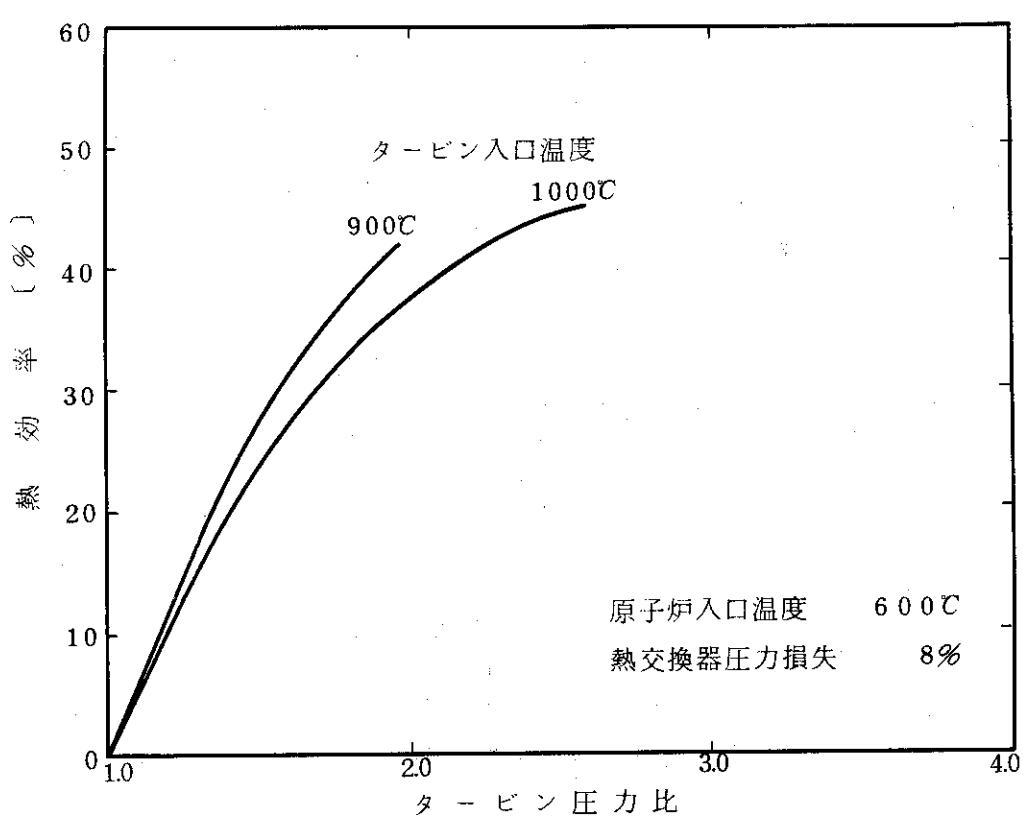
冷却ガス流量比 G_C/G	0	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
再生熱交換器高温側入口温度差一定 ($= 50^\circ\text{C}$) の場合	46.2	45.6	45.1	44.4	43.9
原子炉入口温度に制限を設ける場合	600°C以下	45.1	44.8	44.3	43.9
	500°C以下	41.2	41.0	40.6	40.5
	400°C以下	~3.5	~3.5	~34.6	34.4
					~34.1

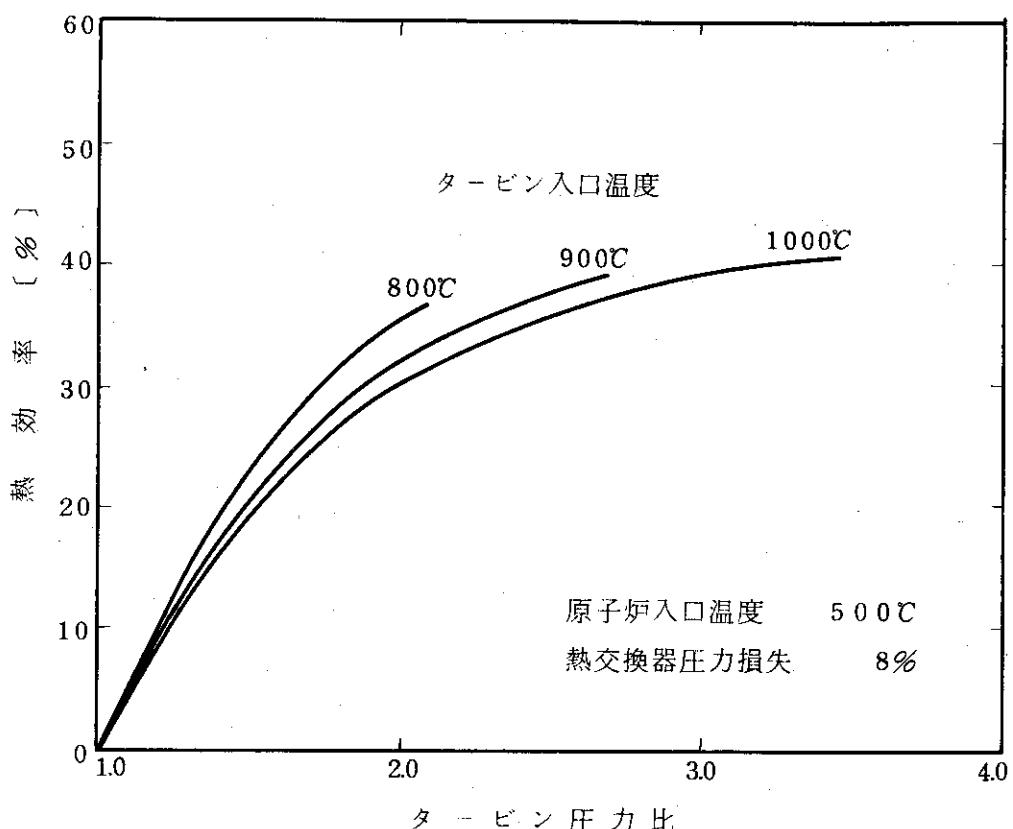
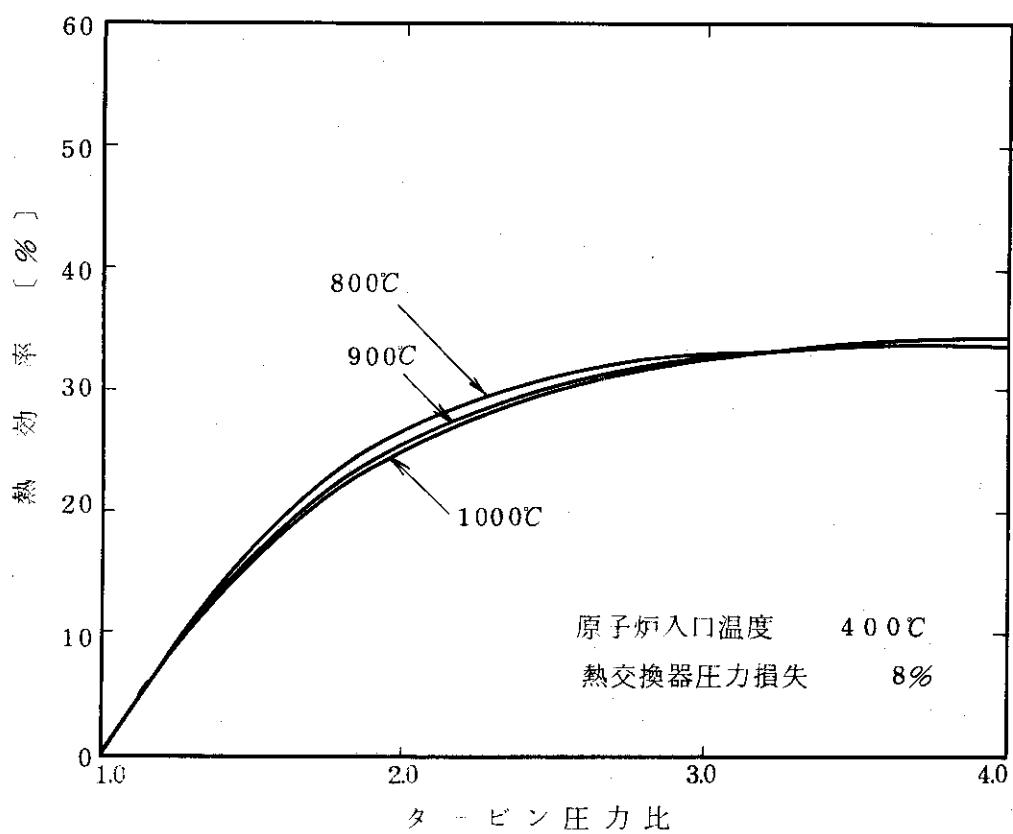
図 6 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0$)図 7 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0$)

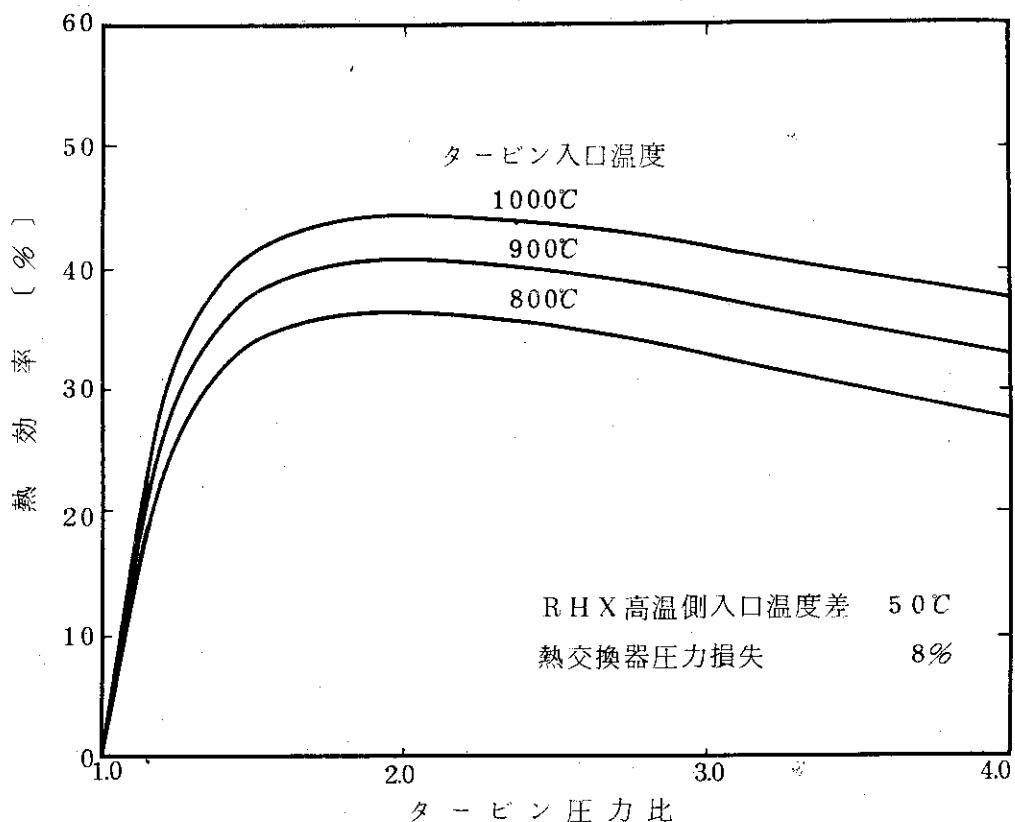
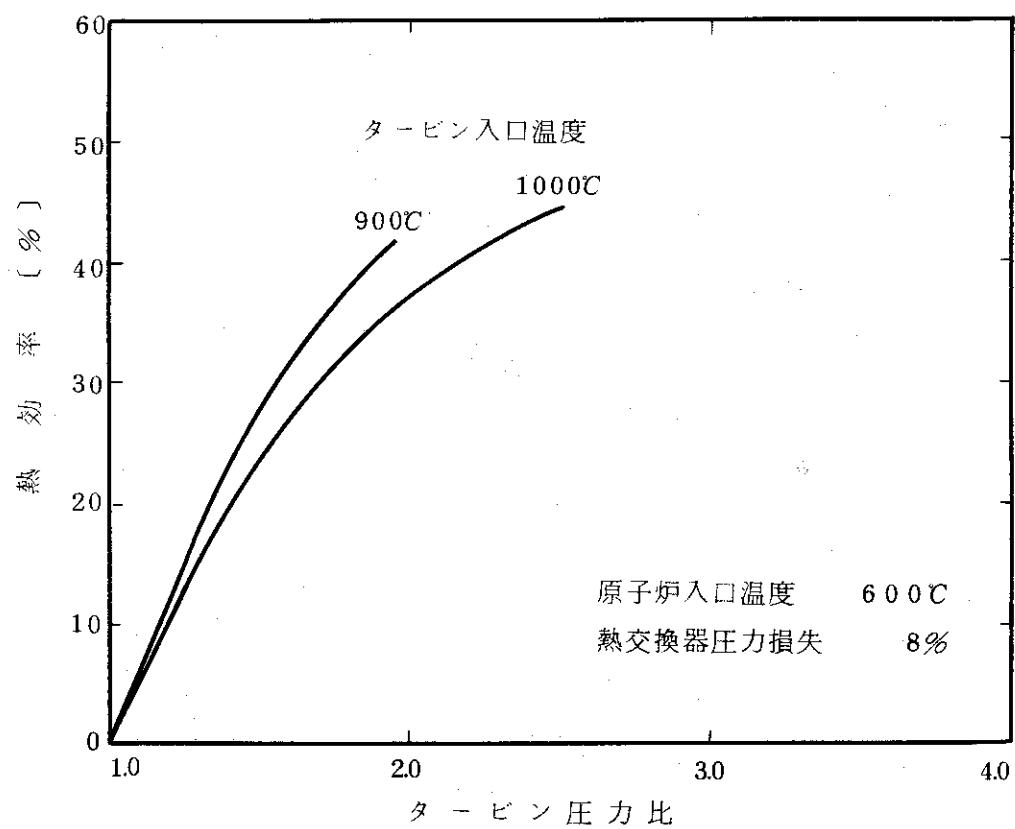


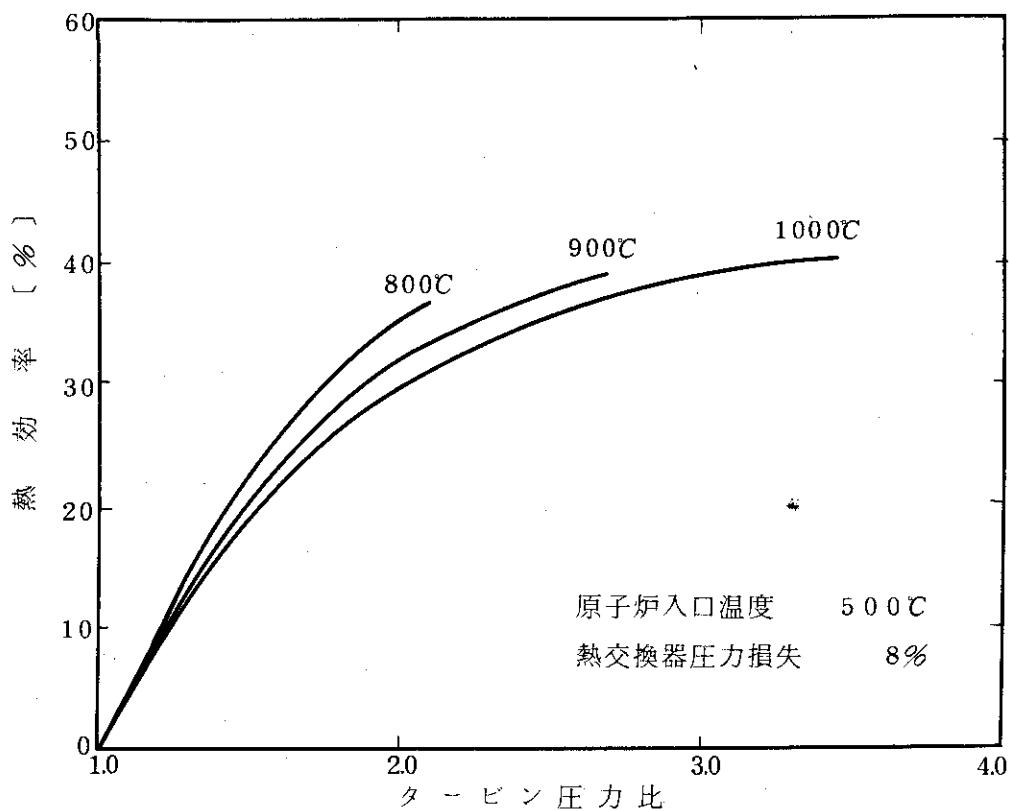
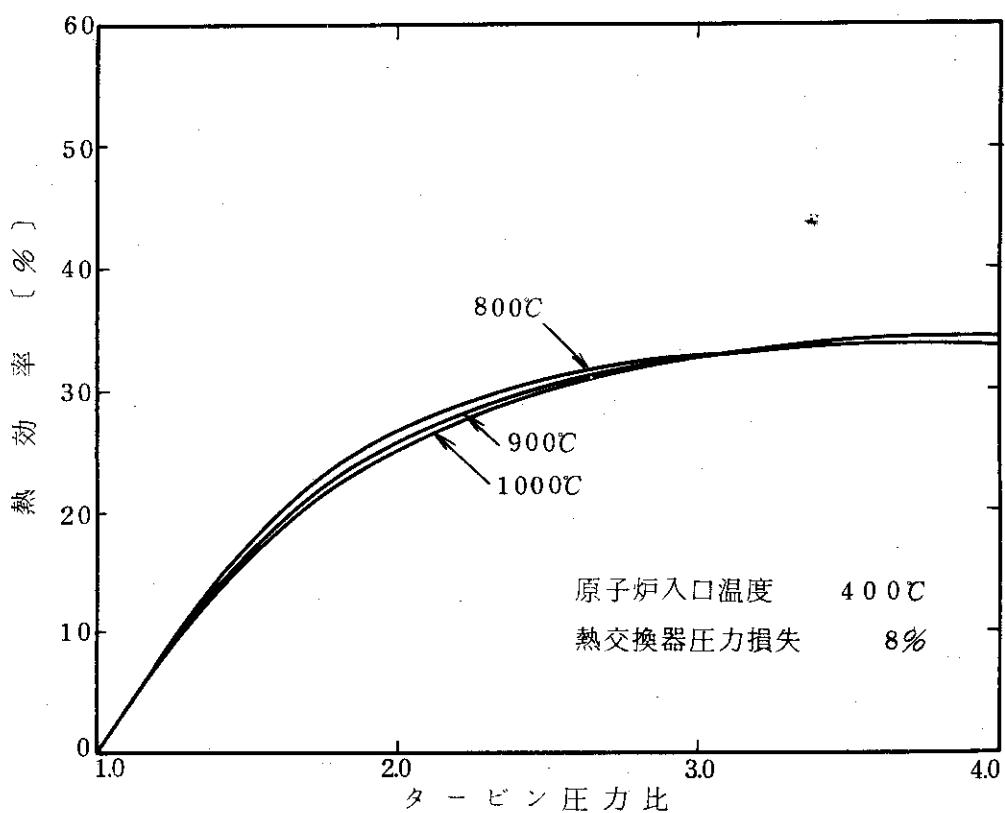
図 10 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0.5\%$)図 11 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0.5\%$)

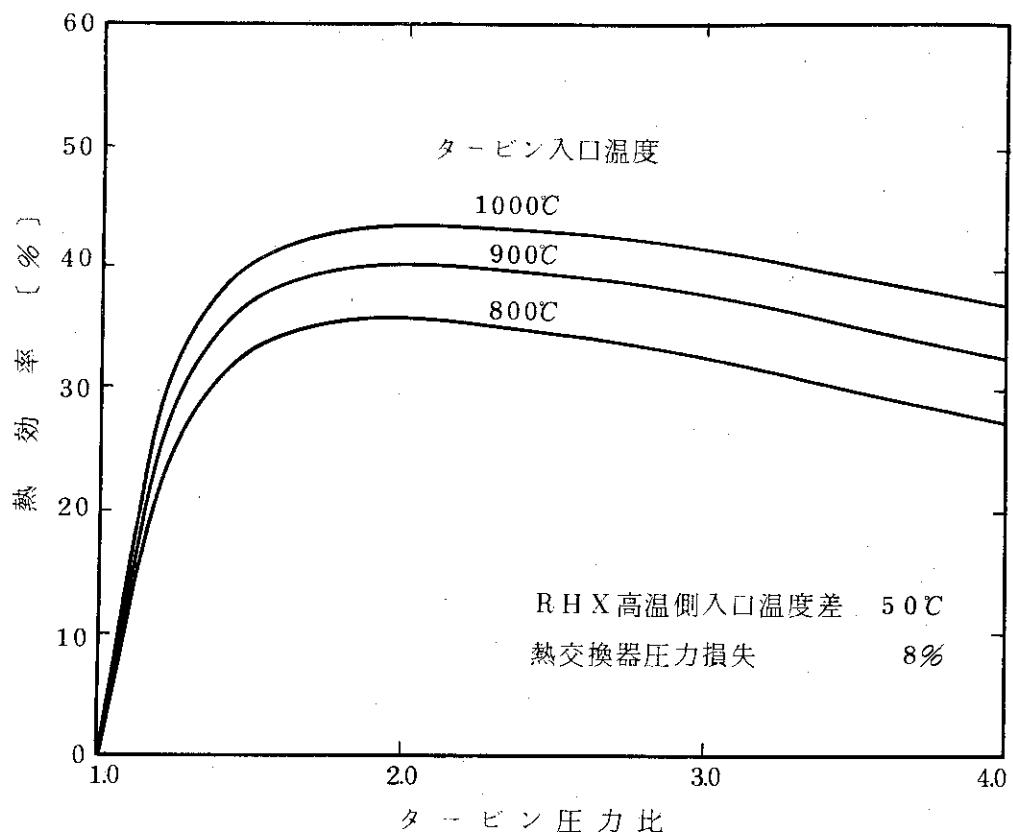
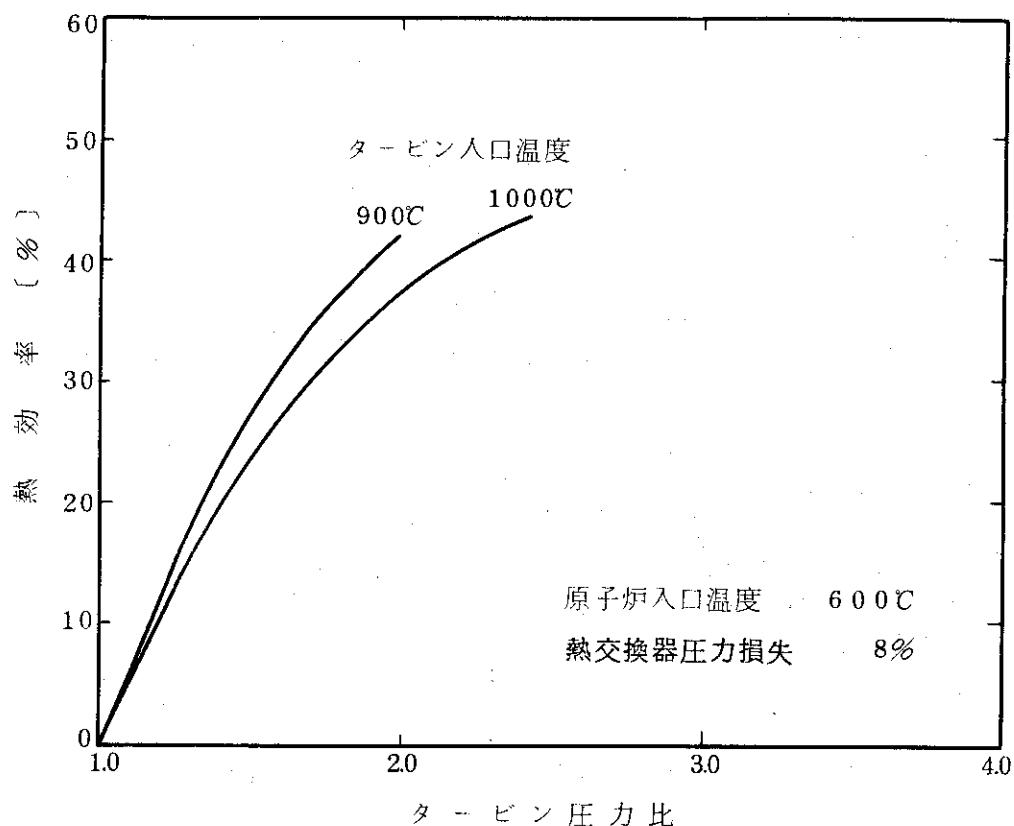
図 1-2 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=0.5\%$)図 1-3 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=0.5\%$)

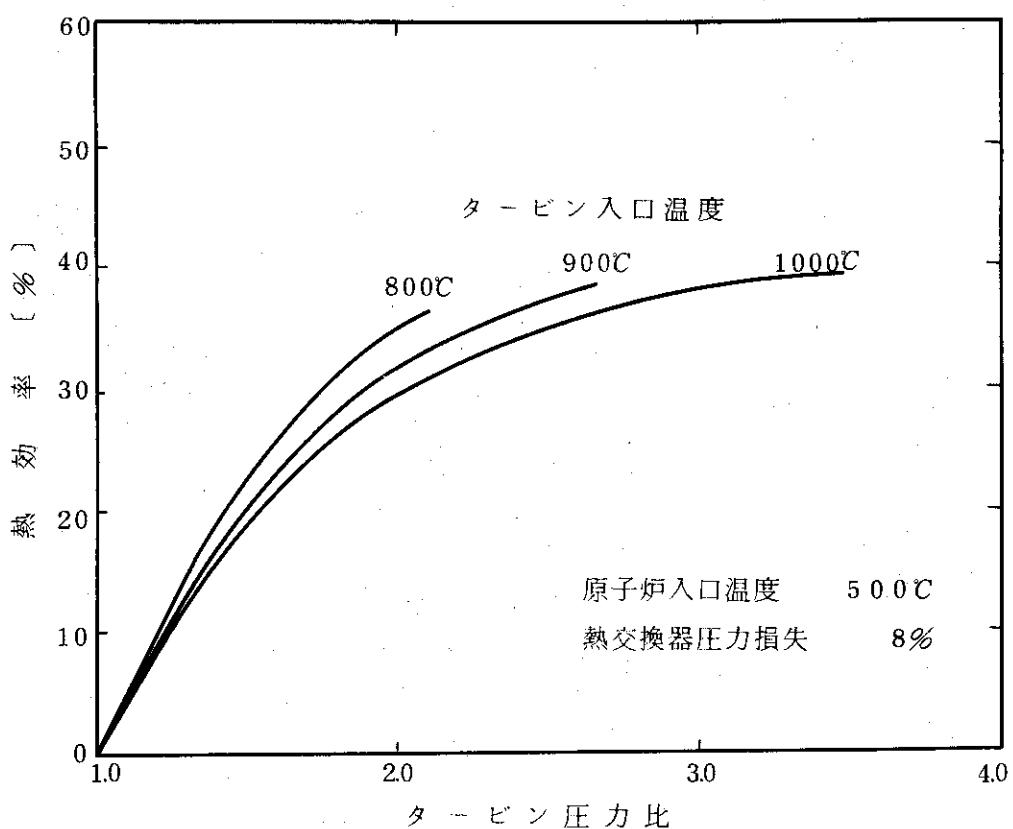
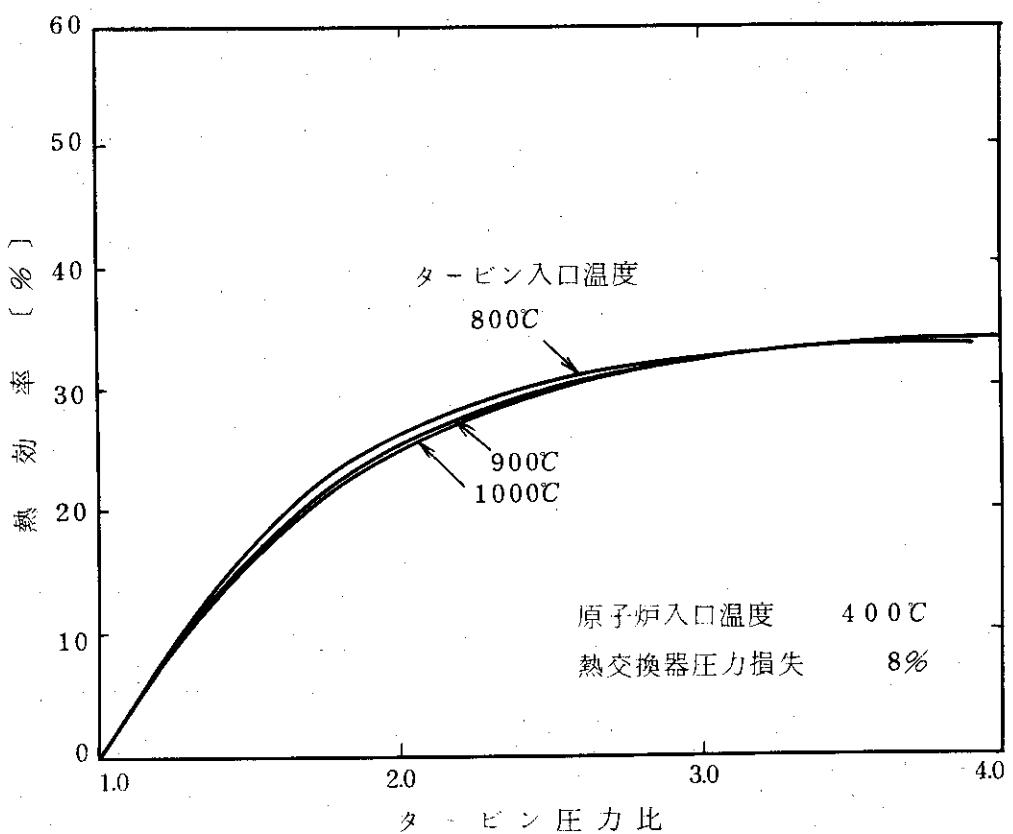
図 14 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 1.0\%$)図 15 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 1.0\%$)

図 16 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.0\%$)図 17 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.0\%$)

図 1.8 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)図 1.9 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)

図 20 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)図 21 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)

図 2 2 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 2.0\%$)図 2 3 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 2.0\%$)

図 2.4 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=2.0\%$)図 2.5 再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=2.0\%$)

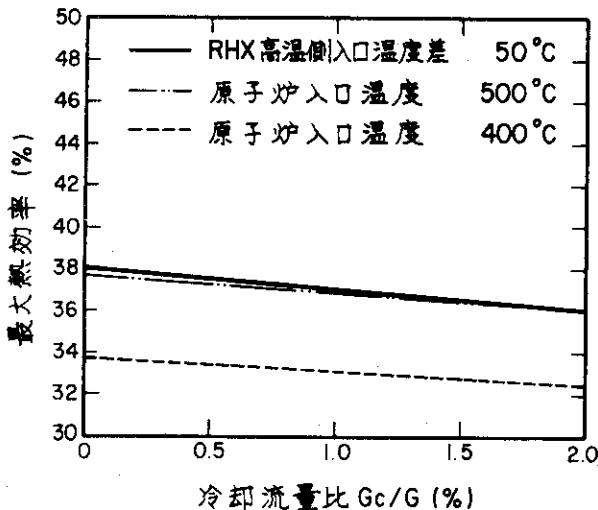


図 26 再生サイクルにおける最大熱効率の冷却流量依存性
(タービン入口温度 800 °C)

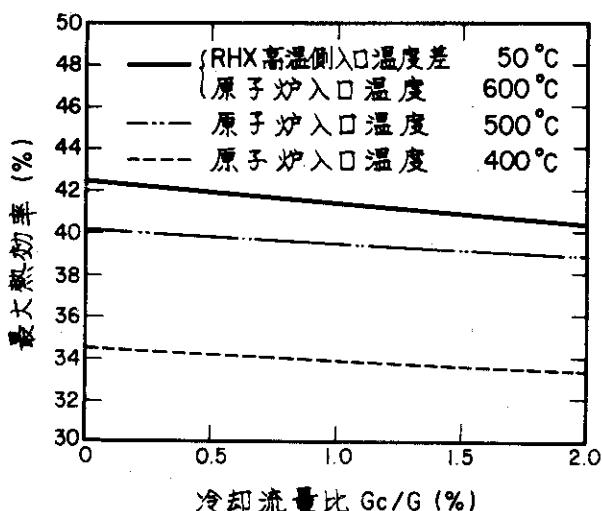


図 27 再生サイクルにおける最大熱効率の冷却流量依存性
(タービン入口温度 900 °C)

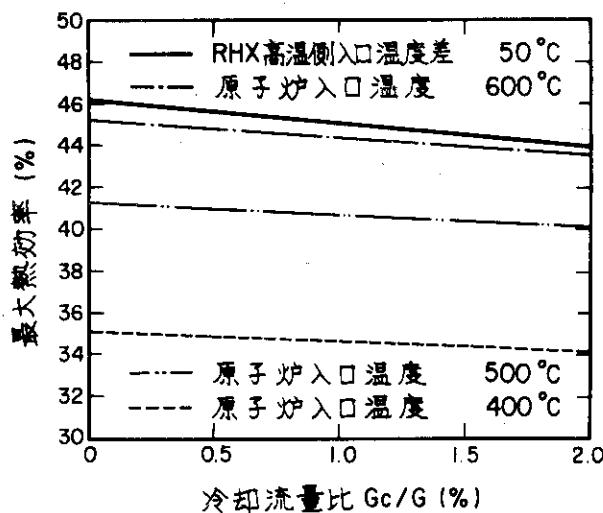


図 28 再生サイクルにおける最大熱効率の冷却流量依存性
(タービン入口温度 1000 °C)

4. 中間冷却再生サイクルの特性

中間冷却再生サイクルは図2に示すような機器構成、i-s線図のサイクルである。

本サイクルは、再生サイクルに比し圧縮機の所要動力が少なくなっていると同時に、圧縮機出口温度が低下しているのが特徴である。従って、サイクル熱効率が向上しているのは勿論であるが、圧縮機動力が小さいことから、冷却流をロータに流した場合の無効動力も小さくなり、熱効率の低下が軽減される。さらに圧縮機出口温度が低いことから、原子炉入口温度も低くなり、原子炉入口温度の制限も緩和されている。

本サイクルの熱効率の計算にあたっては、次の条件を設定した。

タービン入口温度	800°C, 900°C, 1,000°C
ターボ機械断熱効率	90%
熱交換器圧力損失	10%
冷却流量比(冷却流量 G_c / 主流量 G)	0 ~ 2%
再生熱交換器の高温側出入口温度差 (原子炉入口温度制限のない場合)	50°C
原子炉入口温度制限	400°C, 500°C, 600°C
圧縮機入口温度	40°C

図29より図48まで、以下の順序に計算結果を示す。

図29～図32 冷却流量比 $G_c/G = 0$ の場合

図29は原子炉入口温度制限なし、図30、図31、図32は制御ありの場合。以下同様。

図33～図36 冷却流量比 $G_c/G = 0.5\%$ の場合
図37～図40 冷却流量比 $G_c/G = 1.0\%$ の場合
図41～図44 冷却流量比 $G_c/G = 1.5\%$ の場合
図45～図48 冷却流量比 $G_c/G = 2.0\%$ の場合

これらの図より、熱効率最大となるような圧力比をとった場合の熱効率の値を示すと表2(a), (b), (c)のようになる。この値を図示すると図49～図51のようになる。

計算にあたって採用した前述の条件は、全て十分一般性のものであり、従って次の一般的結論をうる。

- (i) 原子炉出口温度 1,000°C の場合、中間冷却再生サイクルで得られる最大熱効率は 48.5% である。
- (ii) 冷却流量比として 0.5% および 1.0% を必要とする場合には、上記の値は 48.0% および 47.5% となる。
- (iii) 原子炉入口温度に 600°C, 500°C の制限を設ける場合には、冷却流量比 1% の場合で、最大熱効率の値は、各々、47.5%, 46.3% となる。
- (iv) 冷却流量比の増加による熱効率の低下の割合は、おおむね線形であり、冷却流量比が 1%

増すと熱効率は約1%低下する。

(V) 冷却流量比增加の効果は、原子炉入口温度に制限を設けても、あまり変わらない。

表2 中間冷却再生サイクルの最大熱効率

(a) タービン入口温度 800°C

(%)

冷却ガス流量比 G_C/G	0	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
再生熱交換器高温側入口温度差一定($=50^\circ\text{C}$)の場合	4.0.4	4.0.1	3.9.6	3.9.0	3.8.6
原子炉入口温度に制限を設ける場合	600°C以下				
	500°C以下	4.0.3	3.9.9	3.9.4	3.8.7
	400°C以下	3.9.2	3.8.9	3.8.5	3.8.0

(b) タービン入口温度 900°C

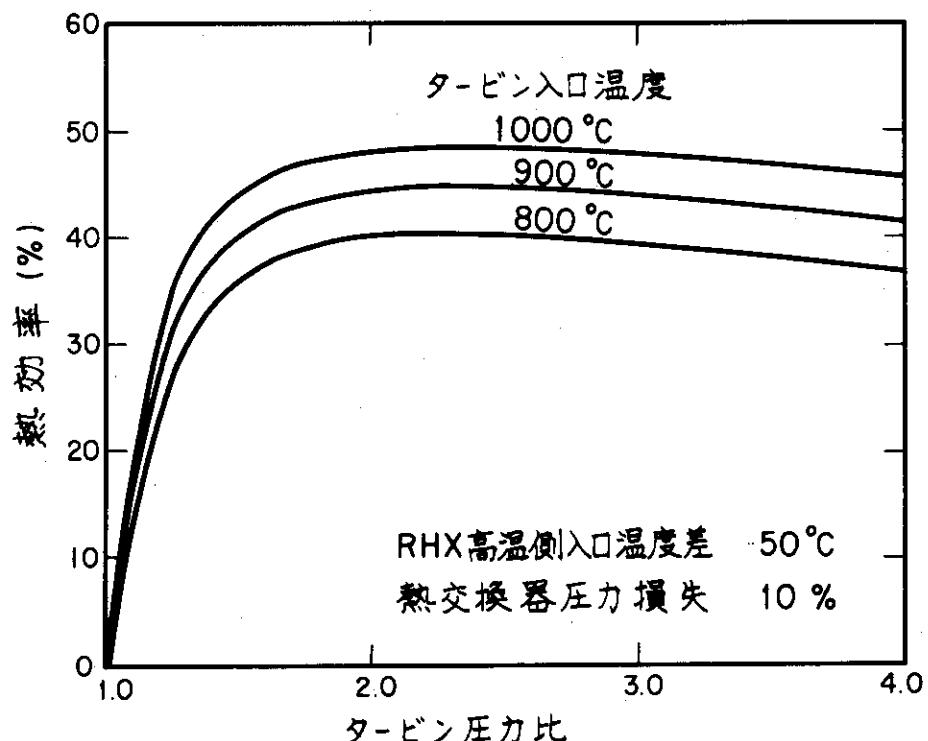
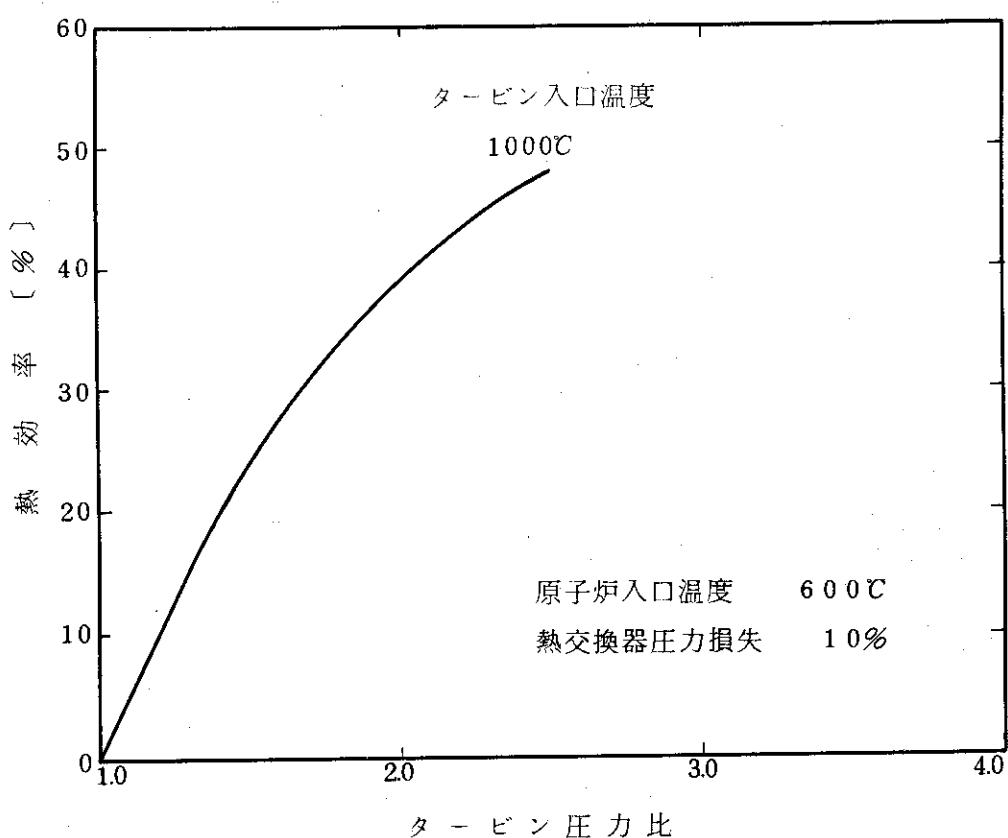
(%)

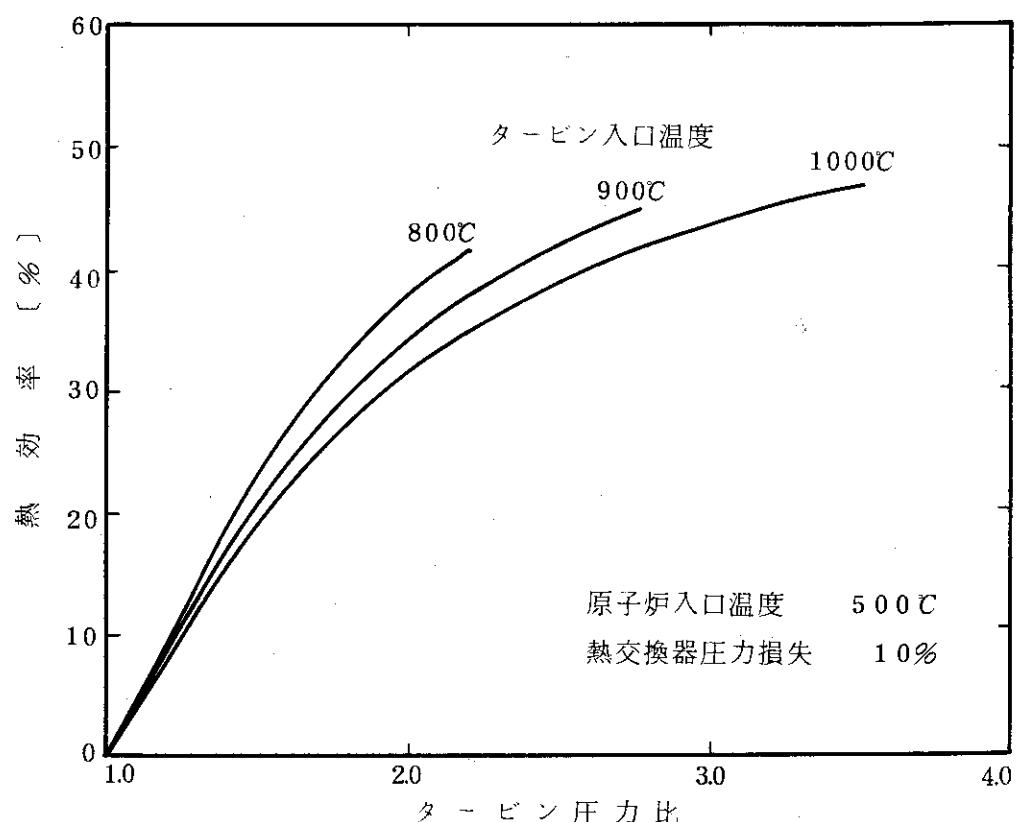
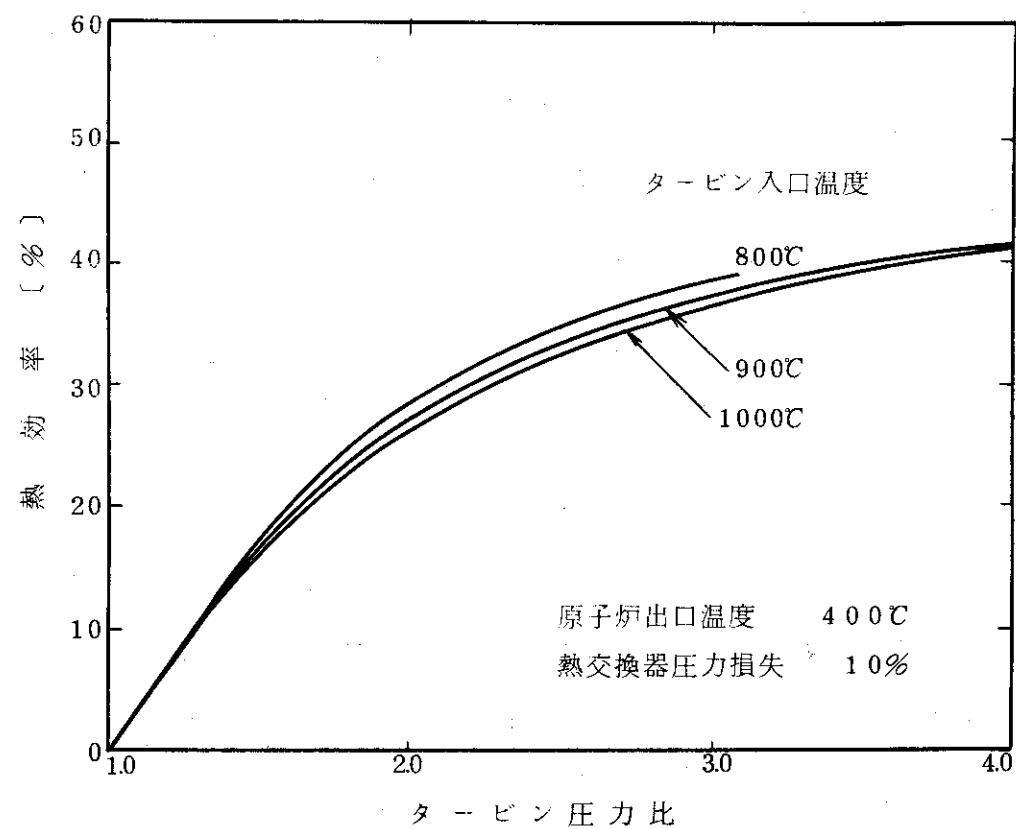
冷却ガス流量比 G_C/G	0	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
再生熱交換器高温側入口温度差一定($=50^\circ\text{C}$)の場合	4.4.9	4.4.2	4.3.8	4.3.3	4.2.9
原子炉入口温度に制限を設ける場合	600°C以下				
	500°C以下	4.4.5	4.4.0	4.3.5	4.3.1
	400°C以下	4.1.7	4.1.4	4.1.1	4.0.8

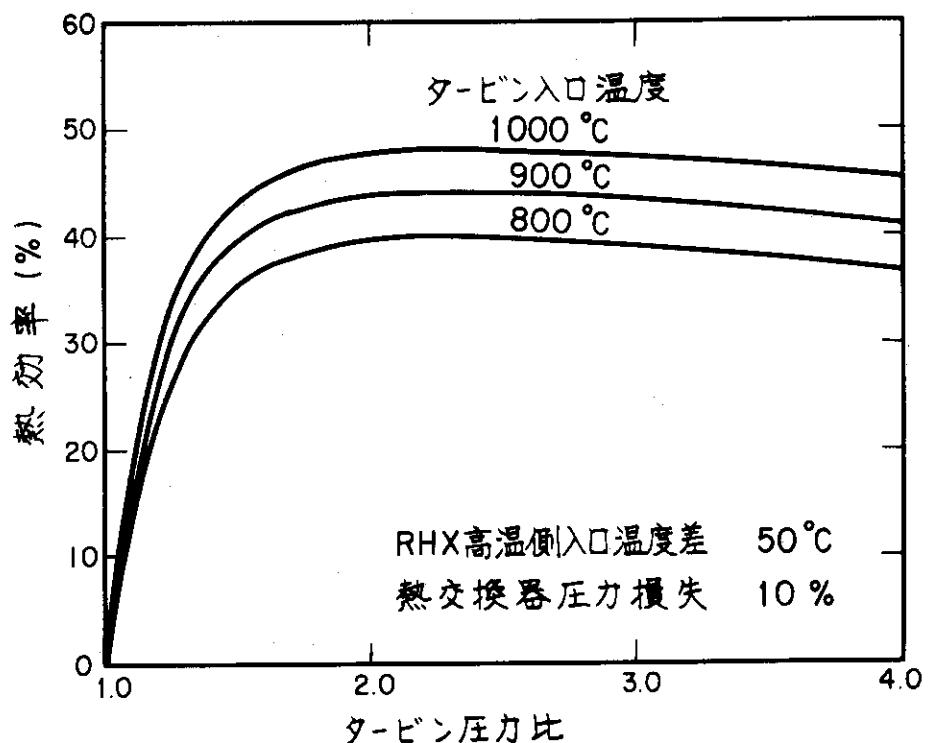
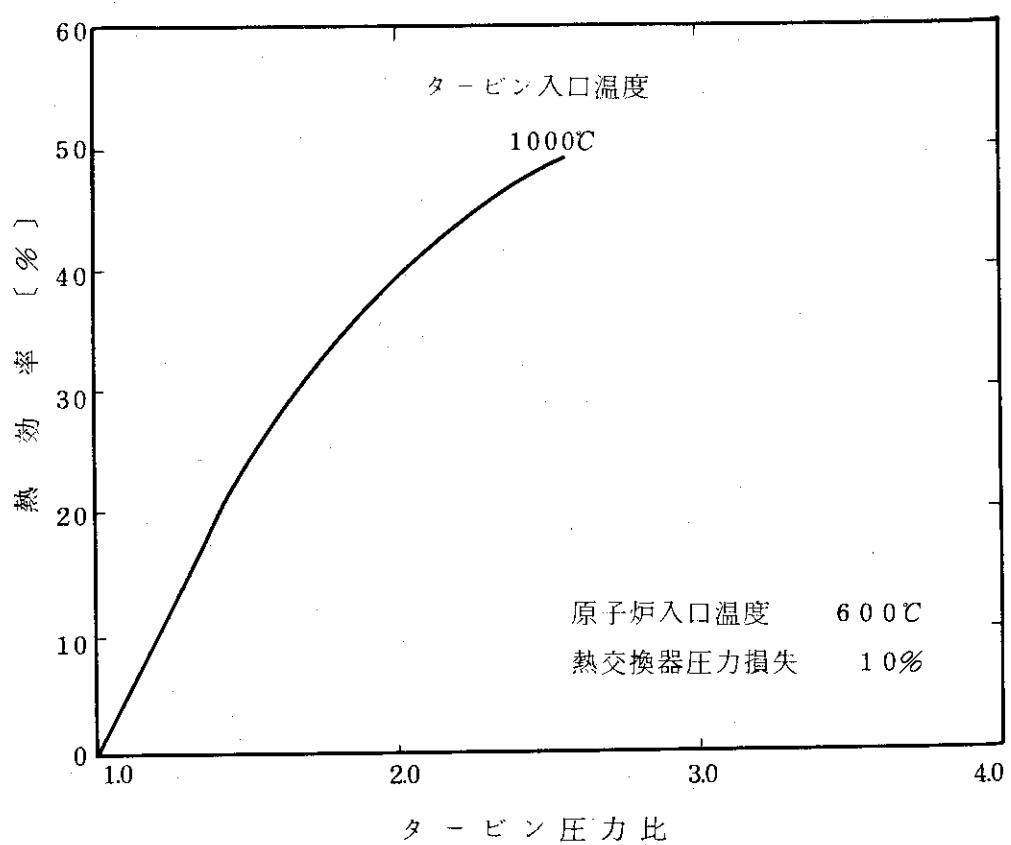
(c) タービン入口温度 1,000°C

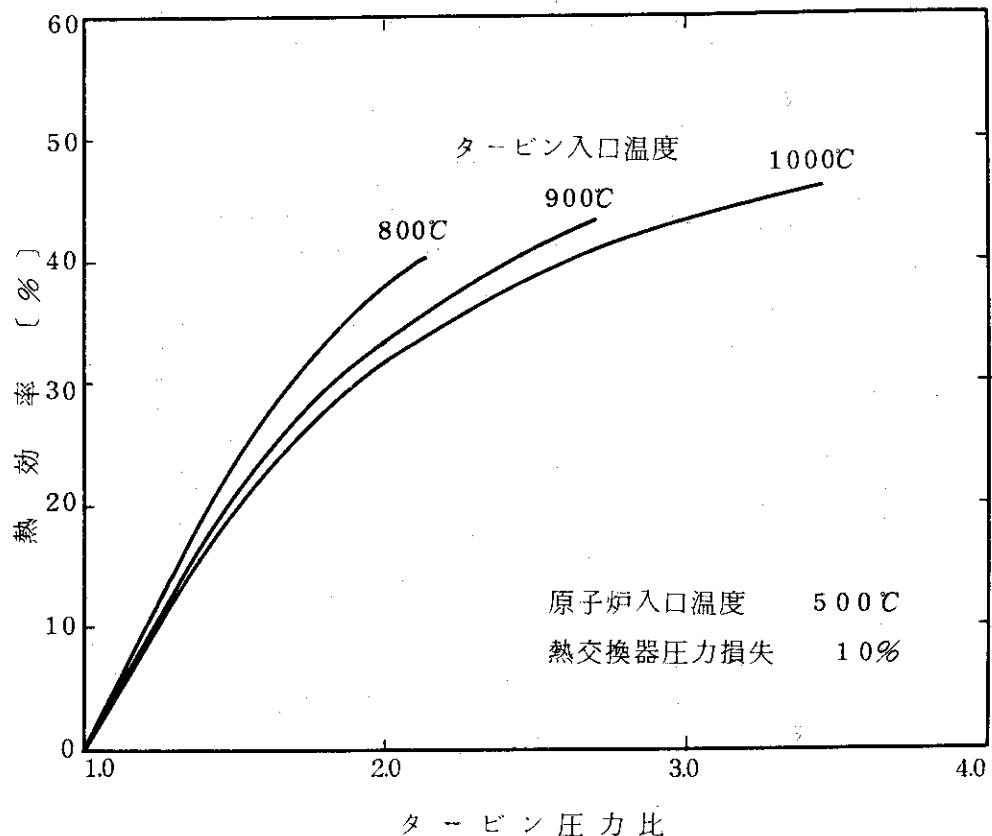
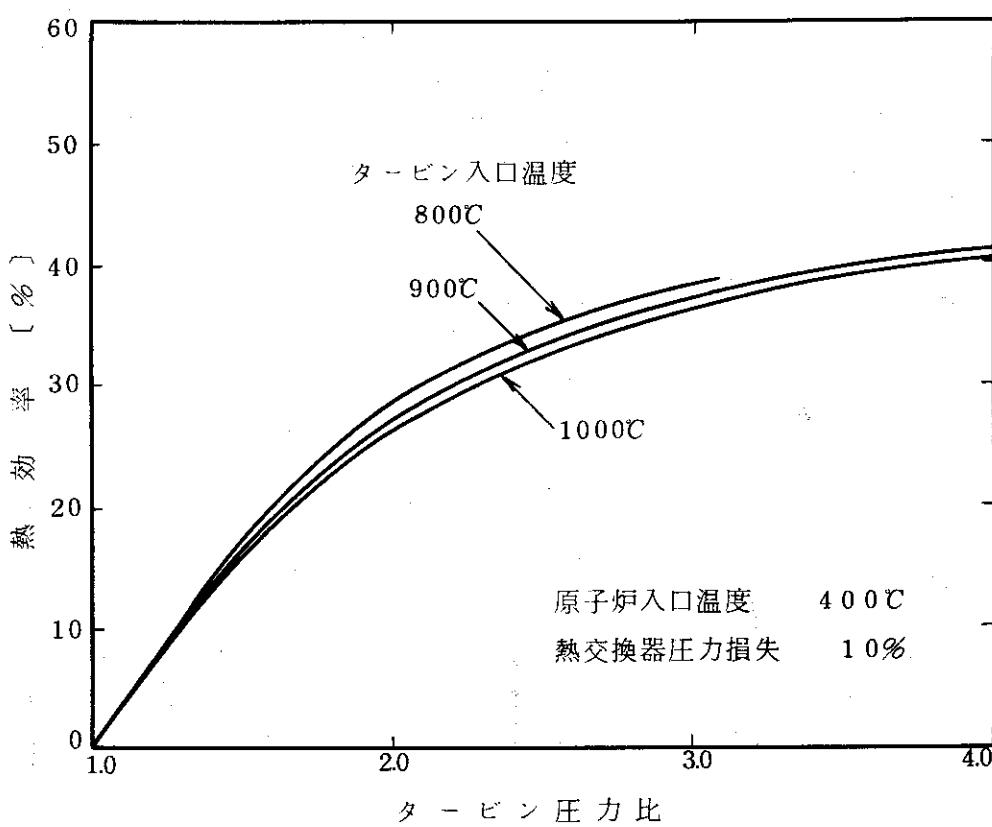
(%)

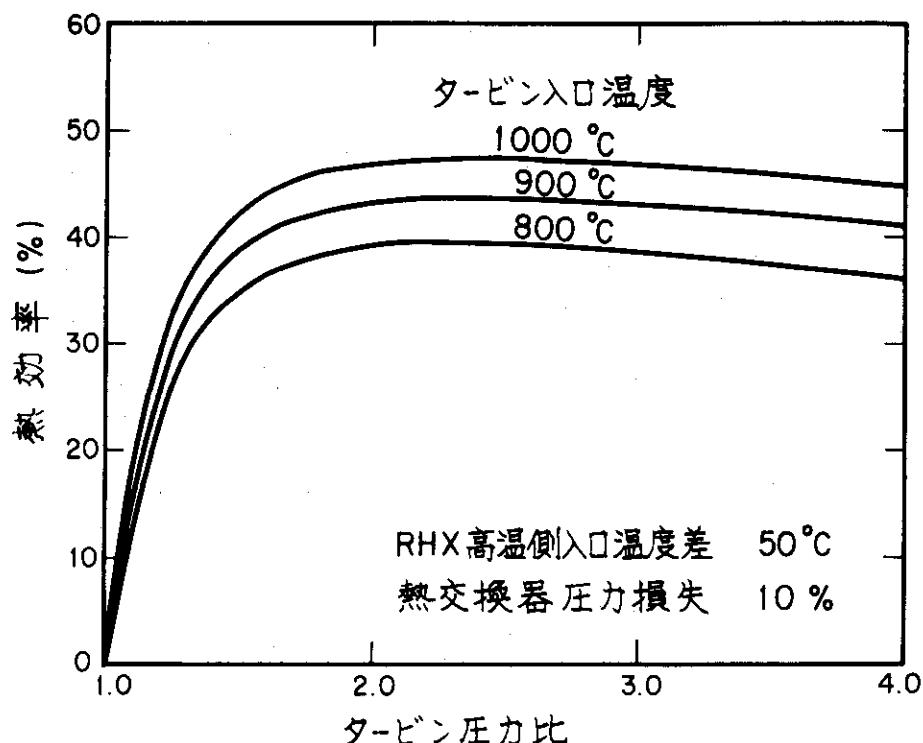
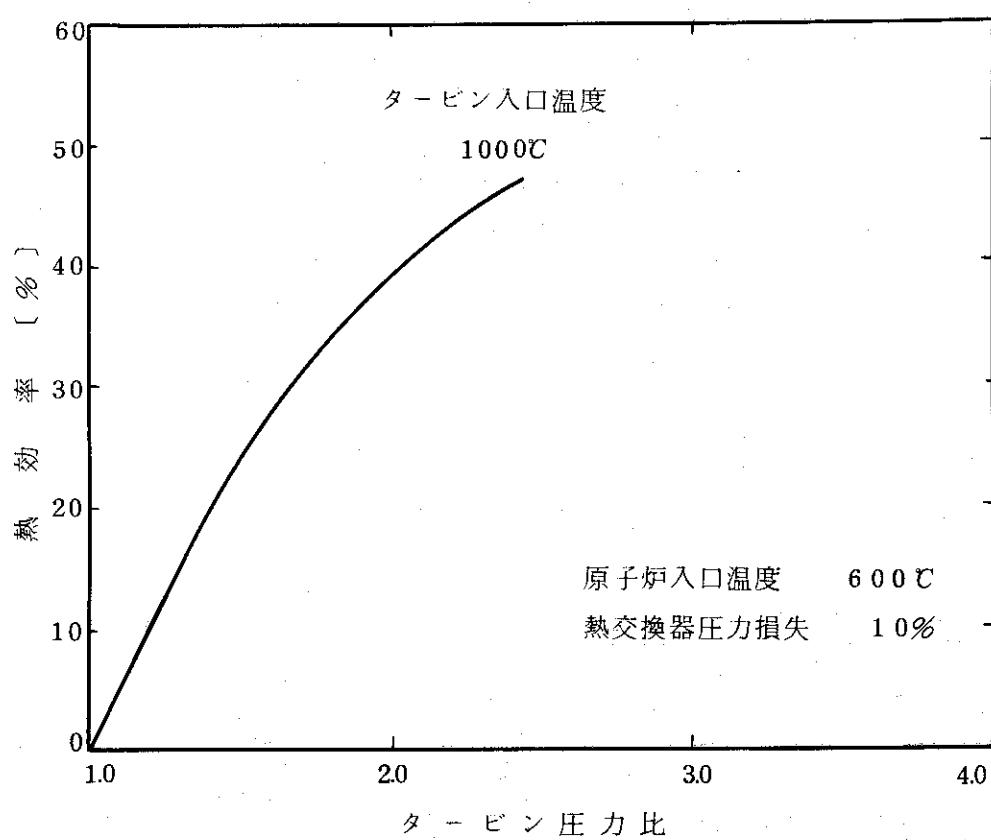
冷却ガス流量比 G_C/G	0	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
再生熱交換器高温側入口温度差一定($=50^\circ\text{C}$)の場合	4.8.5	4.8.0	4.7.5	4.7.0	4.6.5
原子炉入口温度に制限を設ける場合	600°C以下	4.8.5	4.8.0	4.7.5	4.7.0
	500°C以下	4.7.0	4.6.6	4.6.3	4.5.9
	400°C以下	—	—	—	—

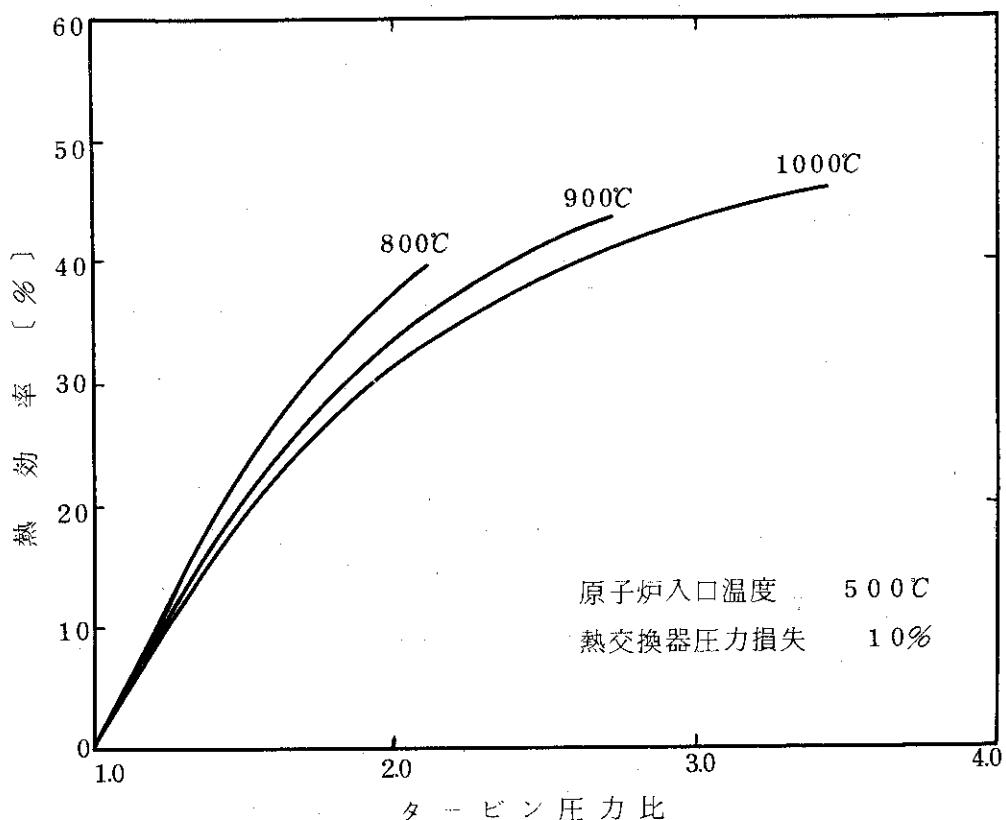
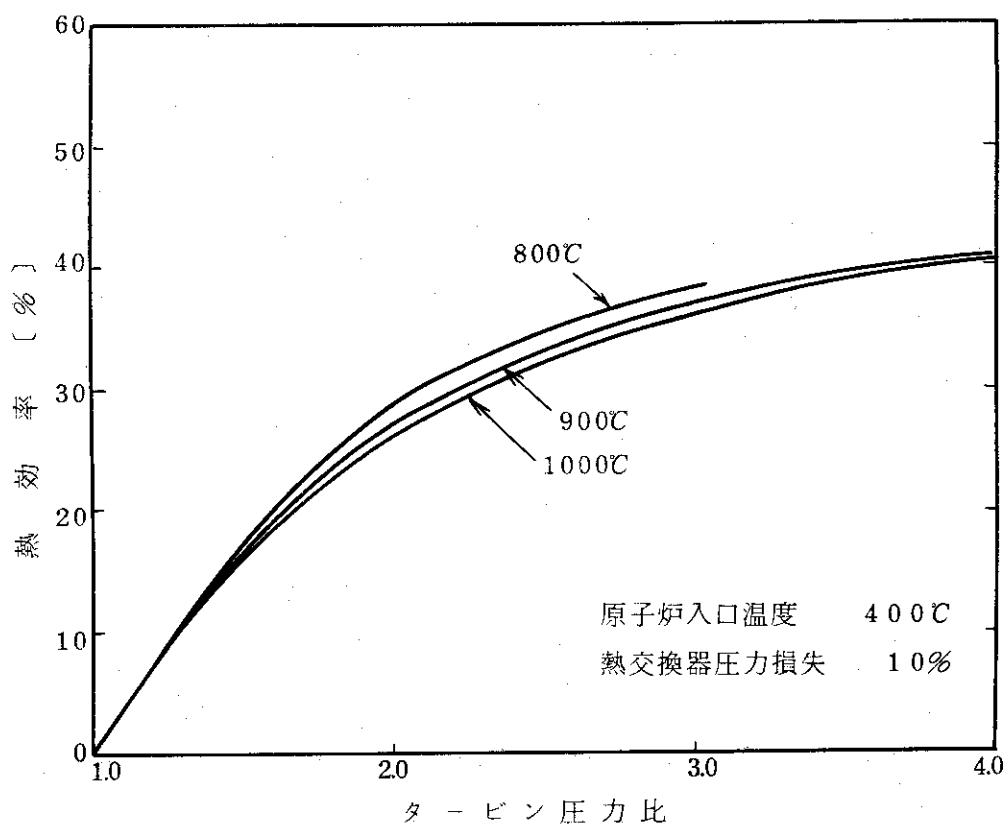
図 29 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0$)図 30 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=0$)

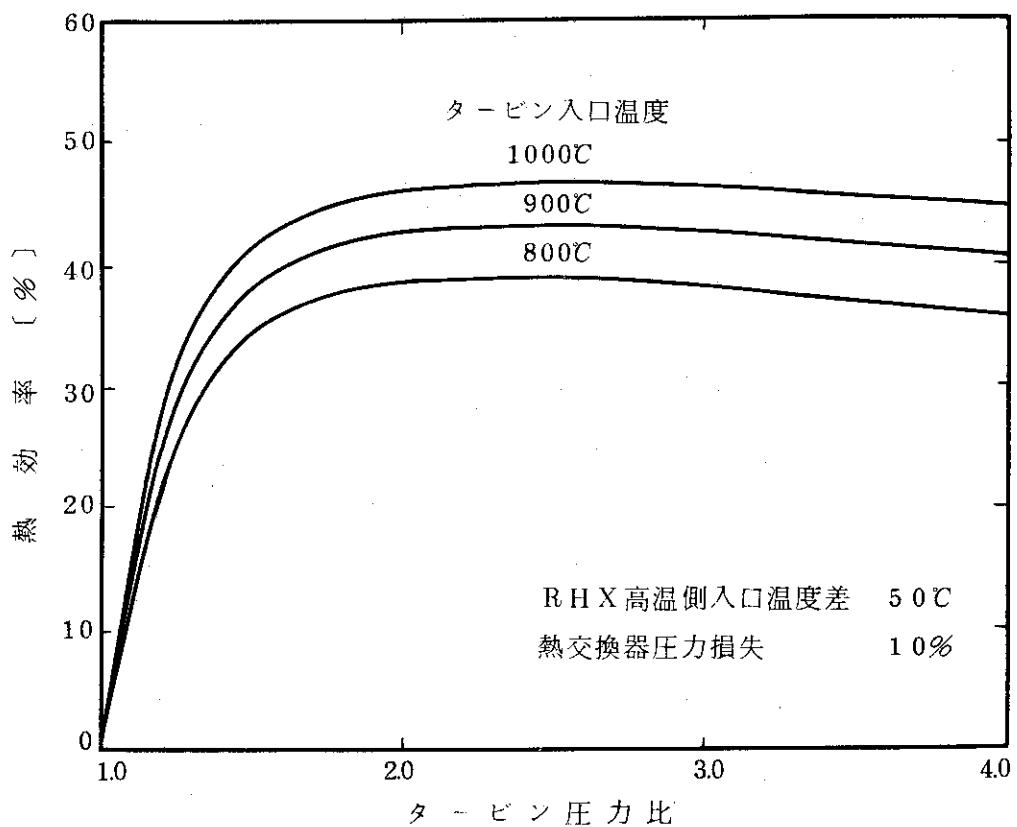
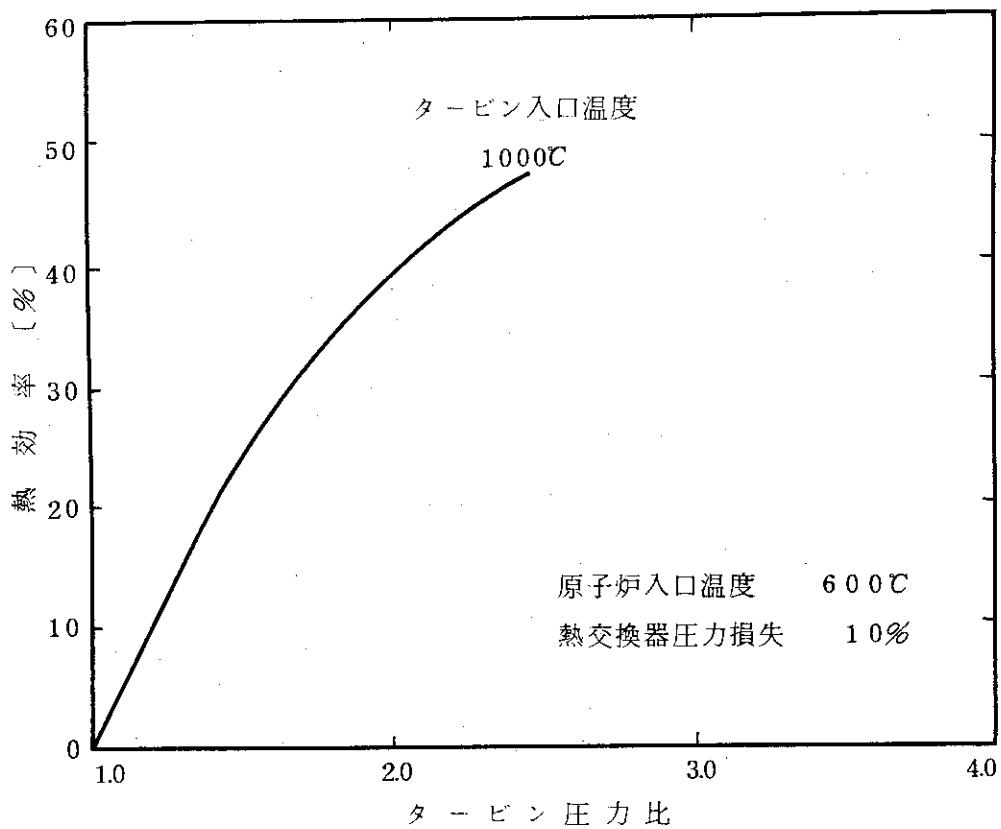
図 3.1 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=0$)図 3.2 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=0$)

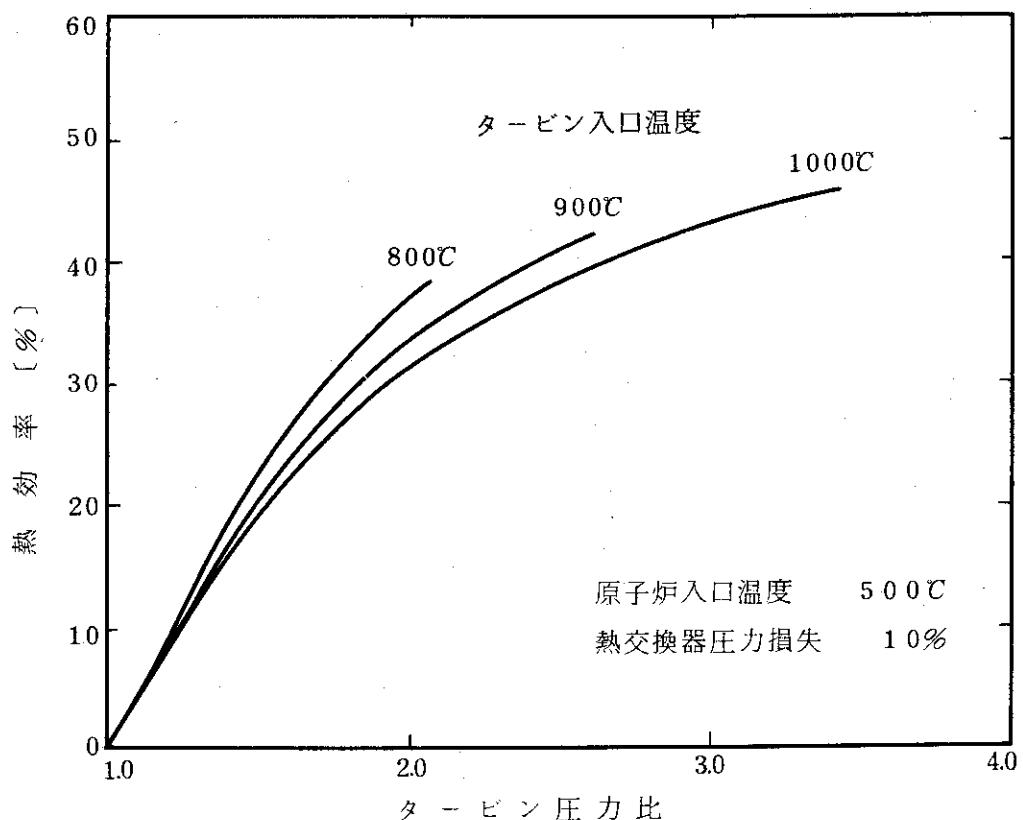
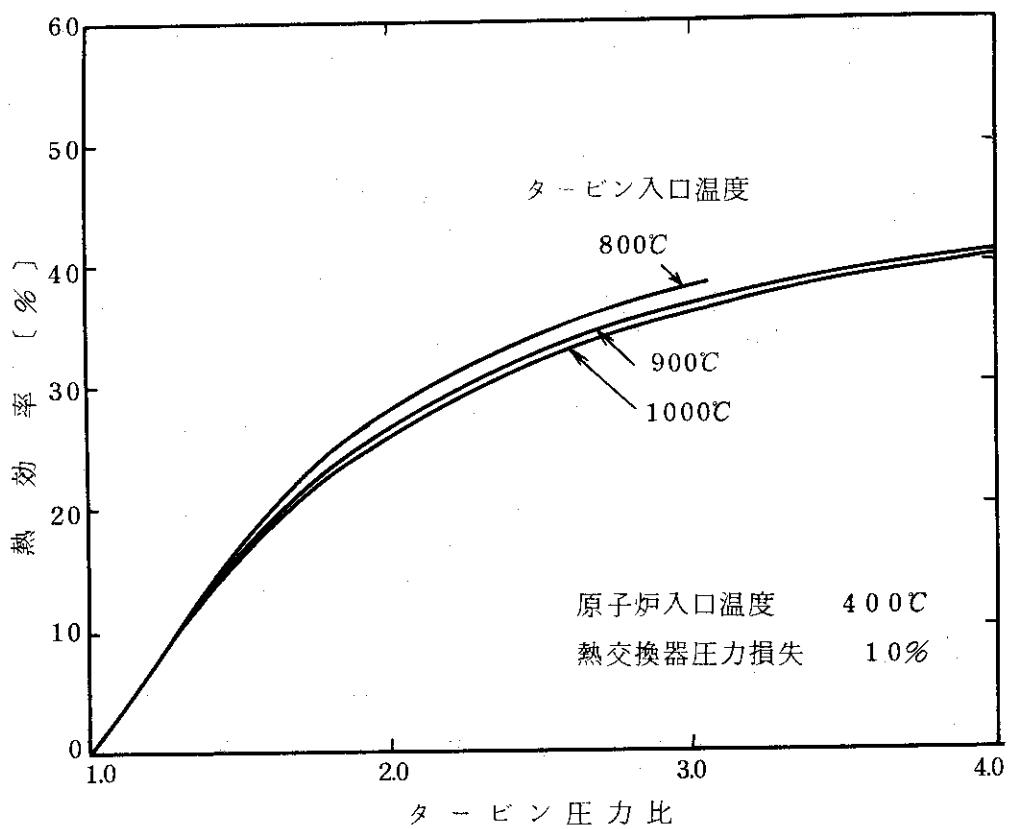
図 3-3 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0.5\%$)図 3-4 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0.5\%$)

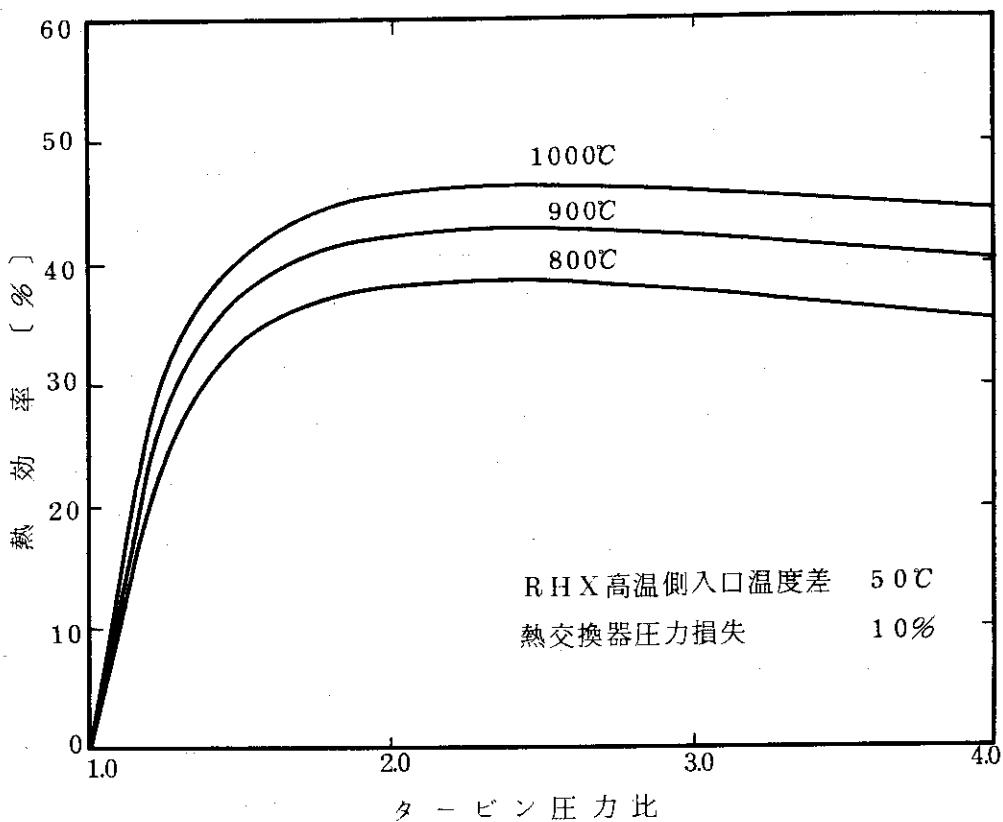
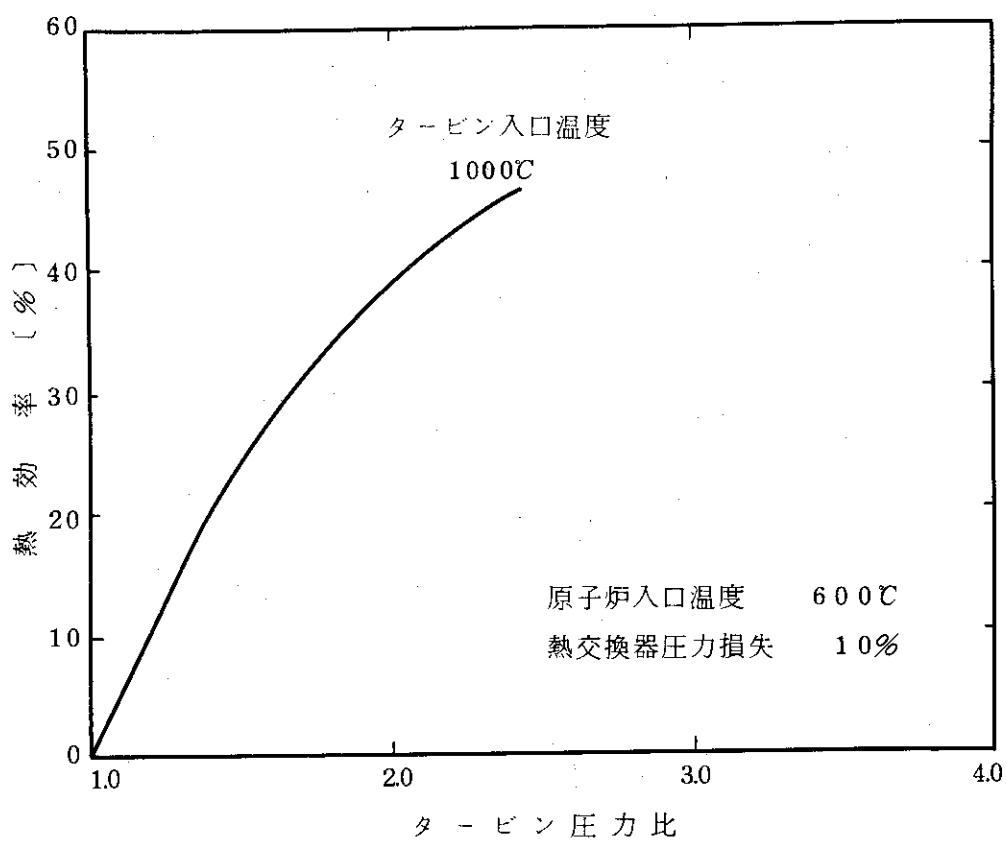
図 3.5 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0.5\%$)図 3.6 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 0.5\%$)

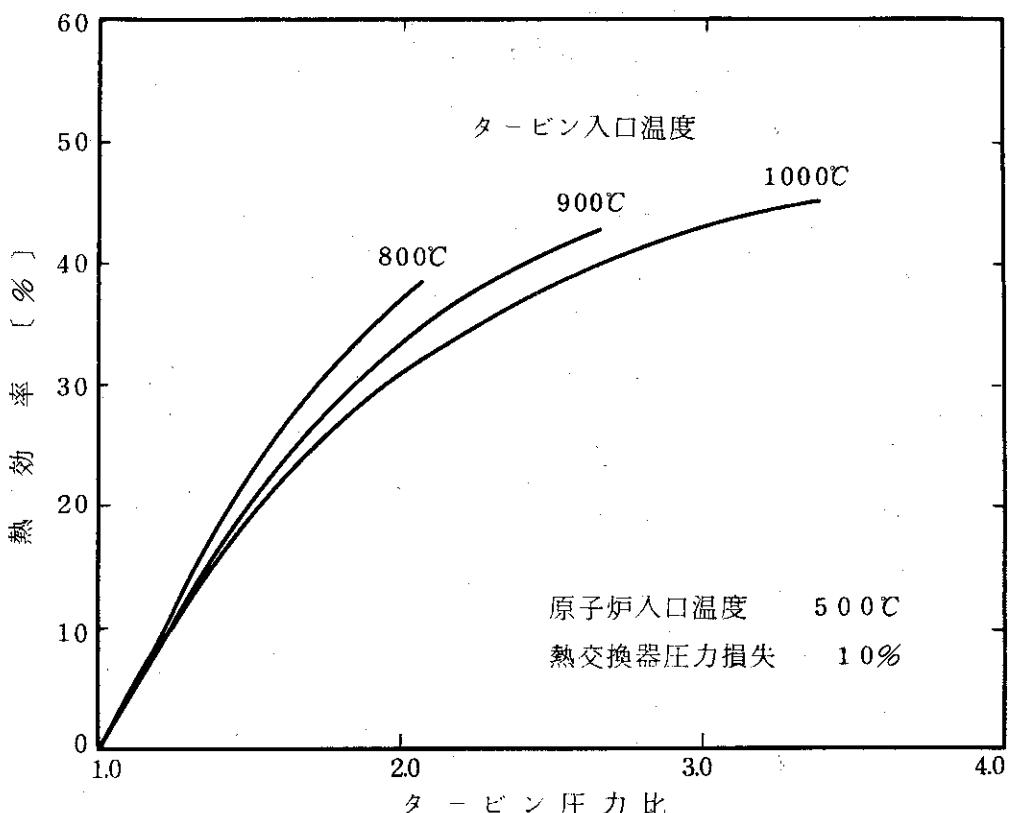
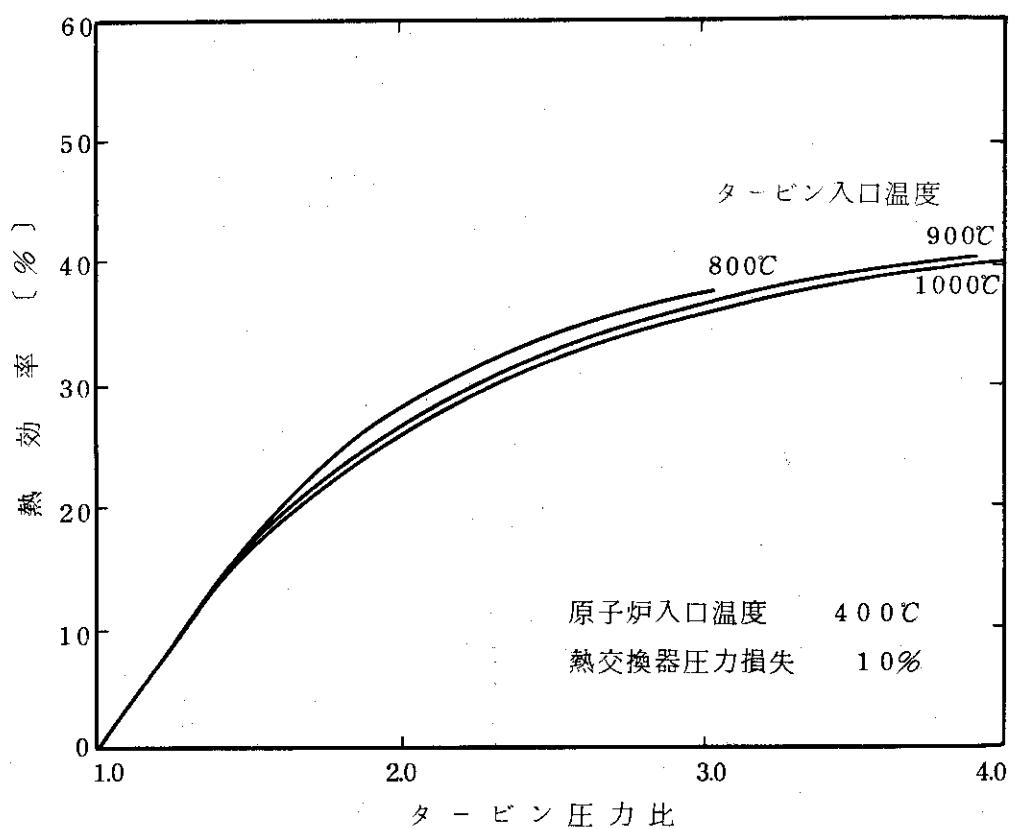
図 37 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 1.0\%$)図 38 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 1.0\%$)

図 3.9 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 1.0\%$)図 4.0 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 1.0\%$)

図 4.1 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)図 4.2 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)

図 4.3 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)図 4.4 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=1.5\%$)

図 4.5 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=2.0\%$)図 4.6 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G=2.0\%$)

図 4.7 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 2.0\%$)図 4.8 中間冷却再生サイクルの熱効率 ($G_c/G = 2.0\%$)

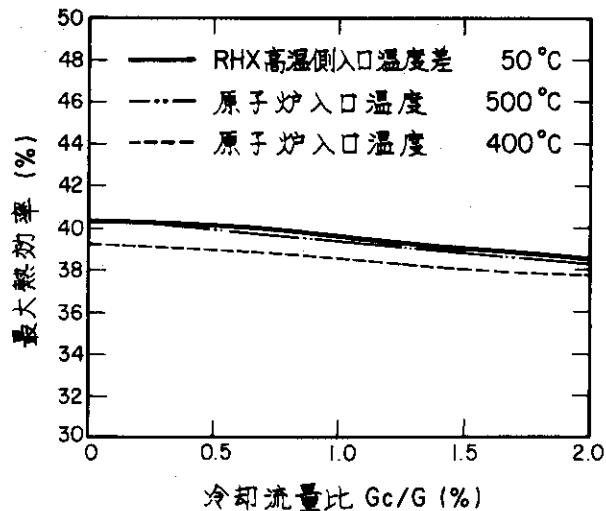


図 49 中間冷却再生サイクルにおける最大熱効率の冷却流量依存性
(タービン入口温度 800 °C)

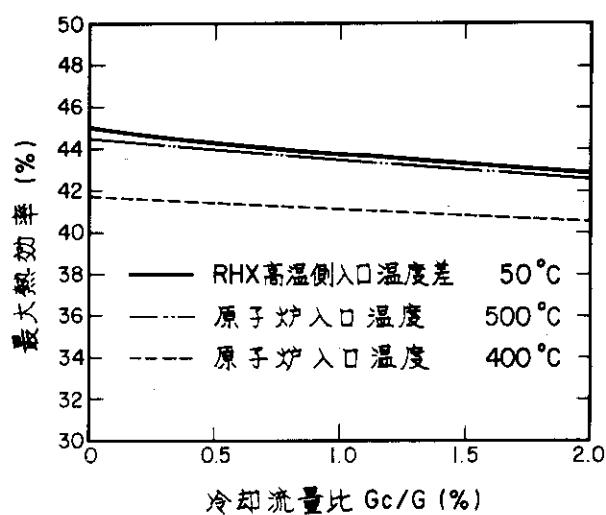


図 50 中間冷却再生サイクルにおける最大熱効率の冷却流量依存性
(タービン入口温度 900 °C)

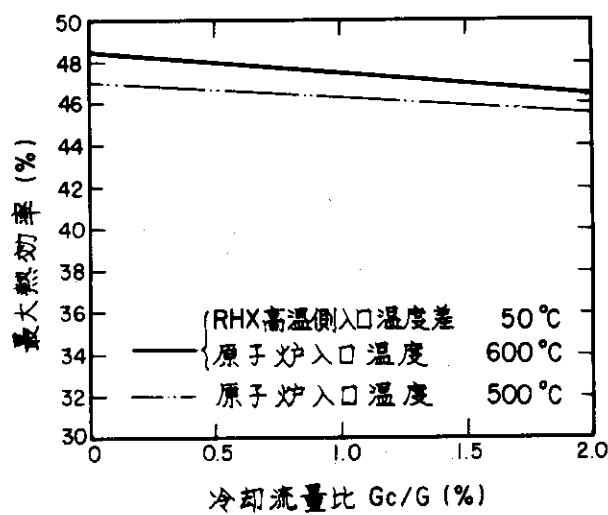


図 51 中間冷却再生サイクルにおける最大熱効率の冷却流量依存性
(タービン入口温度 1000 °C)

謝 辞

本報告書をまとめるにあたり当研究室の安野武彦氏に有益な助言をいたしましたのでここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 河田 修「高温ガス冷却炉直結ガスタービン(Ⅰ), (Ⅱ)」FAPIG第52号・1969-2および第53号・1969-5
- [2] 武藤 康他「ガスタービンサイクルの特性解析」JAERI-M5164(1973.2)
- [3] J. Heil, "Einfluss der Hauptauslegungsdaten einer Gasturbinen-Einkreisanlage auf Anlagenwirkungsgrad und Massenstrom" JüI-1002-RG(1973.9)
- [4] 武藤 康「ヘリウムタービンロータにおける冷却流量の検討」, JAERI-M7318(1977)

謝 辞

本報告書をまとめるにあたり当研究室の安野武彦氏に有益な助言をいたしましたのでここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] 河田 修「高温ガス冷却炉直結ガスタービン(Ⅰ), (Ⅱ)」FAPIG第52号・1969
-2および第53号・1969-5
- [2] 武藤 康他「ガスタービンサイクルの特性解析」JAERI-M5164(1973.2)
- [3] J. Heil, "Einfluss der Hauptauslegungsdaten einer Gasturbinen-Einkreisanlage auf Anlagenwirkungsgrad und Massenstrom"
JüI-1002-RG(1973.9)
- [4] 武藤 康「ヘリウムタービンロータにおける冷却流量の検討」, JAERI-M
7318(1977)

付録 解析コード "GASTUR-III"

A.1 コードの構成

本コード (GASTUR-III) 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り、GASTUR-II [2] をロータ冷却を考慮しうるように改良したものである。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、ロータ冷却流量比等を与える、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-IVD、機種はFACOM 230-75である。

本コードは次のような特徴を有している。

- (1) ヘリウムタービンサイクルを主たる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。すなわち定圧比熱は一定である。従って定圧比熱が温度、圧力に依存するようなガスに対しては使用できない。
- (2) 定圧比熱 C_p 、比熱比 k の値は、次のヘリウムガスの値としてコード内に組みこまれている。

$$C_p = 1.255 \text{ kcal/kg°C}$$

$$k = 1.667$$

従ってその他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できる。
 - (5) 特性解析においては圧力比をパラメータとして計算する必要があるので、これに適するようない定のメッシュ巾 (0.20) で区切られた圧力比により連続的に計算でき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) 再生熱交換器の性能に関しては、高温側出入口温度差を入力することも、原子炉入口温度を入力することも可能である。
 - (8) 热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。
 - (9) ロータ冷却に関しては、冷却ガスは圧縮機出口よりタービンロータに流れ、ロータ冷却後、タービン出口で主流ガスと合流するというモデルによっている。この際ロータにおける熱の授受は無視され、圧縮機における動力の増加のみが考慮される。
- 次にコードにおける計算の過程を述べる。
- 図A.1にガスタービンサイクルの各点における記号を示す。図の P_i は i 点の圧力、 ΔP_{ik}

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。表 A.1 に記号, 図 A.2 にフロー線図を示す。

入力として各種のオプション, 作動ガス流量, 冷却ガス流量比, 圧縮機入口温度, タービン入口温度および圧力, ターボ機械効率等が与えられる。先ず, 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, 圧縮機断熱出口温度が求められ, 圧縮機効率を用いて圧縮機出口温度が求められる。この際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。

$$P_1(i, j) = [K(j)]^{i-1} P_1(1, j) - \frac{\Delta P_{21}(i-1, j)}{2} \quad (9)$$

$$P_2(i, j) = [K(j)]^i P_1(1, j) + \frac{\Delta P_{21}(i, j)}{2} \quad (10)$$

ここで

$$K(j) = \left[\frac{P_2(n, j)}{P_1(1, j)} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

最終段の圧縮機出口温はロータ冷却ガス温度に等しい。ロータ冷却ガス温度, タービン出口ガス温度より, 混合平均温度が次式で求められる。この温度が再生熱交換器低圧側入口温度となる。

$$T_4 = \frac{G_H \cdot T_4^* + G_C \cdot T_C}{G_L} \quad (12)$$

ここで

T_4 : 再生熱交換器低圧側入口温度

T_4^* : タービン出口ガス温度

T_C : 冷却ガス温度

G_H : タービンガス流量

G_C : 冷却ガス流量

G_L : 再生熱交換器低圧側流量

次に入力データである再生熱交換器高温側出入口温度差または原子炉入口温度を用いて, 再生熱交換器出入口温度が求められる。この際, 再生熱交換器低圧側入口温度より 50°C 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, 再生熱交換器の採用は不可能であるので, この場合には計算は行われない。また原子炉入口温度が入力されている場合にも, 再生熱交換器の伝熱に必要な温度差が 50°C 以下となる場合には, 計算は行われない。

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タルピー差, すなわち単位ガス流量あたりの出力が計算される。これと流量より, 各機器の熱出力が定まり, サイクル熱効率, 比出力が次式を用いて順次求められる。

$$\text{サイクル熱効率} = \frac{(\text{タービン出力}) - (\text{圧縮機動力})}{(\text{冷却器熱容量})} \quad (13)$$

$$\text{比出力 } L_{\text{eff}} = \frac{(\text{タービン出力}) - (\text{圧縮機動力})}{C_p \cdot T_1 \cdot G_L} \quad (14)$$

ここで T_1 は圧縮機入口温度（絶対温度）である。

以上のプログラムリストが図A.5に示される。

A.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。

- (i) 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0.20、最大メッシュ数はm=30である。1個の値を入力する場合はメッシュ数m=1とする。
- (ii) サイクル温度としては、圧縮機入口温度T1と原子炉出口温度（タービン入口温度）T3を入力する。この他に、原子炉入口温度T5INか、再生熱交換器高温側入口温度差 ΔT_{RHX} のどちらか一方を入力する。
- (iii) 热交換器類の圧力損失は、圧力損失比 $\Delta P/P$ として、あるいは圧力損失値 ΔP として入力する。入力する圧力損失比Eは、熱交換器1基あたりの圧力損失を示している。（従って例えば単純サイクルの場合、前置冷却器 $\Delta P_C = EP_C$ 、再生熱交換器 $\Delta P_{RH, HP} = EP_{RH, HP}$ 、 $\Delta P_{RH, LP} = EP_{RH, LP}$ 、原子炉 $\Delta P_R = EP_R$ となる。）
- 圧力損失値を入力する場合、単純サイクルでは $\Delta P_{23in}(j)$ 、 $\Delta P_{41in}(j)$ 、再生サイクルでは $\Delta P_{25in}(j)$ 、 $\Delta P_{53in}(j)$ 、 $\Delta P_{46in}(j)$ 、 $\Delta P_{61in}(j)$ 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 $\Delta P_{21in}(j)$ を入力する。これらの値は各熱交換器に対し n 個ずつ与えなければならない。
- (iv) 連続ケース計算の場合には、#1～#14までのカードをそのまま重ねる。最後のカード#15は1ケース計算でも、連続ケース計算でも同様である。

1 (1 3)

◦ CN (col. 1~3) : ケース番号

2 (1 2 A 4)

◦ TITLE (col. 1~4 8) : タイトル名

3 (6 I 3)

◦ N : 圧縮機基數 ($N \leq 5$)

◦ M : タービン圧力メッシュ数 ($M \leq 30$)

◦ NPOP : タービン圧力比オプション

$\begin{cases} = 0 & M \geq 2 (0.20 \text{ メッシュ}) \\ = 1 & M = 1 (\text{入力値による } 1 \text{ 個}) \end{cases}$

- NCOP : サイクル・オプション
 - $\begin{cases} = 0 & \text{単純サイクル} \\ = 1 & \text{再生サイクル} \end{cases}$
- NDOP : 圧力損失オプション
 - $\begin{cases} = 0 & \text{圧力に対する比として与える} \\ = 1 & \text{入力値による} \end{cases}$
- NHOP : 再生熱交換器オプション
 - $\begin{cases} = 0 & \text{原子炉入口温度を入力} \\ = 1 & \text{再生熱交換器高温側出入口温度差を入力} \\ & (\text{単純サイクルでは不要}) \end{cases}$

4 (4 E 1 0 , 4)

- G_L : サイクル低圧側流量 (圧縮機作動ガス流量), kg/sec
- T_1 : 圧縮機入口温度, °C
- T_3 : 原子炉出口温度 (タービン入口温度), °C
- P_3 : 原子炉出口圧力 (タービン入口圧力), °C

5 (5 E 1 0 , 4)

- CFR : 冷却ガス流量比 ($= G_C / G_L$)
- η_K : 圧縮機断熱効率
- η_T : タービン断熱効率
- ϵ : 热交換器圧力損失比 (NDOP=1のとき 0 を記入)
- π_{Tin} : タービン圧力比 (NPOP = 0 のとき 0 を記入)

6 (E 1 0 , 4)

- T_{5in} : 原子炉入口温度, °C (NHOP = 0 のとき, 単純サイクルでは不要)

7 (E 1 0 , 4)

- ΔT_{RHX} : 再生熱交換器高温側温度差 ($= T_4 - T_5$), °C (NHOP = 1 のとき, 単純サイクルでは不要)

8 (8 E 1 0 , 5)

- $\Delta P_{23in}(j)$: 原子炉圧力損失, kg/cm² (J=1~M) (#8~#14 のカードは NPOP = 1 の時のみ必要)

9 (8 E 1 0 , 5)

- $\Delta P_{41in}(j)$: 前置冷却器圧力損失, kg/cm² (J=1~M)

10 (8 E 1 0 . 5)

- $\Delta P_{25in}(j)$: 再生熱交換器高圧側圧力損失, kg/cm² (J=1~M)

11 (8 E 1 0 . 5)

- $\Delta P_{53in}(j)$: 原子炉圧力損失, kg/cm² (J=1~M)

12 (8 E 1 0 . 5)

- $\Delta P_{46in}(j)$: 再生熱交換器低圧側圧力損失, kg/cm² (J=1~M)

13 (8 E 1 0 . 5)

○ $\Delta P_{61in}(j)$: 前置冷却器圧力損失, kg/cm^2 ($J=1 \sim M$)

14 (8 E 10.5)

○ $\Delta P_{21in}(j)$: 中間冷却器圧力損失, kg/cm^2 ($N \geq 2$ の場合, $I=1 \sim N-1$, $J=1 \sim M$)

15 (I 3)

○計算の終了を示すカード

1 2 3

	9	9	
--	---	---	--

入力データの記入例を図A.3に示す。

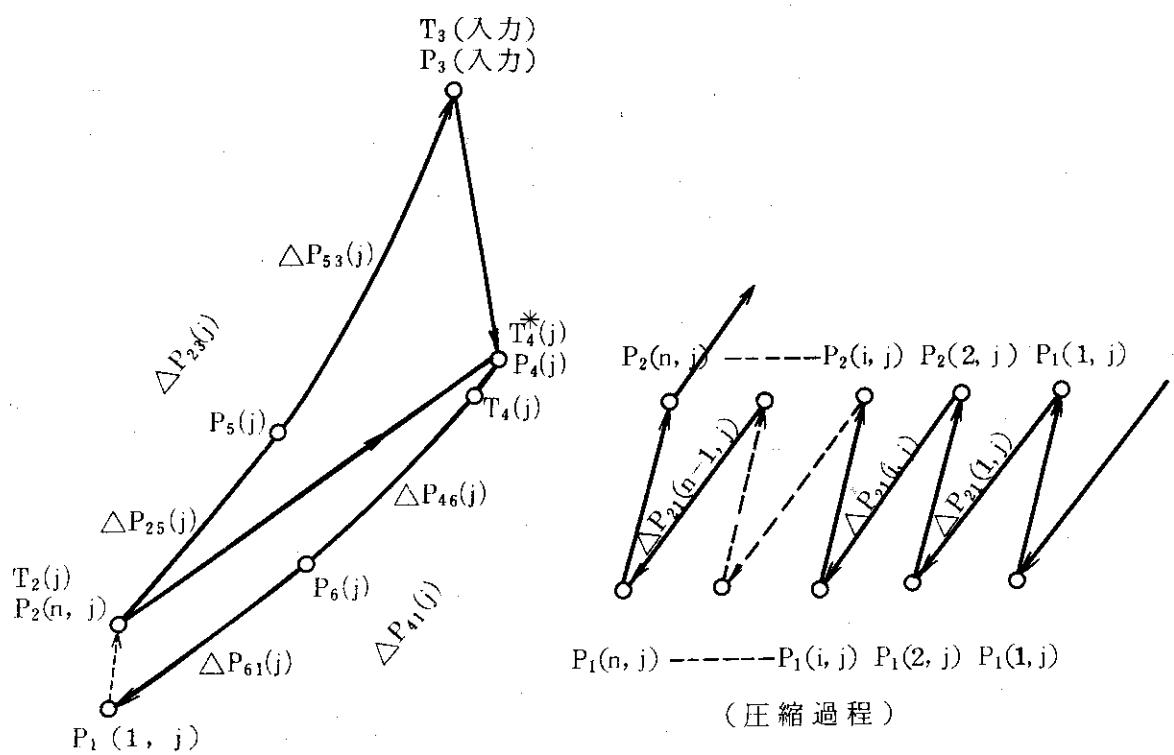
A.3 出力形式

出力データは、入力データを含め、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、比出力などで構成される。図A.4に出力データの例を示す。

表 A. 1 記 号

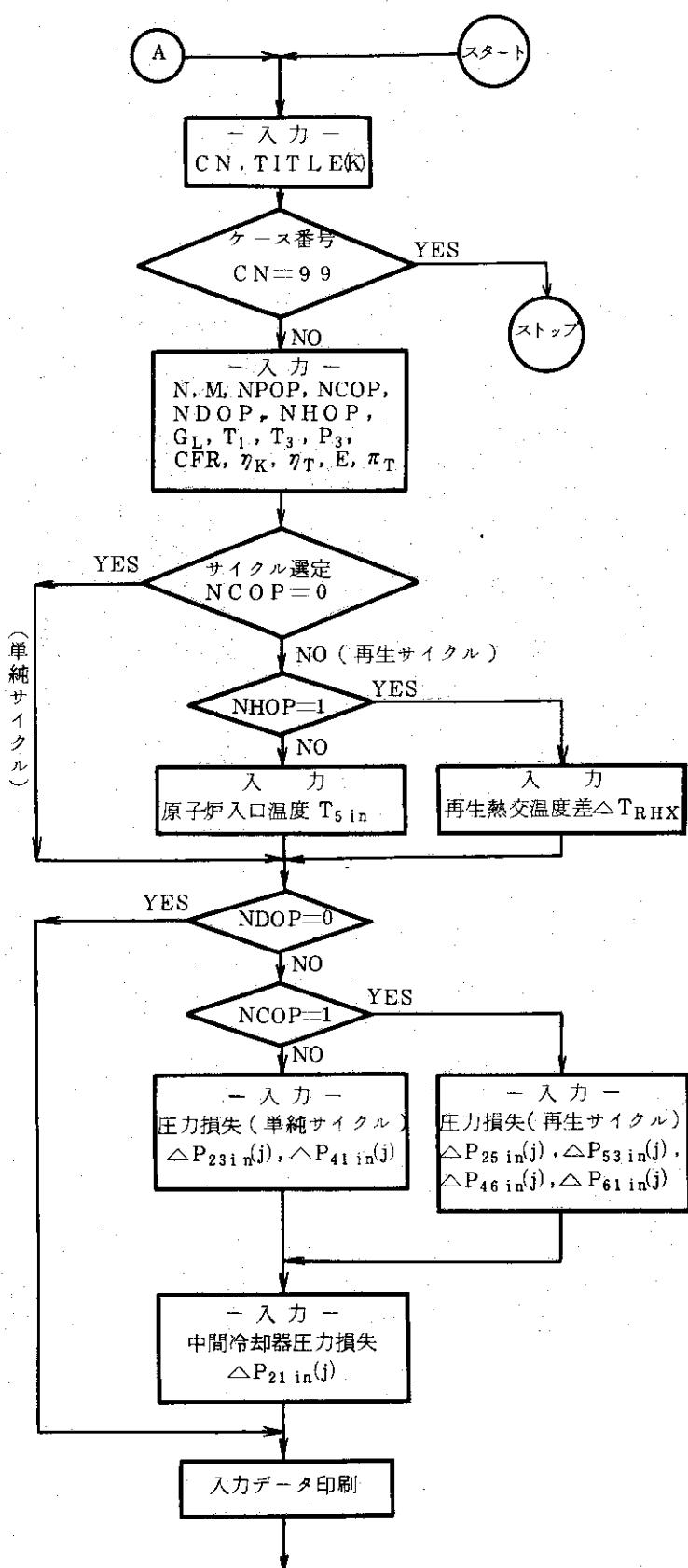
変 数	単 位	記 号 (フローシート)	記 号 (コード)
圧縮機入口温度	°C	t ₁	T1
圧縮機出口温度	°C	t ₂ (N, j)	T2 (N, J)
i 番目の圧縮機出口温度	°C	t ₂ (i, j)	T2 (I, J)
原子炉出口温度	°C	t ₃	T3
タービン出口温度	°C	t ₄ (j)	T4 S (J)
原子炉入口温度	°C	t ₅ (j)	T5 (J)
前置冷却器入口温度	°C	t ₆ (j)	T6 (J)
再生熱交換器高温側入口温度	°C	t ₄ (j)	T4 (J)
ロータ冷却ガス温度	°C	t _c (j)	TC (J)
再生熱交換器低圧側入口と圧縮機出口の温度差	°C	ΔT (j)	DLTAT (J)
再生熱交換器高温側入口設計温度差	°C	ΔT _{RHX}	DLTRHX
再生熱交換器対数平均温度差	°C	ΔT _m (j)	DLTM (J)
i 番目の圧縮機入口圧力	ata	p ₁ (i, j)	P1 (I, J)
i 番目の圧縮機出口圧力	ata	p ₂ (i, j)	P2 (I, J)
原子炉出口圧力	ata	p ₃	P3
タービン出口圧力	ata	p ₄ (j)	P4 (J)
原子炉入口圧力	ata	p ₅ (j)	P5 (J)
前置冷却器入口圧力	ata	p ₆ (j)	P6 (J)
サイクル低圧側流量	kg/sec	G _L	GL
サイクル高圧側流量	kg/sec	G _H	GH
ロータ冷却流量	kg/sec	G _C	GC
圧縮機基数	—	N	N
タービン圧力比メッシュ数	—	M	M
i 番目の圧縮機断熱出口温度	—	T ₂ ' (i, j)	T ₂ D (I, J)
タービン断熱出口温度	—	T ₄ ' (j)	T ₄ D (J)

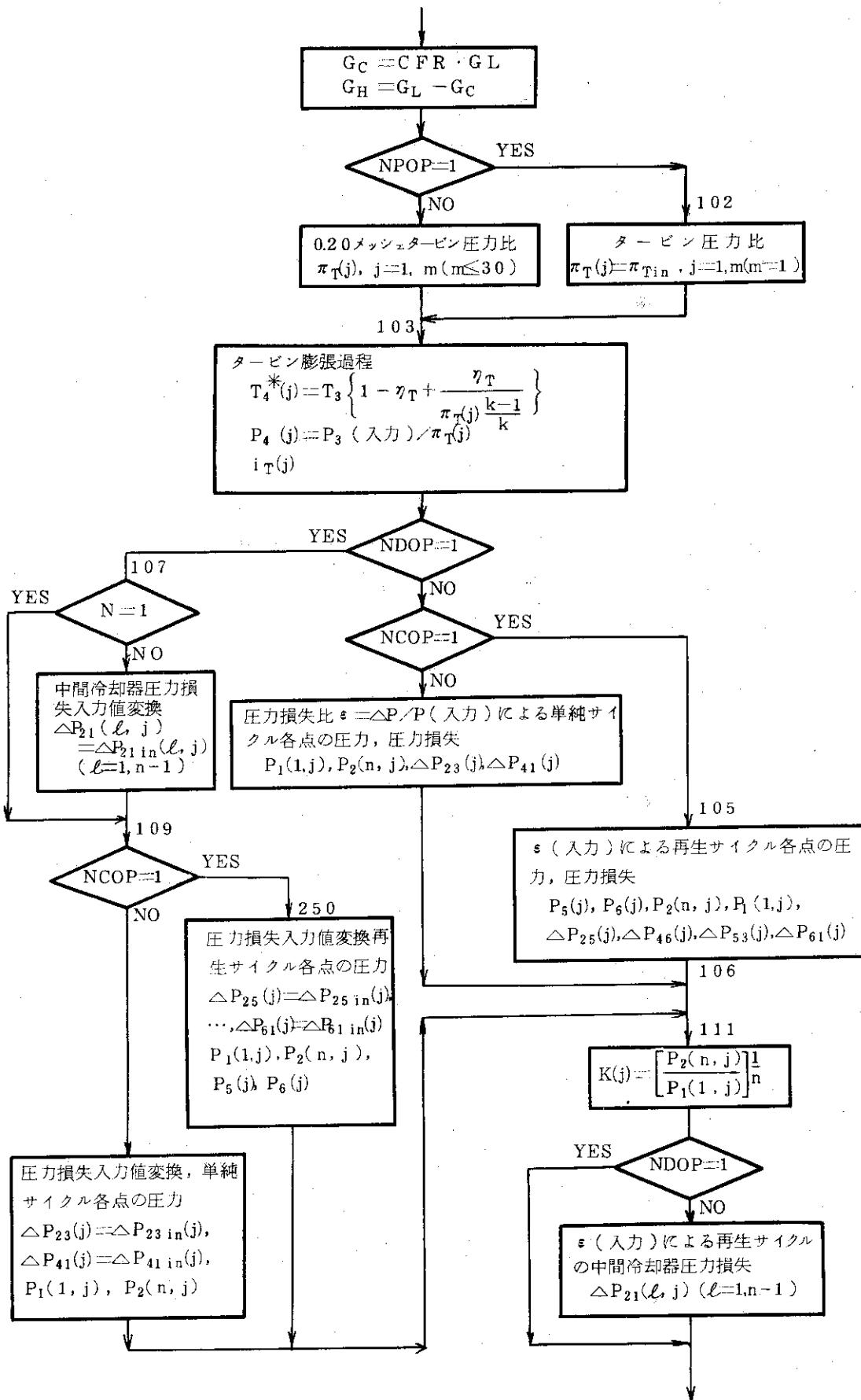
変 数	単 位	記 号 (フロード)	記 号 (コード)
第 i 圧縮機 エンタルピ 上昇	kcal/kg	$i_K (i, j)$	IK(I, J)
タービン エンタルピ 降下	kcal/kg	$i_T (j)$	IT(J)
原子炉 エンタルピ 上昇	kcal/kg	$i_N (j)$	IN(J)
再生熱交換器 高圧側 エンタルピ 上昇	kcal/kg	$i_{RH} (j)$	IRH(J)
再生熱交換器 低圧側 エンタルピ 降下	kcal/kg	$i_{RL} (j)$	IRL(J)
前置冷却器 エンタルピ 降下	kcal/kg	i_P	IP(J)
第 i 中間冷却器 エンタルピ 降下	kcal/kg	$i_I (i, j)$	II(I, J)
第 i 圧縮機 動力	MW		WK(I, J)
タービン 出力	MW	$W_T (j)$	WT(J)
原子炉 熱出力	MW	$Q_N (j)$	QN(J)
再生熱交換器 伝熱量	MW	$Q_R (j)$	QR(J)
前置冷却器 伝熱量	MW	$Q_P (j)$	QP(J)
i 番目の中間冷却器 伝熱量	MW	$Q_I (i, j)$	QI(I, J)
圧縮機 断熱効率		η_K	ETAK
タービン 断熱効率		η_T	ETAT
冷却流量比		CFR	CFR
圧縮機 圧力比		$\pi_K (i, j)$	PIK(I, J)
タービン 圧力比		$\pi_T (j)$	PIT(J)
熱交換器 圧力損失比		ϵ	E
原子炉 圧力損失		$\Delta P_{53} (j)$	P53(J)
前置冷却器 圧力損失		$\Delta P_{61} (j)$	P61(J)
再生熱交換器 高圧側 圧力損失		$\Delta P_{25} (j)$	P25(J)
再生熱交換器 低圧側 圧力損失		$\Delta P_{46} (j)$	P46(J)
中間冷却器 圧力損失		$\Delta P_{21} (i, j)$	P21(I, J)
サイクル比出力		$L_{eff} (j)$	ALEFF(J)
サイクル熱効率		$\eta (j)$	ETA(J)

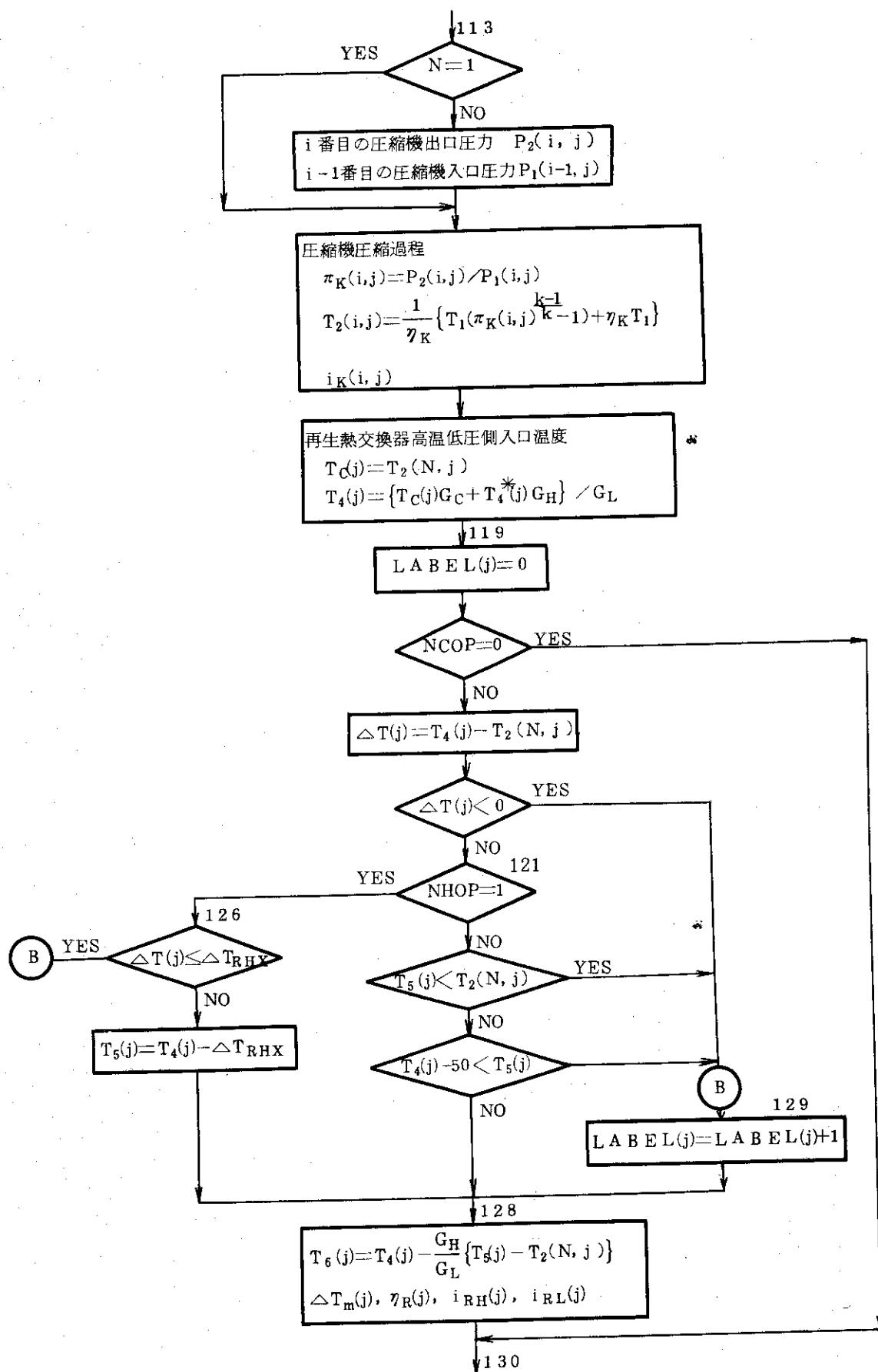


図A.1 ガスタービンサイクルの各点における記号

図A.2 計算フロー線図







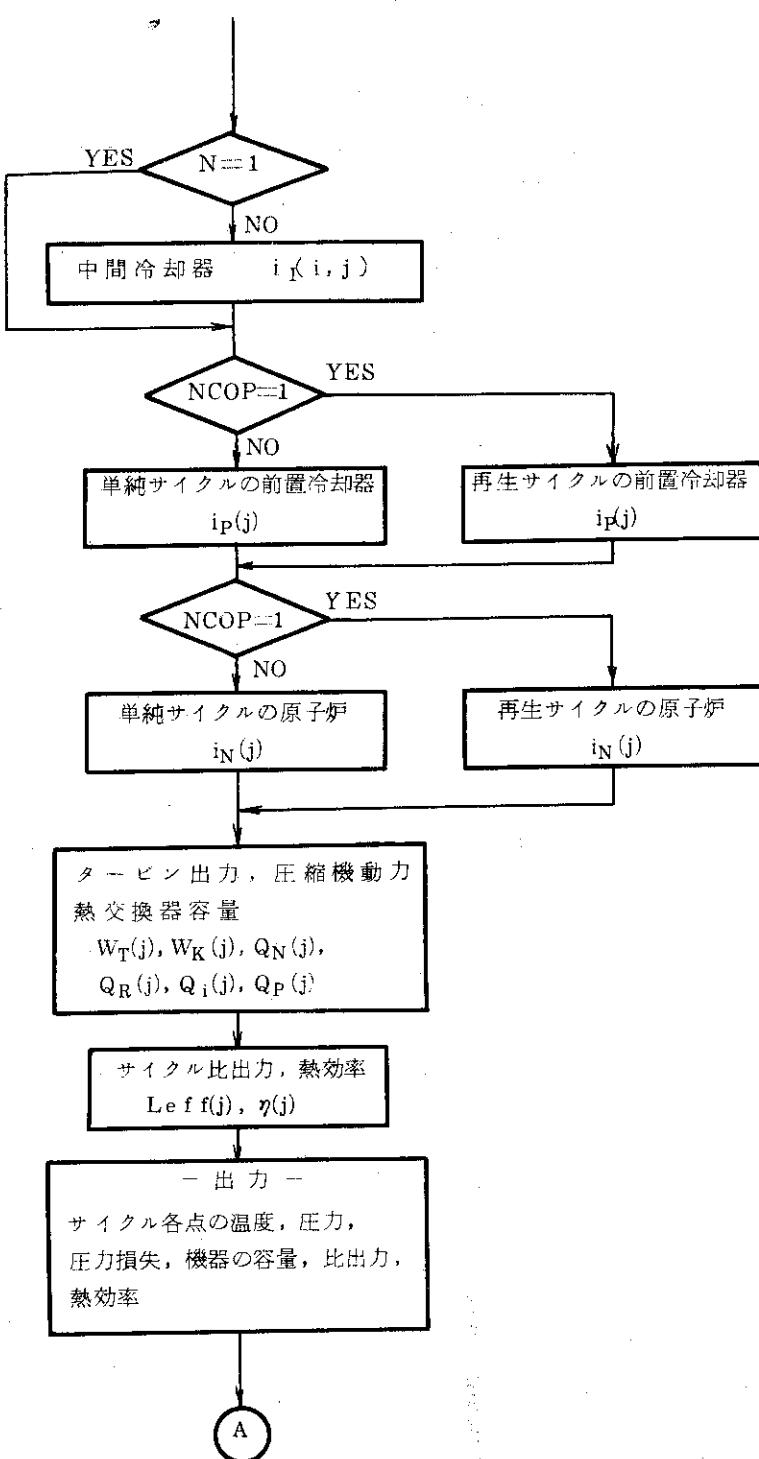




図 A . 3 入力データ例

F O R T R A N C O D I N G S H E E T

PAGE OF

J A E R I - M 7 3 2 2

氏名		日付 /	プログラム名	JOB NO.		備考		PUNCH 73-80	
所属	C FOR COMMENT	電話	研究テーマ番号	DECK NAME				YES <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
STATEMENT NUMBER	5 6 7	10	20	30	40	50	60	70	73 76 78
3 5 3									
1 1 C									
1 1 5	0	1	0	1					
5 4 0	E 0 2 4 . 0		E 0 1 1 . 0 0 0	E 0 3 4 . 0	E 0 1				
1 0 1	E - 2 9 . 0		E - 1 9 . 0	E - 1 2 . 0	E - 2 0 . 0	E 0 0			
1 0	5 E + 0 2								
9 9									

共通 E 1 7 4

図A.4 出力データ例

```
*****
*   G A S - T U R B I N E   C Y C L E   C A L C U L A T I O N
*
*   CASE NO. 353   I.C. REGENERATIVE CYCLE   DLTRHX=50 C CFR=1.0
*
*****
```

*** INPUT DATA ***

```
N= 2
M= 15
NPOP= 0
NCOP= 1
NDOP= 0
NHOP= 1
```

```
MAIN FLOW RATE = 540,0000
COOLING FLOW RATE RATIO = 0.010000
HEAT EXCHANGER PRESSURE-LOSS VERSUS PRESSURE RATIO E = 0.200E-01
```

	INLET TEMPERATURE (DEG-C)	INLET PRESSURE (KG/SQ.CM*A)	PRESSURE RATIO (N.D.)	ADIABATIC EFFICIENCY (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
TEMPERATURE DIFFERENCE AT HIGH TEMPERATURE INLET OF RHX =				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)	HEAT CAPACITY (MMW)
	1.1516E+00	4.0000E+01	6.0211E+01	3.2026E+01	3.6880E+01	2.5356E+01	5.7346E+01	1.2438E+00	4.0000E+01	7.1741E+01	3.4144E+01	3.9835E+01	9.0063E+01	1.1923E+02	
1.3297E+00	4.0000E+01	8.2021E+01	2.4020E+01	3.1939E+01	5.2737E+01	1.923E+02									
1.4104E+00	4.0000E+01	9.1319E+01	2.1351E+01	3.0112E+01	6.4561E+01	1.4561E+02									
1.4866E+00	4.0000E+01	9.9824E+01	1.9261E+01	2.8567E+01	7.508E+01	1.6975E+02									
1.5592E+00	4.0000E+01	1.0767E+02	1.7469E+01	2.7238E+01	8.4931E+01	1.9202E+02									
1.6285E+00	4.0000E+01	1.1497E+02	1.6013E+01	2.6078E+01	9.409E+01	2.1273E+02									
1.6950E+00	4.0000E+01	1.2180E+02	1.4781E+01	2.5055E+01	1.0266E+02	2.3210E+02									
1.7590E+00	4.0000E+01	1.2822E+02	1.3726E+01	2.4144E+01	1.1071E+02	2.5031E+02									
1.8208E+00	4.0000E+01	1.3428E+02	1.2811E+01	2.3325E+01	1.1832E+02	2.6751E+02									
1.8805E+00	4.0000E+01	1.4003E+02	1.2010E+01	2.2584E+01	1.2553E+02	2.8382E+02									
1.9384E+00	4.0000E+01	1.4549E+02	1.1303E+01	2.1910E+01	1.3239E+02	2.9933E+02									
1.9946E+00	4.0000E+01	1.5170E+02	1.1293E+01	2.1293E+01	1.3894E+02	3.1442E+02									
2.0492E+00	4.0000E+01	1.5571E+02	1.0114E+01	2.0725E+01	1.4520E+02	3.2828E+02									
2.1024E+00	4.0000E+01	1.6048E+02	9.6079E+00	2.0200E+01	1.5120E+02	3.4184E+02									
COMPRESSOR 1 ST	1.1517E+00	4.0000E+01	6.0226E+01	3.6150E+01	4.1632E+01	5.5393E+01	5.7388E+01	1.2438E+00	4.0000E+01	7.1757E+01	3.3468E+01	3.9854E+01	9.0106E+01	1.1927E+02	
	1.2328E+00	4.0000E+01	8.2037E+01	3.1307E+01	4.1632E+01	5.2756E+01	1.4566E+02								
	1.4105E+00	4.0000E+01	9.1335E+01	2.9516E+01	4.1632E+01	6.4426E+01	1.4566E+02								
	1.4868E+00	4.0000E+01	9.9814E+01	2.8001E+01	4.1632E+01	7.508E+01	1.6975E+02								
	1.5594E+00	4.0000E+01	1.0769E+02	2.6698E+01	4.1632E+01	8.4932E+01	1.9202E+02								
	1.6287E+00	4.0000E+01	1.1499E+02	2.5626E+01	4.1632E+01	9.4091E+01	2.1277E+02								
	1.6952E+00	4.0000E+01	1.2182E+02	2.4559E+01	4.1632E+01	1.0268E+02	2.3215E+02								
	1.7592E+00	4.0000E+01	1.2824E+02	2.3666E+01	4.1632E+01	1.1074E+02	2.5033E+02								
	1.8209E+00	4.0000E+01	1.3426E+02	2.2823E+01	4.1632E+01	1.1832E+02	2.6751E+02								
	1.8807E+00	4.0000E+01	1.4004E+02	2.2137E+01	4.1632E+01	1.2553E+02	2.8382E+02								
	1.9385E+00	4.0000E+01	1.4551E+02	2.1476E+01	4.1632E+01	1.3239E+02	2.9933E+02								
	1.9947E+00	4.0000E+01	1.5073E+02	2.0877E+01	4.1632E+01	1.3894E+02	3.1442E+02								
	2.0494E+00	4.0000E+01	1.5571E+02	2.0314E+01	4.1632E+01	1.4520E+02	3.2828E+02								
	2.1027E+00	4.0000E+01	1.6050E+02	1.9800E+01	4.1632E+01	1.5120E+02	3.4184E+02								
	1.2000E+00	1.0000E+03	9.1939E+02	4.0000E+01	3.3339E+01	1.0117E+02	2.2644E+02								
	1.4000E+00	1.0000E+03	8.5567E+02	4.0000E+01	2.8571E+01	1.8113E+02	4.0544E+02								
	1.6000E+00	1.0000E+03	8.0357E+02	4.0000E+01	2.5000E+01	2.4652E+02	5.5179E+02								
	1.8000E+00	1.0000E+03	7.5986E+02	4.0000E+01	2.2222E+01	3.0137E+02	6.7455E+02								
	2.0000E+00	1.0000E+03	7.2247E+02	4.0000E+01	2.0000E+01	3.4830E+02	7.938E+02								
	2.2000E+00	1.0000E+03	6.8998E+02	4.0000E+01	1.8182E+01	3.8907E+02	8.7088E+02								
	2.4000E+00	1.0000E+03	6.6139E+02	4.0000E+01	1.6667E+01	4.2496E+02	9.5118E+02								
	2.6000E+00	1.0000E+03	6.3594E+02	4.0000E+01	1.5388E+01	4.5639E+02	1.0226E+03								
	2.8000E+00	1.0000E+03	6.1310E+02	4.0000E+01	1.4286E+01	4.8156E+02	1.1449E+03								
	3.0000E+00	1.0000E+03	5.9244E+02	4.0000E+01	1.3333E+01	5.1149E+02	1.1977E+03								
	3.2000E+00	1.0000E+03	5.7362E+02	4.0000E+01	1.2500E+01	5.3511E+02	1.2462E+03								
	3.4000E+00	1.0000E+03	5.5637E+02	4.0000E+01	1.1765E+01	5.5675E+02	1.2908E+03								
	3.6000E+00	1.0000E+03	5.4050E+02	4.0000E+01	1.1111E+01	5.7668E+02	1.3320E+03								
	3.8000E+00	1.0000E+03	5.2581E+02	4.0000E+01	1.0526E+01	5.9511E+02	1.3703E+03								
	4.0000E+00	1.0000E+03	5.1216E+02	4.0000E+01	1.0000E+01	6.1122E+02	1.4123E+03								

PRESSURE RATIO (N,D.)	INLET TEMPERATURE (DEG=C)	OUTLET TEMPERATURE (DEG=C)	INLET PRESSURE (KG/SQ.CM)	OUTLET PRESSURE (KG/SQ.CM)	PRESSURE DROP (KG/SQ.CM)	ENTHALPY (KCAL/KG)	HEAT CAPACITY (MW)
REACTOR							
1.2000E+00	8.6080E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	1.7470E+02	3.9103E+02
1.4000E+00	7.9783E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	2.5372E+02	5.6790E+02
1.6000E+00	7.4635E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	3.1833E+02	7.1251E+02
1.8000E+00	7.0318E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	8.3379E+02	8.3379E+02
2.0000E+00	6.6625E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	4.1886E+02	9.3752E+02
2.2000E+00	6.3416E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	4.5913E+02	1.0277E+03
2.4000E+00	6.0592E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	4.9457E+02	1.1070E+03
2.6000E+00	5.8080E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	5.2643E+02	1.1775E+03
2.8000E+00	5.5825E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	5.5439E+02	1.2409E+03
3.0000E+00	5.3786E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	5.7999E+02	1.2982E+03
3.2000E+00	5.1928E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	6.0330E+02	1.3504E+03
3.4000E+00	5.0227E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	6.2466E+02	1.3981E+03
3.6000E+00	4.8660E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	6.4432E+02	1.4422E+03
3.8000E+00	4.7211E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	6.6250E+02	1.4829E+03
4.0000E+00	4.5865E+02	1.0000E+03	4.0808E+01	4.0000E+01	8.0808E-01	6.7940E+02	1.5207E+03
PRE-COOLER							
1.2000E+00	1.1823E+02	4.0000E+01	3.26713E+01	3.2026E+01	6.4700E-01	9.8180E+01	2.2197E+02
1.4000E+00	1.2902E+02	4.0000E+01	2.8006E+01	2.7451E+01	5.5457E-01	1.1172E+02	2.5258E+02
1.6000E+00	1.3868E+02	4.0000E+01	2.4050E+01	2.4040E+01	4.8525E-01	2.7979E+02	3.0469E+02
1.8000E+00	1.4745E+02	4.0000E+01	2.1782E+01	2.1351E+01	4.3133E-01	3.3485E+02	3.2773E+02
2.0000E+00	1.5550E+02	4.0000E+01	1.9644E+01	1.9216E+01	3.8820E-01	4.4496E+02	3.4887E+02
2.2000E+00	1.6296E+02	4.0000E+01	1.7822E+01	1.7469E+01	3.5291E-01	5.5431E+02	3.6857E+02
2.4000E+00	1.6990E+02	4.0000E+01	1.633E+01	1.613E+01	3.2530E-01	6.6502E+02	3.8704E+02
2.6000E+00	1.7641E+02	4.0000E+01	1.5080E+01	1.4781E+01	2.9861E-01	7.7119E+02	4.0443E+02
2.8000E+00	1.8254E+02	4.0000E+01	1.4003E+01	1.3726E+01	2.7728E-01	8.7888E+02	4.2088E+02
3.0000E+00	1.8833E+02	4.0000E+01	1.3069E+01	1.2811E+01	2.5880E-01	1.8616E+02	4.4092E+02
3.2000E+00	1.9384E+02	4.0000E+01	1.2222E+01	1.2010E+01	2.2622E-01	1.5307E+02	4.5137E+02
3.4000E+00	1.9908E+02	4.0000E+01	1.1532E+01	1.1303E+01	2.2835E-01	1.9964E+02	4.6557E+02
3.6000E+00	2.0409E+02	4.0000E+01	1.0831E+01	1.0652E+01	2.1561E-01	2.0593E+02	4.7918E+02
3.8000E+00	2.0888E+02	4.0000E+01	1.0318E+01	1.0114E+01	2.0491E-01	2.1194E+02	4.9223E+02
4.0000E+00	2.1348E+02	4.0000E+01	9.8020E+00	9.6079E+00	1.9410E-01	2.1772E+02	4.9223E+02
INTER-COOLER 1 ST							
1.2000E+00	6.0211E+01	4.0000E+01	3.6880E+01	3.6150E+01	7.3030E-01	2.5363E+01	5.7346E+01
1.4000E+00	7.1741E+01	4.0000E+01	3.4144E+01	3.3468E+01	6.7612E-01	3.9832E+01	9.0033E+01
1.6000E+00	8.2021E+01	4.0000E+01	3.1939E+01	3.1307E+01	6.3244E-01	5.2731E+01	1.1933E+02
1.8000E+00	9.1319E+01	4.0000E+01	3.0112E+01	2.9516E+01	5.9622E-01	6.4406E+01	1.4531E+02
2.0000E+00	9.9824E+01	4.0000E+01	2.8567E+01	2.8003E+01	5.6569E-01	7.5089E+01	1.6935E+02
2.2000E+00	1.0767E+02	4.0000E+01	2.7238E+01	2.6693E+01	5.3936E-01	8.4931E+01	1.9222E+02
2.4000E+00	1.1497E+02	4.0000E+01	2.6078E+01	2.5562E+01	5.1640E-01	9.4090E+01	2.1233E+02
2.6000E+00	1.2180E+02	4.0000E+01	2.5055E+01	2.4559E+01	4.9614E-01	1.0266E+02	2.3210E+02
2.8000E+00	1.2822E+02	4.0000E+01	2.4144E+01	2.3666E+01	4.7809E-01	1.1071E+02	2.5031E+02
3.0000E+00	1.3428E+02	4.0000E+01	2.3325E+01	2.2863E+01	4.6188E-01	1.1832E+02	2.6731E+02
3.2000E+00	1.4003E+02	4.0000E+01	2.2584E+01	2.2137E+01	4.4721E-01	1.2553E+02	2.8382E+02
3.4000E+00	1.4549E+02	4.0000E+01	2.1910E+01	2.1476E+01	4.3386E-01	1.3239E+02	2.9933E+02
3.6000E+00	1.5071E+02	4.0000E+01	2.1293E+01	2.0871E+01	4.2164E-01	1.3894E+02	3.1412E+02
3.8000E+00	1.5570E+02	4.0000E+01	2.0725E+01	2.0314E+01	4.1039E-01	1.4520E+02	3.2828E+02
4.0000E+00	1.6048E+02	4.0000E+01	2.0200E+01	1.9800E+01	4.0000E-01	1.5120E+02	3.4184E+02

	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)	HEAT CAPACITY (MW)
R,H,X, H,P,								
1,2000E+00	6,0226E+01	8,6080E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	1,0047E+03	2,2488E+03	
1,4000E+00	7,1757E+01	7,9783E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	9,1122E+02	2,0396E+03	
1,6000E+00	8,2037E+01	7,4635E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	8,3371E+02	1,8661E+03	
1,8000E+00	9,1335E+01	7,0318E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	7,6786E+02	1,7187E+03	
2,0000E+00	9,9841E+01	6,6625E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	7,084E+02	1,5910E+03	
2,1000E+00	1,0169E+02	6,3416E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	6,6072E+02	1,4789E+03	
2,4000E+00	1,1499E+02	6,0592E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	6,1612E+02	1,3790E+03	
2,5000E+00	1,2182E+02	5,8080E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	5,7603E+02	1,2893E+03	
2,8000E+00	1,2824E+02	5,5825E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	5,3967E+02	1,2079E+03	
3,0000E+00	1,3430E+02	5,3786E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	5,0646E+02	1,1336E+03	
3,2000E+00	1,4004E+02	5,1928E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	4,7594E+02	1,0653E+03	
3,4000E+00	1,4551E+02	5,0227E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	4,4773E+02	1,0021E+03	
3,6000E+00	1,5073E+02	4,8660E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	4,2152E+02	9,4347E+02	
3,8000E+00	1,5571E+02	4,7211E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	3,9707E+02	8,8876E+02	
4,0000E+00	1,6050E+02	4,5865E+02	4,1632E+01	4,0808E+01	8,2441E-01	3,7418E+02	8,3751E+02	
L,P,								
1,2000E+00	9,1080E+02	1,1823E+02	3,3333E+01	3,2673E+01	6,6007E-01	9,9467E+02	2,2488E+03	
1,4000E+00	8,7783E+02	1,2902E+02	2,8571E+01	2,8006E+01	5,6577E-01	9,0211E+02	2,0396E+03	
1,6000E+00	7,9635E+02	1,3868E+02	2,5000E+01	2,4505E+01	4,9505E-01	8,2538E+02	1,8661E+03	
1,8000E+00	7,2318E+02	1,4745E+02	2,2222E+01	2,1782E+01	4,4004E-01	7,6018E+02	1,7187E+03	
2,0000E+00	7,1625E+02	1,5550E+02	2,0000E+01	1,9604E+01	3,9604E-01	7,0373E+02	1,5910E+03	
2,2000E+00	6,8446E+02	1,6296E+02	1,8182E+01	1,7822E+01	3,6004E-01	6,5411E+02	1,4789E+03	
2,4000E+00	6,5392E+02	1,6990E+02	1,6667E+01	1,6337E+01	3,3003E-01	6,0996E+02	1,3790E+03	
2,6000E+00	6,3000E+02	1,7641E+02	1,5385E+01	1,5080E+01	3,0465E-01	5,7027E+02	1,2893E+03	
2,8000E+00	6,0825E+02	1,8254E+02	1,4286E+01	1,4003E+01	2,8289E-01	5,3427E+02	1,2079E+03	
3,0000E+00	5,8786E+02	1,8833E+02	1,3333E+01	1,3069E+01	2,6403E-01	5,0140E+02	1,1336E+03	
3,2000E+00	5,6938E+02	1,9384E+02	1,2500E+01	1,2252E+01	2,4752E-01	4,7118E+02	1,0653E+03	
3,4000E+00	5,5222E+02	1,9908E+02	1,1762E+01	1,1532E+01	2,3296E-01	4,4325E+02	1,0021E+03	
3,6000E+00	5,3660E+02	2,0409E+02	1,1111E+01	1,0891E+01	2,2002E-01	4,1731E+02	9,4347E+02	
3,8000E+00	5,2211E+02	2,0888E+02	1,0526E+01	1,0318E+01	2,0844E-01	3,9310E+02	8,8876E+02	
4,0000E+00	5,0865E+02	2,1348E+02	1,0000E+01	9,8020E+00	1,9802E-01	3,7044E+02	8,3751E+02	

PRESSURE RATIO (N.D.)	TURBINE FLOW RATE (KG/SEC)	LOG. MEAN TEMP. DIFF (DEG=C)	R.H.X. TEMP., EFFI. (N.D.)	SPECIFIC POWER (N.D.)	THERMAL EFFICIENCY (PERCENT)
1.2000E+00	5.34460E+02	5.3904E+01	9.4122E-01	1.2575E-01	2.8568E+01
1.4000E+00	5.34460E+02	5.3548E+01	9.3551E-01	2.5356E-01	3.9665E+01
1.6000E+00	5.34460E+02	5.3253E+01	9.3000E-01	3.5205E-01	4.3969E+01
1.8000E+00	5.34460E+02	5.3000E+01	9.2445E-01	4.3105E-01	4.5999E+01
2.0000E+00	5.34460E+02	5.2781E+01	9.1888E-01	4.9533E-01	4.6933E+01
2.2000E+00	5.34460E+02	5.2588E+01	9.1327E-01	5.4792E-01	4.7366E+01
2.4000E+00	5.34460E+02	5.2416E+01	9.0757E-01	5.9175E-01	4.7488E+01
2.6000E+00	5.34460E+02	5.2261E+01	9.0177E-01	6.2851E-01	4.7421E+01
2.8000E+00	5.34460E+02	5.2121E+01	8.9584E-01	6.5979E-01	4.7239E+01
3.0000E+00	5.34460E+02	5.1992E+01	8.8976E-01	6.8641E-01	4.6972E+01
3.2000E+00	5.34460E+02	5.1873E+01	8.8351E-01	7.0921E-01	4.6657E+01
3.4000E+00	5.34460E+02	5.1763E+01	8.7708E-01	7.2881E-01	4.6308E+01
3.6000E+00	5.34460E+02	5.1661E+01	8.7042E-01	7.4570E-01	4.5939E+01
3.8000E+00	5.34460E+02	5.1566E+01	8.6353E-01	7.6028E-01	4.5548E+01
4.0000E+00	5.34460E+02	5.1476E+01	8.5638E-01	7.7287E-01	4.5151E+01

図A.5 GASTUR-IIIプログラムリスト

```

* STEP NO. STEP NAME KANRYOU CODE *
* 003 DLJRUN1 000 ****
***** ****
* PROGRAM CPU TIME MEMORY TIME MEMORY X TIME CHANNEL TIME ROLLOUT SAGYOU RYOOIKI SPACE1 *
* NONNAME 00000000659MS 000000010144MS 00000224068KW.MS 000000002225MS 000 000014K# 001172KB *
* ****
* DEVICE DP7 DP9
* READ 000000000 0000000002
* WRITE 000000000 0000000040
* ****
***** ****

```

* SOURCE STATEMENT *

```

FACOM 230-75 (M7) FORTRAN-D -760820- V06-L08 -77,07.21 PAGE 1

      * SOURCE STATEMENT *
      C A COMPUTER CODE FOR THE CALCULATION OF GAS-TURBINE CYCLE (GASTUR-II)
      C INTERCOOLING DURING COMPRESSION AND ROTOR COOLING EFFECT ARE CONSIDERED
      C MARCH 1977 Y.MIITO

      1 DIMENSION
      1   TITLE(12),LABEL(30),
      2   T2(5,30),T2D(5,30),T4(30),T5(30),T6(30),T4S(30),TC(30),
      3   P1(5,30),P2(5,30),P4(30),P5(30),P6(30),P25(30),P53(30),P46(30),
      4   P61(30),P21(4,30),P51N(30),P46N(30),P61N(30),
      5   P21IN(4,30),PIT(30),P1(5,30),EXT(30),EKK(5,30),PIMAX(30),
      6   ETAR(30),P23(30),P41(30),P23IN(30),P41IN(30)

      2 DIMENSION
      1   IT(30),IN(30),IK(5,30),II(4,30),IP(30),IRH(30),IRL(30),
      3   WT(30),WK(5,30),WK0(30),QN(30),QR(30),PP(30),PI(4,30),PI0(30),
      4   WEFF(30),POWR(30),ALEFF(30),ETA(30),
      5   DLAT(30),DLTM(30),HED(6)
      6   REAL
      1   IT,IK,IN,IP,II,IRH,IRL
      4   INTEGER
      1   CN
      5   DATA
      1   ( HED(K),K=1,6 )/4H ST ,4H ND ,4H RD ,4H TH ,
      2   4HH P,,4HL,P./,
      3   CP, EK/ 1.255,1.667 /

      C READ INPUT
      6   2 READ(5, 3) CN
      3 FORMAT(13)
      7   IFC CN.EQ.99 STOP
      8   READ(5, 4) CTITLE(K),K=1,12)
      9   4 FORMAT( 12A4 )
      10  READ(5,6) NM,NPOP,NCOP,NDOP,NHOP
      11  6 FORMAT(6I3)
      12  NN= N = 1
      13  READ(5,7) GL,T1,T3,P3
      14  7 FORMAT(4E10.4)
      15  READ(5,8) CFRETAK,ETAT,E,PITIN
      16  8 FORMAT(5E10.4)
      17  IFC NCOP.EQ.0 ) GO TO 15
      18  IFC NHOP.EQ.1 ) GO TO 14
      19  READ(5, 9) T5IN
      20  9 FORMAT( F10.4 )
      21  GO TO 15
      22  14 READ(5, 9) DLTRHX
      23  15 IFC NDOP.EQ.0 ) GO TO 16
      24  IF ( NCOP.EQ.1 ) GO TO 17
      25  READ(5,10) (P23IN(J),J=1,M)
      26  10 FORMAT(8E10.5)
      27  READ(5,10) (P41IN(J),J=1,M)
      28  GO TO 18
      29  17 READ(5,10) (P25IN(J),J=1,M)
      30  READ(5,10) (P53IN(J),J=1,M)
      31  READ(5,10) (P46IN(J),J=1,M)
      32  READ(5,10) (P61IN(J),J=1,M)
      33  18 IFC NEQ.1 ) GO TO 16
      34  DG 12 I=1,NN
      35  12 READ(5,10) (P21IN(J),J=1,M)
      36  16 WRITE(6,20)
      37  20 FORMAT(1H1,///)
      38

```

```

* SOURCE STATEMENT CFTMAIN
*)*
FACUM 230-75 (M7) FORTRAN-D -760820- V06-L08 77.07.21 PAGE 2

      39   WRITE(6,22)
      40   22 FORMAT(1H ,18X,83(1H*))
      41   WRITE(6,24)
      42   24 FORMAT(1H ,18X,1H*,81X,1H*)
      43   WRITE(6,26)
      44   26 FORMAT(1H ,18X,1H*,12X,57HG A S - T U R B I N E C Y C L E C A
     1L C U L A T I O N,12X,1H*)
      45   WRITE(6,24)
      46   28 FORMAT(1H ,18X,1H*,8X,8HCASE NO.,13.5X,12A4,11X,1H*)
      47   28 FORMAT(1H ,18X,1H*,8X,8HCASE NO.,13.5X,12A4,11X,1H*)
      48   WRITE(6,24)
      49   WRITE(6,2)
      50   WRITE(6,30)
      51   30 FORMAT(1H0,/42X,27H*** INPUT DATA ***/)

C   PRINT INPUT
      52   302 WRITE(6,302) N,M
      53   302 FORMAT(1H ,15X,2HN=,13/16X,2HM=,13)
      54   301 WRITE(6,301) NPQP,NCP,NDOP,NHOP
      55   301 FORMAT(1H ,15X,5HNOP=,12/16X,5HNCP=,12/16X,5HNNDOP=,12/
     116X,5HNOP=,12)

      56   WRITE(6,33) GL
      57   33 FORMAT(1H0,27H MAIN FLOW RATE      = .F10.4)
      58   WRITE(6,35) CFR
      59   35 FORMAT(1H0,27H COOLING FLOW RATE RATIO = F8.6)
      60   IFC NDOP,EQ,1, GO TO 304
      61   WRITE(6,303) E
      62   303 FORMAT(1H0,36H HEAT EXCHANGER PRESSURE-LOSS VERSUS,
     1          20H PRESSURE RATIO E ** E10.4)
      63   304 WRITE(6,32)
      64   32 FORMAT(1H0,10X,2(7X,5HINLET),5X,8HPRESSURE,3X,9RADIAVATIC/
     1          15X,11HTEMPERATURE,2X,8HPRESSURE,6X,5HRATIO,4X,10HEFFICIENCY/
     2          17X,7H(DEG-C),2X,12HKGS@,CN*A),3X,2(6H(N,D.),6X))

C   WRITE(6,34)
      65   34 FORMAT(1H0,11H COMPRESSOR)
      66   DO 40 I=1,N
      67   I=M1
      68   IF( 1.E@.5 ) IM1=IM1-1
      69   WRITE(6,36) I,IMD(IM1)
      70   36 FORMAT(1H ,5X,I1,A4).
      71   WRITE(6,38) TI,ETAK
      72   38 FORMAT(1H+,12X,1PE12.4,6X,2H--,10X,2H--,4X,1PE12.4)
      73   40 CONTINUE
      74

C   WRITE(6,42)
      75   42 FORMAT(1H0,8H TURBINE)
      76   42 FORMAT(1H ,44) T3,P3,ETAT
      77   WRITE(6,44) T3,P3,ETAT
      78   44 FORMAT(1H+,12X,1P2E12.4,12X,1PE12.4)
      79   IFC NPQP,E@,0, GO TO 46
      80   WRITE(6,45) PTIN
      81   45 FORMAT(1H+,12X,1PE12.4,36X,1PE12.4)
      82   GO TO 48
      83   46 WRITE(6,47)
      84   47 FORMAT(1H+,42X,2H--)

C   46 IFC NHOP,E@,1, GO TO 64
      85   WRITE(6,62) TSIN
      86   62 FORMAT(1H0,29H REACTOR INLET TEMPERATURE = ,1PE12.4)
      87

```

```

* SOURCE STATEMENT (FTMAIN )*
      FACUM 230-75 (M7) FORTRAN-D   *760820- V06-L08    77.07.21   PAGE   3

     88      GO TO 70
     89      64 WRITE(6,68) DLTMRX
     90      68 FORMAT(1H0,1X,3HTEMPERATURE DIFFERENCE AT HIGH TEMPERATURE .
     91      114H INLET OF RMX = '2X,1PE12.4,6H DEG-C)
     91      70 IF( NDOP,E@.0 ) GO TO 80
     92      WRITE(C,72)
     93      72 FORMAT(1H0,26H PRESSURE DROP (KG/S0.CH))
     94      WRITE(6,50)
     95      50 FORMAT(1H0,8H REACTOR)
     96      IF( NCOP,E@.1 ) GO TO 73
     96      WRITE(6,74) (P23IN(J),J=1,M)
     97      74 FORMAT(1H ,12X,1P8E12.4)
     98      WRITE(6,52)
     99      52 FORMAT(1H0,11H PRE-COOLER)
    100      WRITE(6,74) (P41IN(J),J=1,M)
    101      GO TO 75
    102      73 WRITE(6,74) (P53IN(J),J=1,M)
    103      WRITE(6,52)
    104      WRITE(6,74) (P61IN(J),J=1,M)
    105      75 IF( NE@.1 ) GO TO 78
    106      WRITE(6,54)
    107      WRITE(6,54)
    108      54 FORMAT(1H0,6H INTER/5X,7H<COOLER>
    109      DC 76 L=1,NN
    110      WRITE(6,36) L,HEDL(L)
    111      WRITE(6,74) (P21IN(L,J),J=1,M)
    112      76 CONTINUE
    113      78 IF( NCOP,E@.0 ) GO TO 80
    114      WRITE(6,58)
    115      58 FORMAT(1H0,7H R.H.X.)
    116      WRITE(6,60) HED(5)
    117      60 FORMAT(1H ,5X,A4)
    118      WRITE(6,74) (P25IN(J),J=1,M)
    119      WRITE(6,79) HED(6)
    120      79 FORMAT(1H ,5X,A4)
    121      WRITE(6,74) (P46IN(J),J=1,M)

C      80 EPSI = ( EK-1.0 ) / EK
C      122      T3 = T3+ 273.15
C      123      82 T1 = T1 + 273.15
C      124      C   TURBINE CHARACTERISTICS
C      125      100 GC = CFR*GL
C      126      GH = GL - GC
C      127      IF( NPOP,E@.1 ) GO TO 102
C      128      DO 101 J=1,M
C      129      PIT(J)= 1.0 + 0.20*FLOAT(J)
C      130      101 CONTINUE
C      131      GO TO 103
C      132      102 PIT(1)= PITIN
C      133      103 DO 104 J=1,M
C      134      P4 (J)= P3/PIT(J)
C      135      EXT(J)= PIT(J)**EPSI!
C      136      T4D(J)= T3/EXT(J)
C      137      T4S(J)= -ETAT*T3*(1.0-1.0/EXT(J))-1.0/ETAT!
C      138      IT(J)= CP*(T3-T4S(J))
C      139      104 CONTINUE
C      140      PRESSURE, PRESSURE DROP
C      IF( NDOP,E@.1 ) GO TO 107

```

* SOURCE STATEMENT (FTMAIN)*

```

      141      DQ 106 J=1,M
      142      IF( NCOP.EQ.1.) GO TO 105
      143      P1(I,J)= (2.0-E)/(2.0+E)* P4(J)
      144      P2(N,J)= (2.0+E)/(2.0-E)* P3
      145      P23(CJ)= (2.0E)/(2.0-E)* P3
      146      P41(JJ)= (2.0E)/(2.0+E)* P4(JJ)
      147      GO TO 106
      148      105 P5(JJ)= (2.0+E)/(2.0-E) *P3
      149      P6(CJ)= (2.0-E)/(2.0+E)* P4(CJ)
      150      P2(N,J)= (2.0+E)/(2.0-E)* P5(CJ)
      151      P11(JJ)= (2.0-E)/(2.0+E)* P6(CJ)
      152      P25(CJ)= (2.0+E)/(2.0-E)* P5(CJ)
      153      P46(CJ)= (2.0+E)/(2.0+E)* P4(CJ)
      154      P53(CJ)= (2.0+E)/(2.0-E)* P3
      155      P61(CJ)= (2.0+E)/(2.0+E)* P6(CJ)
      156      1C6 CONTINUE
      157      GO TO 111
      158      1C7 DO 110 J=1,M
      159      IF( N,EQ.1.) GO TO 109
      160      DO 108 L=1,NN
      161      P21(L,J) P21(INC(L,J)
      162      108 CONTINUE
      163      109 IF( NCOP,EQ.1.) GO TO 250
      164      P23(CJ)= P23(INC)
      165      P41(CJ)= P41(INC)
      166      P11(JJ)= P4(CJ)*P41(JJ)
      167      P2(N,J)= P3+P23(CJ)
      168      GC TO 110
      169      250 P25(CJ)= P25(INC)
      170      P46(CJ)= P46(INC)
      171      P53(CJ)= P53(INC)
      172      P61(CJ)= P61(INC)
      173      P11(JJ)= P4(JJ)*P46(JJ)-P61(JJ)
      174      P2(N,J)= P3+P53(CJ)+P25(CJ)
      175      P5(CJ)= P2(N,J)-P25(CJ)
      176      P6(CJ)= P4(CJ)-P46(CJ)
      177      110 CONTINUE
      C   COMPRESSOR CHARACTERISTICS
      178      111 REXP= 1.0/ FLOAT(N)
      179      DO 119 J=1,M
      180      PIMAX(J)= ( P2(N,J)/P1(I,J) )**REXP
      181      IF( NDOP,EQ.1.) GO TO 113
      182      DO 112 L=1,NN
      183      P21(L,J)= E*PIMAX(J)***(L)*P1(I,J)
      184      112 CONTINUE
      185      113 DO 118 I=1,N
      186      IF( N,EQ.1.) GO TO 116
      187      IF( 1.E0,N ) GO TO 114
      188      P2(I,J)= PIMAX(J)**((I)*P1(I,J)+ 0.5*P21(I,J)
      189      IF( 1.E0,1 ) GO TO 116
      190      114 P1(I,J)= PIMAX(J)**((I-1)*P1(I,J)- 0.5*P21(I-1,J)
      191      116 PIK(I,J)= P2(I,J)/P1(I,J)
      192      EXK(I,J)= PIK(I,J)**EPSI
      193      T20(I,J)= T1*EXK(I,J)
      194      T2(I,J)= 1.0/EFAK*(T1*(EXK(I,J)-1.0)*ETAK*T1)
      195      IK(I,J)= CP*(T2(I,J)-T1)
      196      118 CONTINUE
      197      TC(J)= T2(N,J)
    
```

* SOURCE STATEMENT (FTMAIN)*

```

 198      T4(JJ) = C1C(JJ)*GC+T4S(JJ)*GH)/GL
 199      119 CONTINUE
 C
 200      DO 130 J=1,M
 201      LABEL(J)=0
 202      IF( NCOP.EQ.0 ) GO TO 130
 203      DLTAT(J)= T4(JJ) - T2(N,J)
 204      IF( DLTAT(J).LT.0. ) GO TO 129
 C      RECUPERATOR CHARACTERISTICS
 205      121 IF( NHOP.EQ.1 ) GO TO 126
 206      T5(JJ)= T5IN+ 273.15
 207      122 IF( T5(JJ).LT.T2(N,J) ) GO TO 129
 208      IF( T4(JJ)-50.0.LT.T5(JJ) ) GO TO 129
 209      GO TO 128
 C
 210      126 IF( DLTAT(J).LT.DLTRHX ) GO TO 129
 211      T5(JJ) = T4(JJ) - DLTRHX
 212      128 T6(JJ) = T4(JJ) - GH/GL*(T5(JJ)-T2(N,J))
 213      IF( CFP.EQ.0.0 ) GO TO 501
 214      DLTMC(J)= (T4(JJ)-T5(JJ)-T6(JJ)+T2(N,J))/16.0
 1      ALOG((T4(JJ)-T5(JJ))/16.0)-T2(N,J))
 215      GO TO 502
 216      501 DLTMC(J) = T4(JJ) - T5(JJ)
 217      502 ETAR(J)= (T5(JJ)-T2(N,J))/(T4(JJ)-T2(N,J))
 218      IRH(JJ) = CP*( T5(JJ)-T2(N,J) )
 219      IH(JJ) = CP*(T4(JJ) - T6(JJ))
 220      GO TO 130
 221      129 LABEL(J) = LABEL(J) + 1
 222      130 CONTINUE
 C      COOLER CHARACTERISTICS
 C      PRE-COOLER, INTER-COOLER
 223      IF( NEQ.1 ) GO TO 134
 224      DO 133 I=1,NN
 225      DO 132 J=1,M
 226      IF( LABEL(J,EQ.1) GO TO 132
 227      11C(J) = CP*(T2(I,J)-T1)
 228      132 CONTINUE
 229      133 CONTINUE
 C
 230      134 DO 136 J=1,M
 231      IF( LABEL(J,EQ.1) GO TO 136
 232      IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 135
 233      IP(J) = CP*(T4(JJ)-T1)
 234      GO TO 136
 235      135 IP(J) = CP*(T6(JJ)-T1)
 236      136 CONTINUE
 C      REACTOR CHARACTERISTICS
 237      DO 138 J=1,M
 238      IF( LABEL(J,EQ.1) GO TO 138
 239      IF( NCOP.EQ.1 ) GO TO 137
 240      IN(J) = CP*(T3-T2(N,J))
 241      GO TO 138
 242      137 IN(J) = CP*(T3-T5(JJ))
 243      138 CONTINUE
 C      THERMAL CAPACITY, THERMAL EFFICIENCY

```

```

* SOURCE STATEMENT (FTMAIN )*
      FACOM 230-75 (M77)- FORTRAN-J   -760820- V06-L08    77.07.21    PAGE   6

244 DO 146 J=1,M
245 IF( LABEL(J) ,EQ,1 ) GO TO 146
246 WT(J,J) = 4.1868E-3*IT(J)*GH
247 QN(J,J) = 4.1868E-3*IN(J)*GH
248 QP(J,J) = 4.1868E-3*IP(J)*GL
249 IF( NCOP,EQ,0 ) GO TO 141
250 QRC(J,J) = 4.1868E-3*IRH(J)*GH
251 WK(J,J)=0,
252 Q10C(J,J)=0,
253 DO 142 K=1,N
254 WK(K,J) = 4.1868E-3*IK(K,J)*GL
255 WK0C(J) = WK(J,J)+WK(K,J)
256 142 CONTINUE
257 IF( N,EQ,1 ) GO TO 146
258 DO 144 K=1,NN
259 Q1(K,J) = 4.1868E-3*IJ(K,J)*GL
260 Q10C(J) = Q10C(J)+Q1(K,J)
261 144 CONTINUE
262 146 CONTINUE
263 T3= T3-273.15
264 T1 = T1 - 273.15
265 DO 149 I=1,N
266 DO 148 J=1,M
267 T2(I,J)= T2(I,J)-273.15
268 148 CONTINUE
269 149 CONTINUE
270 DO 150 J=1,M
271 IF( LABEL(J) ,EQ,1 ) GO TO 150
272 T45(J)= T45(J)- 273.15
273 T4(J)= T4(J)-273.15
274 IF( NCOP,EQ,0 ) GO TO 151
275 T5(J)= T5(J)-273.15
276 T6(J)= T6(J)-273.15
277 T51 WEFF(J,J)= WT(J,J)-WK0C(J)
278 ALEFF(J,J)= (-238.889*WEFF(J))/(
279 ETAL(J)) = 100.0*WEFF(J)/QN(J)
280 150 CONTINUE
281 C PRINT OF RESULTS
282 152 FORMAT(1H1///30X,23H*** R E S U L T S O F,
283 1 28H C A L C U L A T I O N ***/)
284 154 FORMAT(1H014X,8HPRESSURE,2(7X,5HINLET,6X,SHOUTLET),2X,8HPRESSURE,
14X,8HENTHALPY,3X,4HHEAT/19X,5HRATIO,
2 2X,2(12H TEMPERATURE),2X,2(8HPRESSURE,4X),2X,
34HDROP,18X,
4 1X,2(5X,7H(DEG-C)),2X,2(8HCAPACITY/17X,6H(N.D.),
510H(KG/S0.CM),2X,9H((CAL/KG),4X,AH(M#)
285 WRITE(6,34)
286 DO 160 I=1,N
287 IM= 1
288 IF( 1,Eq,5 ) IM=IM-1
289 WRITE(6,36) I,1,HED(IM)
290 DO 310 J=1,M
291 WRITE(6,155) PIK(I,J),T1,T2(I,J)
292 155 FORMAT(1H ,12X,1PE12.4)
293 IF( LABEL(J) ,EQ,1 ) GO TO 157

```

FACOM 230-75 (M7) FORTRAN-D -760820- V06-L08 77,07,21 PAGE 7
 * SOURCE STATEMENT CFTMAIN *
 294 WRITE(6,156) P1(I,J),P2(I,J),IK(I,J),
 295 156 FORMAT(1H+,48X,1P2E12.4,5X,2H--,5X,1P2E12.4),
 296 WK(I,J)
 297 GO TO 310
 297 157 WRITE(6,158)
 298 158 FORMAT(1H+,43X,5(10X,2H--))
 299 310 CONTINUE
 300 160 CONTINUE
 301 WRITE(6,42)
 302 DO 314 J=1,M
 303 WRITE(6,155) PI(I,J),T3,T4S(J)
 304 IF(LABEL(J),EQ.1,) GO TO 312
 305 WRITE(6,156) P3,P4(J),IT(J),
 306 GO TO 314
 307 312 WRITE(6,158)
 308 314 CONTINUE
 309 WRITE(6,401)
 310 401 FORMAT(1H1,// /)
 311 WRITE(6,154)
 312 WRITE(6,50)
 313 DG 164 J=1,M
 314 WRITE(6,161) PI(I,J)
 315 161 FORMAT(1H ,12X,1,I12.4)
 316 IF(LABEL(J),EQ.1,2) GO TO 163
 316 IF(NCOP,EQ.1) GO TO 320
 317 WRITE(6,162) T2(N,J),T3,P2(N,J),P3,
 318 WRITE(6,162) T2(N,J),T3,P2(N,J),P3,P23(J),INC(J),
 319 162 FORMAT(1H+ 24X,1P7E12.4)
 320 GO TO 164
 320 WRITE(6,162) T5(J),T3,P5(J),INC(J),
 321 164 GO TO 164
 322 WRITE(6,159)
 323 163 WRITE(6,159)
 324 159 FORMAT(1H+ 19X,7(10X,2H--))
 325 164 CONTINUE
 326 WRITE(6,52)
 327 DO 166 J=1,M
 328 WRITE(6,161) PI(I,J)
 329 IF(LABEL(J),EQ.1,) GO TO 165
 330 IF(NCOP,EQ.1,) GO TO 322
 331 WRITE(6,162) T4(J),T1,P4(J),P1(I,J),P41(J),IP(J),
 332 GO TO 166
 332 322 WRITE(6,162) T6(J),T1,P6(J),P1(I,J),P61(J),IP(J),
 333 165 WRITE(6,159)
 334 GO TO 166
 336 166 CONTINUE
 337 IF(N,EQ.1,) GO TO 171
 338 WRITE(6,54)
 339 DO 169 L=1,NN
 340 WRITE(6,36) L,HED(L)
 341 DO 168 J=1,M
 342 WRITE(6,161) PI(I,J)
 343 IF(LABEL(J),EQ.1,) GO TO 167
 344 WRITE(6,162) T2(L,J),T1,P2(L,J),P1(L+1,J),P21(L,J),
 1 167 WRITE(6,159)
 345 168 CONTINUE
 346 169 CONTINUE
 C 171 IF(NCOP,EQ.0,) GO TO 185
 350 WRITE(6,401)

* SOURCE STATEMENT (FTMAIN)*

```

      FACOM 230-75 (M7) FORTRAN-D      *760820- V06-L06      77.07.21      PAGE     8

      351      WRITE(6,154)
      352      WRITE(6,158)
      353      WRITE(6,170) HED(5)
      354      170 FORMAT(1H ,5X,A4)
      355      DO 180 J=1,M
      356      WRITE(6,161) PIT(J)
      357      IF( LABEL(J),E0,1 ) GO TO 176
      358      WRITE(6,162) T2(N,J),T5(J),P2(N,J),P5(J),P25(J),IRH(J),QR(J)
      359      GO TO 180
      360      176 WRITE(6,159)
      361      180 CONTINUE
      362      WRITE(6,170) HED(6)
      363      DO 184 J=1,M
      364      WRITE(6,161) PIT(J)
      365      IF( LABEL(J),E0,1 ) GO TO 182
      366      WRITE(6,162) T4(J),T6(J),P4(J),P6(J),IRL(J),QR(J)
      367      GO TO 184
      368      182 WRITE(6,159)
      369      184 CONTINUE
      C
      370      WRITE(6,401)
      371      185 WRITE(6,186)
      372      186 FORMAT(1H0,8X,8HPRESSURE,2X,7HTURBINE,3X,9HLOG, MEAN,3X,6HR,H,X,
      16X,8HSPECIFIC,4X,7HTHERMAL,9X,5HRATIO,6X,5HFLOW RATE,2X,
      210HTEMP, DIF, ,2X,1HTEMP, EFFI, ,3X,5HPOWER,7X,10HEFFICIENCY,
      39X,6H(N,D),2.5X,8H(KG/SEC),4X,7H(DEG-C),2(6X,6H(N,D)),,
      45X,9H(PERCENT)/)
      373      DO 200 J=1,M
      374      WRITE(6,190) PIT(J)
      375      190 FORMAT(1H ,4X,1PE12.4)
      376      IF( LABEL(J),E0,1 ) GO TO 194
      377      IF( NCOP,E0,1 ) GO TO 192
      378      WRITE(6,191) GH,ALEFF(J),ETA(J)
      379      191 FORMAT(1H+,16X,1PE12.4,5X,2H--,10X,2H--,5X,1P2E12.4)
      380      GO TO 200
      381      192 WRITE(6,193) GH,DLTM(J),ETARC(J),ALEFF(J),ETAC(J)
      382      193 FORMAT(1H+,16X,1P5E12.4)
      383      GO TO 200
      384      194 WRITE(6,196)
      385      195 FORMAT(1H+,11X,5(10X,2H--))
      386      200 CONTINUE
      387      GO TO 2
      END
  
```