

JAERI - M
87-021

トカマク炉システムの解析・評価コード
"TORSAC"の開発

1987年3月

西尾 敏・東稔 達三・笠井 雅夫*・西川 正名*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1987

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

トカマク炉システムの解析・評価コード“TORSAC”の開発

日本原子力研究所那珂研究所臨界プラズマ研究部

西尾 敏・東稔達三・笠井雅夫^{*}・西川正名^{*}

(1987年1月29日受理)

本報告書は、トカマク型核融合炉を対象に整合性のある炉システムの総合特性の解析、コスト評価等によって設計の最適化の方向付、設計作業の合理化・即応性の向上を目的に開発されたトカマク炉システムの解析・評価コード「TORSAC」について述べたものである。本コードの機能は別途、外部で完成された設計データを入力し、本コードにおいてそれが参照設計として位置付けられ、指定されたパラメータの変動が炉システム全体に与える影響を整合性をもって定量的に評価する、いわゆる感度解析の機能と感度解析の結果、参照設計の近傍に得られた新しい炉システムのコスト算出の機能を有する。

Development of Tokamak Reactor Systems Analysis

Code "TORSAC"

Satoshi NISHIO, Tatsuzo TONE, Masao KASAI*
and Masana NISHIKAWA*

Department of Large Tokamak Research
Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 29, 1987)

This report describes Tokamak Reactor Systems Analysis Code "TORSAC" which has been developed in order to assess the impact of the design choices on reactor systems and to improve tokamak designs in wide parameter range. This computer code has following functions.

- (1) Systematic sensitivity analysis for a set of given design parameters
- (2) Cost calculation of a new reactor concept designed automatically as a result of systematic sensitivity analysis

Keywords: Tokamak System, Tokamak Design, Conceptual Design, System Analysis, CAD, Cost Analysis, Power Reactor, TORSAC Code

* Mitsubishi Atomic Power Industries (MAPI), INC.

目 次

1. 序	1
2. 全体構成とモデル化	2
2.1 全体構成	2
2.2 基礎式および計算モデル	11
2.2.1 プラズマパラメータの計算	11
2.2.2 炉内構造物の計算	12
2.2.3 トロイダル磁場コイルの計算	13
2.2.4 ポロイダル磁場コイルの計算	15
2.2.5 中心支持柱の計算	16
2.2.6 架台の計算	16
2.2.7 ベルジャーの計算	16
2.2.8 補器類の計算	17
2.2.9 コスト計算	21
3. 適用例	23
3.1 核融合実験炉 (FER)	23
3.2 国際トカマク炉 (INTOR)	23
3.3 動力炉の経済性解析	24
4. 今後の課題	45
謝 辞	45
参考文献	47
付 録	49

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Code Explanation	2
2.1 Outline and Structure of TORSAC	2
2.2 Calculation Model	11
2.2.1 Plasma Physics	11
2.2.2 Torus Structures	12
2.2.3 Toroidal Field Coil	13
2.2.4 Poloidal Field Coil	15
2.2.5 Center Cylinder	16
2.2.6 Pedestal	16
2.2.7 Belljar	16
2.2.8 Auxiliary Components	17
2.2.9 Cost Model	21
3. Demonstration and Adoption	23
4. Future Problems	45
Acknowledgements	45
References	47
Appendix	49

1. 序

核融合炉システムには、炉心プラズマ、電磁気、機械、熱、核（ニュートロニクス）等の設計に関する多数の因子が相互に複雑に絡み合っている。このため、炉概念の定量的検討と相互比較、最適設計あるいは、設計過程において炉システムの主要な一部の設計因子を変更したときの影響の定量的な検討、等においては、各因子が複雑に関連する多量の計算を実施する必要がある。炉システムの総合特性をよく把握するためには、各因子間の相互依存性を Consistent なモデルで組み立て、さらに炉システムを定量的に評価するための指数（コスト、物量、容量等）を算出するシステム解析コードの開発が必要である。かかる要請から諸外国においては幾つかのシステムコードが開発されてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

一方、原研においては、トカマク型核融合炉を対象に、整合性のある炉システムの総合特性の把握、コスト評価を含む設計の最適化の方向付け、設計作業の即応性の向上を目的に、炉システム解析コード TORSAC (Tokamak Reactor System Analysis Code) の開発を進めてきた。このコードの開発は、1980 年度に着手し、1985 年まで改良・整備を重ねてきたものである⁽⁵⁾⁽⁶⁾。その開発過程において、動力炉⁽⁶⁾及び国際トカマク炉 INTOR⁽⁷⁾の設計因子の感度解析やコスト評価に活用した。特に動力炉システムにおいては、炉設計研究室で設計検討を行った SPTR-P を参考設計案として、経済解析及び経済的クィージビリティのために TORSAC を供し多くの成果が得られた。さらに、この TORSAC はエネルギー分析の機能を具備しているが、そのモデルとデータベースについてはまた運用・吟味の必要があるのでその説明については省略することとする。

現在、原研（炉設計研究室）と三菱原子力工業（MAPI）とは共同研究として、1985 年度から TORSAC の一層の改良と機能拡充（自動設計機能を含む）を進めている。本報告書では、この共同研究以前に開発された TORSAC の version 及びその適用の代表例について述べる。共同研究の成果による新して version については、現在別途報告書としてまとめつつあるが、その主要開発目標である自動設計機能については第 4 章で述べる。

2. 全体構成とモデル化

本コードの開発は自動設計機能を持たせるべき、との観点からなされたのではなく、既に設計されている炉概念の評価のためになされたものである。ただし既に設計された炉概念（以後、参照設計（Preference design））のみならずこの参照設計を中心とした近傍の設計点の評価も可能である（これを摂動設計と呼ぶ）。参照設計の近傍の設計例における各コンポーネントは幾何学的に干渉することなく自動的にコード内で作成される。摂動設計が自動的に行われるだけでも設計検討作業の大巾な合理化がなされるので、与えられた炉概念の定量的な解析・評価のため極めて有効である。ここで言う評価の内容は、各コンポーネントの体積と重量の算出、要求される運転に必要な補機類の容量および単位コストから全体の建設費と発電単価を算出する事等が含まれる。また参照設計を含め、近傍点の設計例についても図形表示が可能である。

2.1 全体構成

プログラムの基本構成をFig. 2.1に示す。図からわかるように、全体は5つのサブプログラムより成り、入力データを受けて次のサブプログラムでは参照設計及びその近傍の設計の評価がなされ、つづいて補機類の評価を行い最後にコスト算出がなされる。詳細な流れ図をFig. 2.2に示し、計算内容の流れ図をFig. 2.3は示す。データ入力については以下の4種類よりなる。

(1) 固定データ

一種の組込みデータであり、各種の物理定数が含まれる。

(2) 制御データ

計算のプロセスを指定するデータであり、例えば参照設計の近傍の設計を行うか否か、補機類の評価を行うか否か、コスト評価を行うか否か等が含まれる。

(3) 参照設計データ

本コードで評価に必要な装置パラメータすべてが含まれる。

(4) 感度解析のコマンドデータ

参照設計の近傍の設計例の作成の仕方を指定するデータであり、つまり何に対する感度を調べるかを指定するデータである。例えばトロイダルコイルの最大許容磁場がある値だけ増加すると装置サイズがどの程度変化するか、とかプラズマ小半径がある値だけ増加すると電源容量がどの程度変化するか等の計算が可能である。

次に参照設計の近傍設計例の作り方について述べる。Fig. 2.1に示されるようにデータ入力に関するサブプログラムにつづくサブプログラム（Creation of arbitrary tokamak & its characteristics computation）において入力された参照設計をもとに近傍の摂動設計点の作成とそれらの評価（感度解析）がなされる。このサブプログラムについて特に注意を払ったことは、各コンポーネント間の空間干渉を生じさせないこと、およびコイル系の通電条件と電源容量との

整合性をとることである。例えば、プラズマの最大ベータ値 (β_{limit}) および安定係数 (q 値) を一定に保ったままプラズマの主半径を変化させた場合、空間干渉をさけるべく各コンポーネントの主半径を変化することはもとより、変化したプラズマの電磁諸量に伴ってコイル電流値も変化し、したがって電源容量も変化する。この場合、プラズマ主半径は設計者（あるいはユーザー）が変えようと思って変えるパラメータであり、その意味で能動的変動パラメータとすることができ、それに伴って変化する諸量は受動的変動パラメータとなる。一般的に、受動的変動パラメータを定量的に評価するだけでもトカマク装置の複雑さ故多大の労力を必要とし、これらの評価が自動的になされることは設計の大巾な合理化がなされることになる。ところで自動的に受動的変動パラメータを解析するにあたってこれまでのトカマク装置の設計手法に鑑み、以下の指針を設けた。

指針 1. 計算手順は空間干渉を避けながら、トラス内側（プラズマ側）から順次外に向かって行う。

指針 2. 各コンポーネントの各層の厚みは変更指令がない限り、参照設計の値のままとする。

指針 3. 装置中央面上（主半径方向）で各コンポーネント間のギャップは変化しない。

指針 4. Fig. 2.4 に示すように上下方向において、内側コンポーネントの最高位置と外側コンポーネント最低位置とのギャップは一定に保つ。

指針 5. 各層の形状は Fig. 2.5 に示す規則に従って変化する。

これら空間干渉を避けるための指針の他に設計の首尾一貫性を保つために以下の指針を設けた。

指針 6. プラズマのパラメータは変更の指令がない限り最大ベータ値および安定係数を一定に保ったままで変化する。

指針 7. トロイダル磁場コイルに必要な全起磁力はプラズマ軸上で必要な磁場強さから求められる。

指針 8. 参照設計においてプラズマのMHD平衡計算が正確になされていることを前提としているが、摂動設計においても正確な平衡計算を実施することを基本とする。なお数多くの摂動設計を行うときの機動性に鑑み、オプションにより簡便式を設けた。

指針 9. 補機類の諸特性、例えば電源容量、排気設備容量等はトカマク本体コンポーネントおよびプラズマの運転状態の変動に応じて再計算される。

以上の指針に従って求められた参照設計の近傍の設計例（摂動設計）の評価結果をもとにそれぞれの設計例（もとの参照設計を含む）のコスト計算を次のサブプログラム Cost Computation で実施する。核融合炉システムが将来の発電プラントとして期待される以上経済性の評価は不可欠である。米国エネルギー省は Pacific Northwest Laboratory に委託して核融合炉の経済性評価法について報告書 PNL-2648⁽¹⁰⁾ を作成した。それによると経済性評価の最も有効な指標は発電単価（Total Basbar Cost）であり、それは次の項目より決定されるとしている。

- 設備利用率（Plant Availability Factor）
- 財務条件（Financing Assumption）
- 固定経費率（Fixed Charge Rate）
- 建設費（Capital Cost）

- 年間運転保守維持費 (Annual Operating and Maintenance Cost)
- 年間部品取替費 (Annual Scheduled Component Replacement Cost)
- 年間燃料費 (Annual Fuel Cost)
- 燃料容量 (Plant Fuel Capacity)

本システムコードにおいても一応 PNL-2648 に従って商業炉の発電単価の算出が可能となるべくサブプログラム Cost Computation が繰り込まれている。なお、上記項目からも明らかなように実験装置および実験炉の建設費のみを算出することができる。

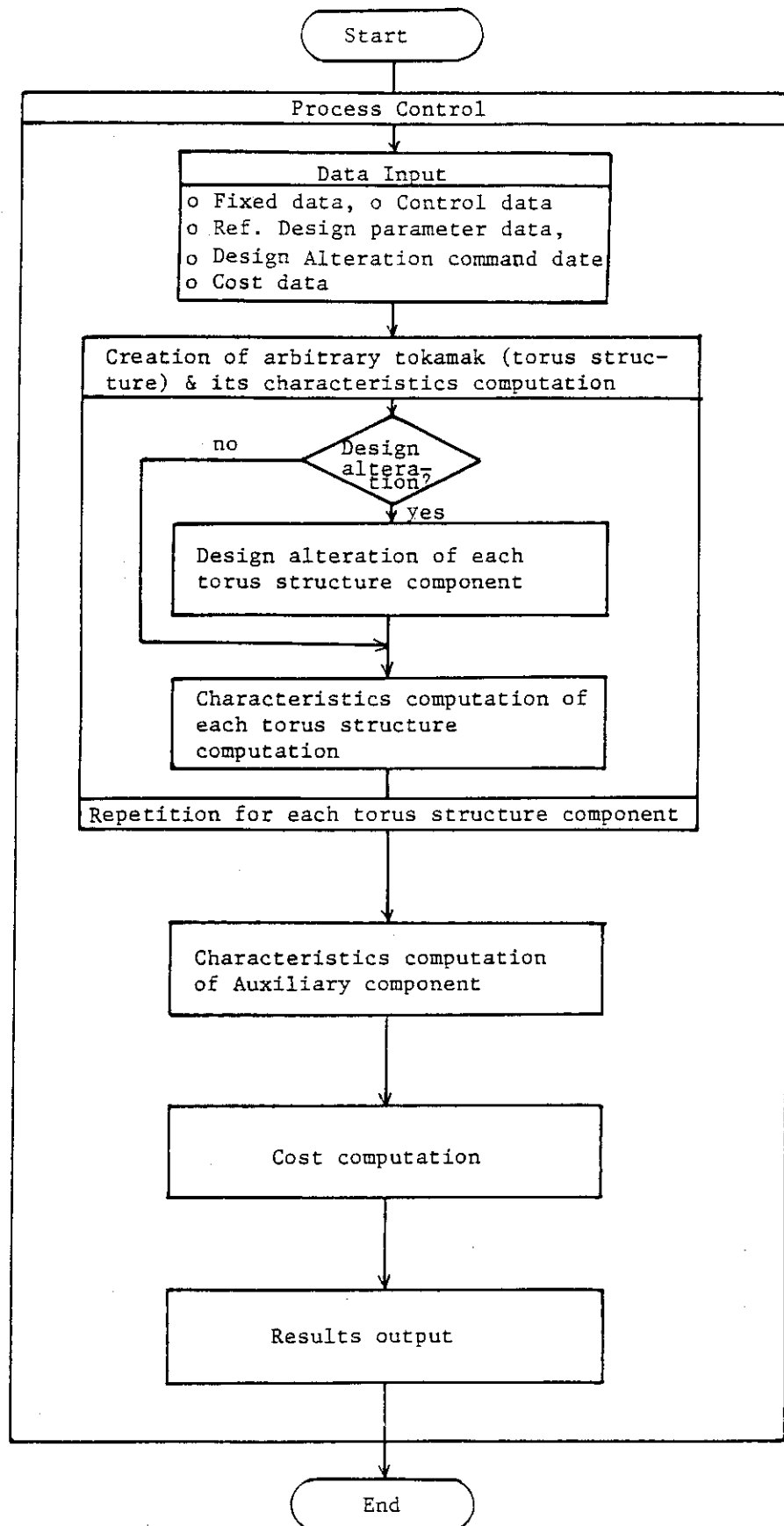


Figure 2.1 Basic Structure of TORSAC

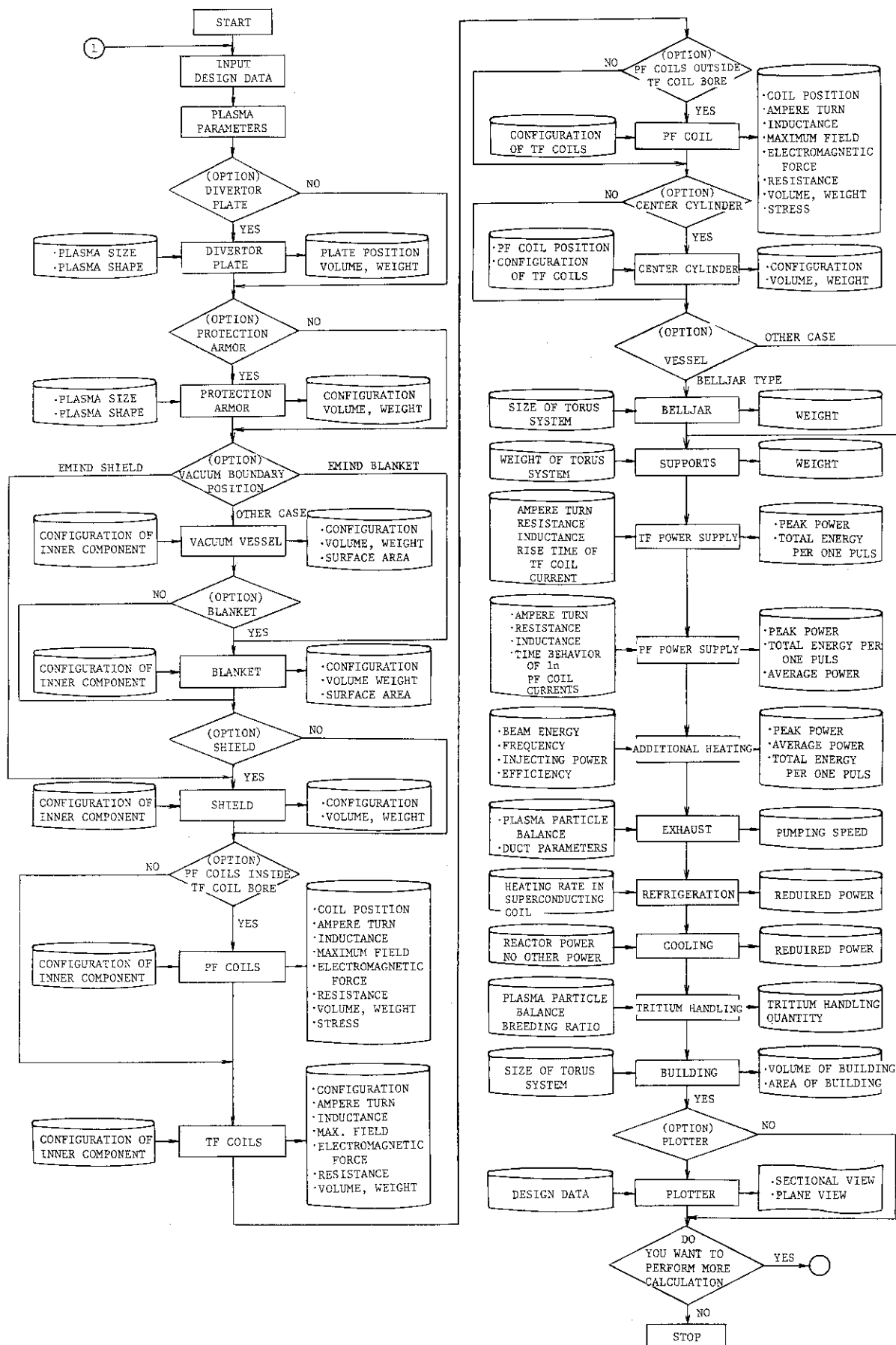


Fig. 2.2 Flow chart of TORSAC (not including economical calculation)

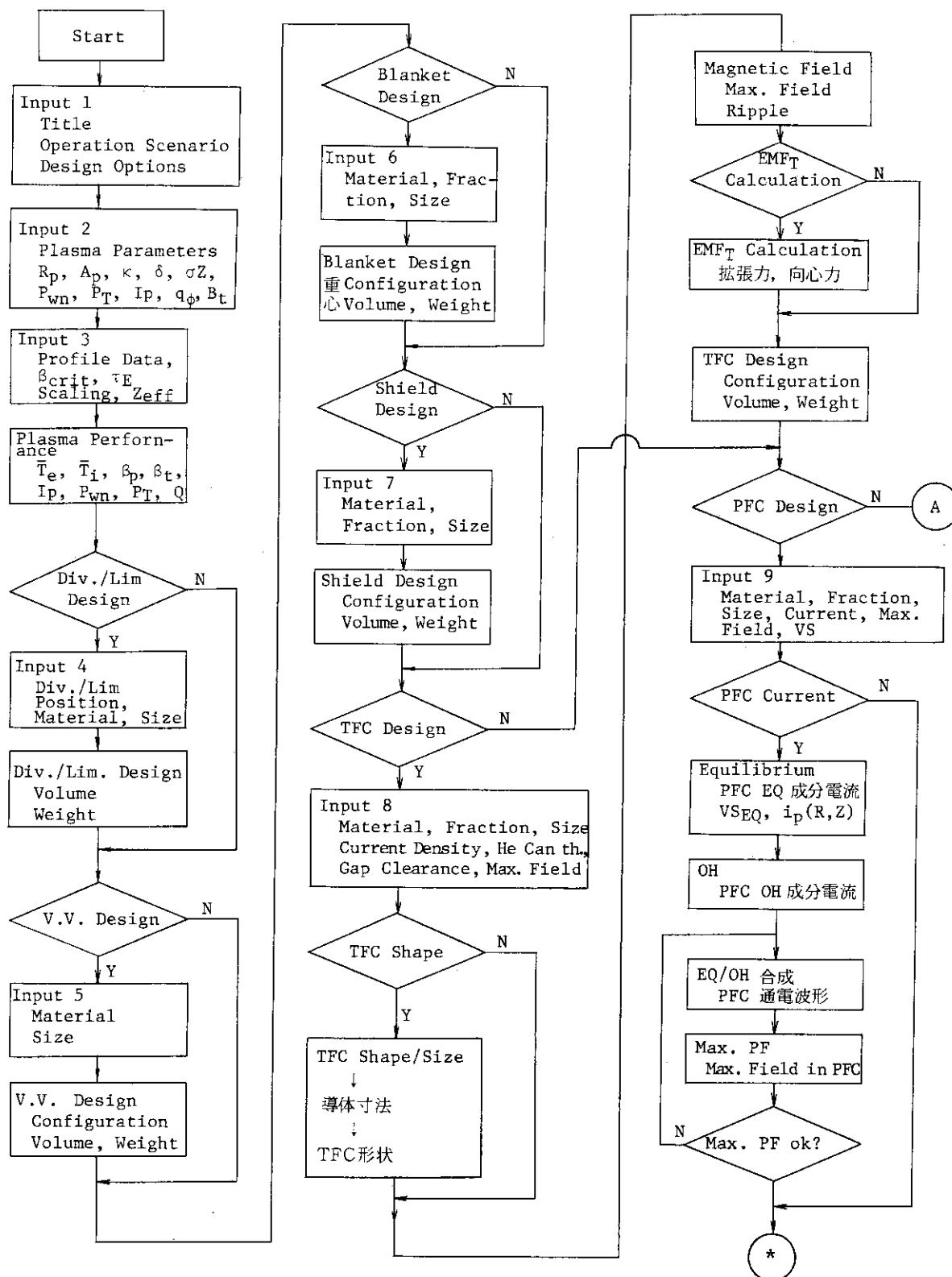
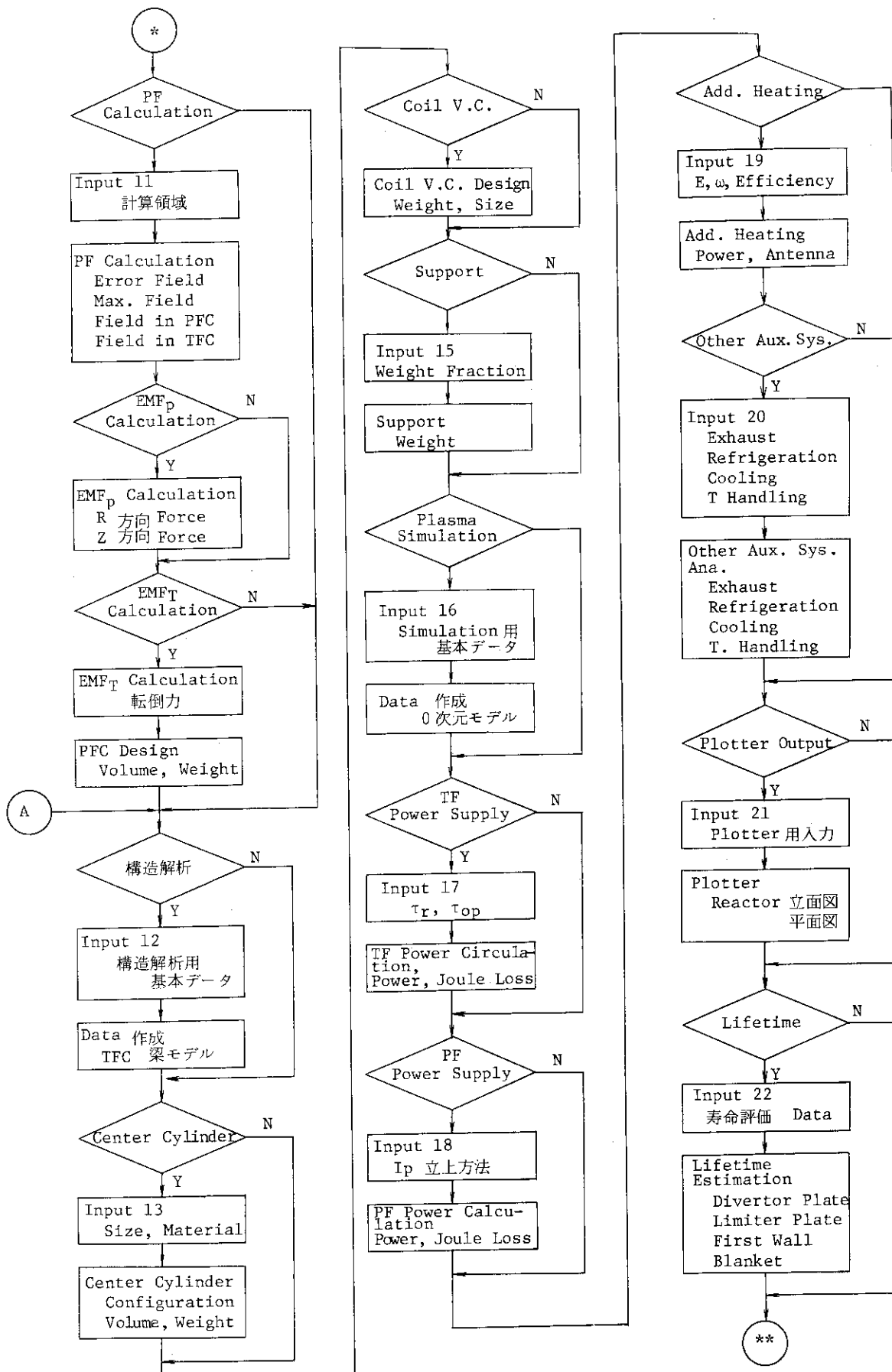
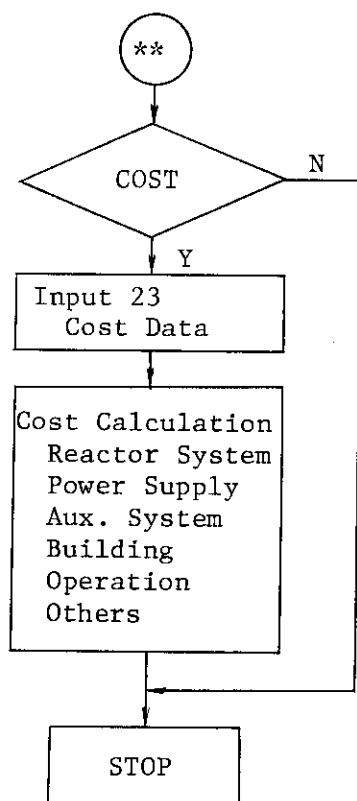


Fig. 2.3 Calculation flow





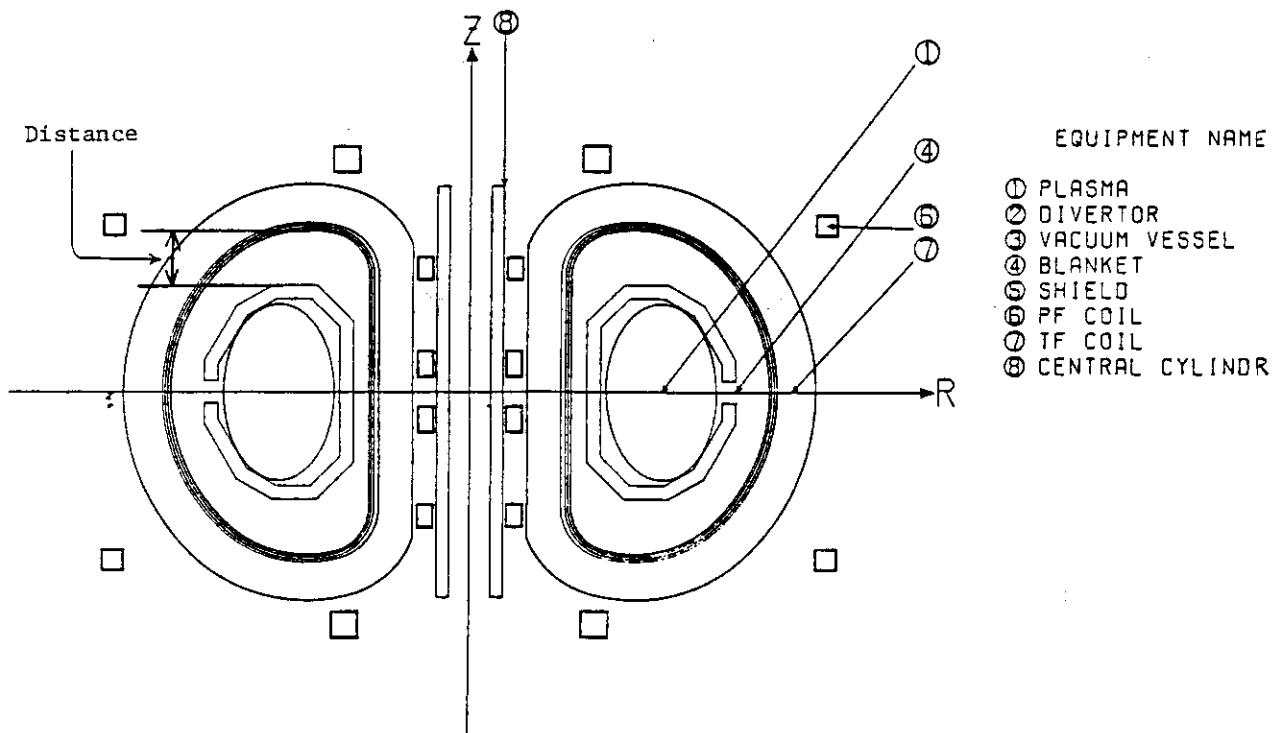


Figure 2.4 Distance Between Highest Point of Inner Component and Lowest Point of Outer Component

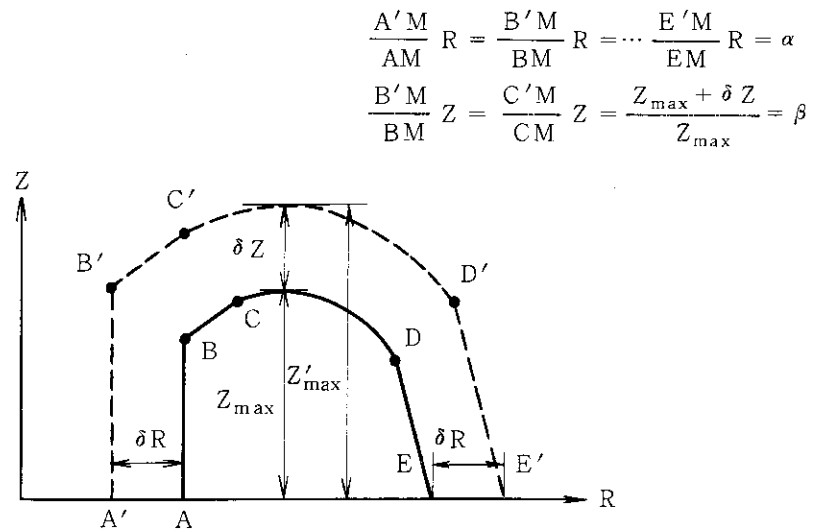


Figure 2.5 Shape Change Algorithm

2.2 基礎式およびモデル化

2.2.1 プラズマパラメータの計算

プラズマパラメータ間の整合性はパワーバランス、安定係数(q_ϕ)および最大ベータ値(β_{limit})を満足することで保たれる。ここで使用する記号については、プラズマの主半径R, 副半径a (インダクタンスの計算には実効副半径 $a_{\text{eff}} = a\sqrt{\kappa}$ を用いる), アスペクト比A, 楕円度 κ , 三角度 δ , 温度T, 密度n, 電流 I_p , 平均電荷 Z_{eff} および軸上トロイダル磁場 B_0 である。

・ パワーバランス

$$P_\alpha + P_h + P_J - P_{\text{loss}} - P_{\text{sy}} - P_{\text{br}} = 0$$

ここでプラズマ体積 $V_p = 2\pi^2 \kappa a^2 R$ として

$$P_\alpha \quad (\alpha \text{ 加熱}) = \frac{1}{4} n_i^2 \langle \sigma v \rangle E_\alpha \cdot f_\alpha \cdot V_p$$

$$P_h \quad (\text{追加加熱}) \quad \text{外部からの入力データ}$$

$$P_J \quad (\text{ジュール加熱}) = \eta j_{\text{OH}}^2 V_p = \frac{2\eta I_p^2}{\kappa a^2}$$

$$P_{\text{loss}} \quad (\text{熱伝導・体流損}) = \frac{3knTV_p}{\tau}$$

$$P_{\text{sy}} \quad (\text{シンクロトロン輻射}) = 6.38 \times 10^{-16} B_0^{25} T_e^2 (n_e/aA)^{1/2}$$

$$P_{\text{br}} \quad (\text{制動輻射}) = 1.41 \times 10^{-38} Z_{\text{eff}}^2 n_e^2 \sqrt{T_e}$$

と表わされ, これら式中, $\langle \sigma v \rangle$ は D-T 核反応率で $\langle \sigma v \rangle = 10^{-22} \exp\{a_1(\ell_n T_i/1000)^3 + a_2(\ell_n T_i/1000)^2 + a_3(\ell_n T_i/1000) + a_4\}$ と近似され ($a_1 = 0.038245$, $a_2 = -1.0074$, $a_3 = 6.3997$, $a_4 = -9.75$, T_i は eV 表示), E_α は一図の反応が生じる α 粒子のエネルギー (3.52 MeV), η はプラズマ抵抗率で $\eta = 3.0 \times 10^{-3} Z_{\text{eff}} T_e^{-15}$, k はボルツマン定数, τ はエネルギー閉込についての経験則であり Alcator 則 ($T = 1.1 \times 10^{-20} n_e a^2$), Mirnov 則 ($\tau = 1.45 \times 10^{-7} a I_p$) がオプションで選択される。

・ 安定係数 (q_ϕ)

プラズマのMHD安定性 (ティアリングモード等) からの要請で安定係数は以下の式を満足する必要がある。

$$1/q_\phi = A \sqrt{1 - \frac{1}{A^2}} \left(\frac{2}{1 + \kappa^2} - 0.08\delta \right) - \frac{\mu_0 I_p}{2\pi a B_0} - 0.07 \{1 + (\kappa - 1)\delta\} \quad (11)$$

・ 最大ベータ値 (β_{limit})

プラズマのキンク不安定性, バルーン不安定性等からの制限で β 値には上限があり, その経験則として

$$\beta_{\text{limit}} = \frac{0.3 \kappa^{1.5}}{A q_\phi} \{1 + 0.9(\kappa - 1)\delta - 0.6 \frac{\kappa^{0.75}}{q_\phi} + 14(\kappa - 1)(1.85 - \kappa) \frac{\delta^{1.4}}{q_\phi^4}\} \quad (11)$$

および

$$\beta_{\text{limit}} = 3.5 \times 10^{-6} \frac{I_p}{a B_0} \quad (12)$$

がオプションで選択される。ベータ値は $\beta = \frac{2\mu_0}{B_0} (n_e T_e + n_i T_i)$ で定義され平衡計算に必要となるポロイダルベータ β_p は $\beta_p = \beta A^2 q_\phi^2$ で定義される。

2.2.2 炉内構造物の計算

ここで言う炉内構造物とは第一壁、ダイバータ板、真空容器、ブランケットおよび遮蔽体である。参照設計におけるある変数名をAとしたとき、摂動設計のときのそれをA*とする。

- 第1壁

$$\text{体積 } V = \alpha S_p \cdot d$$

$$\text{重量 } M = \rho V$$

ここで

α : プラズマ表面積に対する第一壁表面積の割合

S_p : プラズマ表面積 (m^2)

d : 第1壁の厚さ (m)

ρ : 第1壁材料の密度 (Ton/m^3)

プラズマの主副半径の摂動 ($a, R \rightarrow a^*, R^*$) に伴い、プラズマ表面積 $S_p = 2\pi^2 a^2 \kappa R$ が変動し上式にしたがって第1壁の体積・重量が変動する。

- ダイバータ

$$\text{体積 } V = 2\pi R \cdot S$$

$$\text{重量 } M = V \cdot \rho$$

ここで

R : ダイバータ中心のR座標 (m)

S : ダイバータのポロイダル断面積 (m^2)

ρ : ダイバータ材の密度 (Ton/m^3)

プラズマの主副半径 (R_p, a_p) に摂動がある場合、ダイバータの中心位置 (R, Z) は次式に従う。

$$R^* = R_p^* + \frac{a_p^*}{a_p} (R - R_p)$$

$$Z^* = Z \frac{a^* \kappa^*}{a \kappa}$$

- 真空容器

真空容器は一層構造とし、形状は内面境界のみを直線と円弧で入力し、このデータと各部の厚さから外側境界の形状を求める。これに基づき体積、内表面積、容積等を計算する。摂動についての規則は前節 2.1 で示した Fig. 2.5 に従う。例えばある部分が (a, b) を中心とし半径 r の円の一部分をなす場合摂動設計では次式で示される楕円弧の一部として表示される。

$$(R - \alpha a)^2 + \frac{a^2}{\beta^2} (Z - B b)^2 = (\alpha r)^2$$

ここで α, β は Fig. 2.5 で示されるそれらである。

- ブランケット

ブランケットはポロイダルに断面で多層構造を持つ中空ドーナツ状構造物と考える。形状についてはポロイダル断面での各層の境界を真空容器と同様に直線と円弧で指定する。指定された形状に対して通常の幾何学計算により各層の体積 V_j (j 層の番号) を計算する。各層の第 i

成分の体積割合および密度を f_{ij} , ρ_{ij} とすると第 j 層第 i 成分の重量 M_{ij} , 第 j 層の重量 M_j , 全ブランケット重量 M は次のように表される。

$$M_{ij} = V_j \cdot f_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

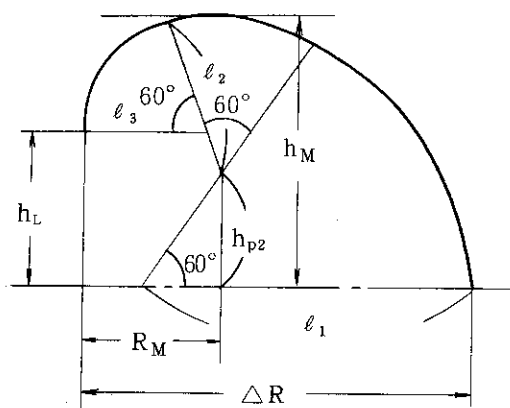
$$M_j = \sum_i M_{ij}$$

$$M = \sum_j M_j$$

摂動計算については真空容器と同様であり, この方法は遮蔽体にも適用される。

2.2.3 トロイダル磁場コイルの計算

・ 形状計算



トロイダル磁場コイルのトロイダル断面の導体中心の形状は左図に示すように近似がなされる。図中の記号は以下の通りである。

ΔR : コイルボアー直径, h_M : コイル高さ

R_M : 内側コイルと最大高さの位置までの距離

h_L : コイル直線部高さ

ℓ_i : i 番目の円弧半径

h_{P2} : 2 番目の円弧中心の高さ

以上のうち ΔR , h_M , h_L は参照設計における入力データであり, 摂動設計における炉内構造物 (含プラズマ) の寸法変化により変動するパラメータである。変動の法則はブランケット等と同じ法則で変動する。したがって, ここで計算すべき未知数は ℓ_i ($i=1\sim3$) と h_{P2} の 4 パラメータである。それぞれの接点でのなめらかさ (微分可能) の条件から以下の 4 つの式を得る。

$$\frac{\sqrt{3}}{2} (\ell_1 - \ell_2) = h_{P2}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} (\ell_2 - \ell_3) = h_L - h_{P2}$$

$$\ell_2 + h_{P2} = h_M$$

$$\ell_1 + 2\ell_2 + \ell_3 = 2\Delta R$$

以上より ℓ_i , h_{P2} および R_M は以下の如く求められる。

$$h_{P2} = \frac{\sqrt{3}}{2(\sqrt{3}-1)} \left(2h_M - \frac{1}{\sqrt{3}} h_L - \Delta R \right)$$

$$\ell_2 = h_M - h_{p2}$$

$$\ell_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} h_{p2} + \ell_2$$

$$\ell_3 = \frac{3}{\sqrt{3}} (h_{p2} - h_L) + \ell_2$$

$$R_M = \frac{1}{2} (\ell_2 + \ell_3)$$

- 全起磁力 AT

$$AT = \frac{2\pi}{\mu_0} R B_0$$

ここで

μ_0 : 真空の透磁率 ($4\pi \times 10^{-7}$)

R : プラズマ主半径 (r)

B_0 : プラズマ中心でのトロイダル磁場 (T)

- 導体電流密度 ρ_c

$$\rho_c = \frac{AT}{n \cdot s}$$

ここで

n : コイル数

s : ノーズ部の導体断面積 (m^2)

- 電気抵抗 R_T

$$R_T = \left\{ \sum_i \frac{1}{\frac{\ell}{s} \rho_i f_i} \right\}^{-1}$$

ここで

ℓ : コイルの周長 (m)

s : コイル導体断面積 (m^2)

ρ_i : 導体の第 i 成分の比抵抗 (Ωm)

f_i : 導体の第 i 成分の体積率

- 最大磁場 B_{Tmax} (簡便式)

$$B_{Tmax} = \alpha \frac{R}{R_m} B_0$$

ここで

α : 補正係数

R : プラズマ主半径 (m)

R_m : トロイダルコイル導体部のトーラス中心側でかつプラズマ側の主半径方向の座標 (m)

B_0 : プラズマ中心でのトロイダル磁場 (T)

この簡便式の他に正確な磁場計算の定式化は Appendix A に記す。

- リップル r_r (簡便式)

$$r_r = \beta \left\{ \frac{1}{\left(\frac{R_e}{R_1}\right)^n - 1} + \frac{1}{\left(\frac{R_2}{R_e}\right)^n - 1} \right\}$$

ここで

n : トロイダルコイルの本数

β : 補正係数

R_1 : トロイダル磁場コイル導体部のトーラス中心側でかつプラズマ側の主半径方向の座標 (m)

R_e : トーラス外側のプラズマ表面での主半径方向の座標 (m)

R_2 : トロイダル磁場コイル導体部のトーラス外側でかつプラズマ側の主半径方向の座標 (m)

2.2.4 ポロイダル磁場コイルの計算

ポロイダル磁場コイルに関する諸量のうち最も重要なパラメータは通電電流値である。参照設計においてプラズマのMHD平衡計算がなされポロイダルコイルの電流値が与えられていることを前提としているが、運転シナリオとの整合性および電源容量の正確な評価の観点から摂動設計においても原研で開発された「トロイダルプラズマのMHD平衡計算コードEQUICIR」の version 1⁽¹³⁾ および version 2⁽¹⁴⁾ によって平衡計算を行いコイル電流値を求めることを基本とする。しかし平衡計算に費される時間は全計算時間のうち無視できない部分を占め、数多くの摂動設計を行う場合機動性に欠ける恨みがある。したがってある程度精度を犠牲にしても機動性が重要となる場合を考慮して、以下に述べる簡便式を用いてコイル電流値を求めるオプションも設けた。コイル電流値はOH成分と平衡成分との合成したものと考えられOH成分を求めるに当たっても、プラズマ中への漏れ磁場を最小にするいわゆる正式な方法と簡便法とをオプションで使い分けられるようにした。

- OH成分電流 (簡便法)

$$I_{OH}^* = \frac{I_p^* (VS)^*}{I_p (VS)} \cdot I_{OH} \cdot \left(\frac{R_{PF}^*}{R_{PF}} \right)^2$$

ここで

I_p : プラズマ電流

VS : 1パルスの運転に必要な磁束

R_{PF} : ポロイダルコイルの主半径方向の座標

- 平衡成分電流 (簡便法)

$$I_{EQ}^* = \frac{r^*}{r} \cdot \frac{I_p^*}{I_p} \cdot \frac{R}{R^*} I_{EQ}$$

ここで

R : プラズマ主半径

r : プラズマ中心とポロイダルコイル中心の距離

なお式中 R/R^* の項は平衡磁場のうち垂直磁場成分 B_v が $B_v \propto \frac{I_p}{R} \left(\ell_n \frac{8R}{a\sqrt{\kappa}} + \beta_p + \frac{\ell_i}{2} - \frac{3}{2} \right)$ と表されカッコの中を無視することにより得られる。

・ 合成電流

$$I_i(t) = I_i^{EQ}(t) + I_{oi}^{OH} - \frac{\Delta VS(t) + \Delta VS_{EQ}(t)}{VS + VS_{EQ}^0} \Delta I_i^{OH}$$

ここで

$I_i^{EQ}(t)$: 時刻 t における No. i のポロイダルコイルの平衡磁場電流成分

I_{oi}^{OH} : $t = 0$ における, No. i ポロイダルコイルのOH電流成分

ΔI_i^{OH} : No. i ポロイダルコイルのOH電流振り巾

$\Delta VS(t)$: 時刻 t までに消費されるべき磁束

$\Delta VS_{EQ}(t)$: 時刻 t における, 平衡磁場電流成分から寄与する磁束

VS : 1パルスのオペレーションに必要な磁束

VS_{EQ}^0 : フラットトップ時における, 平衡磁場電流成分から供給されている磁束

以上のパラメータのうち VS , $\Delta VS(t)$ は入力値である。 $I_i^{EQ}(t)$, $\Delta VS_{EQ}(t)$, VS_{EQ}^0 および ΔI_i^{OH} は上述したように, 正式な方法あるいは簡便法により計算される。また, 必要とする磁束を $VS + VS_{EQ}^0$ として入力すれば出力結果はそのまま ΔI_i^{OH} となる。

2.2.5 中心支持柱の計算

中心支持柱は内外半径 r_1, r_2 高さ h の厚肉円筒構造とする。トロイダルコイルの最もトーラス中心に近い主半径方向の座標を R_t としたとき, この値の変動 ($R_t \rightarrow R_t^*$) によって r_1, r_2 は以下の式で表わされる。

$$r_1^* = r_1 + (R_t^* - R_t)$$

$$r_2^* = r_2 + (R_t^* - R_t)$$

なお, ソレノイドコイルと中示支持柱の内外関係はオプションによって選択が可能である。

2.2.6 架台の計算

架台は下式で重量のみを計算する。

$$W_b^* = \frac{W^*}{W} \cdot W_b$$

ここで

W_b : 架台重量 (入力値)

W : 架台, ベルジャーを除く本体総重量

2.2.7 ベルジャーの計算

架台同様, 次式により重量のみを計算する。

$$W^* = \left(\frac{R_T^*}{R_T} \right)^2 W$$

ここで

W : ベルジャー重量 (入力値)

R_T : 主半径方向における中心から最も遠いトロイダルコイル上の位置

2.2.8 補機類の計算

本コードでは補機類として、トロイダルコイル電源、ポロイダルコイル電源、追加熱系、真空排気系、冷凍系および建家を考慮する。

・ トロイダルコイル電源

トロイダルコイルの形状を楕円とみなし、自己インダクタンス (L_t) を下式で与える。

$$L_t = \mu_0 N_t \kappa_t (R_t - \sqrt{R_t^2 - r_t^2})$$

ここで

N_t : トロイダルコイルの本数

κ_t : トロイダルコイルの非円形度

R_t : トロイダルコイル主半径

r_t : トロイダルコイル副半径

(i) 最大電力 (ピークパワー)

$$(\text{超電導コイル}) \quad P_{\max} = 10^6 L_t I_t / t_r \quad (\text{MW})$$

$$(\text{常電導コイル}) \quad P_{\max} = 10^6 R_{\text{res}} I_t^2 / \{1 - \exp(-\frac{R_{\text{res}} t_r}{L_t})\} \quad (\text{MW})$$

ただし

I_t : トロイダルコイル 1 本当りに流れる AT (MA)

R_{res} : トロイダルコイルの総抵抗 (Ω)

t_r : トロイダルコイルの電流立上げ時間 (sec)

(ii) 定常時電力

$$P_{\text{OP}} = 10^6 R_{\text{res}} I_t^2 \quad (\text{MW})$$

(iii) 総エネルギー

$$(\text{超電導}) \quad E_t = 10^6 \frac{L_t I_t^2}{2} \quad (\text{MJ})$$

$$(\text{常電導}) \quad E_t = P_{\text{OP}} \left\{ t_r - \frac{L_t}{R_{\text{res}}} (1 - e^{-\frac{R_{\text{res}} t_r}{L_t}}) \right\} / (1 - e^{-\frac{R_{\text{res}} t_r}{L_t}})^2 + P_{\text{OP}} t_{\text{flat}}$$

ただし

t_{flat} : 定常運転時間 (sec)

・ ポロイダルコイル電源

電源容量の評価に先立って、電磁諸量のうち最も主要であるインダクタンスは以下の式で示される。 L_i , L_{ip} および L_{ij} はそれぞれ第 i 番目のコイルの自己インダクタンス, 第 i 番目のコイルとプラズマとの相互インダクタンスおよび第 i 番目のコイルと第 j 番目のコイルとの相互インダクタンスである。

$$L_i = \mu_0 R_i \left(\ell_n \frac{8 R_i}{r_i} - 1.75 \right) \quad (\text{H})$$

ただし

R_i : 第 i 番目のコイル中心の主半径 (m)

r_i : 第 i 番目のコイルの実効副半径で $r_i = \sqrt{\frac{S_i}{\pi}}$ と表わされ, S_i はコイル断面積である。

$$L_{ip} = \frac{2\mu_0}{k} \sqrt{R_p R_i} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} k^2\right) K - E \right\} \times N$$

ただし

R_p : プラズマ主半径 (m)

K : 第 1 種完全楕円積分

E : 第 2 種完全楕円積分

k : $k = \frac{4 R_p R_i}{(R_p + R_i)^2 + Z_i^2}$ で Z_i は赤道面からコイル位置までの高さ

N : 以下に示す。

$$L_{ij} = \left[\frac{2\mu_0}{k} \sqrt{R_i R_j} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} k^2\right) K - E \right\} + A \right] \times N$$

$$A = \begin{cases} 0 & N = 1 \\ \frac{2\mu_0}{k} \sqrt{R_i R_j} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} k^2\right) K - E \right\} & N = 2 \end{cases}$$

$$k : k^2 = \frac{4 R_i R_j}{(R_i R_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2}$$

ここで、ポロイダルコイルの配置関係が上下非対称のコイル, あるいは対称であっても赤道面上に存在するコイルについては $N = 1$ となり, 対称であるときのコイルについては $N = 2$ となる。対称の場合は赤道面から上方あるいは下方いずれかのみに存在するコイル群に番号付を行う。

(i) 最大電力 (ピークパワー)

$$P_{\max} = M_{\max} \left\{ \frac{dI_p(t)}{dt} \sum_i L_{ip} I_i(t) + \sum_j \frac{dI_j(t)}{dt} \sum_i L_{ij} I_i(t) + \sum_i R_{res}^i I_i^2(t) \right\} \times 10^6 \text{ (MW)}$$

ただし

$M_{\max} \{ \}$: 時間に関する最大値を意味する。

$I_p(t)$: 時刻 t におけるプラズマ電流 (MA)

$I_i(t)$: 時刻 t における第 i 番目コイルの電流 (MA)

R_{res}^i : 第 i 番目コイルの抵抗 (Ω)

(ii) 電源設備容量

$$P_{cap} = \sum_i [\text{Max} \{ I_i \} \cdot \text{Max} \{ V_i \}] \text{ (MVA)}$$

ただし

V_i : 第 i 番目のコイルに印加される電圧

(iii) 必要蓄積エネルギー

$$E_{st} = 10^6 \int_0^{t_{op}} \left\{ \frac{dI_p}{dt} \sum_i L_{ip} I_i + \sum_j \frac{dI_j}{dt} \sum_i L_{ij} I_i + \sum_i R_{res}^i I_i^2 \right\} dt \text{ (MJ)}$$

ただし

t_{op} : 1パルスの運転時間 (sec)

(iv) ジュール発熱損

$$E_J = \int_0^{t_{op}} p_J dt$$

ただし

$$p_J : p_J = \sum_i R_{res}^i I_i^2(t)$$

・ 追加熱装置の容量

(i) 最大電力 (ピークパワー)

$$P_{max} = \text{Max} \{ \sum_i P_{NBI}^i / f_{eNB}^i + \sum_j P_{RF}^j / f_{eRF}^j \}$$

ただし

P_{NBI}^i : 第 i 種の NBI の総入力 (MW)

P_{RF}^j : 第 j 種の RF の総入力 (MW)

f_{eNB}^i : 第 i 種の NBI の効率

f_{eRF}^j : 第 j 種の RF の効率

(ii) 必要総エネルギー

$$E_H = \int_0^{t_{op}} \{ \sum_i P_{NBI}^i / f_{eNB}^i + \sum_j P_{RF}^j / f_{eRF}^j \} dt$$

(iii) 排気量

$$S_{NB} = 10^3 \sum_i P_{NBI}^i(t) (1 - f_{eNB}^i) / (E_{NB}^i f_{eNB}^i) \quad (\text{コ/sec})$$

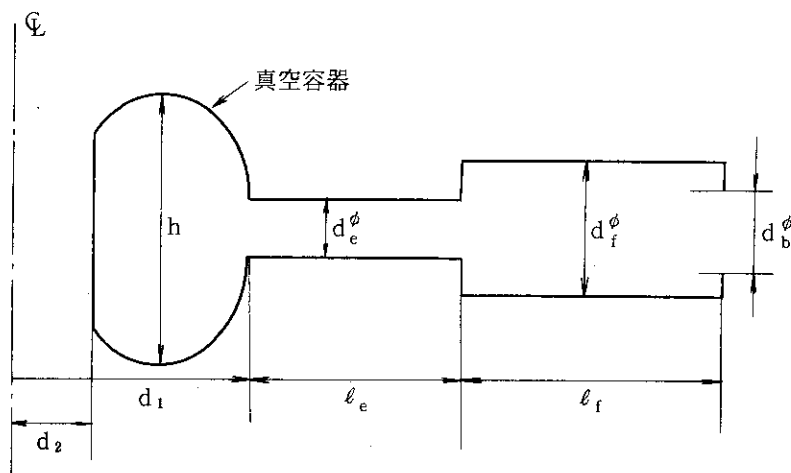
ただし

E_{NB}^i : 第 i 種の NBI のビームエネルギー (KeV) である。

・ 真空排気系

(i) コンダクタンス

排気ダクトは下図を仮定する。



排気系の数を n としてコンダクタンス C は下式で表わされる。

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{cy}} + \frac{1}{n \cdot C_{DU}}$$

ただし

$$C_{cy} = 452 \times \frac{(d_1 - d_2)^2 (d_1 + d_2)}{h}$$

$$C_{DU} = \left(\frac{1}{C_e} + \frac{1}{C_f} + \frac{1}{C_{ef}} + \frac{1}{C_b} \right)^{-1}$$

$$C_e = 38.7 \frac{\sqrt{300}}{M} \cdot \frac{d_e^3}{\ell_e} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

$$C_f = 38.7 \frac{\sqrt{300}}{M} \cdot \frac{d_f^3}{\ell_f} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

$$C_{ef} = 28.7 \frac{\sqrt{300}}{M} \cdot \frac{d_e^2 d_f^2}{|d_e^2 - d_f^2|}$$

$$C_b = 28.7 \frac{\sqrt{300}}{M} \cdot \frac{d_f^2 d_b^2}{|d_f^2 - d_b^2|}$$

ここでMは排気する粒子の分子量であり $d_e, d_f \ll \ell_e, \ell_f$ を仮定した。

(ii) 有効排気速度

$$S_{\text{eff}} = k T \Gamma / P \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

ここで

k : ボルツマン定数

T : 温度

Γ : 単位時間に排気すべき粒子数

P : 圧力

(iii) 排気速度

$$S_p = \left(\frac{1}{S_{\text{eff}}} - \frac{1}{C} \right)^{-1} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

・ 冷凍容量

冷凍容量は液体ヘリウム系および液体窒素に分けるがいずれも参照設計用として入力する。

摂動設計 (*印) に対してはいずれの系に対しても

$$k = \frac{p^* \cdot f^* \cdot t_b^*}{p \cdot f \cdot t_b}$$

なる係数を乗じた値を冷凍量とする。

ここで

P : プラズマ出力

f : プラズマ運転の duty factor

t_b : プラズマの燃焼時間

・ 建屋関連

(i) 本体建屋

炉室は円型を仮定し、参照設計で炉室半径 (r), および高さ (h) を入力して、炉室容積 $V_R = \pi r^2 h$ を求める。摂動設計に対しては、装置中心軸からトロイダルコイル外側までの距離の変動分を直接炉室半径に加え (あるいは差引き) 高さについては不変とする。

(ii) 補機類建屋

プラズマパラメータの変動にともなう補機類建屋の変動を以下の如く仮定する。

電気設備建屋	出力に比例
2次冷却設備および建屋	出力に比例
タービン建屋	出力の0.7乗に比例
廃棄物貯蔵建屋	中性子壁負荷に比例
分解・修理建屋	不変
制御棟	不変
冷凍建屋	不変
燃料処理建屋	不変
換気施設	不変
その他	不変

2.2.9 コスト計算

核融合炉システムが将来の発電プラントとして期待される以上、経済性の評価が不可欠である。米国エネルギー省は Pacific Northwest Laboratory に委託して核融合炉の経済性評価法について報告書 PNL-2648⁽¹⁰⁾ を作成した。それによると経済性評価の最も有効な指標は発電単価 (Total Busbar Cost) であり、それは以下の項目により決定されるとしている。

- 設備利用率 (Plant Availability Factor)
- 財務条件 (Financing Assumption)
- 固定経費率 (Fixed Charge Rate)
- 建設費 (Capital Cost)
- 年間運転保守維持費 (Annual Operating and Maintenance Cost)
- 年間部品取替費 (Annual Schedule Component Replacement Cost)
- 年間燃料費 (Annual Fuel Cost)
- 燃料容量 (Plant Fuel Capacity)

ここでも、ほぼ同一のコスト項目を設定する。コスト項目のうち、建設費の算出法は大別して3種類に分けられる。第1として、単位量 (例えば重量、面積等) あたりの単価と当該量の積として求めるものである。この中には炉本体の構造物、建屋等が含まれる。第2として、経験的にある程度解っている場合である。例えば電源のコストは電源容量の0.7乗に比例することが知られている。以上、2種類のコストは言わば直接的な費用であるが、第3のコストは間接的な性格のコストとして、建設のための施設費、技術および管理の費用、建設中の利息や物価上昇分等がある。これら間接費は直接費に一定の割合を乗じて算出する。建設費に加えて年間運転費として、運転および保守費、交換部品費、燃料費を算出する必要がある。保守費は、建設費のうち直接的なものに一定の割合を乗じて算出する。交換部品費は当該部品のコストに交換必要経費を加え部品寿命で除して算出する。これらの値はいずれも一年間に必要な費用を算出している点で建設費とは異なる性格を持っている。また燃料費については、燃料 (トリチウム) 増殖比が1を上回る場合外部からの燃料供給が不要となり、燃料費は零となる。

以上の計算結果に基づいて発電単価を求める場合、物価上昇を考慮しない場合とする場合の2種類がある。後者は建設期間の物価上昇を考慮した運転初年度の発電単価であり、建設費の減価償却分、年間運転費および年間の固定費を年間発電量で除した値である。ただし、この場合、見かけ上の年間運転費はプラント建設期間における物価上昇分の補正がなされる。

以上述べたコスト計算のアルゴリズムを Appendix-B に示す。詳細は Appendix-B に譲るとして、ここでは以下に発電単価 (P_{CTR}) の表示式のみを示す。

- 物価上昇を考慮しない場合

$$P_{CTR} = \frac{P_{CAP} \cdot FCR + P_{OP} + P_{SRC} + P_{FC}}{P_C \cdot PAF}$$

ただし

P_{CAP} : 建設費

FCR : 固定経費率

P_{OP} : 年間運転保守維持費

P_{SRC} : 年間部品取替費

P_{FC} : 年間燃料費

P_C : 年間発電量

PAF : 設備利用率

- 物価上昇を考慮する場合

$$P_{CTR} = \frac{P_{CAP} \cdot FRC + P_{OP} \cdot (1+E)^P + P_{SRC} \cdot (1+E)^P + P_{FC} \cdot (1+E)^P}{P_C \cdot PAF}$$

ただし

E : 物価上昇率

P : 建設期間 (年)

本章で述べた「計算プログラムの内容」に関して、Appendix-C1に各サブルーチンでの計算内容およびプログラムツリーを、Appendix-C2に各サブルーチンでの変数名および計算手順を、さらに Appendix-C3に入力データ作成仕様をそれぞれ添付する。

3. 適用例

以上述べてきたトカマク炉システムの解析・評価コードが所期の機能を有していることを明らかにする観点からこれまでに適用されてきた例の幾つかについて述べる。

3.1 核融合実験炉 (FER)

1980年代に入り数年以上に渡って、臨界プラズマ試験装置の次の装置である核融合実験炉 (Fusion Experimental Reactor) の設計研究が進められている。設計研究の比較的初期の段階に生まれた炉概念の1つに SPTR⁽¹⁵⁾ (Swimming Pool Type Tokamak Reactor) がある。これは固体遮蔽のかわりに、炉全体を巨大なプールに沈めて水によって遮蔽を行う、という特徴を有している。Fig. 3.1 に本コードを用いて描いた SPTR の概念図を示す。SPTR について行った感度解析の結果⁽⁵⁾ 得られた各種パラメータ間の相互依存性を Fig. 3.2 に示す。

本コードには開発の初期段階には組み込まれていなかった上下非対称のトカマク装置の解析・評価の機能も現存は可能となっており、ここ2～3年検討を進めてきた新しい FER⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ (上下非対称のシングルヌルダイバータ) を例に本コードで描いた図形出力を Fig. 3.3 に示す。

3.2 国際トカマク炉 (INTOR)

INTOR Workshop Phase Two A-Part 1 において Phase One の設計の見直しを含めて特にコストの観点からの炉概念の最適化の検討⁽⁷⁾ のため本コードは供せられた。

INTOR の感度解析のために設けた検討対象の数は 10 種類であり、それらの特徴を Table 3.1 及び Table 3.2 に示し、以下に簡単に述べる。

Case 1 : INTOR Phase One における概念設計

Case 2 : トロイダルリップルの許容値を 0.75% から 1.2% に緩和して TF コイルの寸法を減少させる。そのためブランケット等の修理の際の引抜において分割が不可避となる。

Case 3 : 中性子フルーエンスを $6.6 \text{ MW} \cdot \text{a} \cdot \text{m}^{-2}$ から $2.0 \text{ MW} \cdot \text{a} \cdot \text{m}^{-2}$ に下げ、10 cm の遮蔽体厚みの減少が可能となる。

Case 4 : 不純物制御および灰排気的方式をダイバータからポンプリミタに変更する。これにより垂直方向の TF コイルの寸法を減少させる。

Case 5 : 贅肉 (必ずしも無駄なものという意味ではない) を落し、最も合理化を図った案である。この案の最大の特徴は増殖ブランケットを排除した点にある。

Case 6 : Case 5 とは反対の方向で、従来トリチウム増殖比が 0.6 (ブランケットをトラス外側にのみ設置) であったが 1 (トラス内側にも設置) に増加させた案。

Case 7 : 加熱パワーを 94 MW から 50 MW に下げ、これを NBI システムで実現する。

Case 8 : Case 7 同様加熱パワーを 94 MW から 50 MW に下げ、これを RF システムで実現す

る。NBI システムは正イオン源を想定しており、これに比べるとRFシステムは30%程度のコストダウンが期待され、かつ炉本体建家の寸法の減少も期待される。

Case 9: D-Tのベータ値(α 粒子の寄与を除く)4.1%から4.6%に増加する。これによりトロイダル磁場を下げる事が可能となる。

Case 10: 中性子フルーエンスを $10 \text{ MW} \cdot \text{a} \cdot \text{m}^2$ まで増加させる。必然的に各コンポーネンの容量が増加する。

以上10ケースについて、他のINTOR参加国の検討結果も併せてTable 3.3, Table 3.4およびFig. 3.4に示す。Table 3.3には建設費の相対比較をCase 2を基準として、Table 3.4には建設費に対する装置寿命中の運転費の割合を、さらにFig. 3.4にすべてを含んだ全コストの相対比較をCase 2を基準としてそれぞれ示す。

3.3 動力炉の経済性評価

トカマク型動力炉の設計例はこれまで諸外国においても幾つかその提案がなされているが、原研では1980年頃よりスイミングプール型の動力炉の設計がなされてきた。その後、幾つかの設計変更がなされ現在スイミングプール型の動力炉をベースとして固体遮蔽を設けた標準的なトカマク炉の提案⁽⁶⁾がなされている。この炉概念の詳細は文献(6)に譲るとして、ここではTable 3.5にプラズマパラメータをFig. 3.5に鳥瞰図をそれぞれ示す。この炉概念を標準モデル(Standard Model)として以下に示す合計4ケースのモデルを対象として経済性評価を行った。

- Standard Model : コストデータは標準コストデータを用いる。このコストデータについては後でもう少し詳しく述べる。
- SC High Cost : 炉モデルはStandard Modelと同様とし、超電導体($\text{Nb}_3\text{Sn} + \text{Cu}$, $\text{NbTi} + \text{Cu}$)のコスト単価を標準コストの5倍としたケース。
- Li_2 High Cost : 炉モデルはStandard Modelと同様とし、 Li_2O のコストと標準コストの5倍としたケース。
- He Cooling Blanket : Standard Modelのブランケットが水冷却であるのに対し、このモデルはHeガス冷却方式による。効果として、発電効率の上昇およびタービン系のコストダウンが考えられるがブランケットの高温化に伴い高価な材料を使用する必要がある。

コスト評価の手法については第2章第2節第8項(2.2.8)コスト計算のところでも述べた通りであるが、実際の計算にあたってコストデータ(Unit Cost Data)が必要である。コストデータはできる限り標準的な値を用いることが望ましい。これは計算結果の信頼性を高め、かつ他の計算結果との比較・評価が十分な意味を持つためにも重要である。このような観点から米国では“Fusion Reactor Design Studies—Standard Unit Costs and Cost Scaling Rules⁽¹⁸⁾”として標準単価が提案されている。また1984年からは設計条件、見積条件等をかかなり詳細に特定して、コストデータを集積しているとの事であるが、その成果はいまだ公開されるに到っていない。

r_2 : エスカレーション率

標準貸出金利はこのところ 5.5% で安定していること、また過去 5 年間の GNP デフレーター
の平均値は 1.66% であることより、ここでは $r_1 = 0.055$, $r_2 = 0.0166$ とした。また、プラント建
設期間としては 6 年を仮定した。

炉を構成する機器の寿命に伴う交換費用は、機器自身のコストと、機器の交換作業に要する
コストの和として算出する。ここでは、ポンプリミタおよびブランケット（第 1 壁も含むものと
する）のみを交換対象機器とした。

以上を踏まえて先に述べた 4 つのケースのコスト評価を Fig. 3.6 から Fig. 3.10 にかけて示す。
なお Standard Model のプラントコストについては物価上昇を考慮しない場合と、する場合の
両方示す。他のケースについては物価上昇を考慮した場合のコストは省略する。これらをもとに
算出したそれぞれのケースの発電単価を Table 3.7 に示す。ただし、標準モデル（Standard
Model）の物価上昇を考慮しない場合の発電単価（Total Busbar Cost）を 1.0 として規格
化がなされている。

Table 3.1 Alternative Study Points

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	INTOR Phase One	Ripple limit TFC	Reduced fluence	Pump limiter	Minimum capability	Maximum BR	Reduced NBI	Reduced RF	Higher β	Max. capability
Fluence ($\text{MW} \cdot \text{a} \cdot \text{m}^{-2}$)	6.6	6.6	2.0	6.6	0.2	6.6	6.6	6.6	6.6	10.0
T.B.R.	≈ 0.6	≈ 0.6	≈ 0.6	≈ 0.6	0	≈ 1.0	≈ 0.6	≈ 0.6	≈ 0.6	1.0
TFC size	AL ^a	RL ^a	RL	RL	RL	RL	RL	RL	RL	RL
$B_{\text{TFC}}^{\text{max}}$ (T)	10.8	10.8	10.8	$\approx 10.0^{\text{d}}$	10.8	10.8	10.8	10.8	10.2	11.3
Current (MA)	6.4	6.4	6.5	6.4	6.7	6.2	6.4	6.4	6.4	6.2
ΔB_{in} (m)	1.1	1.1	1.0	1.1	~ 0.75	~ 1.25	1.1	1.1	1.1	1.3
R_0 (m)	5.2	5.2	5.1	5.2	~ 4.8	~ 5.4	5.2	5.2	5.2	5.4
a_0 (m)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Impurity control	PD ^b	PD	PD	PL	PD	PD	PD	PD	PD	PD
Heating	NBI	NBI	NBI	NBI	NBI	NBI	NBI	ICRH	NBI	NBI
Heating power (MW)	94	94	94	94	94	94	50	50	50	94
β_{DT} (%)	4.1 ^c	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.6	5.0
P_{W} ($\text{MW} \cdot \text{m}^{-2}$)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.0

^a AL Access-limited TFC size.

RL 1.2% ripple-limited TFC size.

^b PD Single-null poloidal divertor.

PL Pump-limiter.

^c Total $\langle \beta \rangle$ is fixed as 5.6% for all cases except for case 10, for which total $\langle \beta \rangle$ is 6%. The impurity and alpha contribution to $\langle \beta \rangle$ is 1.5% in all cases except 9 and 10, where it is 1.0%.

^d B should be chosen to give the same neutron wall load as in Case 3.

Table 3.2 Major Geometrical Parameters of Benchmark Cases

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	INTOR Phase One	Ripple limit TFC	Reduced fluence	Pump limiter	Minimum capability	Maximum BR	Reduced NBI	Reduced RF	Higher β	Max. capability
TF coil bore (m)										
EC	7.7 X 10.7	6.6 X 9.3	6.4 X 9.0	6.6 X 9.3	6.2 X 8.8	6.8 X 9.4	6.6 X 9.3	6.6 X 9.3	6.6 X 9.3	6.9 X 9.6
Japan	7.7 X 10.7	6.6 X 9.7	6.4 X 9.5	6.6 X 9.3	6.0 X 8.9	6.7 X 9.7	6.6 X 9.7	6.6 X 9.7	6.6 X 9.7	6.75 X 9.7
USA/USSR	7.4 X 10.8	6.3 X 9.1	6.2 X 8.8	6.3 X 9.1	6.0 X 8.5	6.5 X 9.4	6.3 X 9.1	6.3 X 9.1	6.4 X 9.1	6.6 X 9.6
Reduction of TF coil bore (m)										
EC	0	1.1 X 1.4	1.3 X 1.3	1.1 X 1.4	1.5 X 1.9	0.9 X 1.3	1.1 X 1.4	1.1 X 1.4	1.1 X 1.4	0.8 X 1.1
Japan	0	1.1 X 1.0	1.3 X 1.2	1.1 X 1.4	1.7 X 1.8	1.1 X 1.0	1.1 X 1.0	1.1 X 1.0	1.1 X 1.0	0.95 X 1.0
USA/USSR	0	1.1 X 1.7	1.2 X 2.0	1.1 X 1.7	1.4 X 2.3	0.9 X 1.4	1.1 X 1.7	1.1 X 1.7	1.1 X 1.7	0.8 X 1.2
Delta (m)										
EC	1.1	1.1	1.0	1.1	0.85	1.25	1.1	1.1	1.1	1.3
Japan	1.4	1.4	1.3	1.4	1.2	1.6	1.4	1.4	1.4	1.65
USA/USSR	1.1	1.1	1.0	1.1	0.85	1.25	1.1	1.1	1.1	1.3
Change of delta (m)										
EC	0	0	-0.1	0	-0.25	0.15	0	0	0	0.2
Japan	0	0	-0.1	0	-0.2	0.2	0	0	0	0.25
USA/USSR	0	0	-0.1	0	-0.25	0.15	0	0	0	0.2
Major radius (m)										
EC	5.3	5.3	5.2	5.3	5.05	5.45	5.3	5.3	5.3	5.5
Japan	5.3	5.3	5.2	5.3	5.0	5.5	5.3	5.3	5.1	5.55
USA/USSR	5.2	5.2	5.1	5.2	4.95	5.35	5.2	5.2	5.2	5.4
Change of major radius (m)										
EC	0	0	-0.1	0	-0.25	0.15	0	0	0	0.2
Japan	0	0	-0.1	0	-0.3	0.2	0	0	-0.2	0.25
USA/USSR	0	0	-0.1	0	-0.25	0.15	0	0	0	0.2

Table 3.3 Relative Capital Cost (Ref.: Case 2, Total Capital Costs) (M\$ in 1982)

CASE	1 Ref.			2 Ripple limit			3 2 MW $\cdot \text{a} \cdot \text{m}^{-1}$			4 Pump limiter			5 Min. performance		
	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA
1. Reactor systems															
1.1. Torus (first wall, blanket, shield, test modules, supports, pumping)	0.062	0.032	0.042	0.037	0.062	0.032	0.042	0.037	0.062	0.032	0.042	0.038	0.060	0.012	0.039
1.2. Magnets	0.208	0.142	0.161	0.185	0.175	0.129	0.123	0.152	0.167	0.127	0.120	0.145	0.156	0.098	0.115
1.3. Divertor + auxiliaries	0.009	0.004	-	0.010	0.009	0.004	-	0.010	0.009	0.004	-	0.008	0.009	0.004	-
1.4. Neutral-beam system (injectors, auxiliaries)	0.037	0.043	0.052	0.054	0.037	0.043	0.051	0.054	0.036	0.043	0.052	0.054	0.036	0.043	0.051
1.5. Fuelling system	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001
2. Support system															
2.1. Electrical TF, PF	0.093	0.063	0.117	0.040	0.059	0.051	0.066	0.032	0.057	0.048	0.068	0.032	0.056	0.025	0.070
2.2. Electrical NBI	0.027	0.038	0.013	0.016	0.027	0.038	0.013	0.016	0.026	0.038	0.013	0.016	0.026	0.038	0.013
2.3. Tritium and fuel handling (plasma gas, blanket T)	0.014	0.069	0.021	0.016	0.014	0.069	0.021	0.016	0.013	0.069	0.021	0.016	0.013	0.069	0.021
2.4. Cooling systems, heat transport, cooling tower	0.031	0.025	0.024	0.031	0.031	0.025	0.022	0.031	0.030	0.025	0.022	0.031	0.029	0.023	0.024
2.5. Instrumentation, control system: diagnostics, instrumentation and control computers	0.020	0.017	0.026	0.040	0.020	0.017	0.026	0.040	0.020	0.017	0.026	0.040	0.020	0.017	0.026
2.6. Maintenance equipment	0.014	0.010	0.023	0.012	0.014	0.010	0.023	0.012	0.013	0.010	0.023	0.012	0.013	0.010	0.023
2.7. Electric generation	0.011	-	-	-	0.011	-	-	-	0.011	-	-	-	0.010	-	-
3. Facilities															
3.1. Reactor building: reactor cell, hot cell	0.041	0.062	0.031	0.036	0.041	0.058	0.030	0.032	0.040	0.056	0.030	0.032	0.039	0.054	0.029
3.2. Other	0.023	0.021	0.033	0.027	0.023	0.021	0.030	0.027	0.022	0.021	0.030	0.027	0.021	0.021	0.030
SUBTOTAL: DIRECT COSTS	0.594	0.527	0.544	0.489	0.526	0.499	0.448	0.444	0.512	0.491	0.495	0.436	0.506	0.466	0.427
4. Indirect	0.533	0.528	0.669	0.560	0.474	0.501	0.552	0.556	0.461	0.495	0.548	0.537	0.456	0.470	0.525
4.1. Engineering	0.219	0.094	0.245	0.096	0.195	0.090	0.202	0.095	0.189	0.089	0.200	0.092	0.187	0.085	0.192
4.2. Installation	0.089	0.105	0.082	0.062	0.079	0.099	0.067	0.062	0.077	0.098	0.067	0.060	0.076	0.091	0.064
4.3. Contingency others	0.228	0.291	0.261	0.210	0.200	0.275	0.215	0.209	0.195	0.271	0.214	0.201	0.192	0.257	0.205
4.4. Design specific R and D	-	0.038	0.082	0.192	-	0.038	0.067	0.190	-	0.038	0.067	0.184	-	0.038	0.067
TOTAL CAPITAL COSTS (Relative value)	1.127	1.055	1.213	1.049	1.000	1.000	1.000	1.000	0.973	0.986	0.993	0.973	0.962	0.916	0.952

Table 3.3 のつづき

CASE	6 T.B.R. = 1				7 50 MW NBI				8 50 MW ICRH				9 $\rho_{DT}=4.6\%$				10 Max. 10 MW α -m ⁻¹			
	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR
1. Reactor system																				
1.1. Torus (first wall, blanket, shield, test modules, supports, pumping)	0.064	0.043	0.045	0.043	0.062	0.032	0.042	0.037	0.062	0.032	0.042	0.037	0.062	0.030	0.042	0.037	0.085	0.045	0.045	0.040
1.2. Magnets { TF, PF, sup.	0.186	0.133	0.128	0.162	0.175	0.129	0.123	0.152	0.175	0.129	0.123	0.152	0.165	0.123	0.117	0.149	0.192	0.135	0.135	0.163
1.3. Divertor + auxiliaries	0.009	0.004	-	0.010	0.004	0.009	-	0.010	0.009	0.004	-	0.010	0.009	0.004	-	0.010	0.009	0.004	-	0.010
1.4. Neutral-beam system (injectors, auxiliaries)	0.039	0.043	0.051	0.054	0.020	0.023	0.034	0.029	0.020	0.016	0.023	0.020	0.020	0.023	0.034	0.029	0.039	0.043	0.052	0.054
1.5. Fueling system	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001
2. Support system																				
2.1. Electrical TF, PF	0.060	0.053	0.063	0.033	0.059	0.051	0.066	0.030	0.059	0.051	0.066	0.030	0.052	0.049	0.067	0.030	0.061	0.055	0.069	0.033
2.2. Electrical NBI	0.028	0.038	0.013	0.016	0.015	0.021	0.009	0.016	0.015	0.014	0.009	0.016	0.015	0.021	0.009	0.016	0.028	0.038	0.013	0.016
2.3. Tritium and fuel handling (plasma gas, blanket Ti)	0.014	0.069	0.021	0.016	0.014	0.069	0.021	0.016	0.014	0.069	0.021	0.016	0.014	0.069	0.021	0.016	0.022	0.069	0.021	0.016
2.4. Cooling systems, heat transport, cooling tower	0.032	0.025	0.022	0.031	0.031	0.025	0.022	0.031	0.031	0.025	0.022	0.031	0.031	0.025	0.020	0.031	0.050	0.039	0.028	0.032
2.5. Instrumentation, control system: diagnostics, instrumentation and control computers	0.020	0.017	0.026	0.040	0.020	0.017	0.026	0.040	0.020	0.017	0.026	0.040	0.020	0.017	0.026	0.040	0.020	0.017	0.026	0.040
2.6. Maintenance equipment	0.014	0.010	0.023	0.012	0.014	0.010	0.023	0.012	0.014	0.010	0.023	0.012	0.014	0.010	0.023	0.012	0.014	0.011	0.023	0.013
2.7. Electric generation	0.011	-	-	-	0.011	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	-	0.017	-	-	-
3. Facilities																				
3.1. Reactor building: reactor cell, hot cell	0.041	0.063	0.031	0.032	0.041	0.047	0.030	0.031	0.041	0.043	0.030	0.026	0.041	0.057	0.030	0.031	0.042	0.063	0.031	0.032
3.2. Other	0.024	0.021	0.030	0.027	0.023	0.021	0.030	0.027	0.023	0.021	0.030	0.027	0.023	0.021	0.030	0.027	0.024	0.021	0.031	0.027
SUBTOTAL: DIRECT COSTS	0.547	0.521	0.455	0.461	0.497	0.450	0.427	0.416	0.497	0.432	0.415	0.402	0.481	0.450	0.421	0.413	0.611	0.563	0.475	0.461
4. Indirect	0.492	0.521	0.559	0.611	0.447	0.458	0.140	0.498	0.447	0.445	0.511	0.478	0.432	0.454	0.518	0.520	0.546	0.525	0.603	0.747
4.1. Engineering	0.202	0.094	0.204	0.104	0.184	0.083	0.192	0.085	0.184	0.081	0.187	0.082	0.177	0.081	0.189	0.090	0.224	0.098	0.214	0.127
4.2. Installation, assembly	0.082	0.103	0.068	0.068	0.075	0.090	0.064	0.055	0.075	0.086	0.062	0.053	0.072	0.089	0.063	0.058	0.091	0.108	0.071	0.083
4.3. Contingency others	0.208	0.287	0.218	0.230	0.189	0.249	0.205	0.187	0.189	0.240	0.199	0.179	0.182	0.248	0.202	0.194	0.231	0.300	0.228	0.281
4.4. Design specific R and D	-	0.038	0.068	0.209	-	0.038	0.064	0.171	-	0.038	0.062	0.164	-	0.038	0.063	0.178	-	0.038	0.090	0.256
TOTAL CAPITAL COSTS (Relative value)	1.039	1.042	1.014	1.072	0.944	0.908	0.952	0.914	0.944	0.877	0.926	0.880	0.913	0.904	0.939	0.933	1.157	1.088	1.078	1.208

Table 3.4 Operation Cost Evaluation and Total Cost (M\$ in 1982)

	1 Ref.			2 Ripple limit			3 2 MW · a · m ⁻¹			4 Pump limiter			5 Min. performance			
	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR
Wall loading (MW · m ⁻¹)																
Fluence (MW · a · m ⁻²)																
Operation (a/avail)																
H plasma																
D-T plasma																
Eng. test																
Upgraded eng. test																
Machine operation (a)																
Total number of shots (× 10 ³)																
Tritium																
Electricity																
Material																
Maintenance																
(5% of DCC × a) ^a																
Decommission																
(20% of DCC)																
Personnel																
SUBTOTAL																
Contingency																
(5% of subtotal) ^b																
Operation total																
(Relative value)																
TOTAL																
(Relative value)																

^a DCC: Direct Capital Cost.^b USSR accounts 75%.

Table 3.4 のつづき

	6 T.B.R. = 1				7 50 MW NBI				8 50 MW RF				9 Higher β				10 Max. 10 MW α m ⁻²			
	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR	EC	Japan	USA	USSR
Wall loading (MW m ⁻²)																				
Fluence (MW α m ⁻²)																				
Operation (s/avail)																				
H plasma																				
D-T plasma																				
Eng. test																				
Upgraded eng. test																				
Machine operation (s)																				
Total number of shots ($\times 10^4$)																				
Tritium	0.011	0.013	0.016	0.022	0.173	0.149	0.218	0.179	0.173	0.149	0.218	0.179	0.173	0.149	0.218	0.179	0.017	0.013	0.025	0.020
Electricity	0.125	0.081	0.264	0.104	0.121	0.081	0.249	0.104	0.121	0.081	0.249	0.104	0.121	0.089	0.249	0.104	0.195	0.089	0.292	0.104
Material	-	0.019	0.023	0.012	-	0.019	0.022	0.012	-	0.019	0.021	0.012	-	0.019	0.021	0.012	-	0.028	0.029	0.012
Maintenance (5% of DCC $\times \alpha$) ^a	-0.602	0.443	0.385	0.337	-0.544	0.382	0.362	0.305	-0.544	0.368	0.352	0.294	-0.525	0.383	0.355	0.310	-0.673	0.437	0.388	0.342
Decommission (20% of DCC)		0.104	0.091	0.090		0.090	0.085	0.081		0.086	0.083	0.079		0.090	0.084	0.083		0.109	0.095	0.091
Personnel	0.435	0.552	0.285	0.068	0.435	0.552	0.285	0.068	0.435	0.552	0.285	0.068	0.435	0.552	0.285	0.068	0.435	0.552	0.273	0.068
SUBTOTAL	1.174	1.213	1.063	0.633	1.273	1.273	1.222	0.749	1.273	1.255	1.208	0.736	1.254	1.281	1.213	0.955	1.320	1.253	1.102	0.639
Contingency (5% of subtotal) ^b	0.059	0.061	0.053	0.044	0.064	0.064	0.061	0.052	0.064	0.063	0.060	0.052	0.063	0.064	0.061	0.053	0.066	0.063	0.055	0.048
Operation total (Relative value)	1.232	1.273	1.117	0.678	1.337	1.337	1.283	0.802	1.337	1.318	1.269	0.787	1.317	1.345	1.274	0.808	1.386	1.315	1.157	0.684
TOTAL (Relative value)	2.27	2.32	2.130	1.75	2.28	2.24	2.235	1.72	2.28	2.20	2.195	1.67	2.23	2.25	2.21	1.74	2.54	2.40	2.24	1.90

^a DCC: Direct capital cost.^b USSR accounts 7%.

Table 3.5 Plasma Parameters of JAERI Power Reactor

	Standard
Plasma Major Radius (m)	6.75
Plasma Minor Radius (m)	2.0
Aspect Ratio	3.375
Ellipticity	1.6
Triangularity	0.3
First Wall Radius (m)	2.2
Average Plasma Temperature (keV)	20
Average Plasma Density (m^{-3})	1.15×10^{20}
Average Fuel Density (m^{-3})	9.30×10^{19}
Toroidal Beta (Fuel) (%)	4.45
Total Toroidal Beta (%)	7
Poloidal Beta	1.11
Plasma Current (MA)	16.72
Safety Factor q_s	1.27
q_a	2.28
Magnetic Field at Plasma Axis (T)	5.32
Toroidal Field Ripple (%)	<2.0
Fusion Power (MW)	3200
Wall Load (MW/m^2)	3.37

Table 3.6 Adopted Criteria of Learning Curve

Reactor Equipment	Material	Learning Curve Criteria
Pump Limiter	SiC	② & ③
Blanket	SuS316	③
Shield	SuS316	③
Toroidal Coils	SuS316	③
	Cu & Nb ₃ Sn	② & ④
Poroidal Coils	SuS316	③
	Cu & NbTi	② & ④
Supports	SuS316	③
Center Cylinder	SuS316	③

Table 3.7 Comparison of Total Busbar Cost

Total Busbar Case Cost	Constant Dollar Economic Analysis Model	Current Dollar Economic Analysis Model
Standard Model	1.0	1.07
SC High Cost	1.36	1.44
Li ₂ O High Cost	1.23	1.34
He Cooling Blanket	0.74	0.79

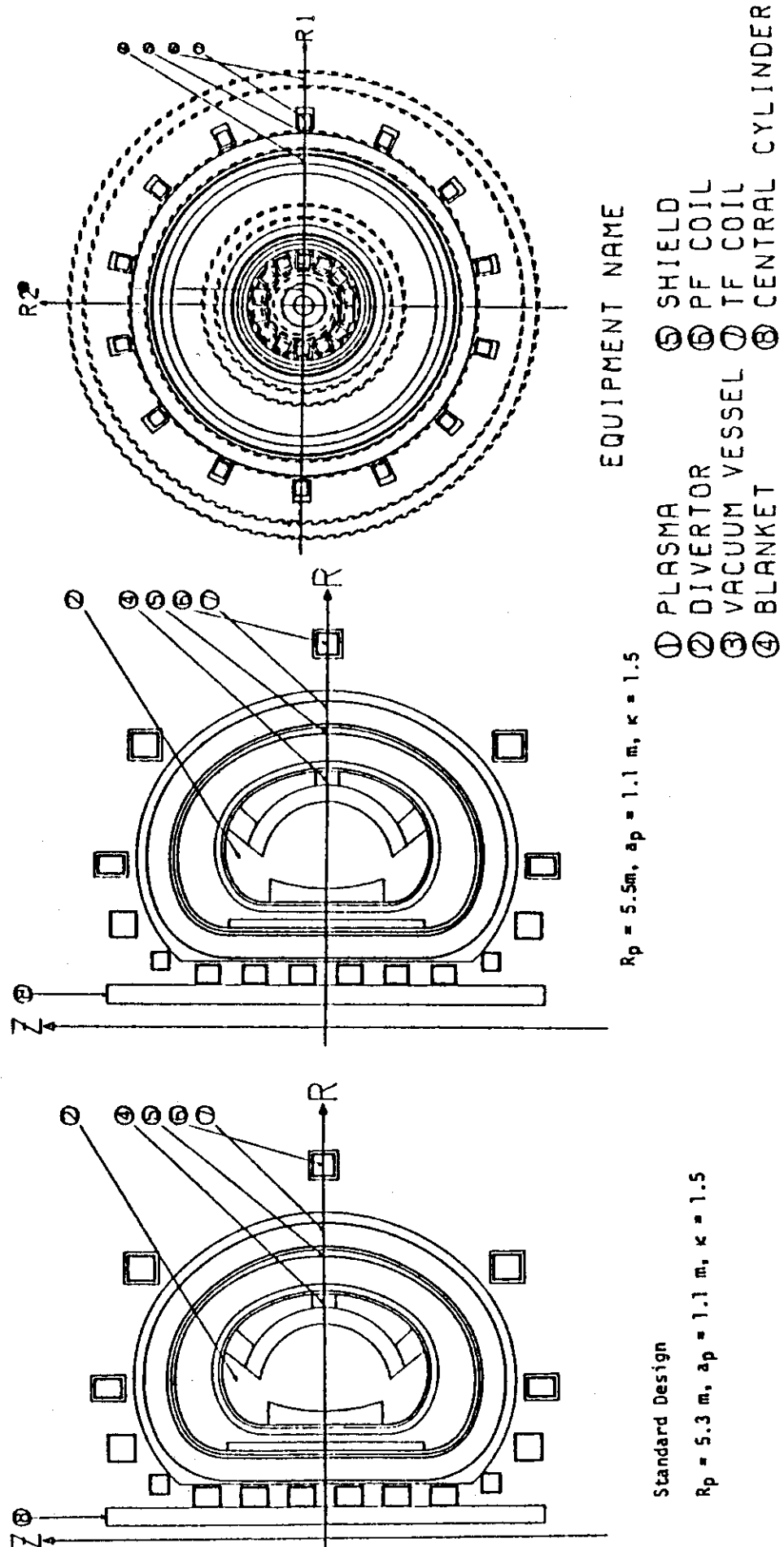


Fig. 3.1 Graphical Display of SPTR

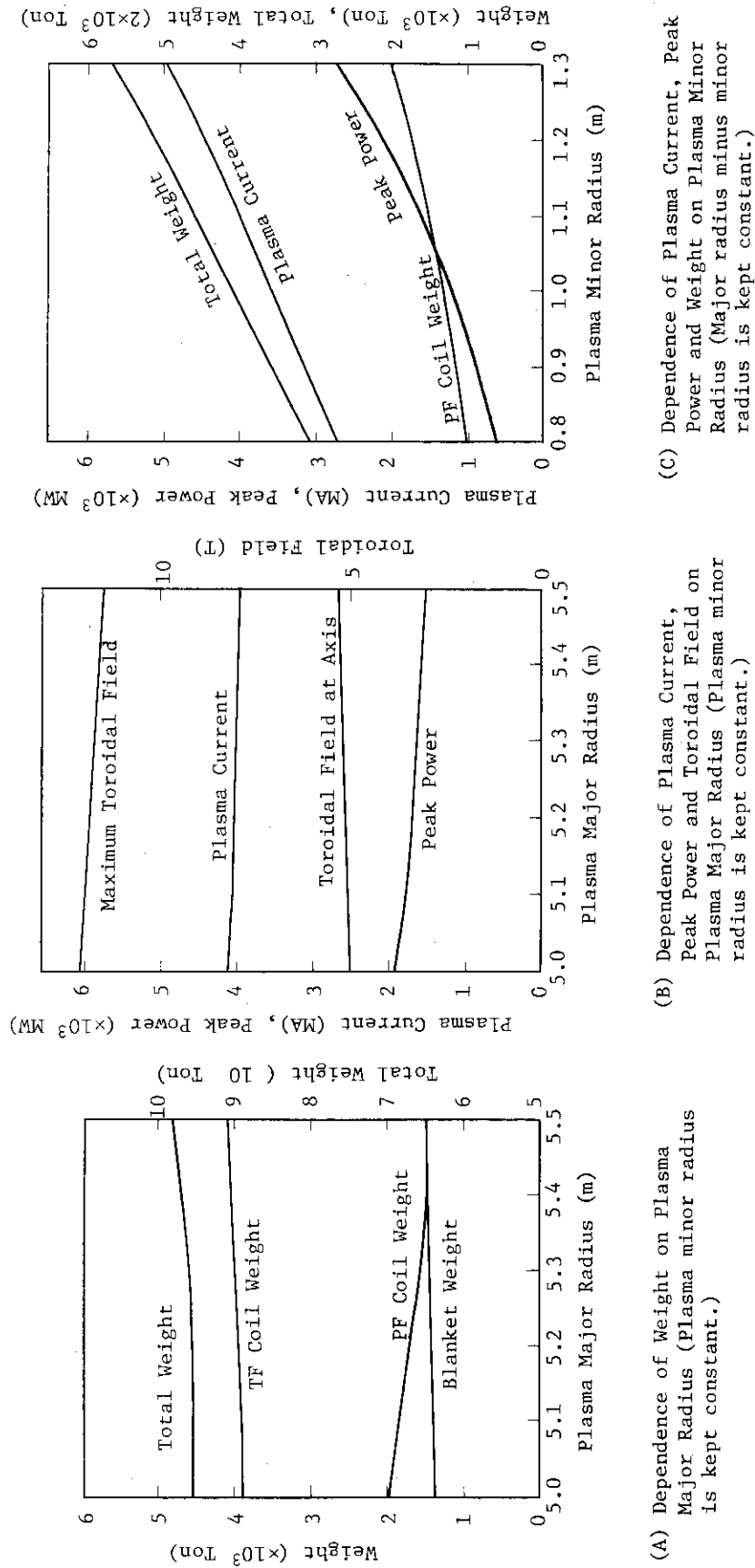
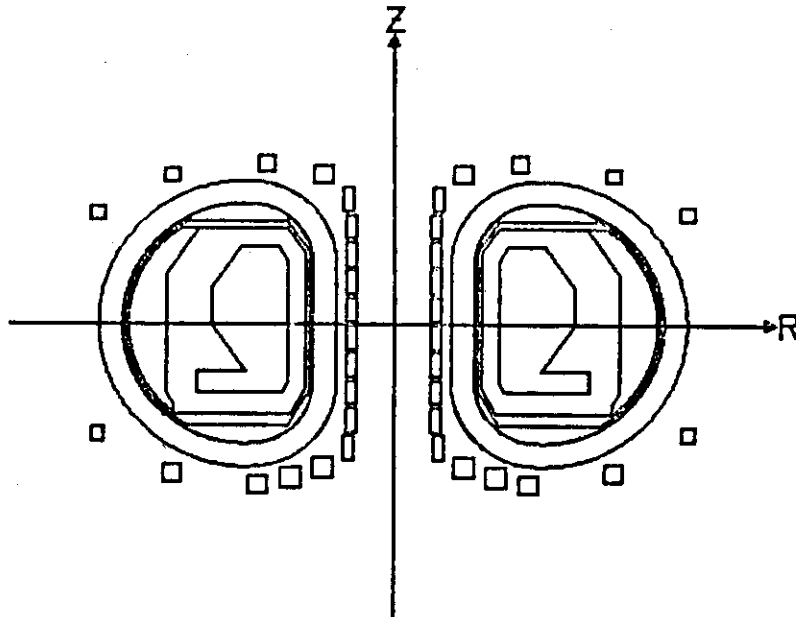


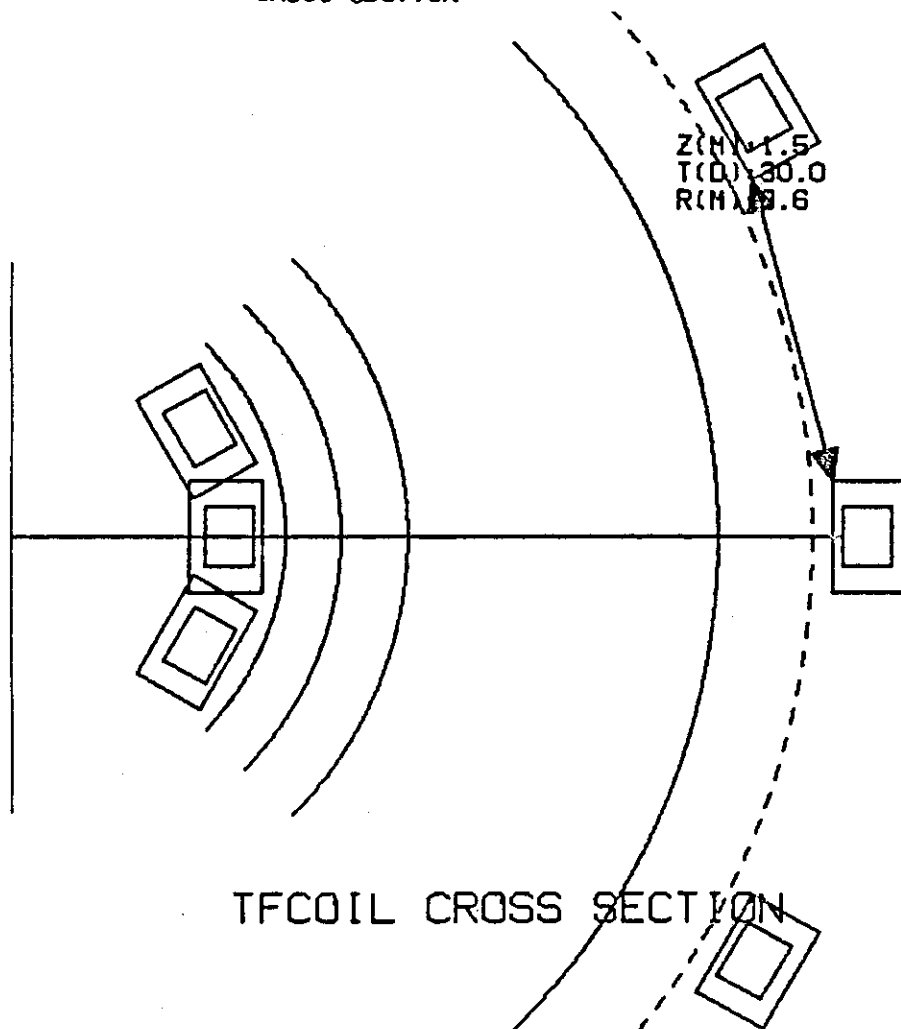
Fig. 3.2 Parameters dependency in sensitivity study of SPTR



SCALE 1/100
IN

*** TEST COMPUTATION OF FER-OPTION A ***

CROSS SECTION



TFCOIL CROSS SECTION

Fig. 3.3 Graphical Display of FER

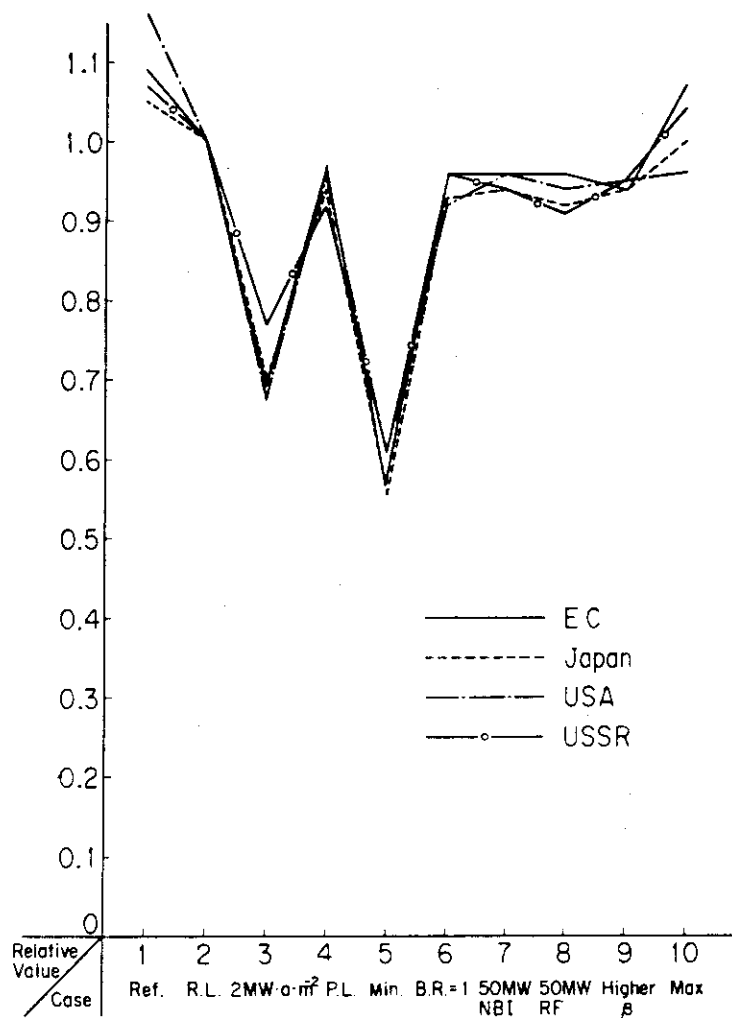


Fig. 3.4 Relative Value of Total Cost

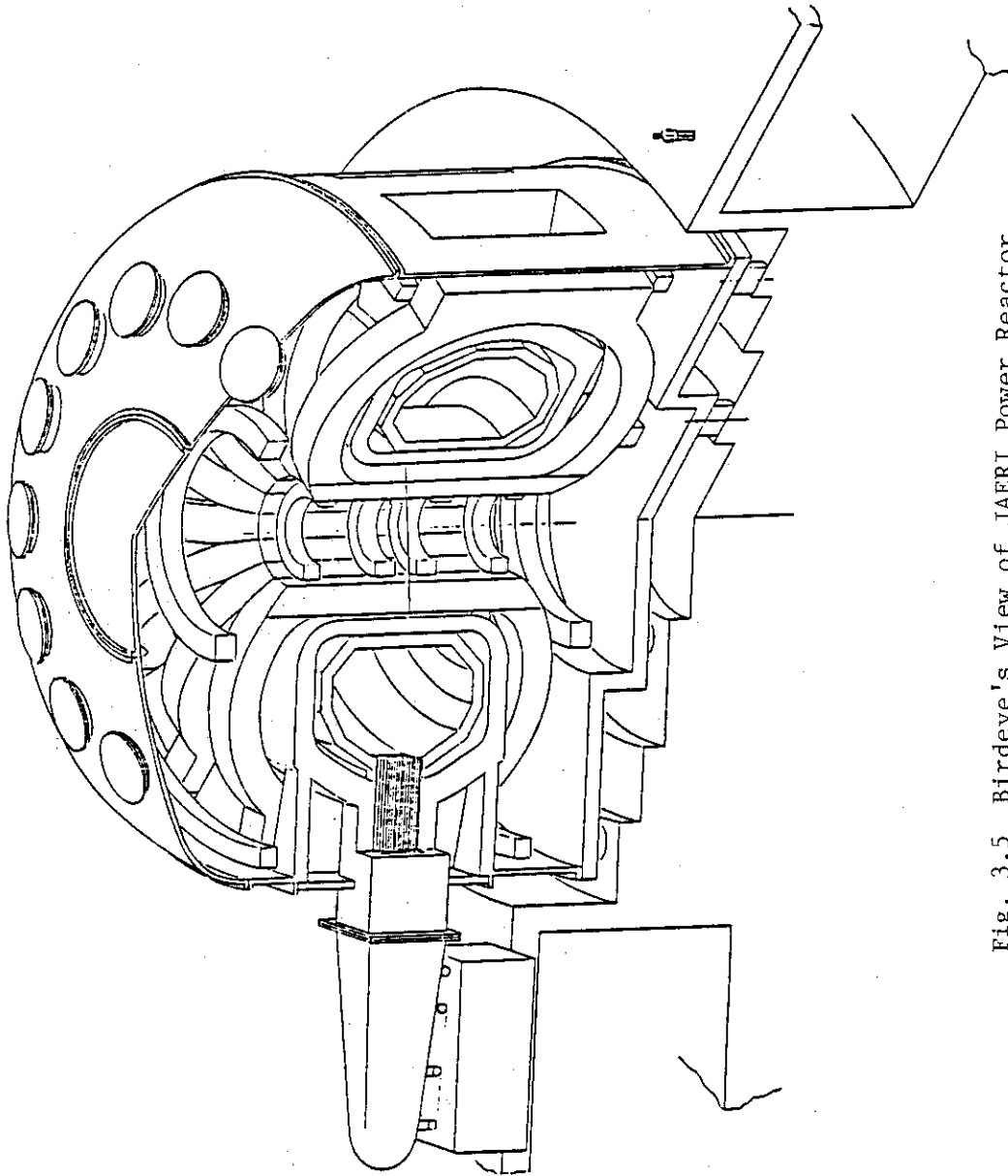
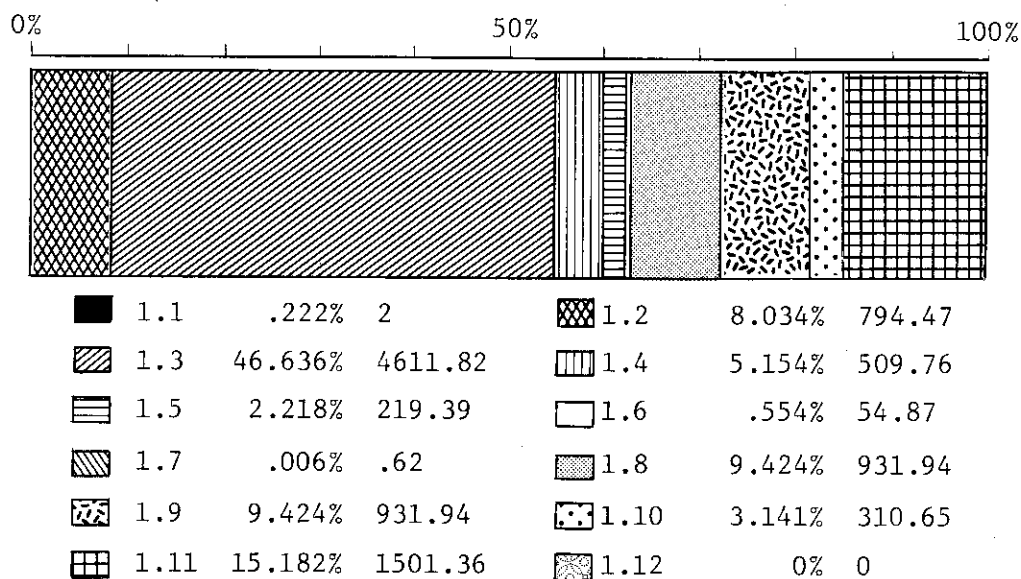
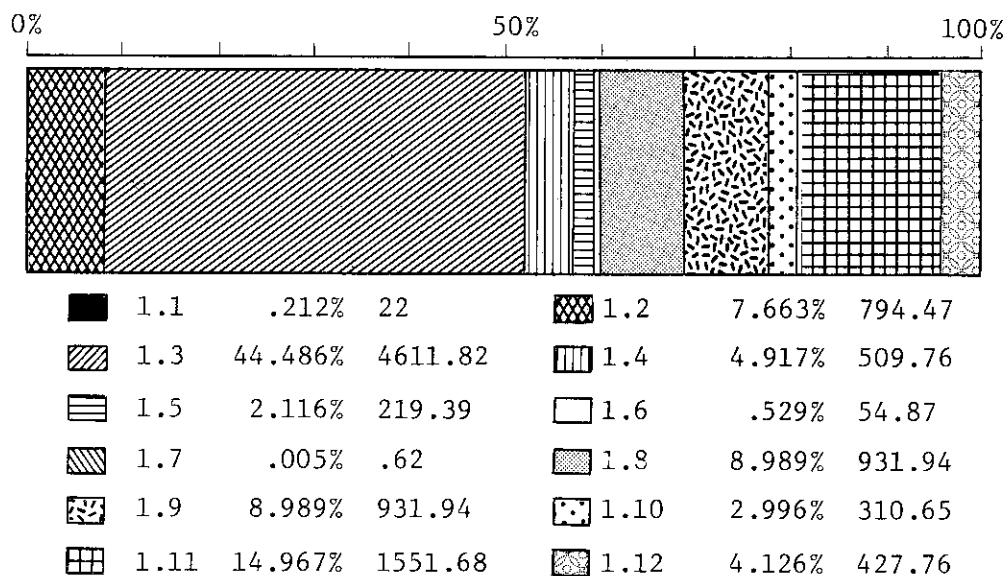


Fig. 3.5 Birdeye's View of JAERI Power Reactor

(Constant Dollar Economic Analysis Mode)

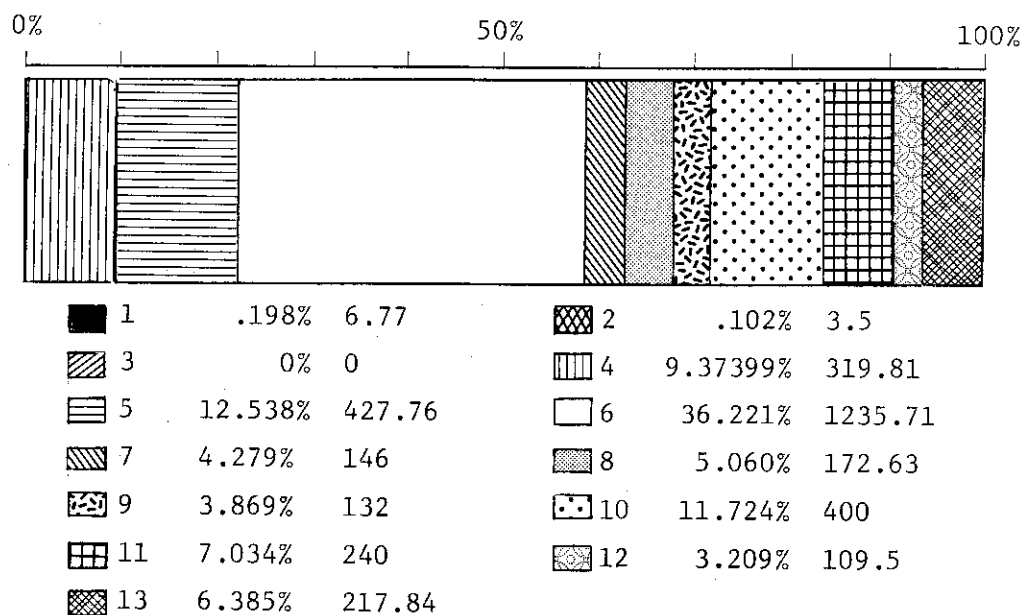


(Current Dollar Economic Analysis Mode)



- 1.1 land and right
- 1.2 structures and site facilities
- 1.3 reactor plant equipment
- 1.4 turbine plant equipment
- 1.5 electric plant equipment
- 1.6 miscellaneous plant equipment
- 1.7 special materials
- 1.8 construction facilities, equipment and services
- 1.9 engineering and construction management services
- 1.10 other cost
- 1.11 interest during construction
- 1.12 escalation during construction

Fig. 3.6 Plant cost for standard model



- (1) divertor plate or limiter plate
- (2) first wall
- (3) vacuum vessel
- (4) blanket
- (5) shield
- (6) toroidal field coil
- (7) poloidal field coil
- (8) support structure
- (9) bucking cylinder
- (10) magnet cryostat system
- (11) plasma heating system
- (12) vacuum system
- (13) power supply, switching and energy storage

Fig. 3.7 Reactor equipment cost for standard model

(Constant Dollar Economic Analysis Mode)

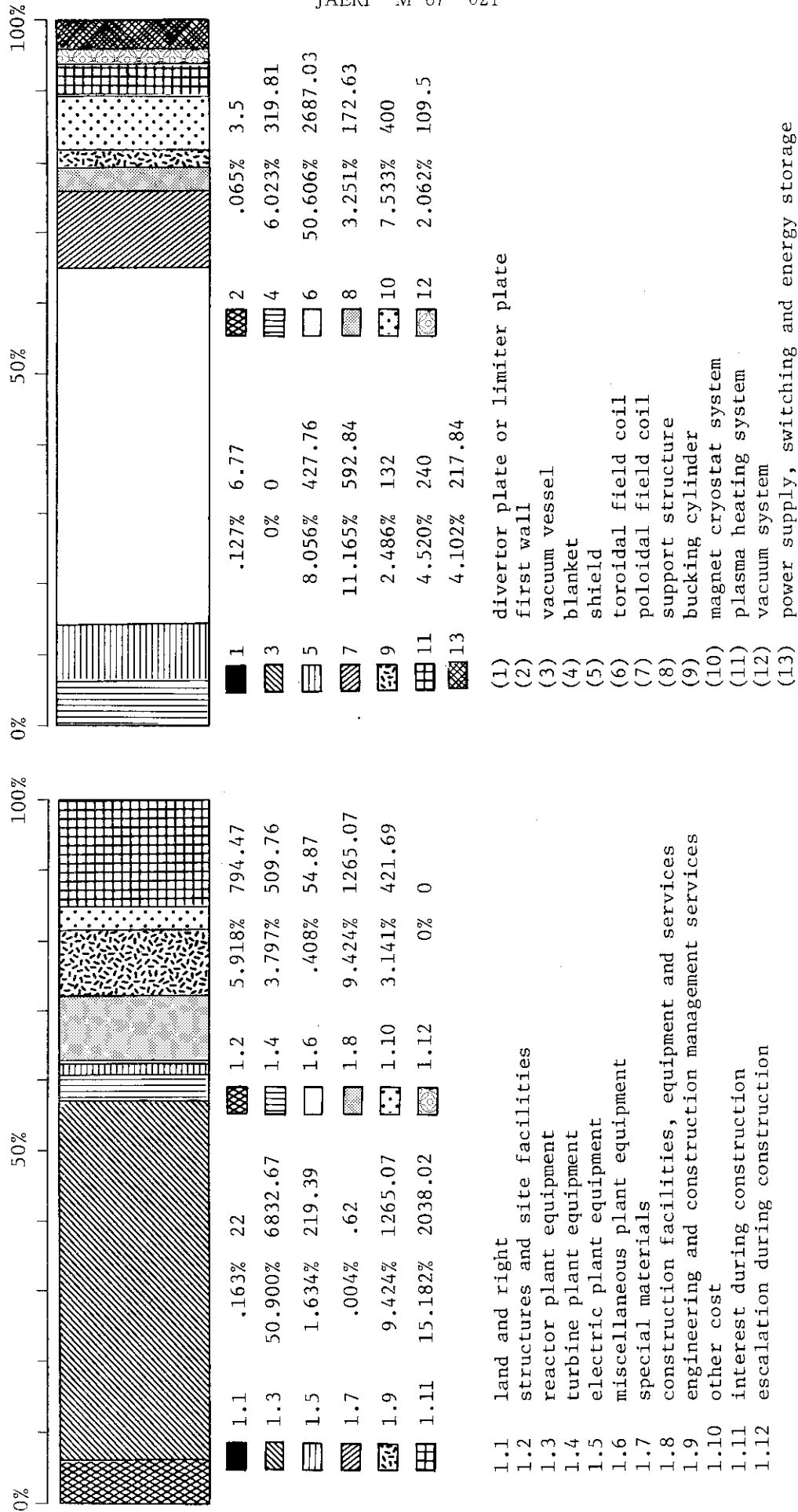
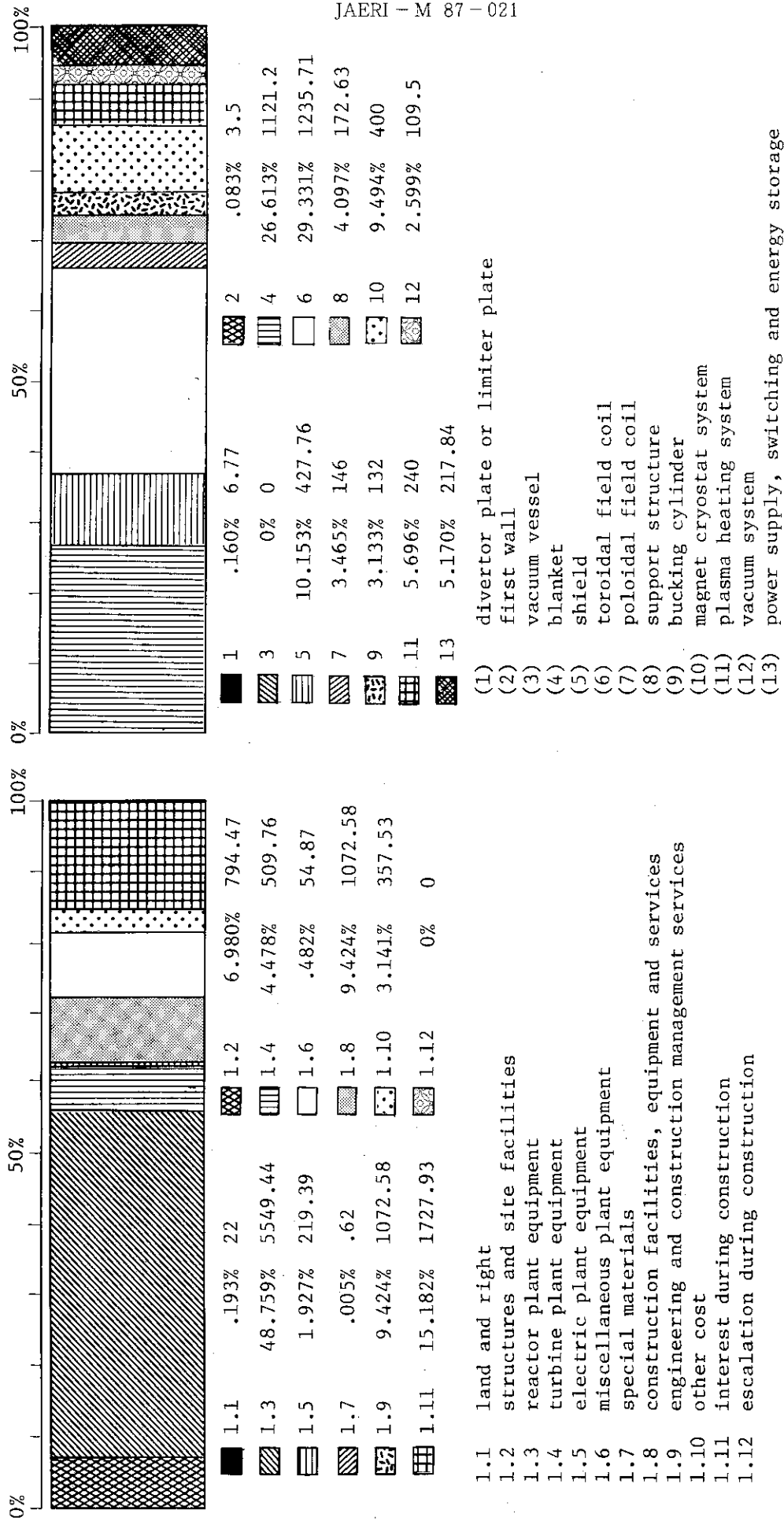


Fig. 3.8 Plant cost and reactor equipment cost for SC high cost

(Constant Dollar Economic Analysis Mode)

Fig. 3.9 Plant cost and reactor equipment cost for Li₂O high cost

(Constant Dollar Economic Analysis Mode)

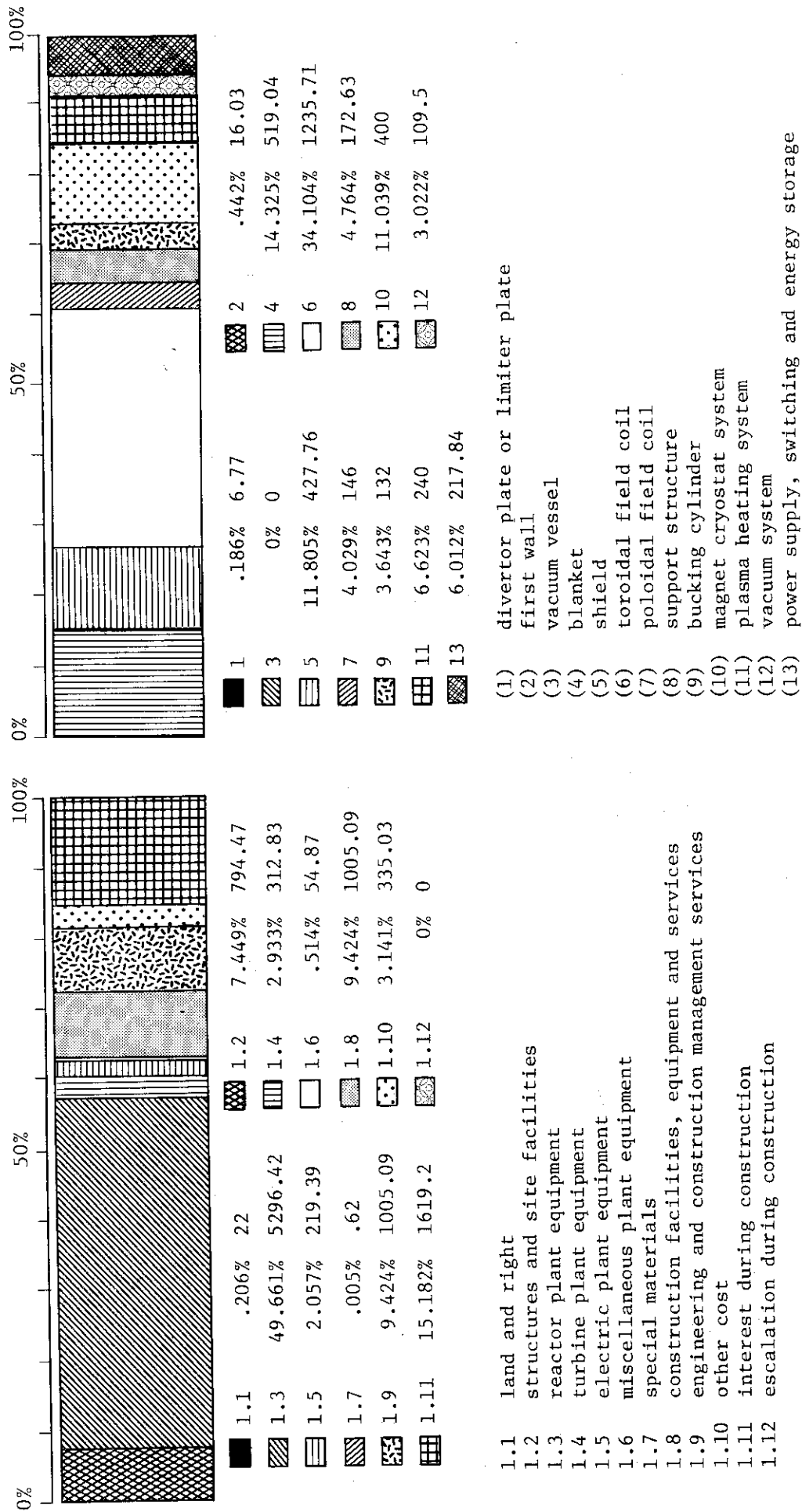


Fig. 3.10 Plant cost and reactor equipment cost for He cooling blanket

4. 今後の課題

前章の適用例からも判断されるように、本コードの機能は外部で既になされた、まとまりのある設計全体を本コードへの入力データ（必然的にデータ量は膨大となる）とし、これがそのままコード内部で参照設計となり、この参照設計の近傍の炉概念を矛盾なく創り出し（摂動設計）、その新しい炉システムの評価（各コンポーネントの容量及びコスト）を行うものである。いわゆる完全な“自動設計機能”は備えていないが、摂動設計が自動的に行われるだけでも設計検討作業の大巾な合理化がなされるので与えられた炉概念の定量的な解析・評価のため極めて有効である。

しかし、まとまりのある参照設計は別途なされていなければならない、またその入力の手間も相当なものである。したがって、設計検討作業のより一層の合理化を図るためには自動設計機能を有するコード、すなわち本コードへの入力作成コードの装備が必要である。

ここで言う自動設計とは、比較的少数の入力データと具体的な評価関数を与えて、互いに矛盾のない装置パラメータを求める、ということである。自動設計機能の概念的な流れ図を Fig.4.1 に示す。入力データは装置諸元そのものではなく、設計条件である。入力すべき設計条件には例えばコイルに対する許容最大磁場、許容核熱量等数値として与える場合と、例えば不純物制御方式としてダイバート方式あるいはリミタ方式のいずれかを選択する場合等、用意されている選択枝の中から指定する場合とが含まれる。

謝 辞

システム解析・評価コード TORSAC を開発するにあたり、臨界プラズマ研究部 田村早苗次長、吉川部長、苫米地顕那珂研究所長から支援と助言を載いたことを感謝します。

4. 今後の課題

前章の適用例からも判断されるように、本コードの機能は外部で既になされた、まとまりのある設計全体を本コードへの入力データ（必然的にデータ量は膨大となる）とし、これがそのままコード内部で参照設計となり、この参照設計の近傍の炉概念を矛盾なく創り出し（摂動設計）、その新しい炉システムの評価（各コンポーネントの容量及びコスト）を行うものである。いわゆる完全な“自動設計機能”は備えていないが、摂動設計が自動的に行われるだけでも設計検討作業の大巾な合理化がなされるので与えられた炉概念の定量的な解析・評価のため極めて有効である。

しかし、まとまりのある参照設計は別途なされていなければならない、またその入力の手間も相当なものである。したがって、設計検討作業のより一層の合理化を図るためには自動設計機能を有するコード、すなわち本コードへの入力作成コードの装備が必要である。

ここで言う自動設計とは、比較的少数の入力データと具体的な評価関数を与えて、互いに矛盾のない装置パラメータを求める、ということである。自動設計機能の概念的な流れ図を Fig.4.1 に示す。入力データは装置諸元そのものではなく、設計条件である。入力すべき設計条件には例えばコイルに対する許容最大磁場、許容核熱量等数値として与える場合と、例えば不純物制御方式としてダイバータ方式あるいはリミタ方式のいずれかを選択する場合等、用意されている選択枝の中から指定する場合とが含まれる。

謝 辞

システム解析・評価コード TORSAC を開発するにあたり、臨界プラズマ研究部 田村早苗次長、吉川部長、苫米地顕那珂研究所長から支援と助言を載いたことを感謝します。

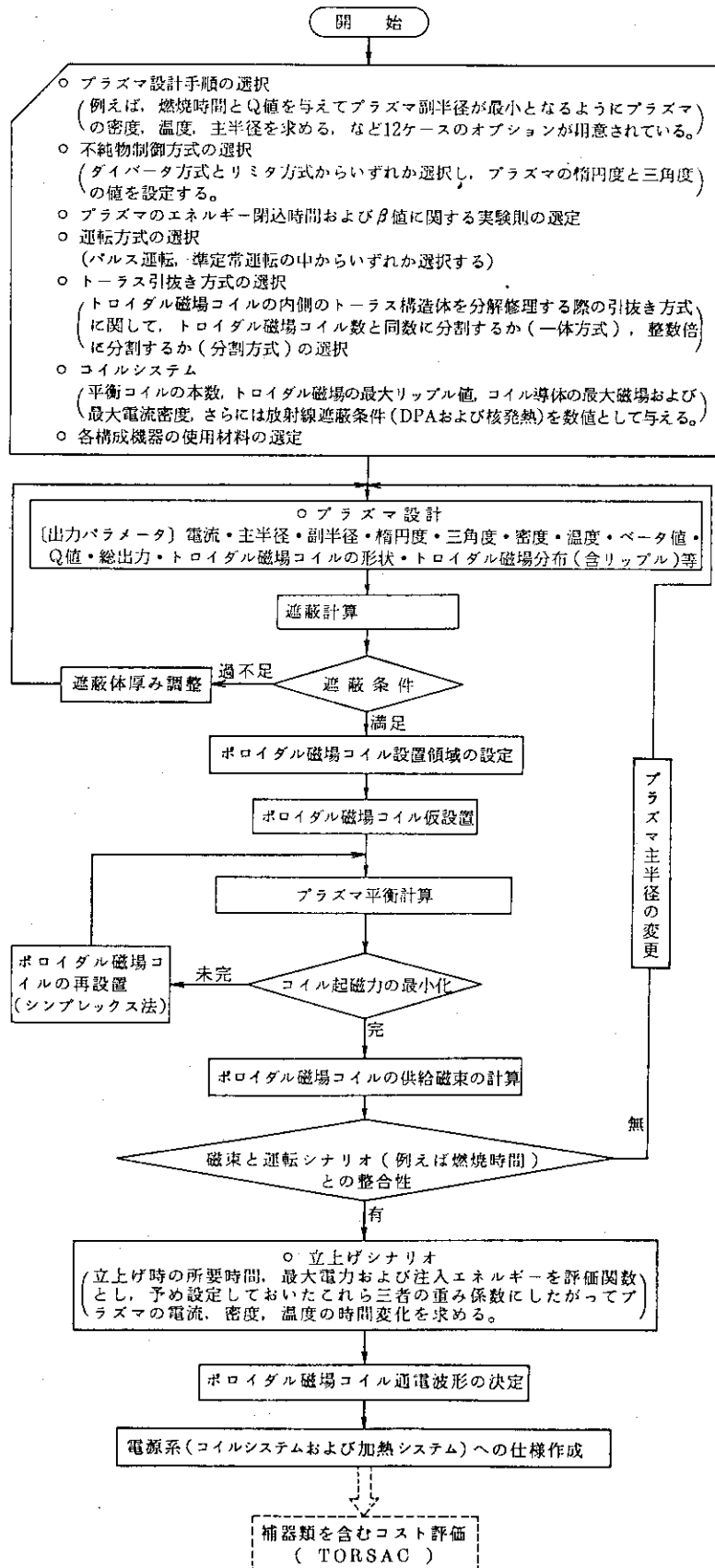


Fig. 4.1 自動設計機能の流れ図の概念

文 献

- (1) R.L. Reid and D. Steiner, Nuclear Technology/Fusion 4 (1983) 120.
- (2) R.L. Reid and K.F. Wu, "ETF SYSTEM CODE-COMPOSITION AND APPLICATIONS", CONF-801011-5.
- (3) D.A. Sink and E.M. Iwinski, "A COMPUTER CODE FOR THE COSTING AND SIZING OF TNS TOKAMAKS", Proceedings of the 7th Symposium on Engineering Problems of Fusion Research, IEEE Pub. No.77CH1267-4NPS.
- (4) L.M. Waganer, L.A. Carosella and D.A. Defreese, "ESTABLISHMENT OF DESIGN AND PERFORMANCE REQUIREMENTS USING COST AND SYSTEM ANALYSIS", Proceedings of the 7th Symposium on Engineering Problems of Fusion Research, IEEE Pub. No.77CH1267-4NPS.
- (5) M. Kasai, et al.: "The Sensitivity Study Code for Tokamak Devices", Proc. 9th Symp. Engineering Problems of Fusion Research, Chicago, Oct. 26~29, 1981, Vol.II, 1880 (IEEE, 1981).
- (6) T. Tone, et al.: "Design Studies of Tokamak Power Reactor in JAERI", Fusion Technology (Proc. 6th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, San Francisco, 1985), Vol.8, No.1, Part 2(A), 731 (1985).
- (7) INTOR Group: International Tokamak Reactor, Phase Two A Part I, IAEA, Vienna (1983).
- (8) T. Tone, et al.: "Design Study of a Tokamak Power Reactor", Proc. 3rd IAEA Technical Committee Meeting and Workshop on Fusion Reactor Design and Technology, Tokyo, Oct. 5~16, 1981, Vol.I., 273 (IAEA, Vienna, 1983).
- (9) 炉設計研究室: "トカマク型電動力炉システムの概念検討(スイミングプール型)", JAERI - M 83 - 120, (1983).
- (10) PNL-2648, "Fusion Reactor Design Studies Standard Accounts for Cost Estimate", May, 1978.
- (11) T. Tuda, et al., "Accessible Beta Value of Tokamaks", 10th Int. National Conf. on Plasma Phys. and Controlled Nucl. Fusion Research, London, UK, 1984.
- (12) F. Troyon, et al., Plasma Phys. 26 (1984) 209.
- (13) 二宮博正, 亀有昭久, 新谷吉郎, "JAERI - M 9127", 1980.
- (14) 新谷吉郎, 二宮博正, "JAERI - M 9278", 1981.
- (15) K. Sako, et al., "Design Study of Swimming Pool Type Tokamak Reactor (SPTR)", J. of Nucl. Sci. and Technol., Vol.19, No.6, 491~503, June, 1982.

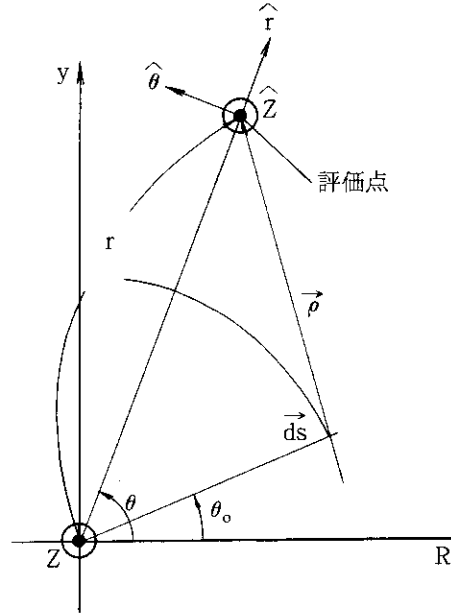
- (16) T. Tone, et al., in Fusion Technol. (Proc. 6th Topical Meeting on the Technol. of Fusion Energy, San Fransisco, 1985) Vol.8, No.1, Part 2(A) (1985) 731.
- (17) FER Design Team, JAERI-M 86-134.
- (18) PNL-2987, Sept. 1979.
- (19) E&C - ANL - 810930.
- (20) C.C. Baker, et al., ANL/FPP-80-1 (1980).

Appendix-A

磁場及び電磁力の表示式

A 1 矩形断面円弧電流の作る磁場

円弧中心を原点とした円柱座標を用いる。磁場の評価点を (r, θ, Z) とし、円弧を次式で表わすこととする。



$$\begin{cases} R = a_0 \cos \theta_0 = (a_0 + t) \cos \theta_0 \\ y = a_0 \sin \theta_0 = (a_0 + t) \sin \theta_0 \end{cases} \quad A 1-(1)$$

ただし、 a_0 は円弧状導体の中心線の半径で、 t は r 方向の厚さである。

微小要素 $d\vec{s}$ は次のように表わされる。

$$d\vec{s} = \begin{cases} (a_0 + t) \sin(\theta - \theta_0) d\theta_0 \\ (a_0 + t) \cos(\theta - \theta_0) d\theta_0 \\ 0 \end{cases} \quad A 1-(2)$$

また、ベクトル $\vec{\rho}$ および ρ^2 は次のようになる。

$$\vec{\rho} = \begin{cases} r - (a_0 + t) \cos(\theta - \theta_0) \\ (a_0 + t) \sin(\theta - \theta_0) \\ Z - Z_0 \end{cases} \quad A 1-(3)$$

$$\rho^2 = \{(a_0 + t) - r \cos(\theta - \theta_0)\}^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0) + (Z - Z_0)^2 \quad A 1-(4)$$

A 1-(2) 式および A 1-(3) 式より、 $\vec{\rho} \times d\vec{s}$ は次のようになる。

$$\vec{\rho} \times d\vec{s} = \begin{cases} -(Z - Z_0) (a_0 + t) \cos(\theta - \theta_0) d\theta_0 \\ (Z - Z_0) (a_0 + t) \sin(\theta - \theta_0) d\theta_0 \\ -(a_0 + t) \{(a_0 + t) - r \cos(\theta - \theta_0)\} d\theta_0 \end{cases} \quad A 1-(5)$$

$$B_r = -\frac{\mu_0}{4\pi} i \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\ell_1}^{\ell_2} \int_{Z_1}^{Z_2} \frac{-(Z - Z_0) \{f_{\rho 1} \cos(\theta - \theta_0) + r \cos^2(\theta - \theta_0)\}}{\{f_{\rho 1}^2 + (Z - Z_0)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)\}^{\frac{3}{2}}} d\theta_0 dt dZ_0$$

A 1-(6)

$$B_{\theta} = -\frac{\mu_0}{4\pi} i \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \int_{-\ell_z}^{\ell_z} \frac{(Z-Z_0) \{f_{\rho 1} \sin(\theta-\theta_0) + r \sin(\theta-\theta_0) \cos(\theta-\theta_0)\}}{\{f_{\rho 1}^2 + (Z-Z_0)^2 + r^2 \sin^2(\theta-\theta_0)\}^{\frac{3}{2}}} d\theta_0 dt dZ_0 \quad A1-(7)$$

$$B_z = -\frac{\mu_0}{4\pi} i \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \int_{-\ell_z}^{\ell_z} \frac{-f_{\rho 1}^2 - f_{\rho 1} r \cos(\theta-\theta_0)}{\{f_{\rho 1}^2 + (Z-Z_0)^2 + r^2 \sin^2(\theta-\theta_0)\}^{\frac{3}{2}}} d\theta_0 dt dZ_0 \quad A1-(8)$$

$$\text{ただし, } f_{\rho 1} = (a_0 + t) - r \cos(\theta - \theta_0) \quad A1-(9)$$

ℓ_1 : 円弧状コイルの半径方向半分厚

ℓ_2 : " Z方向半分巾

θ_1 : " 始点角

θ_2 : " 終点角 である。

A1-(6) ~ A1-(8)式を, まず Z_0 と t について積分する。そのためには, 次の4つの積分をすればよい。

$$I_1 = \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \int_{-\ell_z}^{\ell_z} \frac{(Z-Z_0) f_{\rho 1}}{\{f_{\rho 1}^2 + (Z-Z_0)^2 + r^2 \sin^2(\theta-\theta_0)\}^{\frac{3}{2}}} dt dZ_0 \quad A1-(10)$$

$$I_2 = \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \int_{-\ell_z}^{\ell_z} \frac{(Z-Z_0)}{\{f_{\rho 1}^2 + (Z-Z_0)^2 + r^2 \sin^2(\theta-\theta_0)\}^{\frac{3}{2}}} dt dZ_0 \quad A1-(11)$$

$$I_3 = \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \int_{-\ell_z}^{\ell_z} \frac{f_{\rho 1}^2}{\{f_{\rho 1}^2 + (Z-Z_0)^2 + r^2 \sin^2(\theta-\theta_0)\}^{\frac{3}{2}}} dt dZ_0 \quad A1-(12)$$

$$I_4 = \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \int_{-\ell_z}^{\ell_z} \frac{f_{\rho 1}}{\{f_{\rho 1}^2 + (Z-Z_0)^2 + r^2 \sin^2(\theta-\theta_0)\}^{\frac{3}{2}}} dt dZ_0 \quad A1-(13)$$

A1-(10)式は簡単に次のように積分できる。

$$I_1 = \rho_{11} - \rho_{21} - \rho_{12} + \rho_{22} \quad A1-(14)$$

$$\rho_{11} = [\{(a_0 + \ell_t) - r \cos(\theta - \theta_0)\}^2 + (Z - \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)]^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_{21} = [\{(a_0 - \ell_t) - r \cos(\theta - \theta_0)\}^2 + (Z - \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)]^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_{12} = [\{(a_0 + \ell_t) - r \cos(\theta - \theta_0)\}^2 + (Z + \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)]^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_{22} = [\{(a_0 - \ell_t) - r \cos(\theta - \theta_0)\}^2 + (Z + \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)]^{\frac{1}{2}}$$

A1-(11)式は次のようになる。

$$I_2 = \ell_n \left| \frac{f_{\rho 1}(\ell_t) + \rho_{11}}{f_{\rho 1}(-\ell_t) + \rho_{21}} \times \frac{f_{\rho 1}(-\ell_t) + \rho_{22}}{f_{\rho 1}(\ell_t) + \rho_{12}} \right| \quad A1-(15)$$

A1-(12)式は以下のように積分される。

$$\begin{aligned} I_3 &= \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \frac{f_{\rho 1}^2}{f_{\rho 1}^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)} \left\{ \frac{Z + \ell_z}{\sqrt{f_{\rho 1}^2 + (Z + \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)}} \right. \\ &\quad \left. - \frac{Z - \ell_z}{\sqrt{f_{\rho 1}^2 + (Z - \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)}} \right\} dt \\ &= (Z + \ell_z) \ell_n \left| \frac{f_{\rho 1}(\ell_t) + \rho_{12}}{f_{\rho 1}(-\ell_t) + \rho_{22}} \right| - (Z - \ell_z) \ell_n \left| \frac{f_{\rho 1}(\ell_t) + \rho_{11}}{f_{\rho 1}(-\ell_t) + \rho_{21}} \right| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \int_{-\ell_t}^{\ell_t} \frac{r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)}{f_{\rho 1}^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)} \left\{ \frac{Z + \ell_z}{\sqrt{f_{\rho 1}^2 + (Z + \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)}} \right. \\
& \quad \left. \frac{Z - \ell_z}{\sqrt{f_{\rho 1}^2 + (Z - \ell_z)^2 + r^2 \sin^2(\theta - \theta_0)}} \right\} dt \\
& = (Z - \ell_z) \ell_n \left| \frac{f_{\rho 1}(\ell_t) + \rho_{12}}{f_{\rho 1}(-\ell_t) + \rho_{22}} \right| - (Z - \ell_z) \ell_n \left| \frac{f_{\rho 1}(\ell_t) + \rho_{11}}{f_{\rho 1}(-\ell_t) + \rho_{21}} \right| \\
& \quad - r \sin(\theta - \theta_0) \left\{ \tan^{-1} \frac{(Z + \ell_z) f_{\rho 1}(\ell_t)}{\rho_{12} r \sin(\theta - \theta_0)} - \tan^{-1} \frac{(Z + \ell_z) f_{\rho 1}(\ell_t)}{\rho_{22} r \sin(\theta - \theta_0)} \right. \\
& \quad \left. - \tan^{-1} \frac{(Z - \ell_z) f_{\rho 1}(\ell_t)}{\rho_{11} r \sin(\theta - \theta_0)} + \tan^{-1} \frac{(Z - \ell_z) f_{\rho 1}(-\ell_t)}{\rho_{21} r \sin(\theta - \theta_0)} \right\} \quad A 1-(16)
\end{aligned}$$

A 1-(13)式は簡単に次のように求まる。

$$I_4 = \ell_n \left| \frac{Z - \ell_z + \rho_{11}}{Z - \ell_z + \rho_{21}} \times \frac{Z + \ell_z + \rho_{22}}{Z - \ell_z + \rho_{12}} \right| \quad A 1-(17)$$

以上の結果より、 $\vec{B}$ は次のように表わせられる。

$$B_r = \frac{\mu_0}{4\pi} i \int_{\theta_1}^{\theta_2} \{I_1 + I_2 \cos(\theta - \theta_0)\} \cos(\theta - \theta_0) d\theta_0 \quad A 1-(18)$$

$$B_\theta = -\frac{\mu_0}{4\pi} i \int_{\theta_1}^{\theta_2} \{I_1 + I_2 \cos(\theta - \theta_0)\} \sin(\theta - \theta_0) d\theta_0 \quad A 1-(19)$$

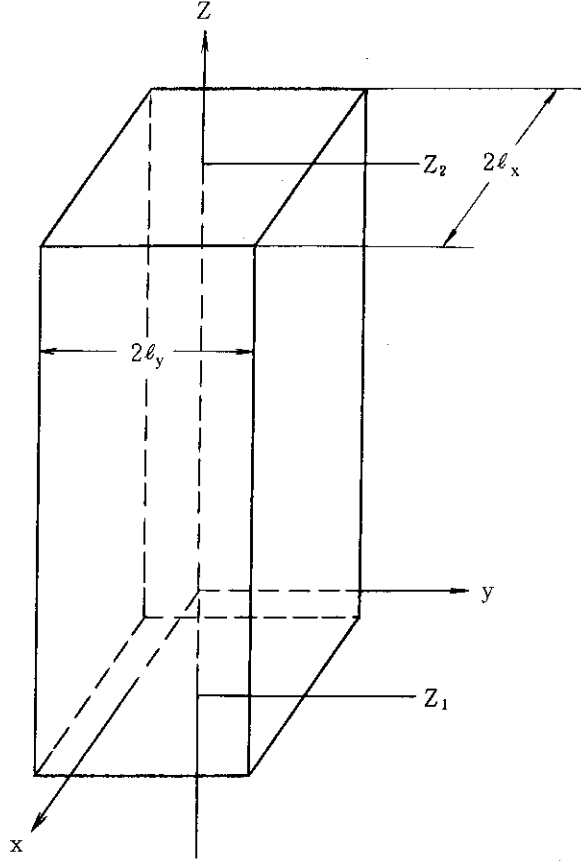
$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} i \int_{\theta_1}^{\theta_2} \{I_3 + I_4 r \cos(\theta - \theta_0)\} d\theta_0 \quad A 1-(20)$$

なお、 θ_0 に関する積分については、ガウス積分法を用いた数値積分で行うこととする。

A2 矩形断面直線状電流の作る磁場

コイル中心軸はZ軸と一致しているとする。また、x方向、y方向のコイル厚をそれぞれ、 $2\ell_x$ 、 $2\ell_y$ とする。

$\vec{B} = (B_x, B_y, 0)$ は次のように書ける。



$$B_x = -\frac{\mu_0 I}{16\pi \ell_x \ell_y} \int_{-\ell_x}^{\ell_x} \int_{-\ell_y}^{\ell_y} \int_{-Z_2}^{Z_2} \frac{(y-y')}{\{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (Z-Z')^2\}^{\frac{3}{2}}} dx' dy' dz' \quad A2-(1)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{16\pi \ell_x \ell_y} \int_{-\ell_x}^{\ell_x} \int_{-\ell_y}^{\ell_y} \int_{-Z_2}^{Z_2} \frac{(x-x')}{\{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (Z-Z')^2\}^{\frac{3}{2}}} dx' dy' dz' \quad A2-(2)$$

A2-(1), A2-(2) 式を積分すると、 B_x 、 B_y はそれぞれ次式のように求まる。

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{32\pi \ell_x \ell_y} \{J_x(Z_1) - J_x(Z_2)\} \quad A2-(3)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{32\pi \ell_x \ell_y} \{J_y(Z_1) - J_y(Z_2)\} \quad A2-(4)$$

ただし、 $J_x(Z_i)$ 、 $J_y(Z_i)$ ($i = 1, 2$) は以下に示す式で定義される。

$$J_x(Z_i) = -(x - \ell_x) \ell_y \frac{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)}$$

$$\begin{aligned}
& + (x + \ell_x) \ell_n \frac{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)} \\
& + (x - \ell_x) \ell_n \frac{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)} \\
& - (x + \ell_x) \ell_n \frac{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)} \\
& + 2 (Z - Z_i) \ell_n \frac{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (x - \ell_x)}{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (x + \ell_x)} \\
& + 2 (Z - Z_i) \ell_n \frac{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (x - \ell_x)}{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (x + \ell_x)} \\
& - 2 (y - \ell_y) \tan^{-1} \frac{(x - \ell_x) (Z - Z_i)}{(y - \ell_y) \sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}} \\
& + 2 (y - \ell_y) \tan^{-1} \frac{(x + \ell_x) (Z - Z_i)}{(y - \ell_y) \sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}} \\
& + 2 (y + \ell_y) \tan^{-1} \frac{(x - \ell_x) (Z - Z_i)}{(y + \ell_y) \sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}} \\
& - 2 (y + \ell_y) \tan^{-1} \frac{(x + \ell_x) (Z - Z_i)}{(y + \ell_y) \sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}}
\end{aligned}$$

A2-(5)

$$\begin{aligned}
J_y(Z_i) = & - (y - \ell_y) \ell_n \frac{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)} \\
& + (y + \ell_y) \ell_n \frac{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)} \\
& + (y - \ell_y) \ell_n \frac{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)} \\
& + (y + \ell_y) \ell_n \frac{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} - (Z - Z_i)}{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (Z - Z_i)} \\
& + 2 (Z - Z_i) \ell_n \frac{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (y - \ell_y)}{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (y + \ell_y)} \\
& - 2 (Z - Z_i) \ell_n \frac{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (y - \ell_y)}{\sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2} + (y + \ell_y)} \\
& - 2 (x - \ell_x) \tan^{-1} \frac{(y - \ell_y) (Z - Z_i)}{(x - \ell_x) \sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}} \\
& + 2 (x - \ell_x) \tan^{-1} \frac{(y + \ell_y) (Z - Z_i)}{(x - \ell_x) \sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}} \\
& + 2 (x + \ell_x) \tan^{-1} \frac{(y - \ell_y) (Z - Z_i)}{(x + \ell_x) \sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}} \\
& - 2 (x + \ell_x) \tan^{-1} \frac{(y + \ell_y) (Z - Z_i)}{(x + \ell_x) \sqrt{(x + \ell_x)^2 + (y + \ell_y)^2 + (Z - Z_i)^2}}
\end{aligned}$$

A2-(6)

次に特異点について考える。問題となるのは $(x = \pm \ell_x, y = \pm \ell_y)$ の4辺である。1例として $(x = \ell_x, y = \ell_y)$ を考える。これで問題となるのは J_x, J_y の第1項, 第5項, 第7項である。

(a) 第1項 (J_x で考える)

$Z = Z_1$ の面上では第1項は0である。また $x = \ell_x$ の面上でも同様0である。 $y = \ell_y$ の面上で、 $(x = \ell_x, y = \ell_y)$ の辺にむけて極限値を求めると、第1項は次のようになる。

$$\text{第1項} \Rightarrow -(x - \ell_x) \ell_n \frac{(x - \ell_x)^2}{\{\sqrt{(x - \ell_x)^2 + (y - \ell_y)^2 + (Z - Z_1)^2} + (Z - Z_1)\}^2} \Rightarrow 0$$

したがって、辺および角では第1項を0としてよい。

(b) 第5項

(1)と同様、 $Z = Z_1$ の面上では0である。また $(x = \ell_x, y = \ell_y)$ の边上では、第5項は下に示す項を含むことになり、 $Z \rightarrow Z_1$ の極限で0となる。

$$f = (Z - Z_1) \ell_n (Z - Z_1) \quad \lim_{Z \rightarrow Z_1} f = 0$$

したがって第5項は、角点で0となる。また辺では特異点でない。

(c) 第7項

$\tan^{-1}$ の引数が $[-\infty, \infty]$ でも、値は $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ なる有限の範囲にある。したがって、 $x = \ell_x, y = \ell_y, Z = Z_1$ の各面上で第7項は0となり、また角点でも0となる。

(a), (b), (c)より、特異点となる項はすべて0とおいてよいことが理解される。

A3 ポロイダルコイルによる磁場およびコイル間電磁力

1. ポロイダルコイルによる磁場

主半径方向の磁場 B_R ，垂直方向の磁場 B_z ，それぞれ次のように書ける。

$$B_R = \frac{\mu_0}{2\pi} I \frac{Z - Z_0}{R \sqrt{(R+R_0)^2 + (Z-Z_0)^2}} \left\{ -K + \frac{R^2 + R_0^2 + (Z-Z_0)^2}{(R-R_0)^2 + (Z-Z_0)^2} E \right\} \quad A3-(1)$$

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} I \frac{1}{\sqrt{(R+R_0)^2 + (Z-Z_0)^2}} \left\{ K + \frac{R_0^2 - R^2 - (Z-Z_0)^2}{(R-R_0)^2 + (Z-Z_0)^2} E \right\} \quad A3-(2)$$

ただし

R_0 : ポロイダルコイルの半径

Z_0 : ポロイダルコイルの垂直方向位置

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}}, \quad E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} d\theta$$

$$k^2 = \frac{4R_0R}{(R+R_0)^2 + (Z-Z_0)^2} \quad \text{である。}$$

2. ポロイダルコイル間相互力

ポロイダルコイル j によりポロイダルコイル i に働く電磁力を求める。ポロイダルコイル i に働く拡張力 F_{Ri} ，垂直力 F_{zi} は上式を用いてそれぞれ次のように書ける。

$$F_R = \mu_0 R_i I_i I_j \frac{1}{\sqrt{(R_i+R_j)^2 + (Z_i-Z_j)^2}} \left\{ K + \frac{R_j^2 - R_i^2 - (Z_i-Z_j)^2}{(R_i-R_j)^2 + (Z_i-Z_j)^2} E \right\} \quad A3-(3)$$

$$F_z = \mu_0 I_i I_j \frac{Z_i - Z_j}{\sqrt{(R_i+R_j)^2 + (Z_i-Z_j)^2}} \left\{ -K + \frac{R_j^2 + R_i^2 + (Z_i - Z_j)^2}{(R_i - R_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2} E \right\} \quad A3-(4)$$

ただし，

I_i : コイル i に流れる電流（アンペアターン）

R_i : コイル i の半径

Z_i : コイル i の垂直方向位置

3. ポロイダルコイルの自己拡張力

ポロイダルコイルの断面を等価的な円形断面として近似する。（断面積を等しくする）

自己拡張力 F_R^S は次のように表わされる。

$$F_R^S = \frac{1}{2} \mu_0 I^2 \left(\ell_n \frac{8R}{a} - \frac{3}{4} \right) \quad A3-(5)$$

4. ポロイダルコイル拡張力による平均応力

ポロイダルコイルの拡張力による平均応力 σ_R は，次のようになる。

$$\sigma_R^i = \left(\sum_{j \neq i} F_R^j + F_R^S \right) / (2\pi S_i) \quad A3-(6)$$

ただし， S_i はポロイダルコイル i の断面積であり， $\sum_{j \neq i} F_R^j$ は，他のコイルからの拡張力の和を示す。

A4 トロイダルコイル倒し力に関する式

1. ポロイダル磁場分布の解析解

ポロイダル角度方向の磁場 B_φ 、小半径方向の磁場 B_r はそれぞれ次のように書ける。

$$B_\varphi = -\frac{\mu_0 I_p}{2\pi r} + \left[\frac{\mu_0 I_p}{4\pi R_0} \ell_n \frac{8R_0}{r} - \frac{1}{R_0} \left\{ \frac{\mu_0 I_p}{4\pi} \left(\ell_n \frac{8R_0}{a} + A - \frac{1}{2} \right) + \frac{\mu_0 I_p}{4\pi r^2} a^2 \left(A + \frac{1}{2} \right) \right\} \right] \cos \varphi \quad A4-(1)$$

$$B_r = \left[\frac{\mu_0 I_p}{4\pi R_0} \left(\ell_n \frac{8R_0}{r} - 1 \right) - \frac{1}{R_0} \left\{ \frac{\mu_0 I_p}{4\pi} \left(\ell_n \frac{8R_0}{a} + A - \frac{1}{2} \right) - \frac{\mu_0 I_p}{4\pi r^2} a^2 \left(A + \frac{1}{2} \right) \right\} \right] \sin \varphi \quad A4-(2)$$

上式より垂直方向磁場 B_z 、水平方向磁場 B_R は次のように求まる。

$$\begin{aligned} B_R &= B_r \cos \varphi - B_\varphi \sin \varphi \\ &= \frac{\mu_0 I_p}{2\pi r} \sin \varphi - \frac{\mu_0 I_p}{4\pi R_0} \left\{ 1 + 2 \left(\frac{a}{r} \right)^2 \left(A + \frac{1}{2} \right) \right\} \sin \varphi \cos \varphi \end{aligned} \quad A4-(3)$$

$$\begin{aligned} B_z &= B_r \sin \varphi + B_\varphi \cos \varphi \\ &= -\frac{\mu_0 I_p}{2\pi r} \cos \varphi + \frac{\mu_0 I_p}{4\pi R_0} \ell_n \frac{8R_0}{r} - \frac{\mu_0 I_p}{4\pi R_0} \left(\ell_n \frac{8R_0}{a} + A - \frac{1}{2} \right) \\ &\quad + \frac{\mu_0 I_p}{4\pi R_0} \left(\frac{a}{r} \right)^2 \left(A + \frac{1}{2} \right) \cos 2\varphi - \frac{\mu_0 I_p}{4\pi R_0} \sin^2 \varphi \end{aligned} \quad A4-(4)$$

ただし、 $A = \beta_p + \ell_i / 2 - 1$ であり、 ℓ_i はプラズマの内部インダクタンスである。

2. 転倒力

トロイダルコイルのある要素に流れる電流ベクトルを $\vec{i}$ 、高さを $h(\varphi)$ とすると総転倒力 (転倒モーメント) M は次式より計算できる。

$$M = 2 \int_s \int_0^\pi (\vec{i} \times \vec{B}) h(\varphi) \delta \ell(\varphi) d\varphi dS \quad A4-(5)$$

ただし、 $\delta \ell(\varphi)$ はトロイダルコイルの要素の長さである。また S はコイルの断面についての積分を意味する。

3. 転倒力支持ビームに働く曲げ応力

転倒力支持ビームに働く曲げ応力 σ_B は次のように書ける。

$$\sigma_B = \frac{M}{Z} \quad Z: \text{断面係数} \quad A4-(6)$$

ただし、 Z は形状の依存性が極めて強いので、 σ_B を与えて、 Z を求めることとする。

Appendix-B

Algorithm of Economic Analysis

1. Capital Cost

1. 1 Land and Land Rights (P_{LLR})

$$P_{LLR} = CL(1) + CL(2) ALND$$

CL(1) : Unit Cost of Land (\$/km²)

CL(2) : Unit Cost of Site Cleaning (\$/km²)

ALND : Site Area (km²)

1. 2 Structures and Site Facilities (P_{SSF})1. 2. 1 Site Improvements and Facilities (P_{SIF})

$$P_{SIF} = CRU(1) \text{ (Constant)}$$

1. 2. 2 Reactor Building (P_{RB})

$$P_{RB} = CRV V_{RBW} + CRS(2) SR(2) + CRU(2)$$

$$V_{RBW} = FR(2) VR(2)$$

CRV(2): Unit Cost of Reactor Building (\$/m³)

CRS(2): Unit Cost of Reactor Building (\$/m²)

CRU(2): Cost of Reactor Building Utilities (\$)

VR(2) : Volume of Reactor Building (m³)

V_{RBW} : Volume of Reactor Building Wall (m³)

SR(2) : Floor Area of Reactor Building (m²)

FR(2) : Volume Fraction of Reactor Building Wall

1. 2. 3 Hot Cell Building (P_{HCB})

$$P_{HCB} = CRV(3) V_{HCBW} + CRS(3) SR(3) + CRU(3)$$

$$V_{HCBW} = FR(3) VR(3)$$

CRV(3): Unit Cost of Hot Cell Building (\$/m³)

CRS(3): Unit Cost of Hot Cell Building (\$/m²)

CRU(3): Cost of Hot Cell Building Utilities (\$)

VR(3) : Volume of Hot Cell Building (m³)

V_{HCBW} : Volume of Hot Cell Building Wall (m³)

SR(3) : Floor Area of Hot Cell Building (m²)

FR(3) : Volume Fraction of Hot Cell Building Wall

1. 2. 4 Fuel Handling and Storage Building (P_{FHS})

$$P_{FHS} = CRV(4) V_{FHSW} + CRS(4) SR(4) + CRU(4)$$

$$V_{FHSW} = FR(4) VR(4)$$

CRV(4): Unit Cost of Fuel Handling and
Storage Building (\$/m³)

CRS(4): Unit Cost of Fuel Handling and
Storage Building (\$M/m²)
CRU(4): Cost of Fuel Handling and
Storage Building Utilities (\$M)
VR(4) : Volume of Fuel Handling and
Storage Building (m³)
V_{FHSW} : Volume of Fuel Handling and
Storage Building Wall (m³)
SR(4) : Floor Area of Fuel Handling and
Storage Building (m²)
FR(4) : Volume Fraction of Fuel Handling and
Storage Building Wall

1. 2. 5 Radioactive Waste Building (P_{RWB})

P_{RWB} = CRV(5) V_{RWBW} + CRS(5) SR(5) + CRU(5)
V_{RWBW} = FR(5) VR(5)
CRV(5): Unit Cost of Radioactive Waste Building (\$M/m³)
CRS(5): Unit Cost of Radioactive Waste Building (\$M/m²)
CRU(5): Cost of Radioactive Waste Building Utilities (\$M)
VR(5) : Volume of Radioactive Waste Building (m³)
V_{RWBW} : Volume of Radioactive Waste Building Wall (m³)
SR(5) : Floor Area of Radioactive Waste Building (m²)
FR(5) : Volume Fraction of Radioactive Waste Building Wall

1. 2. 6 Control Room Building (P_{CRB})

P_{CRB} = CRV(6) V_{CRBW} + CRS(6) SR(6) + CRU(6)
V_{CRBW} = FR(6) VR(6)
CRV(6): Unit Cost of Control Room Building (\$M/m³)
CRS(6): Unit Cost of Control Room Building (\$M/m²)
CRU(6): Cost of Control Room Building Utilities (\$M)
VR(6) : Volume of Control Room Building (m³)
V_{CRBW} : Volume of Control Room Building Wall (m³)
SR(6) : Floor Area of Control Room Building (m²)
FR(6) : Volume Fraction of control Room Building Wall

1. 2. 7 Electrical Equipment and Power Supply Building (P_{EPS})

P_{EPS} = CRV(7) V_{EPSW} + CRS(7) SR(7) + CRU(7)
V_{EPSW} = FR(7) VR(7)
CRV(7) : Unit Cost of Electrical Equipment and
Power Supply Building (\$M/m³)

CRS(7): Unit Cost of Electrical Equipment and
Power Supply Building (\$/m²)

CRU(7): Cost of Electrical Equipment and
Power Supply Building Utilities (\$M)

VR(7) : Volume of Electrical Equipment and
Power Supply Building (m³)

V_{EPSW} : Volume of Electrical Equipment and
Power Supply Building Wall (m³)

SR(7) : Floor Area of Electrical Equipment and
Power Supply Building (m²)

FR(7) : Volume Fraction of Electrical Equipment and
Power Supply Building Wall

1. 2. 8 Cooling System Structure (P_{CSS})

$$P_{CSS} = CRU(8) \text{ (Constant)}$$

1. 2. 9 Cryogenics and Inert Gas Storage Building (P_{CIS})

$$P_{CIS} = CRV(9) V_{CISW} + CRS(9) VR(9) + CRU(9)$$

$$V_{CISW} = FR(9) VR(9)$$

CRV(9): Unit Cost of Cryogenics and Inert Gas
Storage Building (\$/m³)

CRS(9): Unit Cost of Cryogenics and Inert Gas
Storage Building (\$/m³)

CRU(9): Cost of Cryogenics and Inert Gas Storage
Building Utilities (\$M)

VR(9) : Volume of Cryogenics and Inert Gas
Storage Building (m³)

V_{CISW} : Volume of Cryogenics and Inert Gas
Storage Building Wall (m³)

SR(9) : Floor Area of Cryogenics and Inert Gas
Storage Building (m²)

FR(9) : Volume Fraction of Cryogenics and Inert
Gas Storage Building Wall

1. 2. 10 Turbine Building (P_{TB})

$$P_{TB} = CRV(10) V_{TBW} + CRS(10) SR(10) + CRU(10)$$

$$V_{TBW} = FR(10) VR(10)$$

CRV(10): Unit Cost of Turbine Building (\$/m³)

CRS(10): Unit Cost of Turbine Building (\$/m³)

CRU(10): Cost of Turbine Building Utilities (\$M)

VR(10) : Volume of Turbine Building (m³)

V_{TBW} : Volume of Turbine Building Wall (m³)

SR(10) : Floor Area of Turbine Building (m^2)

FR(10) : Volume Fraction of Turbine Building Wall

1. 2. 11 Miscellaneous Buildings (P_{MB})

$$P_{MB} = CRV(11) V_{MBW} + CRS(11) SR(11) + CRS(11)$$

$$V_{MBW} = FR(11) VR(11)$$

CRV(11): Unit Cost of Miscellaneous Buildings ($\$/m^3$)

CRS(11): Unit Cost of Miscellaneous Buildings ($\$/m^2$)

CRU(11): Cost of Miscellaneous Building Utilities ($\$$)

VR(11) : Volume of Miscellaneous Buildings (m^3)

V_{MBW} : Volume of Miscellaneous Building Walls (m^3)

SR(11) : Floor Area of Miscellaneous Buildings (m^2)

FR(11) : Volume Fraction of Miscellaneous Building Walls

1. 2. 12 Ventilation Stack (P_{VS})

$$P_{VS} = CRU(11) \text{ (Constant)}$$

1. 2. 13 Spare Parts Allowance (P_{SPAB})

$$P_{SPAB} = RSPA(2) (P_{SIF} + P_{RB} + P_{HCB} + P_{FHS} + P_{RWB} + P_{CRB} \\ + P_{EPS} + P_{CSS} + P_{CIS} + P_{TB} + P_{MB} + P_{VS})$$

RSPA(2): Spare Parts Allowance Rate of Structures and Site Facilities

1. 2. 14 Contingency Allowance (P_{CAB})

$$P_{CAB} = RCA(2) (P_{SIF} + P_{RB} + P_{HCB} + P_{FHS} + P_{RWB} + P_{CRB} \\ + P_{EPS} + P_{CSS} + P_{CIS} + P_{TB} + P_{MB} + P_{VS})$$

RCA(2) : Contingency Allowance Rate of Structures and Site Facilities

1. 2. 15 Total Cost of Structures and Site Facilities (P_{SSF})

$$P_{SSF} = P_{SIF} + P_{RB} + P_{HCB} + P_{FHS} + P_{RWB} + P_{CRB} + P_{EPS} \\ + P_{CSS} + P_{CIS} + P_{TB} + P_{MB} + P_{VS} + P_{SPAB} + P_{CAB}$$

1. 3 Reactor Plant Equipment (P_{RPE})

1. 3. 1 Reactor Equipment (P_{RE})

$$P_{RE} = P_{PL} + P_{FW} + P_{VV} + P_{BL} + P_{SH} + P_{TF} + P_{PF} + P_{BC} \\ + P_{MC} + P_{SP} + P_{AM} + P_{EX} + P_{PS}$$

(1) Divertor Plate or Limiter (P_{PL})

$$P_{PL} = F_{LEAN}^{PL} \sum_{i=1}^{NELM(1,1)} CRE(i,1,1) WRE(i,1,1)$$

$$F_{LEAN}^{PL} = \frac{(NBF(1) + 1) \ln FCL(1,1) / \ln 2 + (NBF(1) + NPRD(1)) \ln FCL(1,1) / \ln 2}{2NSTD(1) \ln FCL(1,1) / \ln 2}$$

$CRE(i,1,1)$: Unit Cost of i Material of Divertor Plate or Limiter (\$M/ton)

$WRE(i,1,1)$: Total Weight of i Material of Divertor Plate or Limiter (ton)

$NELM(1,1)$: Number of Element used in Divertor Plate or Limiter

$NSTD(1)$: Quantity of Unit Referred for Unit Cost of Divertor Plate or Limiter

$NBF(1)$: Quantity of Unit Manufactured Before Current Construction Starts

$NPRD(1)$: Quantity of Unit (Divertor Plate or Limiter) Required for Each Reactor

$FCL(1,1)$: Leaning Curve of Divertor Plate or Limiter

(2) First Wall (P_{FW})

$$P_{FW} = F_{LEAN}^{FW} \sum_{i=1}^{NELM(2,1)} CRE(i,1,1) WRE(i,2,1)$$

$CRE(i,2,1)$: Unit Cost of i Material of First Wall (\$M/ton)

$WRE(i,2,1)$: Total Weight of i Material of First Wall (ton)

$NELM(2,1)$: Number of Element used in First Wall

F_{LEAN}^{FW} : Same Kind of Definition as F_{LEAN}^{PL}

(3) Vacuum Vessel (P_{VV})

$$P_{VV} = F_{LEAN}^{VV} \sum_{i=1}^{NELM(3,1)} CRE(i,3,1) WRE(i,3,1)$$

$CRE(i,3,1)$: Unit Cost of i Material of Vacuum Vessel (\$M/ton)

$WRE(i,3,1)$: Total Weight of i Material of Vacuum Vessel (ton)

$NELM(3,1)$: Number of Element used in Vacuum Vessel

F_{LEAN}^{VV} : Same Kind of Definition as F_{LEAN}^{PL}

(4) Blanket (P_{BL})

$$P_{BL} = \sum_{j=1}^{NZON(4)} F_{LEAN}^{BLJ} \sum_{i=1}^{NELM(4,j)} CRE(i,4,j) WRE(i,4,j)$$

$CRE(i,4,j)$: Unit Cost of i Material in j th Zone of Blanket (\$M/ton)

$WRE(i,4,j)$: Total Weight of i Material in j th Zone of Blanket (ton)

$NELM(4,j)$: Number of Element used in j th Zone of Blanket

$NZON(4)$: Number of Zone of Blanket

F_{LEAN}^{BLJ} : Same Kind of Definition as F_{LEAN}^{PL}

(5) Shield (P_{SH})

$$P_{SH} = \sum_{j=1}^{NZON(5)} F_{LEAN}^{SHJ} \sum_{i=1}^{NELM(5,j)} CRE(i,5,j) WRE(i,5,j)$$

$CRE(i,5,j)$: Unit Cost of i Material in j th Zone of Shield (\$M/ton)

$WRE(i,5,j)$: Total Weight of i Material in j th Zone of Shield (ton)

$NELM(5,j)$: Number of Element used in j th Zone of Shield

$NZON(5)$: Number of Zone of Shield

F_{LEAN}^{SHJ} : Same Definition as F_{LEAN}^{PL}

(6) Toroidal Field Magnet (P_{TF})

$$P_{TF} = NTF \sum_{j=1}^{NZON(6)} F_{LEAN}^{TFJ} \sum_{i=1}^{NELM(6,j)} CRE(i,5,j) WER(i,5,j)$$

$CRE(i,5,j)$: Unit Cost of i Material in j th Zone of TF Magnet (\$M/ton)

$WER(i,5,j)$: Total Weight of i Material in j th Zone of TF Magnet (ton)

NTF : Number of TF Coils

$NELM(6,j)$: Number of Element used in j th Zone of TF Magnet

$NZON(6)$: Number of Zone of TF Magnet

F_{LEAN}^{TFJ} : Same Definition as F_{LEAN}^{PL}

(7) Poloidal Field Magnet (P_{PF})

$$P_{PF} = \sum_{j=1}^{nz^{PF}} F_{LEAN}^{PFJ} \sum_{i=1}^{nE^{PFJ}} C_{PF}^{iJ} W_{PF}^{iJ}$$

CRE(i,7,j): Unit Cost of i Material in jth Zone of
PF Magnet (\$M/ton)

WRE(i,7,j): Total Weight of i Material in jth Zone of
PF Magnet (ton)

NELM : Number of Element used in jth Zone of
PF Magnet

nz^{PF} : Number of Zone of PF Magnet

F_{LEAN}^{PFJ} : Same Definition as F_{LEAN}^{PL}

(8) Bucking Cylinder (P_{BC})

$$P_{BC} = F_{LEAN}^{BC} CRE(i,8,j) WRE(i,8,j)$$

CRE(i,8,j): Unit Cost of Bucking Cylinder (\$M/ton)

WRE(i,8,j): Total Weight of Bucking Cylinder (ton)

F_{LEAN}^{BC} : Same Definition as F_{LEAN}^{PL}

(9) Magnet Cryostat System (P_{MC})

$$P_{MC} = F_{LEAN}^{MC} CRE(i,9,j) WRE(i,9,j)$$

CRE(i,9,j): Unit Cost of Magnet Cryostat System (\$M/ton)

WRE(i,9,j): Total Weight of Magnet Cryostat System (ton)

F_{LEAN}^{MC} : Same Definition as F_{LEAN}^{PL}

(10) Support Structure (P_{SP})

$$P_{SP} = F_{LEAN}^{SP} CRE(i,10,j) WRE(i,10,j)$$

CRE(i,10,j): Unit Cost of Support Structure (\$M/ton)

WRE(i,10,j): Total Weight of Support Structure (ton)

F_{LEAN}^{SP} : Same Definition as F_{LEAN}^{PL}

(11) Plasma Heating System (P_{AH})

$$P_{AH} = CPH(1) PNBI + CPH(2) PRFH$$

CPH(1): Unit Cost of NBI (\$/MW)
 CPH(2): Unit Cost of RFH (\$/MW)
 PNBI : NBI Power (MW)
 PRFH : RFH Power (MW)

(12) Vacuum System (P_{EX})

$$P_{EX} = NPMP \{ CHEP SPHE + CDT (SPD + SPT) + CVG DAVG^{1.6} + CVRA DAVR^{1.6} + CVU \} + CVC VCV$$

NPMP : Number of Exhaust System
 CHEP : Unit Cost of He Exhaust Pump (\$/m³/sec)
 CDT : Unit Cost of D,T Exhaust Pump (\$/m³/sec)
 VCG : Unit Cost of Gate Valve (\$/m^{1.6})
 CVRA : Unit Cost of Right-angle Valve (\$/m^{1.6})
 VCU : Cost of Rough Exhaust System (\$)
 CVC : Unit Cost of Coil Chamber Exhaust System (\$/m³)
 SPHE : Required Pumping Speed for He Gas (m³/sec)
 SPD : Required Pumping Speed for D₂ Gas (m³/sec)
 SPT : Required Pumping Speed for T₂ Gas (m³/sec)
 DAVG : Diameter of Gate Valve (m)
 DAVR : Diameter of Right-angle Valve (m)

(13) Power Supply, Switching and Energy Storage (P_{PS})

$$P_{PS} = P_{TPS} + P_{PPS}$$

$$P_{TPS} = CTPS(1) PWRP + CTPS(3) PWRP + CTPS(2) TMJ + CTPS(4)$$

CTPS(1): Unit Cost of Rectifier (\$/MVA)
 CTPS(2): Unit Cost of Flywheel (\$/MJ)
 CTPS(3): Unit Cost of Generator (\$/MVA)
 CTPS(4): Cost of Moter (\$)
 PWRP : Maximum Volt × Maximum Ampere (MVA)
 TMJ : Maximum Input Energy (MJ)
 $P_{PPS} = C_{PREC} P_{PVA} + C_{PGEN} P_{PVA} + C_{PFLY} P_{PMAX} + C_{SCR} P_{PVA} + C_{PMTR}$
 CPS(1) : Unit Cost of Flywheel (\$/MJ)
 CPS(2) : Unit Cost of Generator (\$/MVA)
 CPS(3) : Cost of Moter (\$)
 CPS(4) : Unit Cost of Rectifier (\$/MVA)
 CPS(5) : Unit Cost of SCR Switch (\$/MVA)
 PWCP : Maximum Volt × Maximum Ampere (MVA)
 TPWCP : Maximum Input Energy (MJ)

1. 3. 2 Main Heat Transfer and Transport System (P_{HT})

$$P_{HT} = P_{FPC} + P_{OHT}$$

(1) Main Heat Transfer (P_{FPC})

$$P_{FPC} = CHT(1) QFLD + CHT(2) PT + CHT(3) PT + CHT(4)$$

CHT(1): Unit Cost of Pumps and Motor Drives (\$/m³/h)

CHT(2): Unit Cost of Heat Exchanger (\$/MWt)

CHT(3): Unit Cost of Steam Generator (\$/MWt)

CHT(4): Cost of Other Main Heat Transfer Component (\$M)

QFLD : Flow Rate of Coolant (m³/h)

PT : Thermal Power Output (MWt)

(2) Other Heat Transfer (P_{OHT})

$$P_{OHT} = CHT(5) PNBI + CHT(6) PRFH + CHT(7) P_{PMAX} + CHT(8) (QREFH + QREFN)$$

CHT(5): Unit Cost of NBI Cooling System (\$/MW)

CHT(6): Unit Cost of RFH Cooling System (\$/MW)

CHT(7): Unit Cost of Power Supply Cooling System (\$/MW)

CHT(8): Unit Cost of Refrigerator Cooling System (\$/MW)

QREFH : LHe System Load (MW)

QREFN : LN₂ System Load (MW)

1. 3. 3 Cryogenic Cooling System (P_{CS})

$$P_{CS} = CRF(1) QLHE^{0.7} + CRF(2) QLN2^{0.7}$$

CRF(1): Unit Cost of LHe Refrigerators (\$/(KW)^{0.7})

CRF(2): Unit Cost of LN₂ Refrigerators (\$/(KW)^{0.7})

QLHE : LHe Refrigerator Load (KW)

QLN2 : LN₂ Refrigerator Load (KW)

1. 3. 4 Radioactive Waste Treatment and Disposal (P_{RW})

$$P_{RW} = CRW \text{ (Constant)}$$

1. 3. 5 Fuel Handling and Storage Systems (P_{FHS})

$$P_{FHS} = CFH(2) PFH(1)^{\frac{1}{2}} + CFH(2) PFH(2)/PFH(3)^{\frac{1}{2}} + CFH(1)$$

CFH(1): Cost of Fuel Handling System Utilities (\$M)

CFH(2): Unit Cost of Fuel Circulating System (\$/(g/d) ^{$\frac{1}{2}$})

CFH(3): Unit Cost of Tritium Recovery System (\$/(g/d)/(g/kg) ^{$\frac{1}{2}$})

PFH(1): Fuel Circulating Rate (g/day)

PFH(2): Tritium Production Rate (g/day)

PFH(3): Tritium Concentration in Blanket (g/kg)

1. 3. 6 Other Reactor Plant Equipment (POTH)

$$POTH = COTH \text{ (Constant)}$$

1. 3. 7 Instrumentation and Control (PICR)

$$PICR = CICR \text{ (Constant)}$$

1. 3. 8 Initial Fuel Inventories (PIFI)

$$PIFI = CFL(1) QFL(1) + CFL(2) QFJ(2)$$

CFL(1): Unit Cost of Tritium (\$/kg)

CFL(2): Unit Cost of Deuterium (\$/kg)

QFL(1): Initial Inventory of Tritium (kg)

QFL(2): Initial Inventory of Deuterium (kg)

1. 3. 9 Spare Parts Allowance (PSPARP)

$$PSPARP = RSPA(3) (PRE + PHT + PCS + PRW \\ + PFHS + POTH + PICR)$$

RSPA(3): Spare Parts Allowance Rate of Reactor Plant

1. 3. 10 Contingency Allowance (PCARP)

$$PCARP = RCA(3) (PRE + PHT + PCS + PRW \\ + PFHS + POTH + PICR + PIFI)$$

RCA(3): Contingency Allowance Rate of Reactor Plant

1. 3. 11 Total Cost of Reactor Plant Equipment (PRPE)

$$PRPE = PRE + PHT + PCS + PRW + PFHS + POTH \\ + PICR + PIFI + PSPARP + PCARP$$

1. 4 Turbine Plant Equipment (PTPE)

1. 4. 1 Turbine Generators (PTG)

$$PTG = CTP(1) PE^{0.7}$$

CTP(1): Unit Cost of Turbine Generators (\$/(MWe)^{0.7})

PE : Electric Output Power (MWe)

1. 4. 2 Main Steam (or Other Fluid) System (PMS)

$$PMS = CTP(2) PT$$

CTP(2): Unit Cost of Main Steam System (\$/MWt)

1. 4. 3 Heat Rejection Systems (PHR)

$$PHR = CTP(3) PT^{0.8}$$

CTP(3): Unit Cost of Heat Rejection Systems (\$/(MWt)^{0.8})

1. 4. 4 Condensing Systems (P_{CS})

$$P_{CS} = CTP(4) PE^{0.9}$$

CTP(4): Unit Cost of Condensing Systems (\$M/(MWe)^{0.9})

1. 4. 5 Feed Heating System (P_{FH})

$$P_{FH} = CTP(5) PT^{0.6}$$

CTP(5): Unit Cost of Feedwater Heating System (\$M/(MWt)^{0.6})

1. 4. 6 Other Turbine Plant Equipment (P_{OTP})

$$P_{OTP} = CTP(6) PE^{0.6}$$

CTP(6): Unit Cost of Other Turbine Plant
Equipment (\$M/(MWe)^{0.6})

1. 4. 7 Instrumentation and Control Equipment (P_{ICT})

$$P_{ICT} = CTP(7) PE^{0.3}$$

CTP(7): Unit Cost of Instrumentation
and Control Equipment (\$M/(MWe)^{0.3})

1. 4. 8 Spare Parts Allowance (P_{SPAT})

$$P_{SPAT} = RSPA(4) (P_{TG} + P_{MS} + P_{HR} + P_{CS} + P_{FH} + P_{OTP} + P_{ICT})$$

RSPA(4): Spare Parts Allowance Rate of Turbine Plant Equipment

1. 4. 9 Contingency Allowance (P_{CAT})

$$P_{CAT} = RCA(4) (P_{TG} + P_{MS} + P_{HR} + P_{CS} + P_{FH} + P_{OTP} + P_{ICT})$$

RCA(4): Contingency Allowance Rate of Turbine Plant Equipment

1. 4. 10 Total Cost of Turbine Plant Equipment (P_{TPE})

$$P_{TPE} = P_{TG} + P_{MS} + P_{HR} + P_{CS} + P_{FH} + P_{OTP} + P_{ICT} \\ + P_{SPAT} + P_{CAT}$$

1. 5 Electric Plant Equipment (P_{EPE})

1. 5. 1 Switchgear (P_{SW})

$$P_{SW} = CEP(1) PEP(1)$$

CEP(1): Cost of Switchgear (\$M/MW)

PEP(1): Switchgear Load (MW)

1. 5. 2 Station Service Equipment (P_{SSE})

$$P_{SSE} = CEP(2) PEP(2)$$

CEP(2): Unit Cost of Station Service Equipment (\$M/MW)

PEP(2): Station Service Equipment Load (MW)

1. 5. 3 Switchboards (Including Heat Tracing) (P_{SWB})

$$P_{SWB} = CEP(3) PEP(3)$$

CEP(3): Unit Cost of Switchboards (\$/MW)

PEP(3): Switchboards Load (MW)

1. 5. 4 Protective Equipment (P_{PE})

$$P_{PE} = CEP(4) AAL$$

CEP(4): Unit Cost of Protective Equipment (\$/m²)

AAL : Total Plot Area of All Buildings (m²)

1. 5. 5 Electrical Structures and Wiring Containers (P_{ESW})

$$P_{ESW} = CEP(5) PEP(4) + CEP(6) AAL$$

CEP(5): Unit Cost of Electrical Structures
and Wiring Containers (\$/MW)

CEP(6): Unit Cost of Electrical Structures
and Wiring Containers (\$/m²)

PEP(4): Electrical Structures Load (MW)

1. 5. 6 Power and Control Wiring (P_{PCW})

$$P_{PCW} = CEP(7) PEP(5) + CEP(8) AAL$$

CEP(7): Unit Cost of Power and Control Wiring (\$/MW)

CEP(8): Unit Cost of Power and Control Wiring (\$/m²)

PEP(5): Power and Control Wiring Load (MW)

1. 5. 7 Electrical Lighting (P_{EL})

$$P_{EL} = CEP(9) VAL$$

CEP(9): Unit Cost of Electrical Lighting (\$/m³)

VAL : Total Volume of All Buildings (m³)

1. 5. 8 Spare Parts Allowance ($P_{SPA\bar{E}}$)

$$P_{SPA\bar{E}} = RSPA(5) (P_{SW} + P_{SSE} + P_{SWB} + P_{PE} + P_{ESW} + P_{PCW} + P_{EL})$$

RSPA(5): Spare Parts Allowance Rate of Electric Plant Equipment

1. 5. 9 Contingency Allowance ($P_{CA\bar{E}}$)

$$P_{CA\bar{E}} = RSPA(5) (P_{SW} + P_{SSE} + P_{SWB} + P_{PE} + P_{ESW} + P_{PCW} + P_{EL})$$

RCA(5): Contingency Allowance Rate of Electric Plant Equipment

1. 5. 10 Total Cost of Electric Plant Equipment (P_{EPE})

$$P_{EPE} = P_{SW} + P_{SSE} + P_{SWB} + P_{PE} + P_{ESW} + P_{PCW} + P_{EL} \\ + P_{SPA\bar{E}} + P_{CA\bar{E}}$$

1. 6 Miscellaneous Plant Equipment (P_{MPE})

1. 6. 1 Transportation and Lifting Equipment (P_{TLE})

$$P_{TLE} = CMP(1) \text{ (Constant)}$$

1. 6. 2 Air and Water Service Systems (P_{AWS})

$$P_{AWS} = CMP(2) \text{ (Constant)}$$

1. 6. 3 Communications Equipment (P_{CE})

$$P_{CE} = CMP(3) \text{ (Constant)}$$

1. 6. 4 Furnishing and Fixtures (P_{FF})

$$P_{FF} = CMP(4) \text{ (Constant)}$$

1. 6. 5 Spare Parts Allowance (P_{SPAM})

$$P_{SPAM} = RSPA(6) (P_{TLE} + P_{AWS} + P_{CE} + P_{FF})$$

$RSPA(6)$: Spare Parts Allowance Rate of Miscellaneous Plant Equipment

1. 6. 6 Contingency Allowance (P_{CAM})

$$P_{CAM} = RCA(6) (P_{TLE} + P_{AWS} + P_{CE} + P_{FF})$$

$RCA(6)$: Contingency Allowance Rate of Miscellaneous Plant Equipment

1. 6. 7 Total Cost of Miscellaneous Plant Equipment (P_{MPE})

$$P_{MPE} = P_{TLE} + P_{AWS} + P_{CE} + P_{FF} + P_{SPAM} + P_{CAM}$$

1. 7 Special Materials (P_{SM})

1. 7. 1 Materials (P_{SMM})

$$P_{SMM} = \sum_{i=1}^{NSM} CSM(i) QSM(i)$$

$CSM(i)$: Unit Cost of i Material (\$/ton)

$QSM(i)$: Weight of i Material (ton)

NSM : Total Number of Special Materials

1. 7. 5 Total Cost of Special Materials (P_{SM})

$$P_{SM} = P_{SMM}$$

1. 8 Construction Facilities, Equipment and Services (P_{CFES})

$$P_{CFES} = FCF (P_{LLR} + P_{SSF} + P_{RPE} + P_{TPE} + P_{PEPE} + P_{PMPE} + P_{SM})$$

FCF : Rate of Construction Facilities, Equipment and Services

1. 9 Engineering and Construction Management Services (P_{EMS})

$$P_{EMS} = FEM (P_{LLR} + P_{SSF} + P_{RPE} + P_{TPE} + P_{PEPE} + P_{PMPE} + P_{SM})$$

FEM : Rate of Engineering and Construction Management Services

1. 10 Other Cost (P_{OC})

$$P_{OC} = FOC (P_{LLR} + P_{SSF} + P_{RPE} + P_{TPE} + P_{PEPE} + P_{PMPE} + P_{SM})$$

FOC : Rate of Other Cost

1. 11 Interest During Construction (P_{IDC})

$$P_{IDC} = FIDC (P_{LLR} + P_{SSF} + P_{RPE} + P_{TPE} + P_{PEPE} + P_{PMPE} + P_{SM} + P_{CFES} + P_{EMS} + P_{OC})$$

FIDC : Interest Rate

1. 12 Escalation During Construction (P_{EDC})

$$P_{EDC} = FEDC (P_{LLR} + P_{SSF} + P_{RPE} + P_{TPE} + P_{PEPE} + P_{PMPE} + P_{SM} + P_{CFES} + P_{EMS} + P_{OC})$$

FEDC : Escalation Rate

1. 13 Total Capital Cost (P_{CAP})

$$P_{CAP} = P_{LLR} + P_{SSF} + P_{RPE} + P_{TPE} + P_{PEPE} + P_{PMPE} + P_{SM} + P_{CFES} + P_{EMS} + P_{OC} + P_{IDC} + P_{EDC}$$

2. Operating and Maintenance Cost (P_{OP})

$$P_{OP} = FOP (P_{LLR} + P_{SSF} + P_{RPE} + P_{TPE} + P_{PEPE} + P_{PMPE} + P_{SM} + P_{CFES} + P_{EMS} + P_{OC})$$

FOP : Rate of Operating and Maintenance Cost

3. Scheduled Component Replacement Cost Estimation (P_{SRC})

$$P_{SRC}(1) = \sum_{i=1}^{NCR} \frac{1}{TLFP} \{C_{RE}(i) + CREP(i)\} N_{REP}(i)$$

$$P_{SRC}(2) = \sum_{i=1}^{NCR} \frac{1}{TLFP} \{C_{RE}(i) + CREP(i)\} F_{ESC}(i)$$

$P_{SRC}(1)$: Constant Economic Analysis Mode

$P_{SRC}(2)$: Current Economic Analysis Mode

$$N_{REP}(i) = [TLFP/TLF(i) - 1]$$

$$F_{ESC}(i) = \frac{r^{N_{REP}(i)} - 1}{r - 1} (1+E)^{TLF(i)-0.5}$$

$$r = (1+E)^{TLF(i)}$$

NCR : Number of Reactor Components Replaced

E : Annual Escalation Rate

$TLFP$: Plant Life Time (y)

$TLF(i)$: Life Time of Reactor Component i

$C_{RE}(i)$: Cost of Reactor Component i

$CREP(i)$: Replacement Cost of Reactor Component i

4. Fuel Cost (P_{FC})

$$P_{FC} = CFL(1) TRBRN(1.0-TBRED) + CFL(2) TRBRN$$

$CFL(1)$: Unit Cost of Tritium (\$M/kg)

$CFL(2)$: Unit Cost of Deuterium (\$M/kg)

$TRBRN$: Annual Consumed Fuel Quantity

$TBRED$: Tritium Breeding Ratio

5. Total Busbar Energy Cost

5. 1 Constant Dollar Economic Analysis Mode (P_{CTR})

$$P_{CTR} = \frac{P_{CAP}(1) FCR(1) + P_{OP} + P_{SRC}(1) + P_{FC}}{P_C PAF}$$

FCR(1): Annual Fixed Charge Rate

P_C : Plant Capacity (kWh/year)

PAF : Plant Availability Factor

$$PAF = \frac{(8760 - T_u - T_s)}{8760}$$

T_u : Annual Unscheduled Outage Time (hours)

T_s : Annual Scheduled Outage Time (hours)

5. 2 Current Dollar Economic Analysis Mode

$$P_{CTR} = \frac{P_{CAP}(2) FCR(2) + P_{OP} (1 + E)^P + P_{SRC}(2) (1 + E)^P + P_{FC} (1 + E)^P}{P_C PAF}$$

P : Construction Period (years)

Appendix-C1

List of Subroutines and Program Tree

List of Subroutines and their Purpose

Subroutine	Purpose
\$M.001	Main routine
IZERO	Zero clear of data (Integer)
ZERO	Zero clear of data (Real)
INTSET	Initial setting of the data to the reference design
INPi (i=1,2,3,4,21)	Control data for calculation flow
MPARAM	Calculation of plasma parameter
DIVTOR	Calculation for the design of divertor
FSTWAL	Calculation for the design of first wall
VACVSL	Calculation for the design of vacuum vessel
BLNKET	Calculation for the design of blanket
SHIELD	Calculation for the design of shield
PFCOIL	Calculation for the design of poloidal field coil
TFCOIL	Calculation for the design of toroidal field coil
CYLNDR	Calculation for the design of central cylinder
BASE	Calculation of total weight of base (pedestal)
BELJAR	Calculation of belljar design
PSPLYT	Calculation for TF coil power supply
PSPLYP	Calculation for PF coil power supply
ADHEAT	Calculation of additional heating system
PUMSYS	Calculation for the design of vacuum pumping system
REFSYS	Calculation for the design of refrigeration system
BLDSYS	Calculation of building system design
\$B.001	Data set for the composing material
COSCAL	Cost calculation

FORM NO R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		\$M.001	
NO	TREE		
1	<pre> graph LR SM001["\$M.001"] --- IZERO IZERO --- ZERO ZERO --- INTSET INTSET --- INP1 INP1 --- MPARAM MPARAM --> NO3["NO 3"] NO3 --- INP2 INP2 --- ZERO2["ZERO"] ZERO2 --- INP3 INP3 --- INP4 INP4 --- INP21 INP21 --- ZERO3["ZERO"] ZERO3 --- DIVTOR DIVTOR --- FSTWAL FSTWAL --- VACVSL VACVSL --> NO9["NO 9"] NO9 --- BLNKET BLNKET --> NO4["NO 4"] NO4 --- SHIELD SHIELD --> NO5["NO 5"] NO5 --- PFCOIL PFCOIL --> NO6["NO 6"] NO6 --- TFCOIL TFCOIL --> NO7["NO 7"] NO7 --- CYLNR CYLNR --- BASE BASE --- BELJAR BELJAR --- PSPLYT PSPLYT --> NO2["NO 2"] NO2 --- PSPLYP PSPLYP --- MAXO MAXO --- ABS ABS --- AMAXI AMAXI --- MINO MINO --- ADHEAT ADHEAT --- FLOAT FLOAT --- PUMSYS PUMSYS --- ABS2["ABS"] ABS2 --- REFSYS REFSYS --- BLDSYS BLDSYS --- MTRTBL MTRTBL --- FLOAT2["FLOAT"] FLOAT2 --- COSCAL COSCAL --> NO8["NO 8"] NO8 --- CSTTBL CSTTBL --- PLOTS PLOTS --- PLOTTR PLOTTR --> NO10["NO 10"] NO10 --- PLOT </pre>		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

FORM NO R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		\$M.001	
NO	TREE		
2	<pre> PSPLYT --- FLOAT +--- SQR +--- ABS +--- EXP </pre>		
3	<pre> MPARAM --- SQR +--- AVDTS --- EXP +--- ALOG +--- FLOAT +--- ABS +--- ALOG </pre>		
4	<pre> BLNKET --- CENTR --- ABS +--- SQR +--- MAX +--- VOLXX --- VCIR --- INTEGR --- ABS +--- SQR +--- FLOAT +--- VLIN </pre>		
5	<pre> SHIELD --- CENTR --- ABS +--- SQR +--- MAX +--- VOLXX --- VCIR --- INTEGR --- ABS +--- SQR +--- FLOAT +--- VLIN </pre>		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

FORM NO. R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		SM.001	
NO	TREE		
6	<pre> PFCOIL --- RZORD --- ABS +--- SORT +--- SORT +--- ATAN +--- ABS +--- COS +--- SIN +--- ALOG +--- ELLPIN --- SORT +--- ALOG </pre>		
7	<pre> TFCOIL --- ABS +--- CENTER --- ABS +--- SORT +--- MAX +--- SECTN --- SCIRC --- ABS +--- SORT +--- FLOAT +--- SIN +--- TAN </pre>		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

FORM NO R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		\$M.001	
NO	TREE		
8	COSCAL BDYCOS		
9	VACVSL CALCV SORT ABS COS ATAN MAX ABS CENTCR ABS SORT VOLXX VCIR INTEGR ABS SORT FLOAT SURF VLIN SELL SORT COS ABS SIGN ARCOS SFIR SORT		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

FORM NO R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		\$M.001	
NO	TREE		
10	<pre> graph LR PLOTTR --> FLOAT PLOTTR --> FACTOR PLOTTR --> PLOT PLOTTR --> CROSS PLOTTR --> PLANE CROSS --> NO12[NO 12] PLANE --> NO11[NO 11] </pre>		
11	<pre> graph LR PLANE --> NEWPEN PLANE --> ARQHD PLANE --> SYMBOL PLANE --> SORT PLANE --> CENSYM PLANE --> EQNAME PLANE --> NUMBER PLANE --> FLOAT PLANE --> PLOT PLANE --> CIRC1 PLANE --> CIRC2 PLANE --> TFPLOT CENSYM --> SYMBOL1[SYMBOL] CENSYM --> CIRC1_1[CIRC1] CENSYM --> CIRC1_2[CIRC1] CENSYM --> CIRC1_3[CIRC1] EQNAME --> NEWPEN_1[NEWPEN] EQNAME --> CENSYM_1[CENSYM] EQNAME --> SYMBOL_1[SYMBOL] EQNAME --> CIRC1_4[CIRC1] EQNAME --> CIRC1_5[CIRC1] TFPLOT --> NEWPEN_2[NEWPEN] TFPLOT --> ACOS TFPLOT --> FLOAT_1[FLOAT] TFPLOT --> RCTGL2 RCTGL2 --> COS RCTGL2 --> SIN RCTGL2 --> PLOT_1[PLOT] </pre>		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

FORM NO R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		\$M.001	
NO	TREE		
12	<pre> graph LR CROSS --> NEWPEN CROSS --> AROHD CROSS --> SYMBOL CROSS --> SORT CROSS --> CENSYM CENSYM --> SYMBOL CENSYM --> CIRC1 CIRC1 --> CIRCL CENSYM --> EQNAME EQNAME --> NEWPEN EQNAME --> CENSYM CENSYM --> SYMBOL CENSYM --> CIRC1 CIRC1 --> CIRCL CENSYM --> SYMBOL CROSS --> NUMBER CROSS --> FLOAT CROSS --> PLOT CROSS --> ELIPS CROSS --> CIRC1 CIRC1 --> CIRCL CROSS --> PLINI PLINI --> PLOT PLINI --> ECCNT1 ECCNT1 --> ACOS ECCNT1 --> SORT ECCNT1 --> ABS ECCNT1 --> SIGN ECCNT1 --> ELIPS ECCNT1 --> ECCNT2 ECCNT2 --> ACOS ECCNT2 --> SORT ECCNT2 --> ABS ECCNT2 --> SIGN CROSS --> RCTGL1 RCTGL1 --> PLOT CROSS --> PLPAR PLPAR --> SYMBOL PLPAR --> NUMBER PLPAR --> SORT </pre>		
13	<pre> graph LR BOW --> SORT BOW --> ATAN2 BOW --> COS BOW --> SIN </pre>		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

FORM NO R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		\$M-001	
NO	TREE		
14	<pre> graph LR SECTOR[SECTOR] --- SORT1[SORT] SECTOR --- CIRCLE[CIRCLE] CIRCLE --- FLOAT[FLOAT] CIRCLE --- ALOG[ALOG] CIRCLE --- SIGN[SIGN] CIRCLE --- SORT2[SORT] </pre>		
15	<pre> graph LR SUBMN[SUBMN] --- LINE[LINE] SUBMN --- ORIGIN[ORIGIN] SUBMN --- CIRCLE[CIRCLE] CIRCLE --- FLOAT[FLOAT] CIRCLE --- ALOG[ALOG] CIRCLE --- SIGN[SIGN] CIRCLE --- SORT[SORT] </pre>		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

FORM NO. R45

PROGRAM TREE		PROGRAM NAME	INDEX
		\$M.001	
NO	TREE		
999	P1035C \$B.001		
COMMENT :			
		AUTHOR	DATE
		REVISION	PAGE

Appendix-C2

Routine Explanation

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION				MAIN PROGRAM NAME	INDEX
				\$M.001	
PURPOSE :					
Main routine					
ARGUMENT SEQUENCE :					
PROGRAM \$M.001					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT
ICASE (13)	/OPT	/I • 4			Option for perturbation design
IDSDP	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the number of divertor plates
IDSFW	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the presence of first wall
IDSVV	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the position of vacuum vessel
IDSBL	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the presence of blanket
IDSSH	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the presence of shield
IDSPF	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the position of P.F. coil
IDSTC	/OPT WRITE	/I • 4			Option for species of conductor of T.F. coil
IDSPC	/OPT WRITE	/I • 4			Option for species of conductor of P.F. coil
IDSCC	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the position of central cylinder
IDSDW	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the structure of dewar
IDSAH	/OPT WRITE	/I • 4			Option for the additional heating
AMU	/CONST	/R • 4			Permeability in vacuum
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001.	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
RP	/MNP1 / WRITE	R • 4		m	Plasma major radius	
RPO	/MNP1 / WRITE	R • 4		m	Plasma major radius for reference design	
AP	/MNP1 / WRITE	R • 4		m	Plasma minor radius (horizontal)	
APD	/MNP1 / WRITE	R • 4		m	Plasma minor radius (horizontal) (Ref. design)	
BP	/MNP1 / WRITE	R • 4		m	Plasma minor radius (vertical)	
BPD	/MNP1 / WRITE	R • 4		m	Plasma minor radius (vertical) (Ref. design)	
ELL	/MNP1 / WRITE	R • 4			Plasma ellipticity	
ELLO	/MNP1 / WRITE	R • 4			Plasma ellipticity (Ref. design)	
ASP	/MNP1 / WRITE	R • 4			Plasma aspect ratio	
IP	/MNP1 / WRITE	R • 4		MA	Plasma current	
BT	/MNP1 / WRITE	R • 4		T	Toroidal field strength	
BTM	/MNP1 / WRITE	R • 4		T	Maximum toroidal field strength	
SOA	/MNP1 / WRITE	R • 4			Safety factor	
LP	/MNP1 / WRITE	R • 4		H	Plasma self inductance	
SLI	/MNP1 / WRITE	R • 4			Plasma internal inductance	
RPL	/MNP1 / WRITE	R • 4		%	Toroidal field ripple	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
VS	/MNP1 / WRITE	R • 4		V.S	Volt-second of OH coil	
FVS	/MNP1 / WRITE	R • 4		V.S	Volt-second of Joule loss component	
TAUE	/MNP1 / WRITE	R • 4		Sec	Energy confinement time	
TAUED	/MNP1 / WRITE	R • 4		Sec	Energy confinement time (Ref. design)	
TAUN	/MNP1 / WRITE	R • 4		Sec	Particle confinement time	
TAUNO	/MNP1 / WRITE	R • 4		Sec	Particle confinement time (Ref. design)	
CYCL	/MNP1 / WRITE	R • 4			Flux to exhaust/Flux to limiter	
TBURN	/MNP1 / WRITE	R • 4		Sec	Burn time	
NOP	/MNP1 / WRITE	I • 4			Number of shot per year	
BETAT	/MNP1 / WRITE	R • 4			Toroidal beta	
BETAP	/MNP1 / WRITE	R • 4			Poloidal beta	
PT	/MNP1 / WRITE	R • 4		MW	Total thermal power	
PWN	/MNP1 / WRITE	R • 4		MW/m ²	Neutron wall loading	
TRISE	/MNP1 / WRITE	R • 4		Sec	Plasma current rise time	
DUTY	/MNP1 / WRITE	R • 4			Duty factor	
IPO	/MNP1 / WRITE	R • 4		MA	Plasma current for (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
VSD	/MNP1 / WRITE	R 4		V.S	Volt second of OH coil (Ref. design)	
IDFL	/MNP2 / WRITE	I 4			Option for species of plasma	
ISPN	/MNP2 / WRITE	I 4			The number of particle species (including electron)	
ISPT	/MNP2 / WRITE	I 4			Number of temperature species	
LN (5)	/MNP2 /	I 4			Parameter for particle distribution	
MN (5)	/MNP2 /	I 4			Parameter for particle distribution	
DNP (5)	/MNP2 /	R 4		m ⁻³	Central particle density	
DNB (5)	/MNP2 /	R 4		m ⁻³	Boundary particle density	
LT (2)	/MNP2 /	I 4			Parameter for temperature distribution	
MT (2)	/MNP2 /	I 4			Parameter for temperature distribution	
TMP (2)	/MNP2 /	R 4		KeV	Central temperature of plasma	
TMB (2)	/MNP2 /	R 4		KeV	Boundary temperature of plasma	
AVDN (30)	/CMNO /	R 4		m ⁻³	Average particle density	
AVSV	/CMNO / WRITE	R 4		m ⁻³	Average fusion reaction rate	
VP	/CMNO / WRITE	R 4		m ³	Plasma volume	
SP	/CMNO / WRITE	R 4		m ²	Plasma surface area	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M-001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
TRBRN	/CMNO / WRITE	R • 4		Sec ⁻¹	Amount of burning tritium	
TRCYCL	/CMNO / WRITE	R • 4		Sec ⁻¹	Amount of recycling tritium	
RDP (10)	/CDPI / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of i-th divertor	
ZDP (10)	/CDPI / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of i-th divertor	
SDP (10)	/CDPI / WRITE	R • 4		m ²	Cross section of i-th divertor	
MNDP (10)	/CDPI / WRITE	I • 4			Material number of i-th divertor	
DENDP (10)	/CDPI / WRITE	R • 4		Ton/m ³	Density of i-th divertor	
TWDP	/CDPO / WRITE	R • 4		Ton	Total weight of divertor	
RDPO (10)	/CDPO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of i-th divertor (Ref.design)	
ZDPO (10)	/CDPO / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of i-th divertor (Ref. design)	
THFW	/CFWI / WRITE	R • 4		m	Thickness of first wall	
FFTW	/CFWI / WRITE	R • 4			Surface area ratio of first wall to plasma	
NEFW	/CFWI / WRITE	I • 4			Number of composing material of first wall	
MNFW (10)	/CFWI / WRITE	I • 4			Material number of i-th component of first wall	
FEFW (10)	/CFWI / WRITE	R • 4			Volumetric fraction of i-th component of first wall	
TWFW	/CFWO / WRITE	R • 4		Ton	Total weight of first wall	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
THVV (20)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Thickness of vacuum vessel	
MNVV (10)	/CVVI /	I 4			Material number of i-th component of vacuum vessel	
FEVV (10)	/CVVI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of i-th component of vacuum vessel	
NEVV	/CVVI /	I 4			Number of composing material of vacuum vessel	
RVV (20.2)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i, j)	
ZVV (20.2)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of vacuum vessel point (i, j)	
CVV (20.2)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Radius of arc between points (i, j) and (i+1, j) of vacuum vessel	
NPVV (2)	/CVVI /	I 4		m	Number of point for i-th boundary of vacuum vessel	
DENVV (10)	/CVVI /	R 4		Ton/m ³	Density of i-th component of vacuum vessel	
CVVO (20.2)	/CVVO /	R 4		m	Radius of arc between points (i, j) and (i+1, j) of vacuum vessel	
WEVV (10)	/CVVO /	R 4		Ton	Weight of i-th component of vacuum vessel	
RVVO (20.2)	/CVVO /	R 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i, j) (Ref. design)	
ZVVO (20.2)	/CVVO /	R 4		m	Vertical coordinate of vacuum vessel point (i, j) (Ref. design)	
CVA (20.2)	/CVVO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i, j) and (i+1, j) of vacuum vessel	
CVB (20.2)	/CVVO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i, j) and (i+1, j) of vacuum vessel	
CVAO (20.2)	/CVVO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i, j) and (i+1, j) of vacuum vessel (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					SM.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
CVBO (20.2)	/CVVO / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of vacuum vessel (Ref. design)	
NZBL	/CBLI / WRITE	I • 4			Number of zone of blanket	
NPBL (10)	/CBLI / WRITE	I • 4			Number of point for i-th boundary	
RBL (20.10)	/CBLI / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of blanket point (i, j)	
ZBL (20.10)	/CBLI / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of blanket point (i, j)	
CBL (20.10)	/CBLI / WRITE	R • 4		m	Radius of arc between points (i, j) and (i+1, j) of blanket	
NEBL (10)	/CBLI / WRITE	I • 4			Number of composing material of i-th zone of blanket	
FEBL (10.10)	/CBLI / WRITE	R • 4		%	Volumetric fraction of i-th material for i-th zone of blanket	
MNBL (10.10)	/CBLI / WRITE	I • 4			Material number of i-th material for i-th zone of blanket	
DENBL (10.10)	/CBLI / WRITE	R • 4		Ton/m ³	Density of j-th material of i-th zone of blanket	
CBLO (20.10)	/CBLO / WRITE	R • 4		m	Radius of arc between points (i, j) and (i+1, j) of blanket (Ref. design)	
WEBL (10.10)	/CBLO / WRITE	R • 4		Ton	Weight of j-th material of i-th zone of blanket	
RBLO (20.10)	/CBLO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of blanket point (i, j) of blanket (Ref. design)	
ZBLO (20.10)	/CBLO / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of blanket point (i, j) of blanket (Ref. design)	
CBA (20.10)	/CBLO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i, j) and (i+1, j) of blanket	
CBB (20.10)	/CBLO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i, j) and (i+1, j) of blanket	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
CBA0 (20,10)	/CBLO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket (Ref.design)	
CBBO (20,10)	/CBLO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket (Ref. design)	
RSH (20,10)	/CSHI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of shield point (i, j)	
ZSH (20,10)	/CSHI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of shield point (i, j)	
CSH (20,10)	/CSHI / WRITE	R 4		m	Radius of arc between points (i, j) and (i+1, j) of shield	
NZSH	/CSHI /	I 4			Number of zone of shield	
NPSH (10)	/CSHI /	I 4			Number of point of i-th boundary of shield	
NESH (10)	/CSHI / WRITE	I 4			Number of composing material of i-th zone of shield	
MNSH (10,10)	/CSHI /	I 4			Material number of j-th component of i-th zone of shield	
FESH (10,10)	/CSHI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th component of i-th zone of shield	
CSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radius of interpolating arc of shield (Ref. design)	
WESH (10,10)	/CSHO /	R 4		Ton	Weight of j-th material of i-th zone of shield	
RSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of shield point (i, j) (Ref. design)	
ZSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of shield point (i, j) (Ref. design)	
CSA (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i, j) and (i+1, j) of shield	
CSB (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i, j) and (i+1, j) of shield	
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
CSAO (20,10)	/CSHO / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield(Ref.design)	
CSBO (20,10)	/CSHO / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield (Ref. design)	
NCPFI	/CPFI / WRITE	I 4			Number of PF coil in TF coil	
NCPF	/CPFI / WRITE	I 4			Total number of PF coil	
RPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of i-th PF coil	
ZPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of i-th PF coil	
DRPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Radial thickness of i-th PF coil	
DZPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Vertical thickness of i-th PF coil	
TIPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Thickness of insulator of i-th PF coil	
TVPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Thickness of i-th PF coil	
NEPFC (25)	/CPFI / WRITE	I 4			Number of composing material in conductor of i-th PF coil	
MNPFC (25,10)	/CPFI / WRITE	I 4			Material number of j-th conductor of i-th PF coil	
FEFPC (25,10)	/CPFI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th conductor in i-th PF coil	
NEPFI (25)	/CPFI / WRITE	I 4			Number of composing material in insulator of i-th PF coil	
MNPFI (25,10)	/CPFI / WRITE	I 4			Material number of j-th insulator of i-th PF coil	
FEPFI (25,10)	/CPFI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th insulator of i-th PF coil	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M-001.	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
MNPFV (25)	/CPFI / WRITE	I 4			Material number of vacuum chamber of i-th PF coil	
DENPFC (25,10)	/CPFI / WRITE	R 4		Ton/m ³	Density of j-th conductor of i-th PF coil	
PEQUI (25)	/CPFI / WRITE	R 4		MA	Equilibrium current of i-th PF coil	
ATPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		MA	Maximum ampere turn of i-th PF coil	
ELRPF (25)	/CPFO / WRITE	R 4		Ohm	Electrical resistance of i-th PF coil	
RPFO (25)	/CPFO / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of i-th PF coil (Ref. design)	
ZPFO (25)	/CPFO / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of i-th PF coil (Ref. design)	
DRPFO (25)	/CPFO / WRITE	R 4		m	Radial thickness of i-th PF coil (Ref. design)	
DZPFO (25)	/CPFO / WRITE	R 4		m	Vertical thickness of i-th PF coil (Ref. design)	
ATPFO (25)	/CPFO / WRITE	R 4		MA	Maximum ampere turn of i-th PF coil (Ref. design)	
NCTF	/CTFI / WRITE	I 4			Number of TF coil	
NPTF (25)	/CTFI / WRITE	I 4			Number of point of i-th boundary of TF coil	
RTF (20,10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of TF coil point (i, j)	
ZTF (20,10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of TF coil point (i, j)	
CTF (20,10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Radius of interpolating arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
NZTFT	/CTFI / WRITE	I 4			Number of zone in theta-direction of TF coil	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
TTTF	/CTFI /	R 4		m	Half thickness of TF coil in theta direction	
ITF (10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Half thickness of i-th zone of TF coil	
NETF (10)	/CTFI /	I 4			Number of composing materials in i-th zone of TF coil	
FETF (10,10)	/CTFI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th component in i-th zone of TF coil	
MNTF (10,10)	/CTFI /	I 4			Material number of j-th component in i-th zone of TF coil	
RRPL	/CTFI / WRITE	R 4			Correction factor for ripple	
RSTM	/CTFI / WRITE	R 4			Correction factor for max. field	
CTFO (20,10)	/CTFO /	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
VTF (10)	/CTFO /	R 4		m ³	Volume of i-th zone of TF coil	
RTFO (20,10)	/CTFO /	R 4		m	Radial coordinate of TF coil point (i,j) (Ref. design)	
ZTFO (20,10)	/CTFO /	R 4		m	Vertical coordinate of TF coil point (i,j) (Ref. design)	
CTA (20,10)	/CTFO /	R 4		m	Radial coordinate of the center at arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTB (20,10)	/CTFO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center at arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTAO (20,10)	/CTFO /	R 4			Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
CTBO (20,10)	/CTFO /	R 4			Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
NZTFR	/CTFO /	I 4			Number of zone in radial direction of TF coil	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M-001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
TWBSO	/CBSI / WRITE	R • 4		Ton	Total weight of base (Ref. design)	
MNBS	/CBSI /	I • 4			Material number of base	
TW TOK	/CBSO /	R • 4		Ton	Total weight of torus structure	
MNCC	/CCCI /	I • 4			Material number of central cylinder	
ROCC	/CCCI / WRITE	R • 4		m	Outer radius of central cylinder	
RI CC	/CCCI / WRITE	R • 4		m	Inner radius of central cylinder	
ZCC	/CCCI / WRITE	R • 4		m	Half length of central cylinder	
TWCC	/CCCO /	R • 4		Ton	Total weight of central cylinder	
MNB J	/CBJI /	I • 4			Material number of belljar	
TWBJO	/CBJI / WRITE	R • 4		Ton	Total weight of belljar for reference design	
TWBJ	/CBJO /	R • 4		Ton	Total weight of belljar	
TRIST	/CPSLYT / WRITE	R • 4		Sec	TF coil current rise time	
TP (25.50)	/CPSLYP / WRITE	R • 4			-	
CURT (25.50)	/CPSLYP / WRITE	R • 4			PF coil current	
FPOW	/CPSLYP / WRITE	R • 4			Power factor for PF coil power supply	
NTMP	/CPSLYP / WRITE	I • 4			-	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
NTM (50)	/CPSLYP / WRITE	I 4			-	
TMPC (50)	/CPSLYP / WRITE	R 4			-	
NTPL	/CPSLYP / WRITE	I 4			Number of time point of plasma current pattern	
TPL (50)	/CPSLYP / WRITE	R 4		Sec	Time for time point	
CURPL (50)	/CPSLYP / WRITE	R 4		MA	Plasma current	
NTPC (50)	/CPSLYP / WRITE	I 4			-	
AIND (25.25)	/CPSLYP / WRITE	R 4		H	Inductance	
CURTO (25.50)	/CPSLYP / WRITE	R 4			PF coil current (Ref. design)	
CURPLO (50)	/CPSLYP / WRITE	R 4			Plasma current (Ref. design)	
NSPNB	/CADHT / WRITE	I 4			Number of NBI species	
NSPRF	/CADHT / WRITE	I 4			Number of RF species	
NEQNB (30)	/CADHT / WRITE	I 4			Number of NBI of i-th species	
NEQRF (30)	/CADHT / WRITE	I 4			Number of RF of i-th species	
EKNB (30.30)	/CADHT / WRITE	R 4		KeV	Energy of NBI of i-th species at time j	
FRRF (30)	/CADHT / WRITE	R 4		MHz	Frequency of RF of i-th species	
PRNB (30.30)	/CADHT / WRITE	R 4		MW	Power of NBI of i-th species at time J	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
PRRF (30,30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4		MW	Power of RF of i-th species at time j	
EFNB (30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4			Efficiency of NBI of i-th species	
EFRF (30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4			Efficiency of RF of i-th species	
TSTNB (30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4		Sec	Injection start time of NBI of i-th species	
TEDNB (30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4		Sec	Injection stop time of NBI of i-th species	
TSTRF (30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4		Sec	Injection start time of RF of i-th species	
TEDRF (30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4		Sec	Injection stop time of RF of i-th species	
PRSNB	/CADHT / WRITE	R • 4		Torr	Pressure at NBI	
NT	/CADHT / WRITE	I • 4			Number of time mesh	
PWRHT (30) 1	/CADHT / WRITE	R • 4		MW	Time-dependent power supply capacity	
NPUMP	/CPUMS / WRITE	I • 4			Number of pumping system	
PRSRHE	/CPUMS / WRITE	R • 4		Torr	Pressure of He at vacuum pump	
PRSRD	/CPUMS / WRITE	R • 4			Pressure of D at vacuum pump	
PRSRT	/CPUMS / WRITE	R • 4			Pressure of T at vacuum pump	
ALTD	/CPUMS / WRITE	R • 4		m	Length of thicker duct	
DATD	/CPUMS / WRITE	R • 4		m	Diameter of thicker duct	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ALSD	/CPUMS / WRITE	R • 4		m	Length of slender duct	
DASD	/CPUMS / WRITE	R • 4		m	Diameter of slender duct	
DAVLV	/CPUMS / WRITE	R • 4		m	Diameter of gate valve	
QREFHO	/CREF / WRITE	R • 4		MW	Reference refrigeration power for He	
QREFNO	/CREF / WRITE	R • 4		MW	Reference refrigeration power for N ₂	
RRRO	/CBLD / WRITE	R • 4		m	Radius of reactor room for reference design	
HRRO	/CBLD / WRITE	R • 4		m	Height of reactor room for reference design	
SAUXO	/CBLD / WRITE	R • 4		m ²	Area of aux. building for reference design	
PDP	/CBDYI / WRITE	R • 4		M\$/Ton	Unit cost of divertor	
CGDP	/CBDYI / WRITE	R • 4		%	Contingency of divertor	
PFW (10)	/CBDYI / WRITE	R • 4		M\$/Ton	Unit cost of i-th first wall material	
CGFW	/CBDYI / WRITE	R • 4		%	Contingency of first wall	
CGVV	/CBDYI / WRITE	R • 4		%	Contingency of vacuum vessel	
PJBL (10,10)	/CBDYI / WRITE	R • 4		M\$/Ton	Unit cost of j-th material in i-th layer of blanket	
CGBL	/CBDYI / WRITE	R • 4		%	Contingency of blanket	
PJSH (10,10)	/CBDYI / WRITE	R • 4		M\$/Ton	Unit cost of j-th material in i-th layer of shield	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
CGSH	/CBDYI / WRITE	R 4		%	Contingency of shield	
PPFC (25,10)	/CBDYI / WRITE	R 4		M\$/Ton	Unit cost of j-th material in i-th PF coil conductor	
PPFV (25)	/CBDYI / WRITE	R 4		M\$/Ton	Unit cost of vacuum chamber of i-th PF coil	
CGPF	/CBDYI / WRITE	R 4		%	Contingency of PF coil	
PTF (10,10)	/CBDYI / WRITE	R 4		M\$/Ton	Unit cost of j-th material in i-th layer of TF coil	
CGTF	/CBDYI / WRITE	R 4		%	Contingency of TF coil	
PBS	/CBDYI / WRITE	R 4		M\$/Ton	Unit cost of base	
CGBS	/CBDYI / WRITE	R 4		%	Contingency of base	
PCC	/CBDYI / WRITE	R 4		M\$/Ton	Unit cost of central cylinder	
CGCC	/CBDYI / WRITE	R 4		%	Contingency of central cylinder	
PBJ	/CBDYI / WRITE	R 4		M\$/Ton	Unit cost of belljar	
CGBJ	/CBDYI / WRITE	R 4		%	Contingency of belljar	
PPFI (25,10)	/CBDYI / WRITE	R 4		M\$/Ton	Unit cost of j-th material in i-th PF coil insulator	
TCODP1	/CBDYD / WRITE	R 4		M\$	Total cost of divertor	
PTREC	/CTSP10 / WRITE	R 4				
PTFLY	/CTSP10 / WRITE	R 4				
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					\$M.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
PREFN	/CREFID / WRITE	R • 4				
PADN	/CADHIO / WRITE	R • 4				
PFLYP	/CPSPID / WRITE	R • 4				
PGENP	/CPSPID / WRITE	R • 4				
PMOTP	/CPSPID / WRITE	R • 4				
PSCR	/CPSPID / WRITE	R • 4				
PSWTP	/CPSPID / WRITE	R • 4				
MNAME1 (70	/MNAME / READ WRITE	I • 4			Material name	
MNAME2 (70	/MNAME / READ WRITE	I • 4			Material name	
MNAME3 (70	/MNAME / READ WRITE	I • 4			Material name	
ITIT (20	/TITLE / READ WRITE	I • 4			Title	
IAUX	/FLAG1 / WRITE	I • 4			Option for calculation of aux. component	
ICOS	/FLAG1 / WRITE	I • 4			Option for cost calculation	
IGEOM	/FLAG1 / WRITE	I • 4			Option for print out of main body calculation	
IMATT	/FLAG1 / WRITE	I • 4			Option for calculation of table of materials	
ICOST	/FLAG1 / WRITE	I • 4			Option for calculation of table of cost	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					MAIN PROGRAM NAME	INDEX
					SM.001	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
IPLOT	/FLAG1 / WRITE	I 4			Option for calculation of plotter routine	
XMAX	/PPARAM /	R 4		m	Radial maximum distance for plot-out	
MAGNFI	/PPARAM /	I 4			Reduced scale for cross section	
KPLCR	/PLTSW /	I 4			Switch for cross section plotting	
AST (20)	WRITE	R 4			Mark in output	
PE	/PLNT /	R 4			Electric output power (MWc)	
I	WRITE	I 4			Subscript	
J	WRITE	I 4			Subscript	
COMMON NAMES : /CADHIO / /CADHT / /CBDOI / /CBDOY / /CBJI / /CBJO / /CBLD / / /CBLDIO / /CBLI / /CBLO / /CBSI / /CBSO / /CCCI / /CCCO / / /CONTIO / /COPI / /COPD / /CFWI / /CFWO / /CGENIO / /CMNO / / /CONST / /CPFI / /CPFO / /CPSLYP / /CPSLYT / /CPSPFO / /CPUMIO / / /CPUMS / /CREP / /CREPIO / /CREMIO / /CSHI / /CSHO / /CTCLIO / / /CTFI / /CTFO / /CTRIIO / /CTSPID / /CVENIO / /CVVI / /CVVO / / /CVCLIO / /FLAG1 / /MNAME / /MNP1 / /MNP2 / /OPT / /PLNT / / /PLTSW / /PPARAM / /TITLE /						
EXTERNAL NAMES : ADHEAT BASE BELJAR BLDSYS BLNKET COSCAL CSTTBL CYLNDR DIVTOR FSTWAL INP1 INP2 INP2I INP3 INP4 INTSET IZERO MPARAM MTRTBL PFCOIL PLOT PLOTS PLOTTR PSPLYP PSPLYT PUMSYS REFSYS SHIELD TFCOIL VACVSL ZERO						
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION				ENTRY NAME		INDEX	
				IZERO (ZERO)			
PURPOSE :							
Zero clear of data							
ARGUMENT SEQUENCE :							
ENTRY IZERO (IA,N)							
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT		
IA (1)	(OUTPUT)	I • 4			Array to be cleared		
N	(INPUT)	I • 4			Subscript of array		
PARENT NAMES : SM.001							
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:							
Clear the integer array to zero.							
				AUTHOR		DATE	
				REVISION		PAGE	

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					ZERO	
PURPOSE :						
Zero clear of data						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE ZERO (A,N)						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
A ()	(OUTPUT)	R • 4			Array to be cleared	
N	(INPUT)	I • 4			Subscript of array	
PARENT NAMES : \$M.001 INP2						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
Clear the real array to zero.						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					INTSET	
PURPOSE :						
Initial setting of the data to the reference design						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE INTSET						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
IDSOP	/OPT	/ I • 4			Parameter for the number of divertor plates	
IDSFW	/OPT	/ I • 4			Parameter for the presence of first wall	
IDSVV	/OPT	/ I • 4			Parameter for the position of vacuum vessel	
IDSBL	/OPT	/ I • 4			Parameter for the presence of blanket	
IDSSH	/OPT	/ I • 4			Parameter for the presence of shield	
IDSPF	/OPT	/ I • 4			Parameter for the position of PF coil	
IDSTC	/OPT	/ I • 4			Parameter for species of conductor of TF coil	
IDSPC	/OPT	/ I • 4			Parameter for species of conductor of PF coil	
IDSCC	/OPT	/ I • 4			Parameter for the position of central cylinder	
IDSOW	/OPT	/ I • 4			Parameter for the structure of dewar	
IDSAH	/OPT	/ I • 4			Parameter for additional heating	
RP	/MNP1	/ R • 4		m	Plasma major radius	
AP	/MNP1	/ R • 4		m	Plasma minor radius (horizontal)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					INTSET	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
BP	/MNP1 /	R • 4		m	Plasma minor radius (vertical)	
ELL	/MNP1 /	R • 4			Plasma ellipticity	
ASP	/MNP1 /	R • 4			Plasma aspect ratio	
IP	/MNP1 /	R • 4		MA	Plasma current	
BT	/MNP1 /	R • 4		T	Toroidal field strength	
BTM	/MNP1 /	R • 4		T	Maximum toroidal field strength	
SQA	/MNP1 /	R • 4			Safety factor	
LP	/MNP1 /	R • 4		H	Plasma self inductance	
SLI	/MNP1 /	R • 4			Plasma internal inductance	
RPL	/MNP1 /	R • 4		%	Toroidal field ripple	
VS	/MNP1 /	R • 4		VS	Volt-second of OH coil	
FVS	/MNP1 /	R • 4			Volt-second of Joule loss component	
TAUE	/MNP1 /	R • 4		Sec	Energy confinement time	
TAUN	/MNP1 /	R • 4		Sec	Particle confinement time	
CYCL	/MNP1 /	R • 4			Flux to exhaust/flux to limiter	
TBURN	/MNP1 /	R • 4		Sec	Burn time	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					INTSET	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
NOP	/MNP1	/	I • 4		The number of shots per year	
BETAT	/MNP1	/	R • 4		Toroidal beta	
BETAP	/MNP1	/	R • 4		Poroidal beta	
PT	/MNP1	/	R • 4	MW	Total thermal power	
PWN	/MNP1	/	R • 4	MW/m ²	Newtron wall loading	
TRISE	/MNP1	/	R • 4	Sec	Plasma current rise time	
DUTY	/MNP1	/	R • 4		Duty factor	
IDFL	/MNP2	/	I • 4		Parameter for species of plasma	
ISPN	/MNP2	/	I • 4		The number of particle species (including electron)	
ISPT	/MNP2	/	I • 4		The number of temperature species	
LN (5)	/MNP2	/	I • 4		Parameter for particle distribution	
MN (5)	/MNP2	/	I • 4		Parameter for particle distribution	
DNP (5)	/MNP2	/	R • 4	m ⁻³	Central particle density	
DNB (5)	/MNP2	/	R • 4		Boundary particle density	
LT (2)	/MNP2	/	I • 4		Parameter for temperature distribution	
MT (2)	/MNP2	/	I • 4		Parameter for temperature distribution	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					INTSET	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
TMP (2)	/MNP2 /	R • 4		KeV	Central temperature	
TMB (2)	/MNP2 /	R • 4		KeV	Boundary temperature	
AMU	/CONST /	R • 4			Permeability in vacuum	
PAI	/CONST /	R • 4			Pi	
CK	/CONST /	R • 4			Boltzmann's constant	
ALC	/CONST /	R • 4			Coefficient of Alcator rule	
QT	/CONST /	R • 4			D-T fusion energy	
QN	/CONST /	R • 4			D-T fusion neutron energy	
EXRATE	/EXCHNG /	R • 4			Exchange rate	
COMMON NAMES : /CONST / /EXCHNG / /MNP1 / /MNP2 / /OPT /						
PARENT NAMES : \$M.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION	SUBROUTINE NAME	INDEX					
	INP1						
PURPOSE : Data input							
ARGUMENT SEQUENCE : SUBROUTINE INP1							
PARENT NAMES : \$M.001							
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT: Name lists: NOPT, NFLAG1, NMNP1 and MNMP2 are controlled in this subroutine.							
	AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE			

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					MPARAM	
PURPOSE :						
Calculation of plasma parameter						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE MPARAM						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ICASE (13)	/OPT	/I 4			Control parameter for perturbation design	
RP	/MNP1	/R 4			Plasma major radius	
RPO	/MNP1	/R 4		m	Plasma major radius for reference design	
AP	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (horizontal)	
APO	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (horizontal) for reference design	
BP	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (vertical)	
BPO	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (vertical) for reference design	
ELL	/MNP1	/R 4			Plasma ellipticity	
ELLO	/MNP1	/R 4			Plasma ellipticity for reference design	
ASP	/MNP1	/R 4			Plasma aspect ratio	
IP	/MNP1	/R 4		MA	Plasma current	
BT	/MNP1	/R 4		T	Toroidal field strength	
SQA	/MNP1 WRITE	/R 4			Safety factor	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

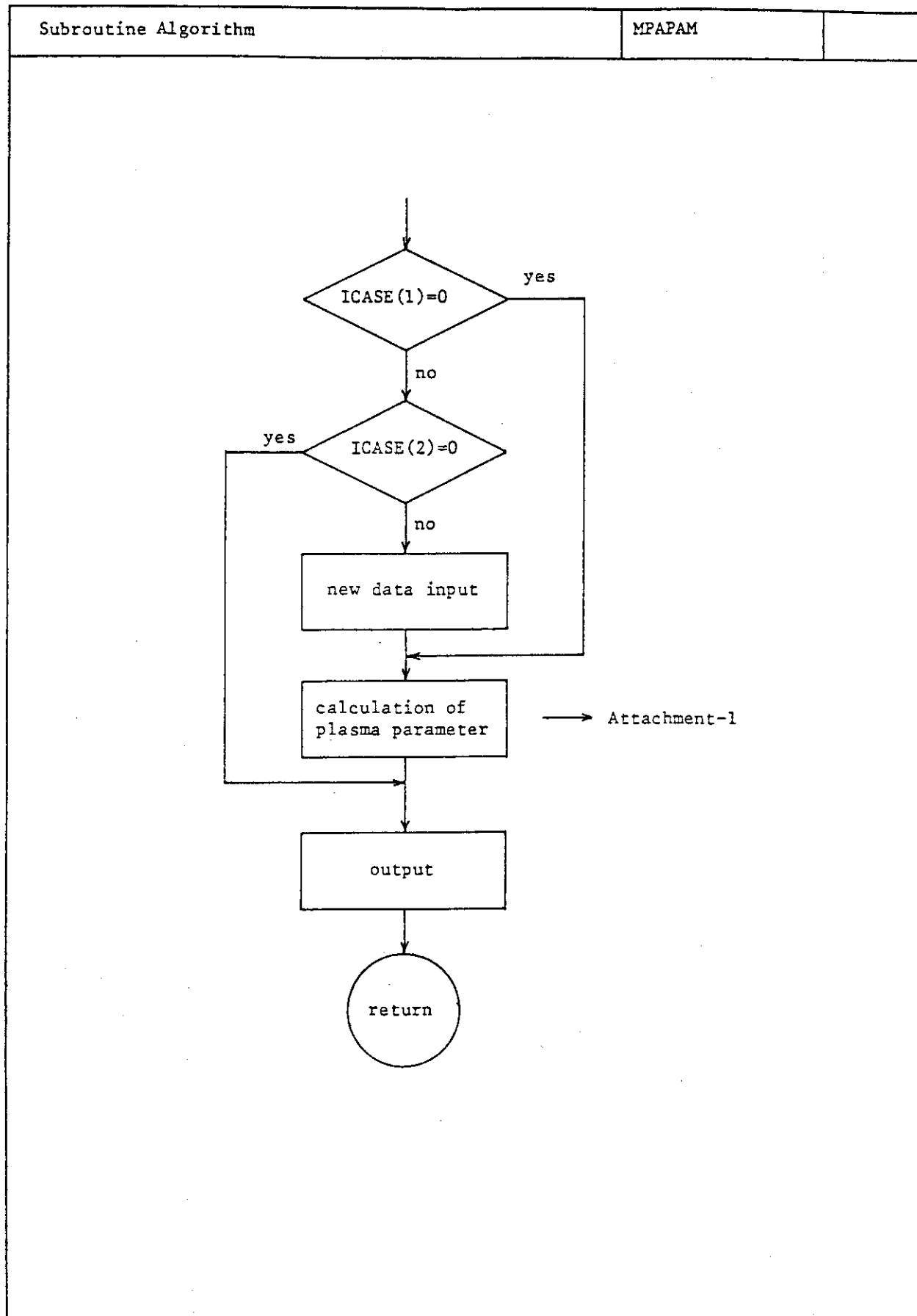
ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					MPARAM	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
LP	/MNP1 /	R • 4		H	Plasma self inductance	
SLI	/MNP1 /	R • 4			Plasma internal inductance	
VS	/MNP1 /	R • 4		V.S	Volt-second of OH coil	
FVS	/MNP1 /	R • 4			Volt-second of Joule loss component	
TAUE	/MNP1 /	R • 4		Sec	Energy confinement time	
TAUE0	/MNP1 /	R • 4		Sec	Energy confinement time for reference design	
TAUN	/MNP1 /	R • 4		Sec	Particle confinement time	
TAUN0	/MNP1 /	R • 4		Sec	Particle confinement time for reference design	
CYCL	/MNP1 /	R • 4			Flux to exhaust/Flux to limiter	
TBURN	/MNP1 /	R • 4		Sec	Burn time	
NOP	/MNP1 /	I • 4			The number of shots per year	
BETAT	/MNP1 /	R • 4			Toroidal beta	
BETAP	/MNP1 /	R • 4			Poroidal beta	
PT	/MNP1 /	R • 4		MW	Total thermal power	
PWN	/MNP1 /	R • 4		MW/m ²	Neutron wall loading	
IPO	/MNP1 /	R • 4			Plasma current for reference design	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					MPARAM	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
IDFL	/MNP2 /	I 4			Parameter for species of plasma 0:D and T plasma, 1:one component plasma	
ISPN	/MNP2 /	I 4			The number of particle species (including electron)	
ISPT	/MNP2 /	I 4			The number of temperature species	
LN (5)	/MNP2 /	I 4			Parameter for particle distribution	
MN (5)	/MNP2 /	I 4			Parameter for particle distribution	
DNP (5)	/MNP2 /	R 4		m ⁻³	Central particle density	
DNB (5)	/MNP2 /	R 4			Boundary particle density	
LT (2)	/MNP2 /	I 4			Parameter for temperature distribution	
MT (2)	/MNP2 /	I 4			Parameter for temperature distribution	
TMP (2)	/MNP2 /	R 4		KeV	Central temperature	
TMB (2)	/MNP2 /	R 4		KeV	Boundary temperature	
AVDN (30)	/CMNO /	R 4		m ⁻³	Average particle density	
AVTM (30)	/CMNO /	R 4		KeV	Average temperature	
AVSV	/CMNO /	R 4		m ³ /Sec	Average fusion reaction rate	
DLTRP	/CMNO /	R 4		m	Variation of plasma major radius	
DLTAP	/CMNO /	R 4		m	Variation of plasma minor radius (horizontal)	
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					MPARAM	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
DLTBP	/CMNO /	R • 4		m	Variation of plasma minor radius (vertical)	
CEL	/CMNO /	R • 4			Circumference of ellipse/circle	
VP	/CMNO /	R • 4		m ³	Plasma volume	
SP	/CMNO /	R • 4		m ²	Plasma surface area	
TRBRN	/CMNO /	R • 4		pertel/sec	The amount of burning tritium	
TRCYCL	/CMNO /	R • 4		pertel/sec	The amount of recycling tritium	
AMU	/CONST /	R • 4			Magnetic permeability in vacuum	
PAI	/CONST /	R • 4			Pai	
CK	/CONST /	R • 4			Boltzmann's constant	
ALC	/CONST /	R • 4			Coefficient of Alcator rule	
QT	/CONST /	R • 4			D-T fusion energy	
QN	/CONST /	R • 4			D-T fusion neutron energy	
SQAP	WRITE	R • 4			Safety factor of plasma	
COMMON NAMES : /CMNO / /CONST / /MNP1 / /MNP2 / /OPT /						
EXTERNAL NAMES : ABS ALOG AVDTS SQRT						
PARENT NAMES : \$M.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE



Attachment-1

MPARAM

Calculation of Plasma Parameters

. Density and Temperature Distributions, $N_j(r)$, $T_k(r)$ ($j=1 \sim \text{ISP}$, $k=1 \sim \text{ISPT}$)

$$N_j(r) = \{DNP(j) - DNB(j)\} \left\{1 - \left(\frac{r}{AP}\right)^{LN(j)}\right\} + DNB(j)$$

$$T_k(r) = \{TMP(k) - TMB(k)\} \left\{1 - \left(\frac{r}{AP}\right)^{LT(k)}\right\} + TMB(k)$$

. Fusion Power, PT

$$PT = \int_0^{AP} N_D(r) N_T(r) \langle \sigma v \rangle r dr$$

$\langle \sigma v \rangle$: Fusion Reaction Rate

$$\langle \sigma v \rangle = 10^{-22} \exp\left\{\sum_{n=0}^3 a_n (\ln Ti)^n\right\}$$

$$a_0 = -9.75, a_1 = 6.3997, a_2 = -1.0074, a_3 = 0.038245$$

. Average Density and Average Temperature, $AVDN(j)$, $AVTM(k)$

$$AVDN(j) = \frac{2}{AP^2} \int_0^{AP} N_j(r) r dr$$

$$AVTM(k) = \frac{2}{AP^2 AVDN(k)} \int_0^{AP} N_k(r) T_k(r) r dr$$

. Confinement Time, TAUE

If input data of TAUE is zero, TAUE is calculated as

$$TAUE = ALC \cdot SQA \cdot AVDN(e) \cdot AP^2$$

. Plasma Self-inductance, LP

If input data of LP is zero, LP is calculated as

$$LP = \mu_0 RP \left\{ \ln\left(\frac{8RP}{AP}\right) + \frac{1}{2} SLI - 2 \right\}$$

Attachment-1	MPARAM	
. Toroidal and Poloidal Beta, BETAT, BETAP If input data of BETAT, BETAP are zero, BETAT, BETAP are calculated as $\text{BETAT} = 2\mu_0 e \{ \text{AVTM}(\text{elec.}) \cdot \text{AVDN}(\text{elec.}) + \text{AVTM}(\text{ion}) \sum_{j \geq 2} \text{AVDN}(j) \} / \text{BT}^2$ $\text{BETAP} = \text{BETAT} \cdot (\text{ASP} \cdot \text{SQA})^2$		

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION				SUBROUTINE NAME		INDEX	
				INP2			
PURPOSE :							
Data input							
ARGUMENT SEQUENCE :							
SUBROUTINE INP2							
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT		
ICASE (13)	/OPT	/ I • 4			Control parameter for perturbation design		
IPLT	/FLAG1	/ I • 4			Parameter for calculation of plot routine		
RTF (20.10)	/CTFI	/ R • 4			Radial coordinate of TF coil point (i,j)		
COMMON NAMES : /CTFI / /FLAG1 / /OPT /							
EXTERNAL NAMES : ZERO							
PARENT NAMES : SM.001							
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:							
Name lists: NKP, N FW, NVV, NBL, NSH, NPF, NTF, NBS, NCC and NBJ are treated in this subroutine.							
				AUTHOR		DATE	
				REVISION		PAGE	

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION	SUBROUTINE NAME		INDEX					
	INP3							
PURPOSE :								
Data input								
ARGUMENT SEQUENCE :								
SUBROUTINE INP3								
PARENT NAMES : SM.001								
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:								
Namelists: NPSPT, NPSPP, NADHE, NPUMS, NREFS, NBLDS, are treated in this subroutine.								
	AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE				

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		INP4			
PURPOSE :					
Data input					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE INP4					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT
IPLOT	/FLAG1	/ I 4			Parameter for calculation of plot routine
COMMON NAMES : /FLAG1 /					
PARENT NAMES : SM.001					
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
Namelist, NBDYI, NTSPIC, NTRIIO, NTCLIO, NBLDIO, NPUMIO, NVENIO, NWCLIO, NGENIO, NREMIO, NCNTIO, NREFIO, NADHIO, NPSPIO, PLPARM, PLTFL, are treated in this subroutine.					
		AUTHOR		DATE	REVISION
					PAGE

FORM NO R27

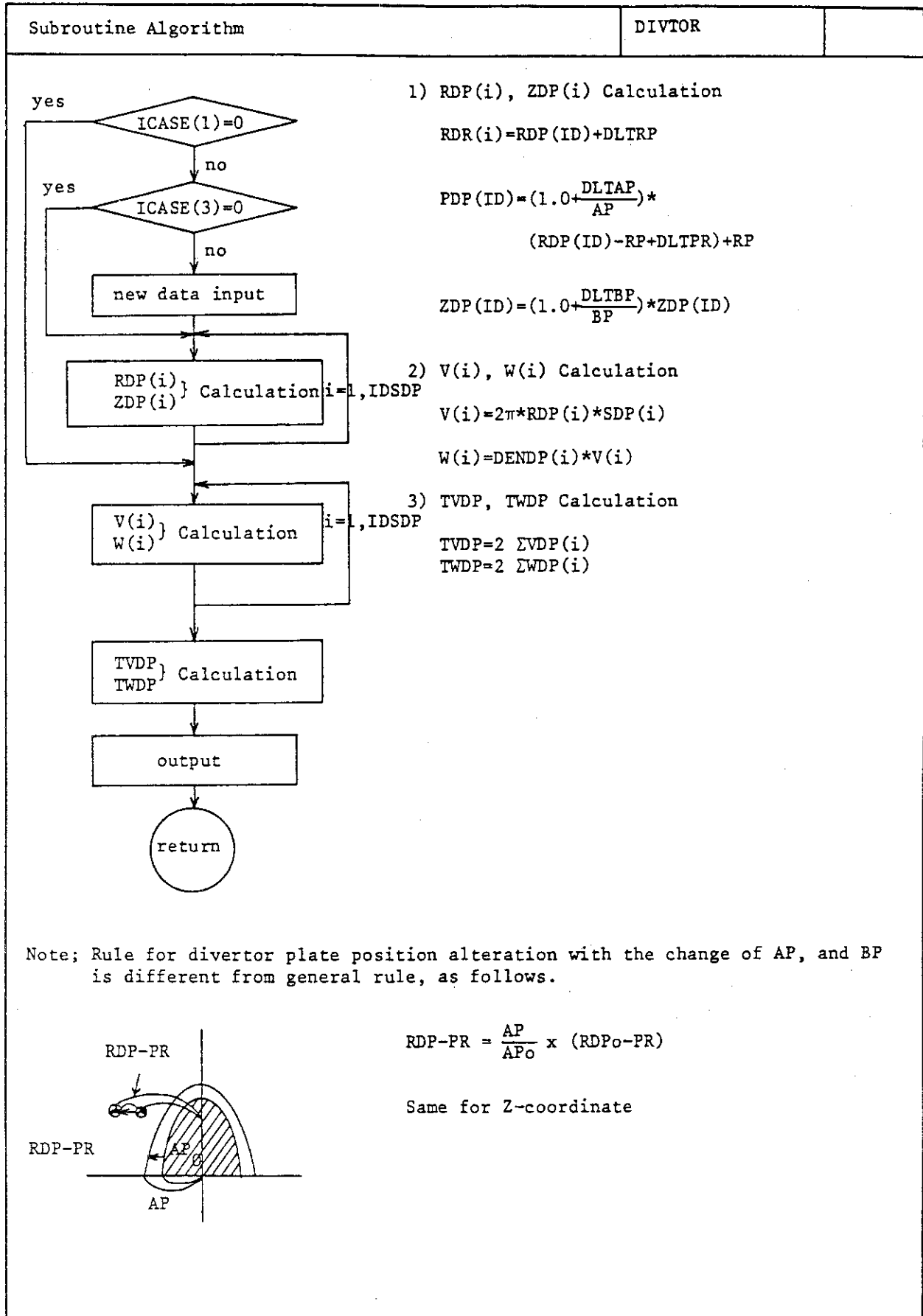
ROUTINE EXPLANATION		ENTRY NAME		INDEX	
		INP21 (INP2)			
PURPOSE :					
Data input					
ARGUMENT SEQUENCE :					
ENTRY INP21					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT
ICASE (13)	/OPT /	I • 4			Control parameter for perturbation design
IPLOT	/FLAG1 /	I • 4			Parameter for claculation of plot routine
RTF (20.10)	/CTFI /	R • 4			Radial coordinate of TF coil point (i,j)
COMMON NAMES : /CTFI / /FLAG1 / /OPT /					
EXTERNAL NAMES : ZERO					
PARENT NAMES : SM.001					
FUNCTION,CONSTRAINT,COMMENT:					
Necessary data are selected from namelists (NDP, NFW, NVV, NBL, NSH, NPF, NTF, NCC, PLPARM, PLTFL) by control parameters (ICASE, IPLOT)					
		AUTHOR		DATE	REVISION
					PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		DIVTOR			
PURPOSE :					
Calculation for the design of divertor					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE DIVTOR					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT
ICASE (13)	/OPT /	I 4			Control parameter for perturbation design
IDSDP	/OPT /	I 4			Parameter for the number of divertor plates
DEN (52)	/MATLAB /	R 4			Density of materials
RDP (10)	/CDPI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of i-th divertor
ZDP (10)	/CDPI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of i-th divertor
SDP (10)	/CDPI / WRITE	R 4		m ²	Cross section of i-th divertor
MNDP (10)	/CDPI /	I 4			Material number of i-th divertor
DENP (10)	/CDPI / WRITE	R 4			Density of i-th divertor
DLTRP	/CMNO /	R 4		m	Variation of plasma major radius
DLTAP	/CMNO /	R 4		m	Variation of plasma minor radius (horizontal)
DLTBP	/CMNO /	R 4		M	Variation of plasma minor radius (vertical)
TWDP	/CDPO / WRITE	R 4			Total weight of divertor
ROPO (10)	/CDPO /	R 4		m	Radial coordinate of i-th divertor for reference design
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					DIVTOR	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ZDP0 (10)	/CDP0	R 4			Vertical coordinate of i-th divertor for reference design	
PAI	/CONST	R 4			Pai	
RP	/MNP1	R 4		m	Plasma major radius	
AP	/MNP1	R 4		m	Plasma minor radius (horizontal)	
BP	/MNP1	R 4		m	Plasma minor radius (vertical)	
MNAME1 (70)	/MNAME WRITE	I 4			Material name	
MNAME2 (70)	/MNAME WRITE	I 4			Material name	
MNAME3 (70)	/MNAME WRITE	I 4			Material name	
IGEOM	/FLAG1	I 4			Parameter for print out of main body calculation	
WDP (10)	/MDIVTR WRITE	R 4			Weight of i-th divertor	
VDP (10)	WRITE	R 4			Volume of i-th divertor	
I	WRITE	I 4			Subscript	
TVDP	WRITE	R 4			Total volume of divertor	
COMMON NAMES : /CDPI / /CDP0 / /CMND / /CONST / /FLAG1 / /MATTAB / /MDIVTR / /MNAME / /MNP1 / /OPT /						
PARENT NAMES : \$M.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION



FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		FSTWAL			
PURPOSE :					
Calculation for the design of first wall					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE FSTWAL					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT
THFW	/CFWI / WRITE	R • 4		m	Thickness of first wall
FFTW	/CFWI / WRITE	R • 4			Surface area ratio of first wall to plasma
NEFW	/CFWI / WRITE	I • 4			The number of composing materials of first wall
MNFW (110)	/CFWI / WRITE	I • 4			Material number of i-th component of first wall
FEFW (110)	/CFWI / WRITE	R • 4			Volumetric fraction of i-th component of first wall
DENFW (110)	/CFWI / WRITE	R • 4			Density of i-th material of first wall
TFWW	/CFWO / WRITE	R • 4			Total weight of first wall
WEFW (110)	/CFWO / WRITE	R • 4			Weight of i-th component of first wall
SP	/CMNO /	R • 4		m ²	Plasma surface area
PAI	/CONST /	R • 4			Pai
DEN (182)	/MATLAB /	R • 4			Density of materials
RP	/MNPI /	R • 4		m	Plasma major radius
AP	/MNPI /	R • 4		m	Plasma minor radius (horizontal)
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					FSTWAL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
BP	/MNP1 /	R • 4		m	Plasma minor radius (vertical)	
ICASE (13)	/OPT /	I • 4			Control parameter for perturbation design	
MNAME1 (70)	/MNAME / WRITE	I • 4			Material name	
MNAME2 (70)	/MNAME / WRITE	I • 4			Material name	
MNAME3 (70)	/MNAME / WRITE	I • 4			Material name	
IGEOM	/FLAG1 /	I • 4			Parameter for print out of main body calculation	
SFW	WRITE	R • 4		m ²	Surface area of first wall	
TVFW	WRITE	R • 4		m ²	Total volume of first wall	
I	WRITE	I • 4			Subscript	
COMMON NAMES : /CFWI / /CFWO / /CMNO / /CONST / /FLAG1 / /MATTAB / /MNAME / /MNP1 / /OPT /						
PARENT NAMES : SM.001						
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

Subroutine Algorithm	FSTWAL	
<pre>TVFW = SFW*THFW WEFW(i) = TVFW*FEFW*(i)*DENFW(i) NEFW TWFW(i) = $\sum_{i=1}$ WEFW(i)</pre>		

FORM NO R27

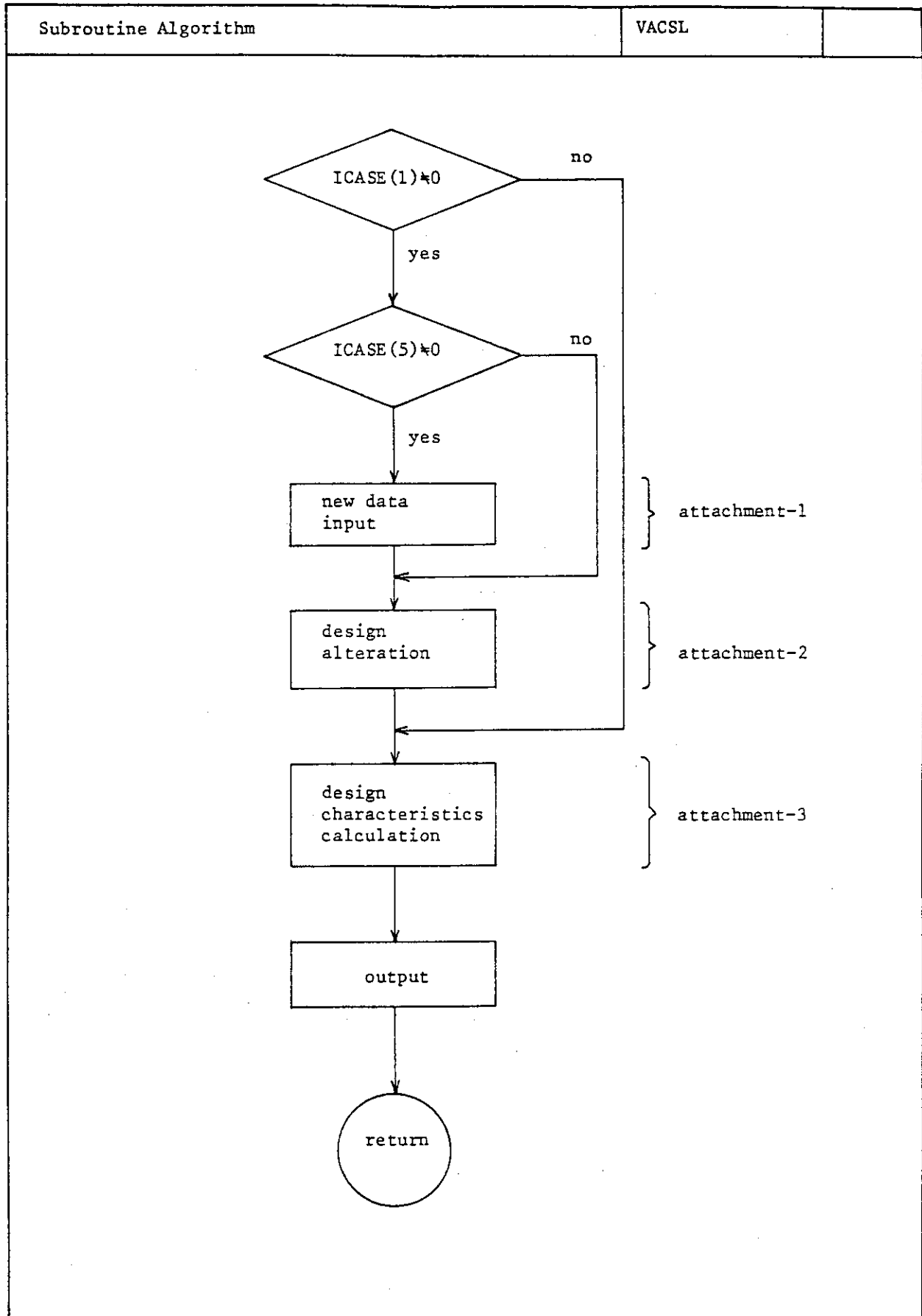
3 ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					VACVSL	
PURPOSE :						
Calculation for the design of vacuum vessel						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE VACVSL						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ICASE (13)	/OPT /	I 4			Control option for perturbation design	
PAI	/CONST /	R 4			Pai	
DEN (62)	/MATTAB /	R 4		Ton/m ³	Density of materials	
THVV (20)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Thickness of vacuum vessel	
MNVV (10)	/CVVI /	I 4			Material number of i-th component of vacuum vessel	
FEVV (10)	/CVVI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of i-th component of vacuum vessel	
NEVV	/CVVI /	I 4			The number of composing materials of vacuum vessel	
RVV (20,2)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j)	
ZVV (20,2)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of vacuum vessel point (i,j)	
CVV (20,2)	/CVVI / WRITE	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of vacuum vessel	
NPVV (2)	/CVVI /	I 4			The number of points for i-th boundary of vacuum vessel	
DENVV (10)	/CVVI / WRITE	R 4		Ton/m ³	Density of i-th component of vacuum vessel	
CVVO (20,2)	/CVVO /	R 4		m	Radius of arc between point (i,j) and (i+1,j) of vacuum vessel (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					VACVSL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
WEVV (10)	/CVVO / WRITE	R • 4		ton	Weight of i-th component in vacuum vessel	
VIVV	/CVVO / WRITE	R • 4		m ³	Volume of interior of vacuum vessel	
RVVO (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j) for reference design	
ZVVO (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Vertical coordinate of vacuum vessel point (i,j) for reference design	
TWVV	/CVVO / WRITE	R • 4		ton	Total weight of vacuum vessel	
CVA (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between (i,j) and (i+1,j)	
CVB (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between (i,j) and (i+1,j)	
CVR (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j)	
CVAO (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
CVBO (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
CVRO (20.2)	/CVVO /	R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
VVV	/CVVO / WRITE	R • 4		m ³	Total volume of vacuum vessel	
EPVV (10)	/CVVO /	R • 4			-	
DVV	/CVVO /	R • 4		m	The difference in height of vacuum vessel between calculated and reference design	
DLTAP	/CMNO /	R • 4		m	Variation of plasma minor radius (horizontal)	
DLTBP	/CMNO /	R • 4		m	Variation of plasma minor radius (vertical)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

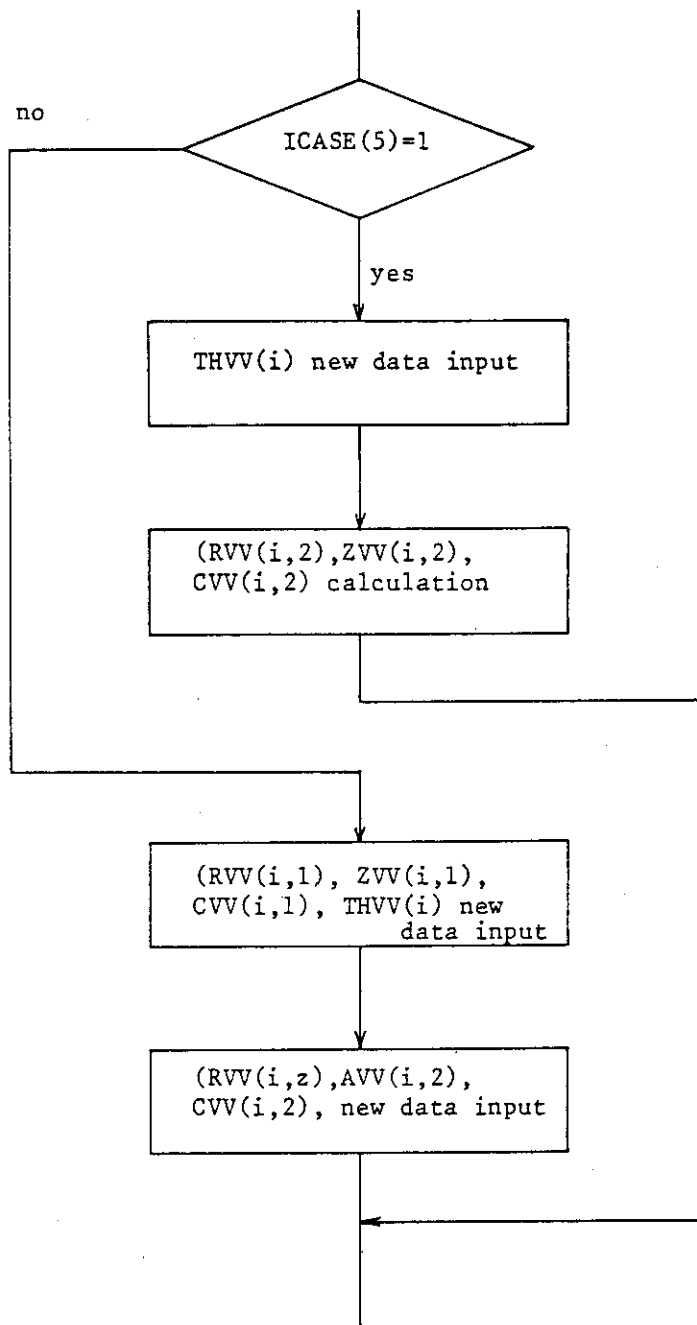
FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					VACVSL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
RP	/MNP1 /	R 4		m	Plasma major radius	
RPO	/MNP1 /	R 4		m	Plasma major radius for reference design	
MNAME1 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
MNAME2 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
MNAME3 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
IGEOM	/FLAG1 /	I 4			Option for geometrical data print out	
I	WRITE	I 4			Subscript	
J	WRITE	I 4			Subscript	
SVV	WRITE	R 4		m ²	Inner surface area of vacuum vessel	
COMMON NAMES : /CMNO / /CONST / /CVVI / /CVVO / /FLAG1 / /MATTAB / /MNAME / /MNP1 / /OPT /						
EXTERNAL NAMES : ABS CALCV CENTCR MAX SURF VOLXX						
PARENT NAMES : SM.001						
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE



Attachment-1

VACSL



Attachment-2

VACSL

$$RVV(1,1) = RVV\bar{O}(1,1) + DLTRP - DLTAP$$

$$RVV(NPVV,1) = RVV\bar{O}(NPVV,1) + DLTRP + DLTAP$$

$$RVV(i,1) = \frac{RVV(NPVV,1) - RVV(1,1)}{RVV\bar{O}(NPVV,1) - RVV\bar{O}(1,1)} \{RVV\bar{O}(i,1) - RVV\bar{O}(1,1)\} + RVV(1,1)$$

$$RVV(1,2) = RVV(1,1) - THVV(1,1)$$

$$PVV(NPVV,2) = RVV(NPVV,1) + THVV(NPVV-1,1)$$

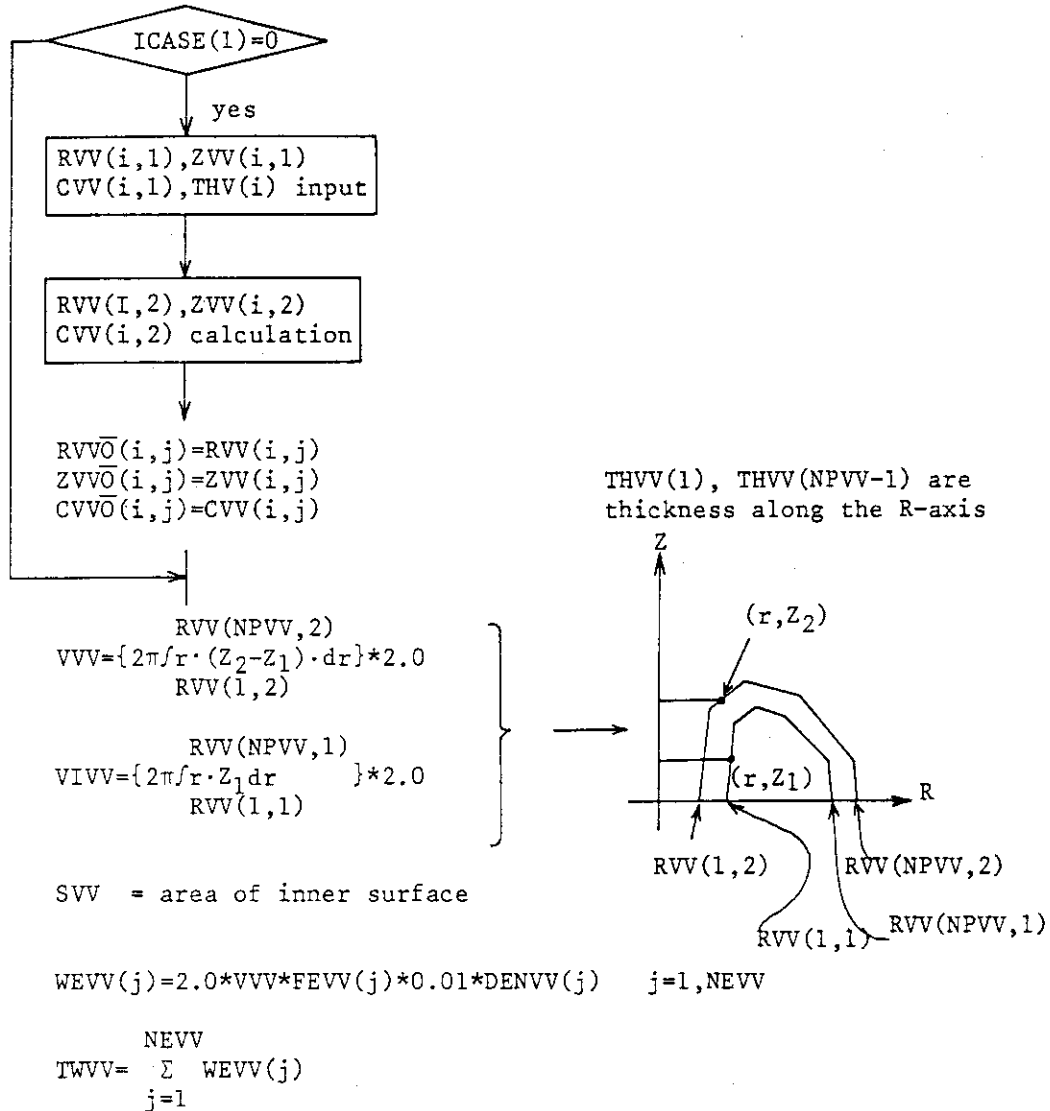
$$PVV(i,2) = \frac{RVV(NPVV,2) - RVV(1,2)}{RVV\bar{O}(NPVV,2) - RVV\bar{O}(1,2)} \{RVV\bar{O}(i,2) - RVV\bar{O}(1,2)\} + RVV(1,2)$$

$$ZVV(i,1) = \frac{RVV(NPVV,1) - RVV(1,1)}{RVV\bar{O}(NPVV,1) - RVV\bar{O}(1,1)} ZVV\bar{O}(i,1) + \frac{ELL}{ELL\bar{O}}$$

$$ZVV(i,2) = \frac{RVV(NPVV,2) - RVV(1,2)}{RVV\bar{O}(NPVV,2) - RVV\bar{O}(1,2)} * ZVV\bar{O}(i,2) * \frac{ELL}{ELL\bar{O}}$$

Attachment-3

VACSL



Note: Vacuum vessel is assumed as mono-layer.

Outer boundary of the vacuum vessel is determined from the inner boundary and thickness.

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		BLNKET			
PURPOSE :					
Calculation for the design of blanket					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE BLNKET					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT
ICASE (13)	/OPT	/ I • 4			Control option for perturbation design
IDSVV	/OPT	/ I • 4			Option for the position of vacuum vessel
PAI	/CONST	/ R • 4			Pai
DEN (62)	/MATTAB	/ R • 4		Ton/m ³	Density of materials
RVV (20,2)	/CVVI	/ R • 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j)
NPVV (2)	/CVVI	/ I • 4			Number of point for i-th boundary
NZBL	/CBLI WRITE	/ I • 4			Number of zone of blanket
NPBL (10)	/CBLI	/ I • 4			Number of point for i-th boundary
RBL (20,10)	/CBLI WRITE	/ R • 4		m	Radial coordinate of blanket point (i,j)
ZBL (20,10)	/CBLI WRITE	/ R • 4		m	Vertical coordinate of blanket point (i,j)
CBL (20,10)	/CBLI WRITE	/ R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j)
NEBL (10)	/CBLI WRITE	/ I • 4			Number of composing materials of i-th zone of blanket
FEBL (10,10)	/CBLI WRITE	/ R • 4		%	Volumetric fraction of j-th material for i-th zone
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					BLNKET	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
MNBL (10,10)	/CBLI	/I • 4			Material number of j-th material for i-th zone	
DENBL (10,10)	/CBLI WRITE	/R • 4		Ton/m ³	Density of j-th material of i-th zone of blanket	
RP	/MNP1	/R • 4		m	Plasma major radius	
RPO	/MNP1	/R • 4		m	Plasma major radius (Ref. design)	
AP	/MNP1	/R • 4		m	Plasma minor radius (horizontal)	
APO	/MNP1	/R • 4		m	Plasma minor radius (horizontal) (Ref. design)	
BP	/MNP1	/R • 4		m	Plasma minor radius (vertical)	
BPO	/MNP1	/R • 4		m	Plasma minor radius (vertical) (Ref. design)	
VIVV	/CVVO	/R • 4		m ³	Volume of interior of vacuum vessel	
RVVO (20,2)	/CVVO	/R • 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j) for (Ref. design)	
VVV	/CVVO	/R • 4		m ³	Volume of vacuum vessel	
DVV	/CVVO	/R • 4		m	Difference in height of vacuum vessel between reference and created design	
CBLO (20,10)	/CBLO	/R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
WEBL (10,10)	/CBLO WRITE	/R • 4		Ton	Weight of j-th material of i-th zone of blanket	
RBLO (20,10)	/CBLO	/R • 4		m	Radial coordinate of blanket point (i,j) (Ref. design)	
ZBLO (20,10)	/CBLO	/R • 4		m	Vertical coordinate of blanket point (i,j) (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

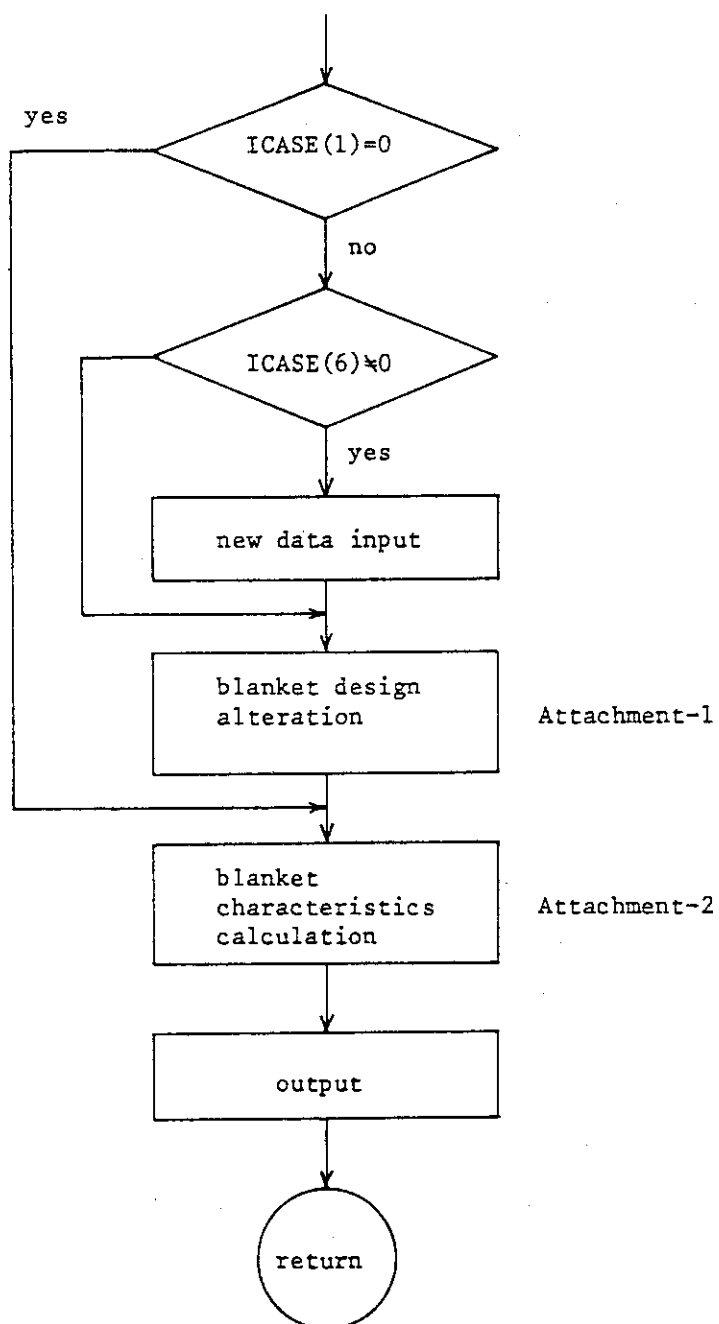
ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					BLNKET	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
TWBL	/CBLD / WRITE	R 4		Ton	Total weight of blanket	
CBA (20, 10)	/CBLD /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j)	
CBB (20, 10)	/CBLD /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j)	
CBR (20, 10)	/CBLD /	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j)	
CBA0 (20, 10)	/CBLD /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
CBB0 (20, 10)	/CBLD /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
CBR0 (20, 10)	/CBLD /	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
EPBL (10)	/CBLD /	R 4			-	
DBL	/CBLD /	R 4		m	The difference in height of blanket between reference and created design	
MNAME1 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
MNAME2 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
MNAME3 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
IGEOM	/FLAG1 /	I 4			Option for geometrical data print out	
VBL (10)	WRITE	R 4			Volume of i-th zone of blanket	
WBL (10)	WRITE	R 4			Weight of i-th zone of blanket	
J	WRITE	I 4			Subscript	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					BLNKET	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
I	WRITE	I 4			Subscript	
VLI	WRITE	R 4		m ²	Volume of inner region of blanket	
TVBL	WRITE	R 4		m ³	Total volume of blanket	
COMMON NAMES : /CBLI / /CBLO / /CONST / /CVVI / /CVVO / /FLAG1 / /HATTAB / /MNAME / /MNP1 / /OPT /						
EXTERNAL NAMES : CENTCR MAX VOLXX						
PARENT NAMES : SM.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

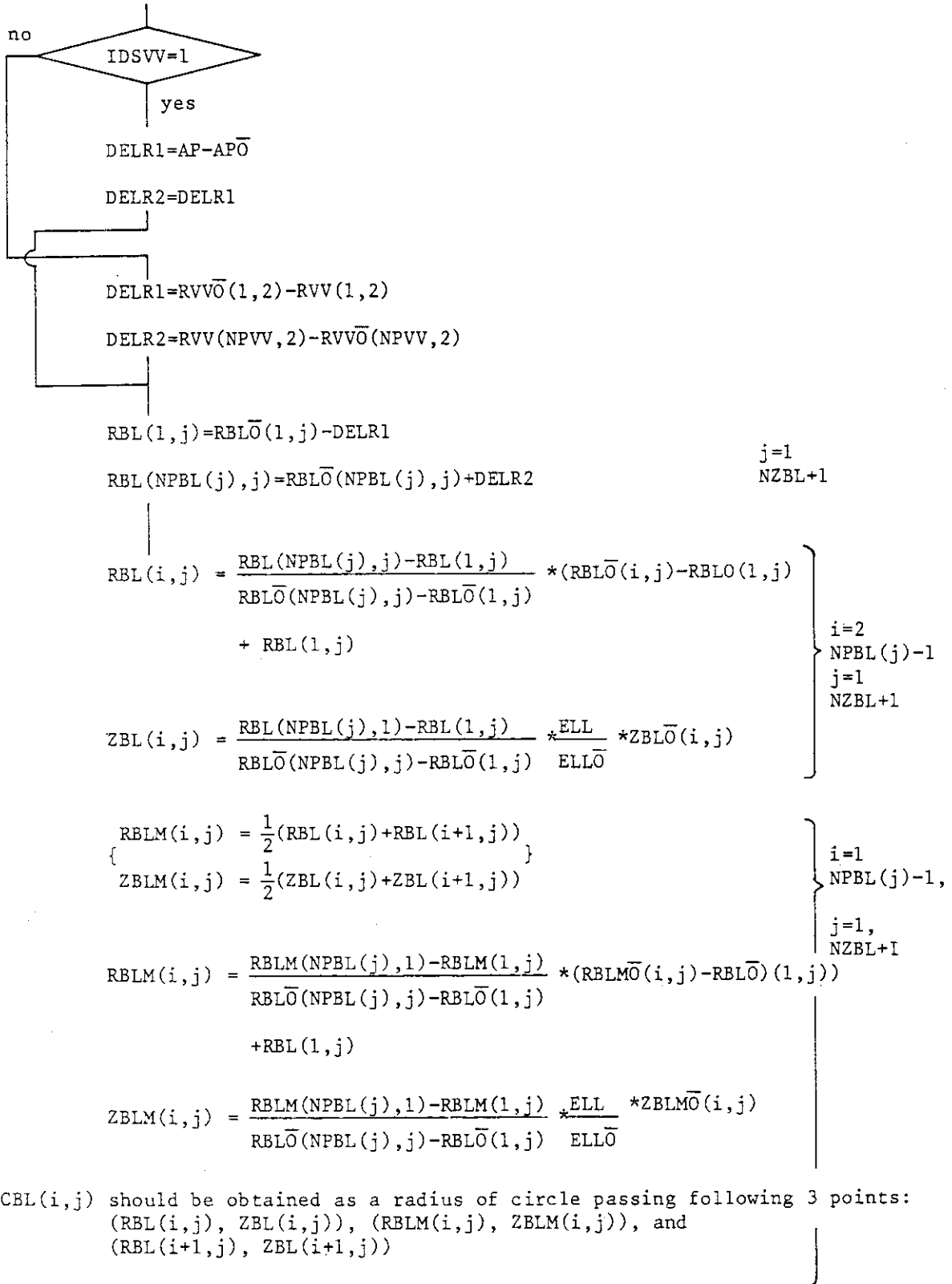
Subroutine Algorithm

BLNKET



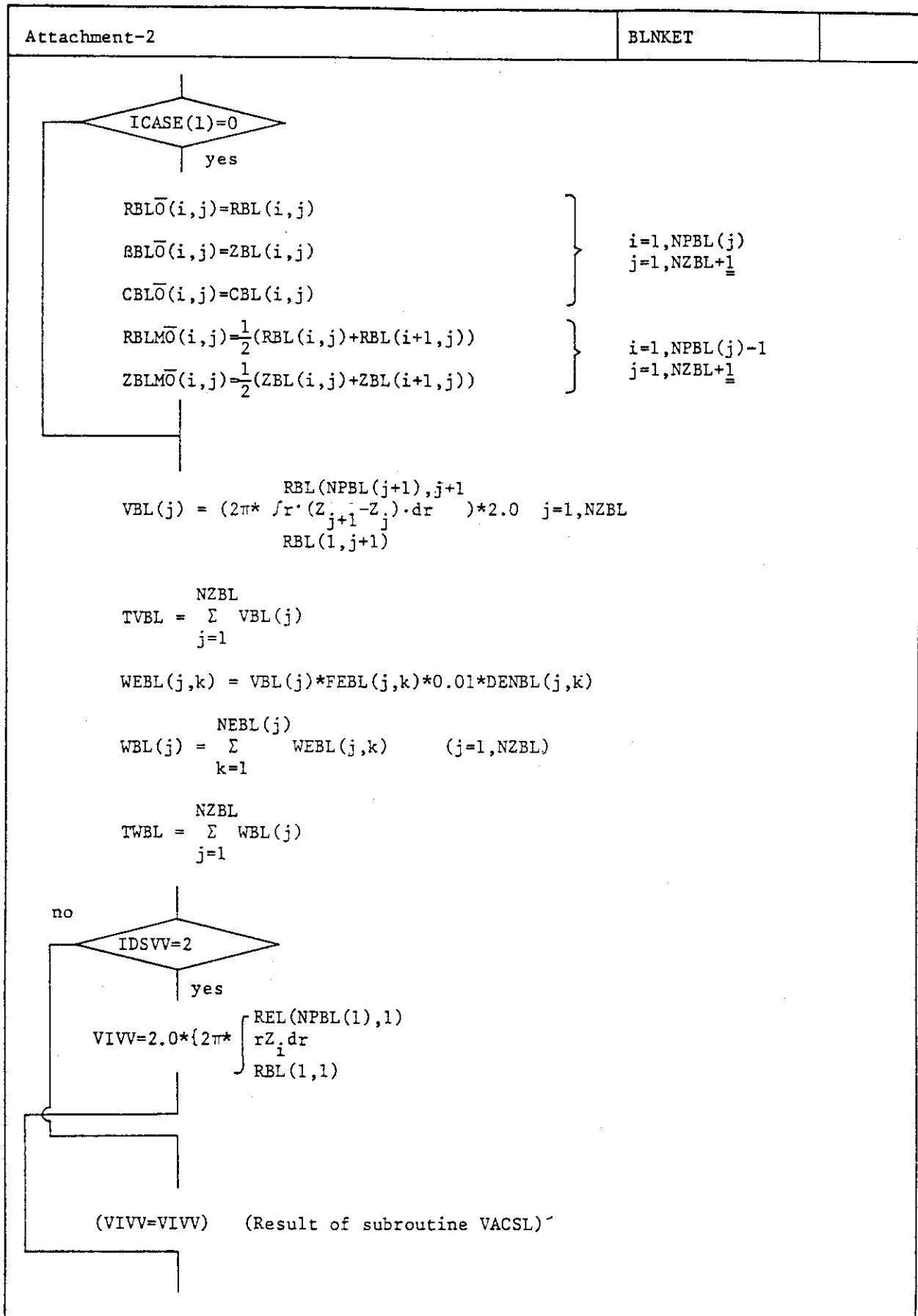
Attachment-1

BLNKET



Attachment-2

BLNKET



FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		SHIELD			
PURPOSE :					
Calculation for the design of shield					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE SHIELD					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT
ICASE (13)	/OPT	/I 4			Option for perturbation design
IDSVV	/OPT	/I 4			Option for the position of vacuum vessel
IDSBL	/OPT	/I 4			Option for the presence of blanket
PAI	/CONST	/R 4			Pai
DEN (62)	/MATTAB	/R 4		Ton/m ³	Density of materials
RP	/MNP1	/R 4		m	Plasma major radius
RPO	/MNP1	/R 4		m	Plasma major radius (Ref. design)
AP	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (horizontal)
APD	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (horizontal) (Ref. design)
BP	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (vertical)
BPD	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (vertical) (Ref. design)
RVV (20.2)	/CVVI	/R 4			Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j)
NPVV (2)	/CVVI	/I 4			The number of points of i-th boundary of vacuum vessel
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

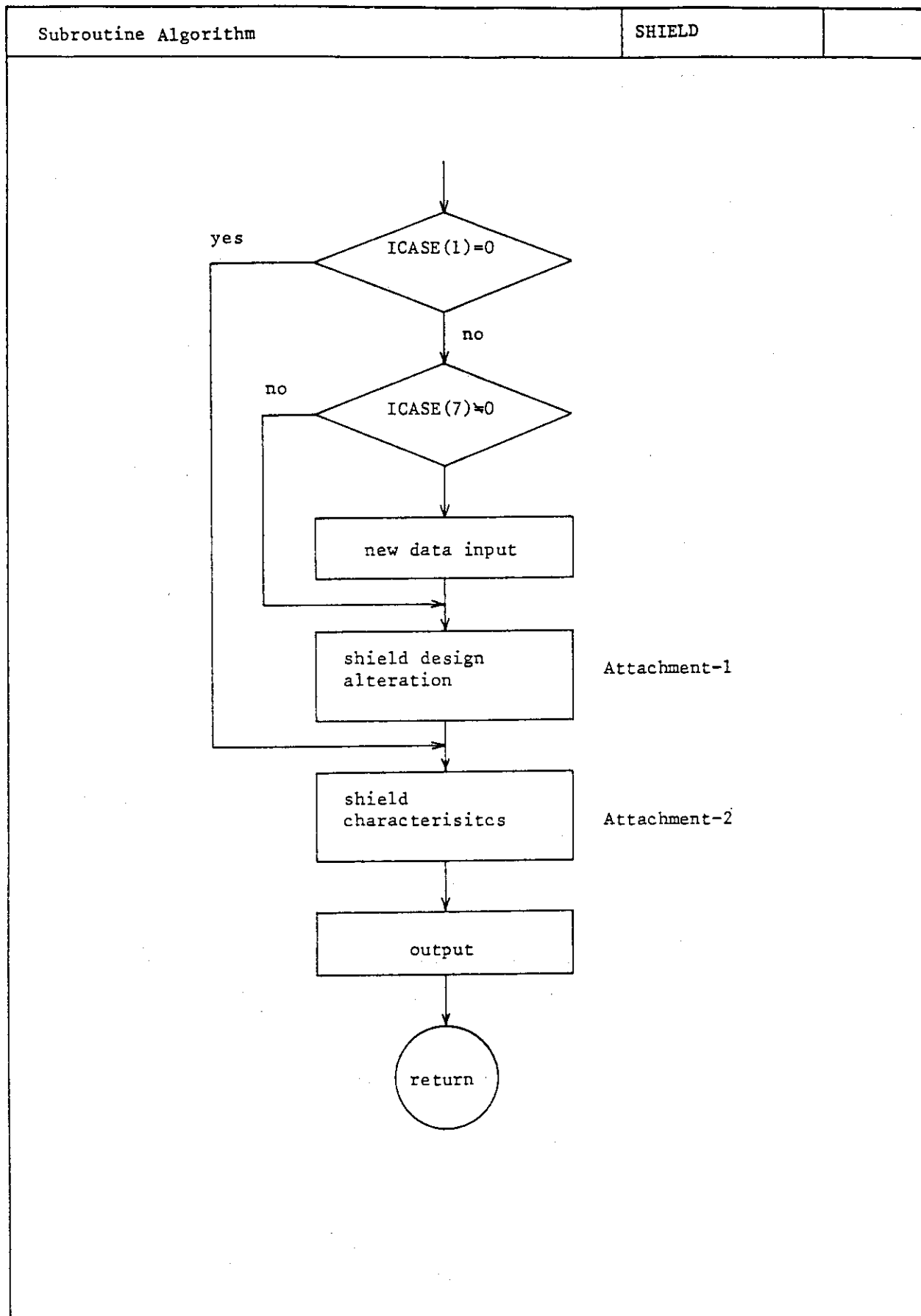
ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					SHIELD	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
NZBL	/CBLI /	I 4			Number of zones of blanket	
NPBL (10)	/CBLI /	I 4			Number of point of i-th boundary of blanket	
RBL (20,10)	/CBLI /	R 4			Radial coordinate of blanket point (i,j)	
V1VV	/CVVO /	R 4		m ³	Volume of the interior of vacuum vessel	
RVVO (20,2)	/CVVO /	R 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j) (Ref. design)	
VVV	/CVVO /	R 4		m ³	Total volume of vacuum vessel (m ³)	
DVV	/CVVO /	R 4		m	Difference in height of vacuum vessel between calculated and reference design	
RBLO (20,10)	/CBLO /	R 4		m	Radial coordinate of blanket point (i,j) for reference design	
DBL	/CBLO /	R 4		m	The difference in height of blanket between created and reference design	
RSH (20,10)	/CSHI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of shield point (i,j)	
ZSH (20,10)	/CSHI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of shield point (i,j)	
CSH (20,10)	/CSHI / WRITE	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j)	
NZSH	/CSHI /	I 4			Number of zones of shield	
NPSH (10)	/CSHI /	I 4			Number of points of i-th boundary of shield	
NESH (10)	/CSHI / WRITE	I 4			Number of composing materials of i-th zone of shield	
MNSH (10,10)	/CSHI /	I 4			Material number of j-th component of i-th zone of shield	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	PAGE

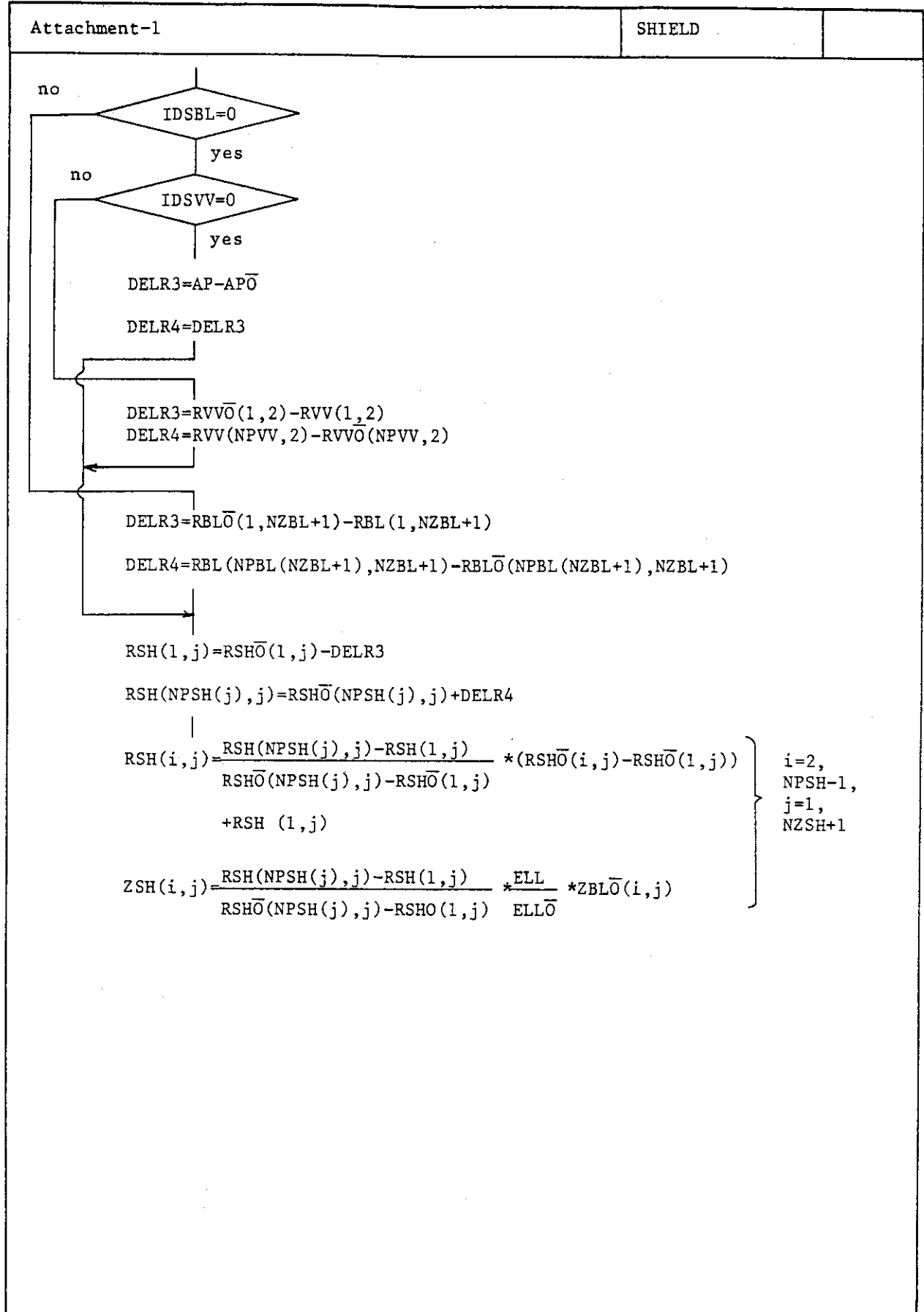
FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					SHIELD	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
FESH (10,10)	/CSHI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th component of i-th zone of shield	
DENSH (10,10)	/CSHI / WRITE	R 4		Ton/m ³	Density of j-th material of i-th zone of shield	
CSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radius of zrc between points (i,j) and (i+1,j)	
WESH (10,10)	/CSHO / WRITE	R 4		Ton	Weight of j-th material of i-th zone of shield	
RSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of shield point (i,j) (Ref. design)	
ZSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of shield point (i,j) (Ref. design)	
TWSH	/CSHO / WRITE	R 4		Ton	Total weight of shield	
CSA (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of interpolating arc between points (i,j) and (i+1,j)	
CSB (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j)	
CSR (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radius of interpolating arc from points (i,j) and (i+1,j)	
CSAQ (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
CSBO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
CSRO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
EPSH (10)	/CSHO /	R 4			-	
DSH	/CSHO /	R 4		m	Difference in height of shield between created and reference design	
MNAME1 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

FORM NO. R27

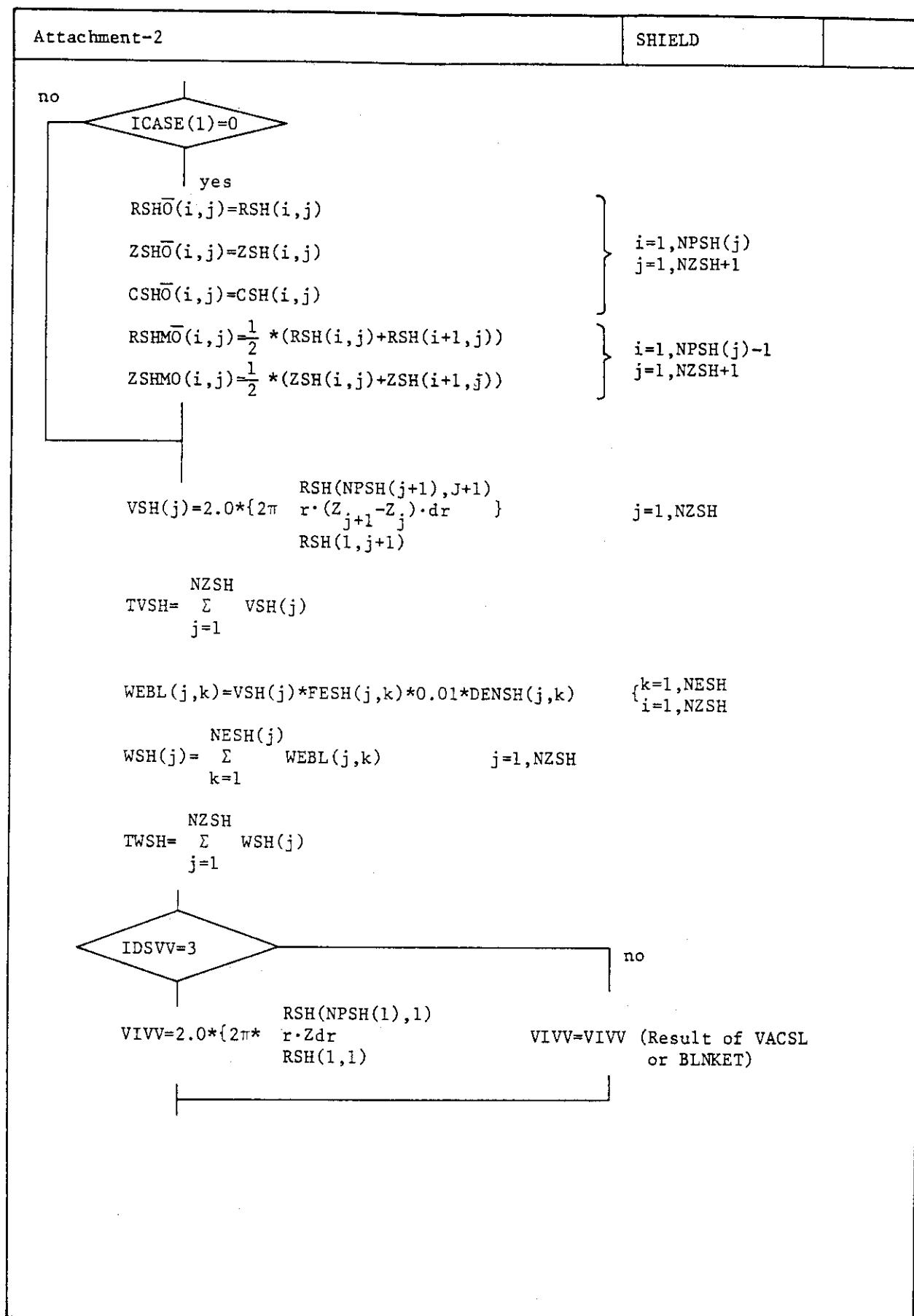
ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					SHIELD	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
MNAME2 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
MNAME3 (70)	/MNAME / WRITE	I 4			Material name	
IGEOM	/FLAG1 /	I 4			Option for geometrical data print out	
VSH (10)	WRITE	R 4		m ³	Volume of i-th zone of shield	
WSH (10)	WRITE	R 4		Ton	Weight of i-th zone of shield	
J	WRITE	I 4			Subscript	
I	WRITE	I 4			Subscript	
VL I	WRITE	R 4		m ³	Volume of interior of shield	
TVSH	WRITE	R 4		m ³	Total volume of shield	
COMMON NAMES : /CBLI / /CBLO / /CONST / /CSHI / /CSHO / /CVVI / /CVVO / /FLAG1 / /MATLAB / /MNAME / /MNPI / /OPT /						
EXTERNAL NAMES : CENTCR MAX VOLXX						
PARENT NAMES : SM.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE





Attachment-1	SHIELD	
<pre> CSH(i,j) RSHM(i,j)=1/2{RSH(i,j)+RSH(i+1,j)} { ZSHM(i,j)=1/2{ZSH(i,j)+ZSH(i+1,j)} RSHM(i,j)=RSHM(NPSH(j),1)-RSHM(1,j) RSHO(NPSH(j),j)-RSHO(1,j) +RSH(1,j) *{RSHMO(i,j)-RSHO(1,j)} ZSHM(i,j)=RSHM(NPSH(j),1)-RSHM(1,j) RSHO(NPSH(j),j)-RSHO(1,j) *ELL ELL *ZSHMO(i,j) (SH(i,j) should be obtained as a radius of circle passing following 3 points: (RSH(i,j),ZSH(i,j)), (RSHM(I,j), ZSHM(i,j)) and (RSH(i+1,j), ZSH(i+1,j)) </pre>		

$i=1, NPSH(j)$
 -1
 $j=1, NZSH+1.$



Attachment-2	SHIELD	
$\text{ATPF1}(i) = \frac{\text{RRPF}(i)}{\text{RRPFO}(i)} * \frac{\text{IP}}{\text{IPO}} * \text{ATPF1}\overline{\text{O}}(i)$ $\text{ATPF2}(i) = \frac{\text{VS}}{\text{VSO}} * \text{ATPF2}\overline{\text{O}}(i)$ $\text{ATPF}(i) = \text{ATPF1}(i) + \text{ATPF2}(i)$ $\text{PEQUI}(i) = \text{ATPF1}(i) / \text{ATPF}(i)$ $\text{SCPF}(i) = \text{ATPF}(i) / \text{CDENC}(i)$ $\text{TRCPF}(i) = \sqrt{\text{SCPF}(i) * \text{RBYZ}(i)}$ $\text{TZCPF}(i) = \text{SCPF}(i) / \text{TRCPF}(i)$ $\text{DRPF}(i) = \text{TRCPF}(i) + 2.0 * (\text{TIPF}(i) + \text{TVPF}(i))$ $\text{DZPF}(i) = \text{TZCPF}(i) + 2.0 * (\text{TIPF}(i) + \text{TVPF}(i))$		

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
PURPOSE :						
Calculation for the design of poloidal field coil (PF coil)						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE PFCOIL						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
ICASE (13)	/OPT	/	I • 4		Control option for perturbation design	
IDSVV	/OPT	/	I • 4		Option for the position of vacuum vessel	
IDSBL	/OPT	/	I • 4		Option for the presence of blanket	
IDSSH	/OPT	/	I • 4		Option for the presence of shield	
IDSPP	/OPT	/	I • 4		Option for the position of PF coil	
IDSPC	/OPT	/	I • 4		Option for the conductor of PF coil	
DEN (62)	/MATTAB	/	R • 4	Ton/m ³	Density of materials	
ER (62)	/MATTAB	/	R • 4	Ohm-m	Electrical resistivity of materials	
RP	/MNP1	/	R • 4	m	Plasma major radius	
RPO	/MNP1	/	R • 4	m	Plasma major radius for reference design	
IP	/MNP1	/	R • 4	MA	Plasma current	
LP	/MNP1	/	R • 4	H	Plasma self inductance	
VS	/MNP1 WRITE	/	R • 4	VS	Volt-second of OH coil	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
IPO	/MNP1	/R 4		MA	Plasma current for reference design	
AMU	/CONST	/R 4			Magnetic permeability in vacuum	
PAI	/CONST	/R 4			Pai	
RVV (20.2)	/CVVI	/R 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel at point (i,j)	
ZVV (20.2)	/CVVI	/R 4		m	Vertical coordinate of vacuum vessel at point (i,j)	
CVV (20.2)	/CVVI	/R 4		m	Radius of arc between point (i,j) and (i+1,j)	
NPVV (2)	/CVVI	/I 4			The number of points for i-th boundary of vacuum vessel	
NZBL	/CBLI	/I 4			The number of zones of blanket	
NPBL (10)	/CBLI	/I 4			The number of points for i-th boundary of vacuum vessel	
RBL (20.10)	/CBLI	/R 4		m	Radial coordinate of blanket at point (i,j)	
ZBL (20.10)	/CBLI	/R 4		m	Vertical coordinate of blanket at point (i,j)	
CBL (20.10)	/CBLI	/R 4		m	Radius of interpolation arc of blanket between points (i,j) and (i+1,j)	
RSH (25.10)	/CSHI	/R 4		m	Radial coordinate of shield at point (i,j)	
ZSH (20.10)	/CSHI	/R 4		m	Vertical coordinate of shield at point (i,j)	
CSH (20.10)	/CSHI	/R 4		m	Radius of arc of shield between points (i,j) and (i+1,j)	
NZSH	/CSHI	/I 4			Number of zone of shield	
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
NPSH (10)	/CSHI	/ I 4			Number of points for i-th boundary of shield	
CVVO (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Radius of interpolating arc of vacuum vessel, from point i to i+1, for reference design	
RVVO (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel at point (i,j) (Ref. design)	
ZVVO (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Vertical coordinate of vacuum vessel at point (i,j) (Ref. design)	
CVA (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j)	
CVB (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of vacuum vessel	
CVR (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Radius of arc between points of (i,j) and (i+1,j)	
CVAO (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of vacuum vessel (Ref. design)	
CVBO (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of vacuum vessel (Ref. design)	
CVRO (20.2)	/CVVO	/ R 4		m	Radius of the arc between points (i,j) and (i+1,j) of vacuum vessel (Ref. design)	
EPVV (10)	/CVVO	/ R 4			-	
CBLO (20.10)	/CBLO	/ R 4		m	Radius of arc between points of (i,j) and (i+1,j) of blanket (Ref. design)	
RBLO (20.10)	/CBLO	/ R 4		m	Radial coordinate of point (i,j) of blanket (Ref. design)	
ZBLO (20.10)	/CBLO	/ R 4		m	Vertical coordinate of point (i,j) of blanket (Ref. design)	
CBA (20.10)	/CBLO	/ R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket	
CBB (20.10)	/CBLO	/ R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket	
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
CBR (20,10)	/CBLO /	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket	
CBA0 (20,10)	/CBLO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket (Ref. design)	
CSB0 (20,10)	/CBLO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket (Ref. design)	
CBRO (20,10)	/CBLO /	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of blanket (Ref. design)	
EPBL (10)	/CBLO /	R 4			-	
CSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield (Ref. design)	
RSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of point (i,j) of shield	
ZSHO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of point (i,j) of shield	
CSA (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield	
CSB (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield	
CSR (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield	
CSA0 (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield (Ref. design)	
CSB0 (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield (Ref. design)	
CSRO (20,10)	/CSHO /	R 4		m	Radius of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of shield (Ref. design)	
EPSH (10)	/CSHO /	R 4			-	
CURT (25,50)	/CPSLYP /	R 4		MA	PF coil current	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
NTPL	/CPSLYP /	I 4			Number of time-point of plasma current pattern	
AIND (25,25)	/CPSLYP /	R 4		H	Inductance (plasma, PF coil)	
CURTO (25,50)	/CPSLYP /	R 4		MA	PF coil current (Ref. design)	
CURPLO (50)	/CPSLYP /	R 4		MA	Plasma current (Ref. design)	
NCPFI	/CPFI / WRITE	I 4			The number of PF coil inside of TF coil	
NCPF	/CPFI / WRITE	I 4			Total number of PF coil	
RPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of i-th PF coil	
ZPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of i-th PF coil	
DRPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Radial thickness of i-th PF coil	
DZPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Vertical thickness of i-th PF coil	
TIPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Thickness of insulator of i-th PF coil	
TVPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		m	Thickness of i-th PF coil	
NEPFC (25)	/CPFI / WRITE	I 4			Number of composing materials in conductor of i-th PF coil	
MNPFC (25,10)	/CPFI /	I 4			Material number of j-th material in conductor of i-th PF coil	
FEPFC (25,10)	/CPFI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th conductor in i-th PF coil	
NEPFI (25)	/CPFI / WRITE	I 4			Number of composing material in insulator of i-th PF coil	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
MNPFI (25,10)	/CPFI / WRITE	I 4			Material number of j-th material in insulator of i-th PF coil	
FEPFI (25,10)	/CPFI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th material in insulator in i-th PF coil	
MNPV (25)	/CPFI /	I 4			Material number of i-th PF coil vacuum chamber	
DENPFC (25,10)	/CPFI / WRITE	R 4		Ton/m ³	Density of j-th material in conductor of i-th PF coil	
DENPFI (25,10)	/CPFI / WRITE	R 4		Ton/m ³	Density of j-th material in insulator of i-th PF coil	
DENPV (25)	/CPFI /	R 4		Ton/m ³	Density of vacuum chamber of i-th PF coil	
ERPFC (25,10)	/CPFI /	R 4		Ohm-m	Electrical resistivity of j-th material of i-th PF coil	
PEQUI (25)	/CPFI / WRITE	R 4		MA	Equilibrium current of i-th PF coil	
ATPF (25)	/CPFI / WRITE	R 4		MA	Maximum current of i-th PF coil	
ELRPF (25)	/CPFO / WRITE	R 4		Ohm	Electrical resistance of i-th PF coil	
WEPFC (25,10)	/CPFO / WRITE	R 4		Ton	Weight of j-th material in conductor, of i-th PF coil	
WEPFI (25,10)	/CPFO / WRITE	R 4		Ton	Weight of j-th material in insulator of i-th PF coil	
WEPV (25)	/CPFO /	R 4		Ton	Weight of vacuum chamber of i-th PF coil	
SCPF (25)	/CPFO /	R 4		m ²	Cross section of i-th PF coil conductor	
TTWPF	/CPFO / WRITE	R 4		Ton	Total weight of PF coil	
RPFO (25)	/CPFO /	R 4		m	Radial coordinate of i-th PF coil (Ref. design)	
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ZPFO (25)	/CPFO /	R • 4		m	Vertical coordinate of i-th PF coil (Ref. design)	
DRPFO (25)	/CPFO /	R • 4		m	Radial thickness of i-th PF coil (Ref. design)	
DZPFO (25)	/CPFO /	R • 4		m	Vertical thickness of i-th PF coil (Ref. design)	
ATPFO (25)	/CPFO /	R • 4		MA	Maximum ampere turn of i-th PF coil (Ref. design)	
NPTF (25)	/CTFI /	I • 4			Number of point of i-th boundary of TF coil	
RTF (20, 10)	/CTFI /	R • 4		m	Radial coordinate of TF coil point (i,j)	
ZTF (20, 10)	/CTFI /	R • 4		m	Vertical coordinate of TF coil point (i,j)	
CTF (20, 10)	/CTFI /	R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
NZTFT	/CTFI /	I • 4			Number of zones in theta direction of TF coil	
CTFO (20, 10)	/CTFO /	R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
RTFO (20, 10)	/CTFO /	R • 4		m	Radial coordinate of TF coil point (i,j) (Ref. design)	
ZTFO (20, 10)	/CTFO /	R • 4		m	Vertical coordinate of TF coil point (i,j) (Ref. design)	
CTA (20, 10)	/CTFO /	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTB (20, 10)	/CTFO /	R • 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTR (20, 10)	/CTFO /	R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTAO (20, 10)	/CTFO /	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
CTBO (20,10)	/CTFO /	R • 4		m	Vertical coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
CTRO (20,10)	/CTFO /	R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
NZTFR	/CTFO /	1 • 4			Number of zone in radial direction of TF coil	
EPTF (10)	/CTFO /	R • 4			-	
MNAME1 (70)	/MNAME / WRITE	1 • 4			Material name	
MNAME2 (70)	/MNAME / WRITE	1 • 4			Material name	
MNAME3 (70)	/MNAME / WRITE	1 • 4			Material name	
IAUX	/FLAG1 /	1 • 4			Option for calculation of aux. component	
IGEOM	/FLAG1 /	1 • 4			Option for geometrical data print out	
RRPF (25)	/CPFCL /	R • 4	*	m	Radial coordinate of i-th PF coil in polar coordinate	
TANPF (25)	/CPFCL /	R • 4	*	Rad	Tangent of i-th PF coil in polar coordinate	
RRPSO (25)	/CPFCL /	R • 4			-	
RRPS (25)	/CPFCL /	R • 4			-	
DRPSO (25)	/CPFCL /	R • 4			-	
RRPTO (25)	/CPFCL /	R • 4			-	
RRPT (25)	/CPFCL /	R • 4			-	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
*Origin of polar coordinate is the center of plasma.						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

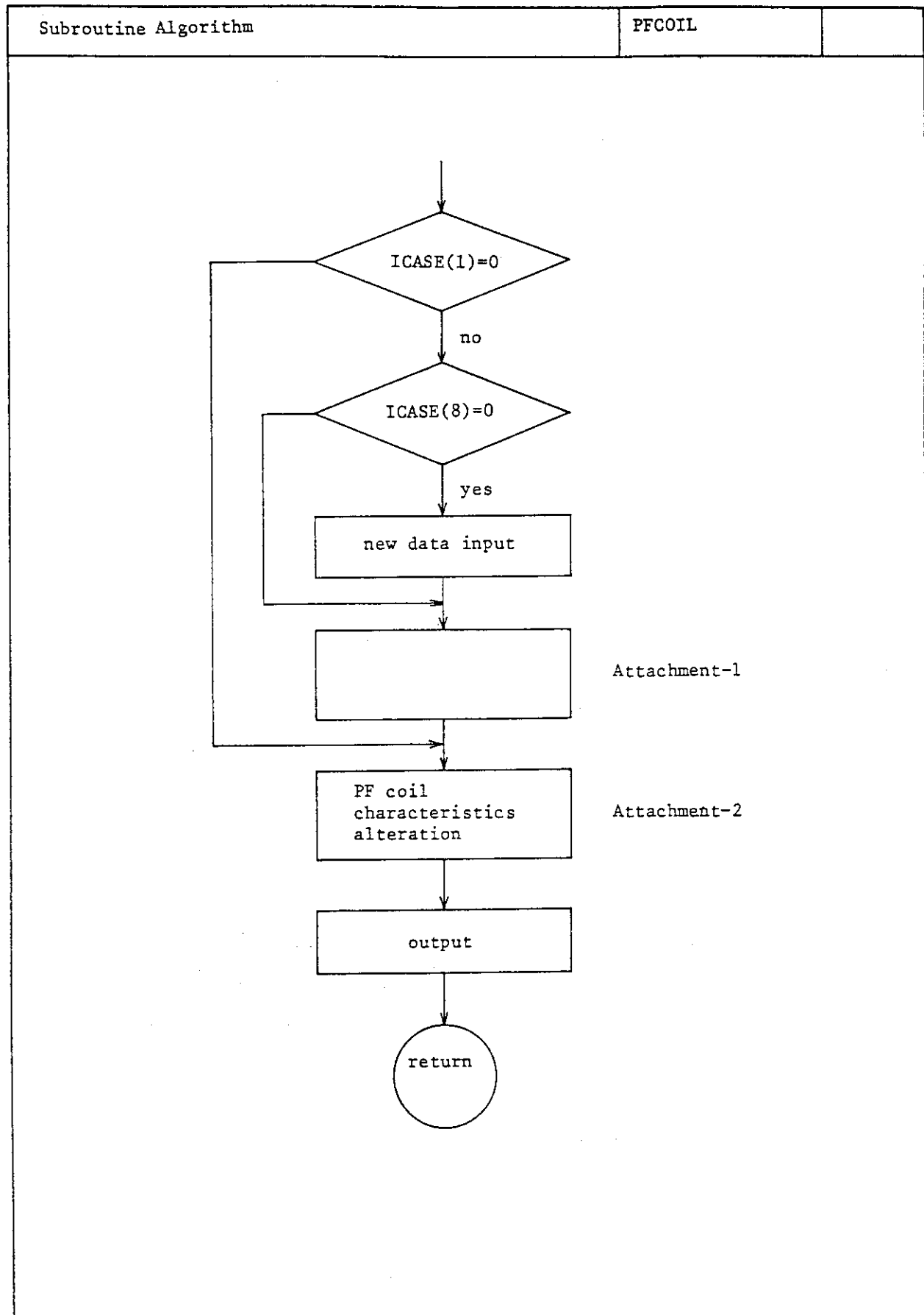
ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
DRPT0 (25)	/CPFCL /	R • 4			-	
ATPF1 (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		MA	Equilibrium current component	
ATPF2 (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		MA	OH current component	
TRCPF (25)	/CPFCL /	R • 4		m	Horizontal width of PF coil conductor	
TZCPF (25)	/CPFCL /	R • 4		m	Vertical width of PF coil conductor	
CDENC (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		MA/m ²	Current density of conductor	
RBYZ (25)	/CPFCL /	R • 4			Ratio of TRCPF to TZCPF	
ATPF10 (25)	/CPFCL /	R • 4		MA	Equilibrium current component (Ref. design)	
ATPF20 (25)	/CPFCL /	R • 4		MA	OH current component (Ref. design)	
RRPFO (25)	/CPFCL /	R • 4		m	Radial coordinate of i-th PF coil in polar coordinate (Ref. design)	
VPFI (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		m ³	Volume of i-th PF coil insulator	
VPFV (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		m ³	Volume of i-th PF coil vacuum chamber	
QJOUL (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		HW	Joul loss of i-th PF coil	
VPFC (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		m ³	Volume of i-th PF coil conductor	
WPFI (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		Ton	Weight of i-th PF coil insulator	
WPFV (25)	/CPFCL / WRITE	R • 4		Ton	Weight of i-th PF coil vacuum chamber	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

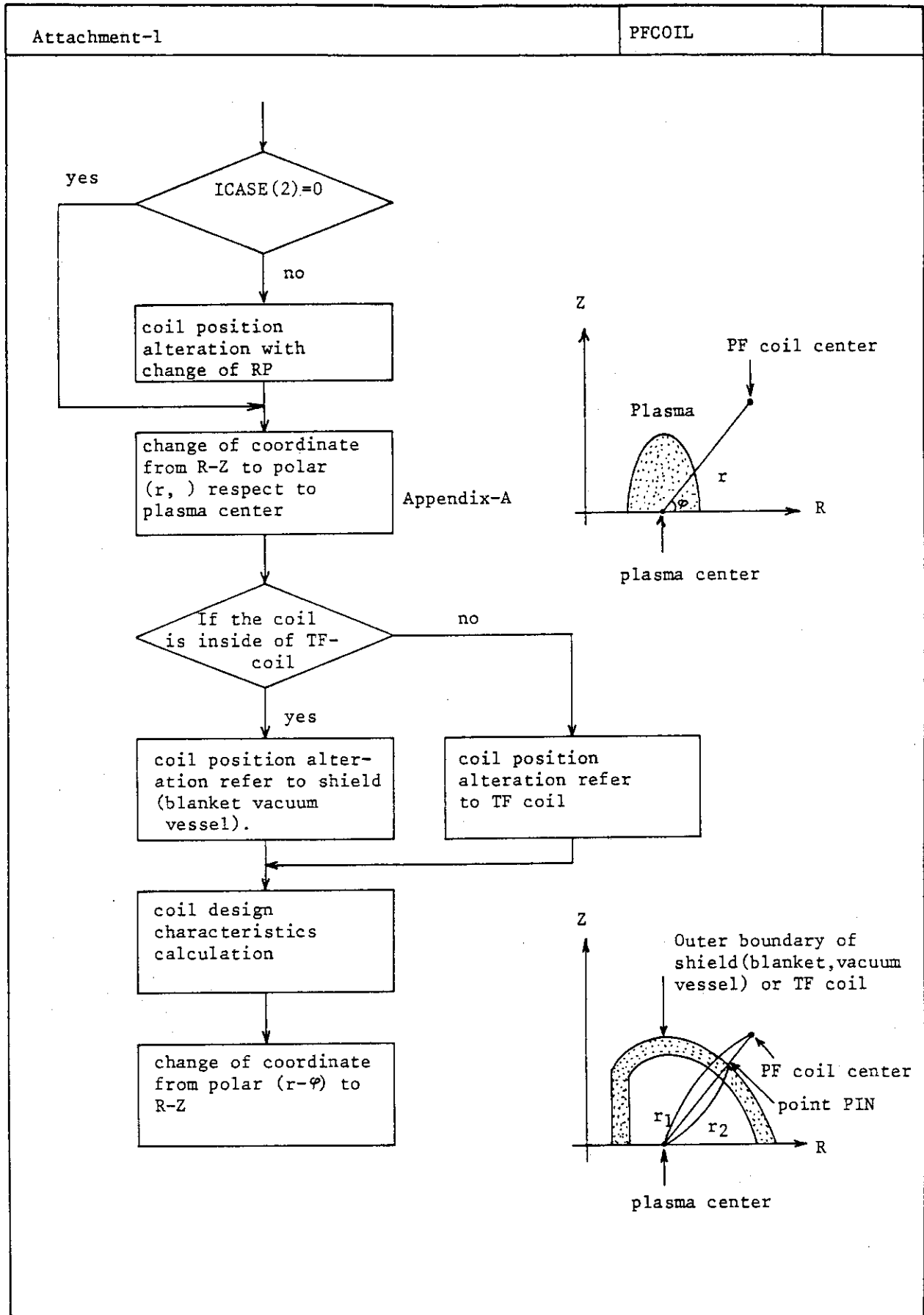
FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
WPFC (25)	/CPFCL / WRITE	R 4		Ton	Weight of i-th PF coil conductor	
TWPF (25)	/CPFCL / WRITE	R 4		Ton	Total weight of i-th PF coil	
RINPFO (25)	/CPFCL /	R 4	*	m	Radial coordinate of point pinter (Ref. design)	
RINPF (25)	/CPFCL /	R 4	*	m	Radial coordinate of point pinter	
ZINPFO (25)	/CPFCL /	R 4	*	m	Vertical coordinate of point pinter (Ref. design)	
ZINPF (25)	/CPFCL /	R 4	*	m	Vertical coordinate of point pinter	
TTVPF (25)	/CPFCL / WRITE	R 4		m ³	Total volume of i-th PF coil	
I	WRITE	I 4			Subscript	
J	WRITE	I 4			Subscript	
TTVPFI	WRITE	R 4		m ³	Total volume of PF coils in TF coil	
TTVPFO	WRITE	R 4		m ³	Total volume of PF coil outside of TF coil	
TTWPFI	WRITE	R 4		Ton	Total weight of PF coil inside of TF coil	
TTWPFO	WRITE	R 4		Ton	Total weight of PF coil outside of TF coil	
TQJOUL	WRITE	R 4		MJ	Total Joule loss of PF coil	
COMMON NAMES : /CBLI / /CBLO / /CONST / /CPFCL / /CPFI / /CPFO / /CPSLYP / /CSHI / /CSHO / /CTFI / /CTFO / /CVVI / /CVVO / /FLAG1 / /MATTAB / /MNAME / /MNP1 / /OPT /						
EXTERNAL NAMES : ABS ALOG ATAN COS ELLPIN RZORD SIN SQRT						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
*See the figure in Attachment-1 (PFCOIL)						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

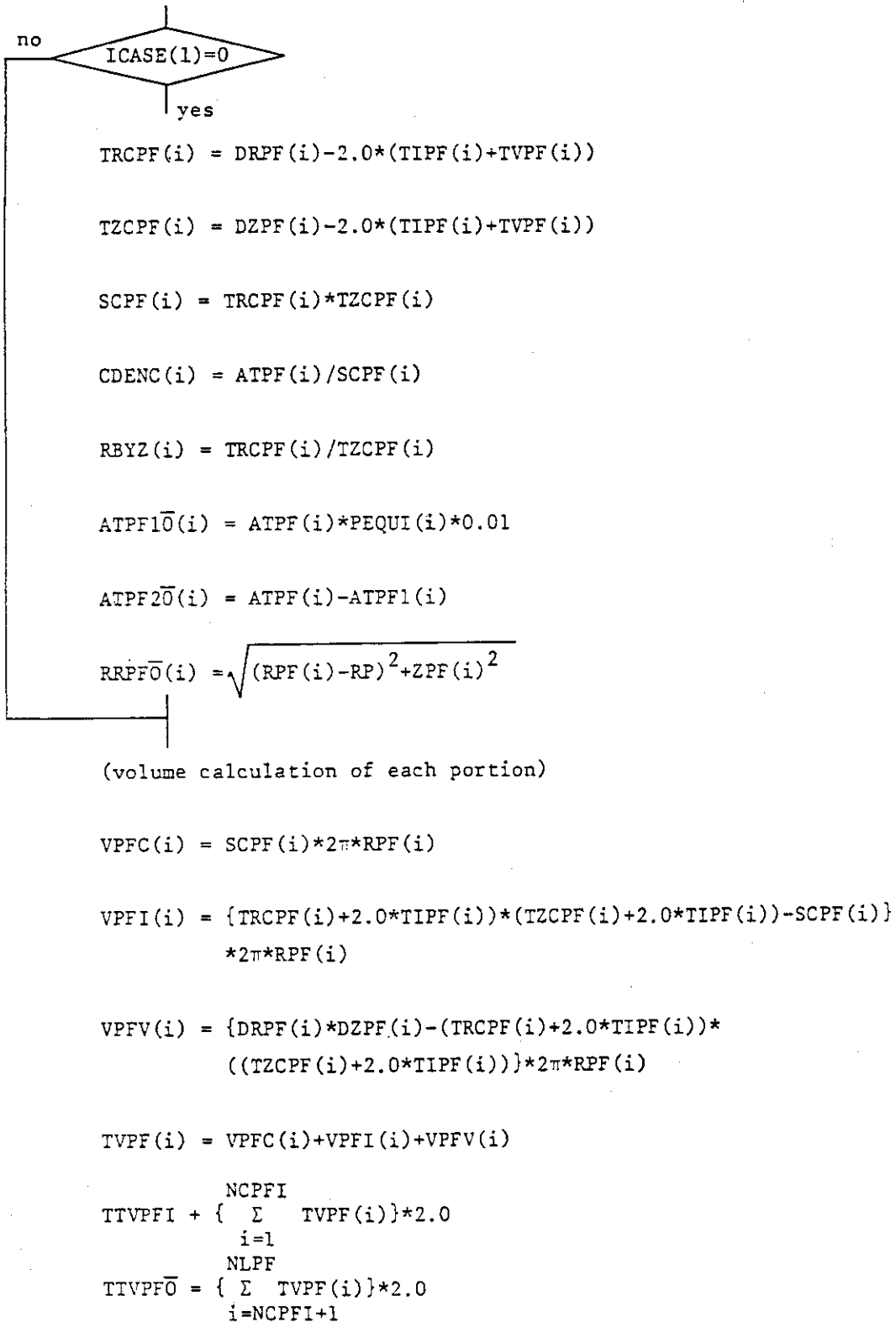
ROUTINE EXPLANATION	SUBROUTINE NAME	INDEX					
	PFCOIL						
PARENT NAMES : SM.001							
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:							
	AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE			





Attachment-2

PFCOIL



Attachment-2

PFCOIL

(weight calculation of each portion)

$$\text{WEPFC}(i,j) = \text{VPFC}(i) * \text{FEPF}(i,j) * 0.01 * \text{DENPFC}(i,j)$$

$$\text{WPFC}(i) = \sum_{j=1}^{\text{NEPFC}(i)} \text{WEPFC}(i,j)$$

$$\text{WEPFI}(i,j) = \text{VPFI}(i) * \text{FEPFI}(i,j) * 0.01 * \text{DENPFI}(i,j)$$

$$\text{WPFI}(i) = \sum_{j=1}^{\text{NEPFI}(i)} \text{WEPFI}(i,j)$$

$$\text{WPFU}(i) = \text{VPFV}(i) * \text{DENPFV}(i)$$

$$\text{TWPF}(i) = \text{WPFC}(i) + \text{WPFI}(i) + \text{WPFV}(i)$$

$$\text{TTWPF}_I = \left(\sum_{i=1}^{\text{NCPFI}} \text{TWPF}(i) \right) * 2.0$$

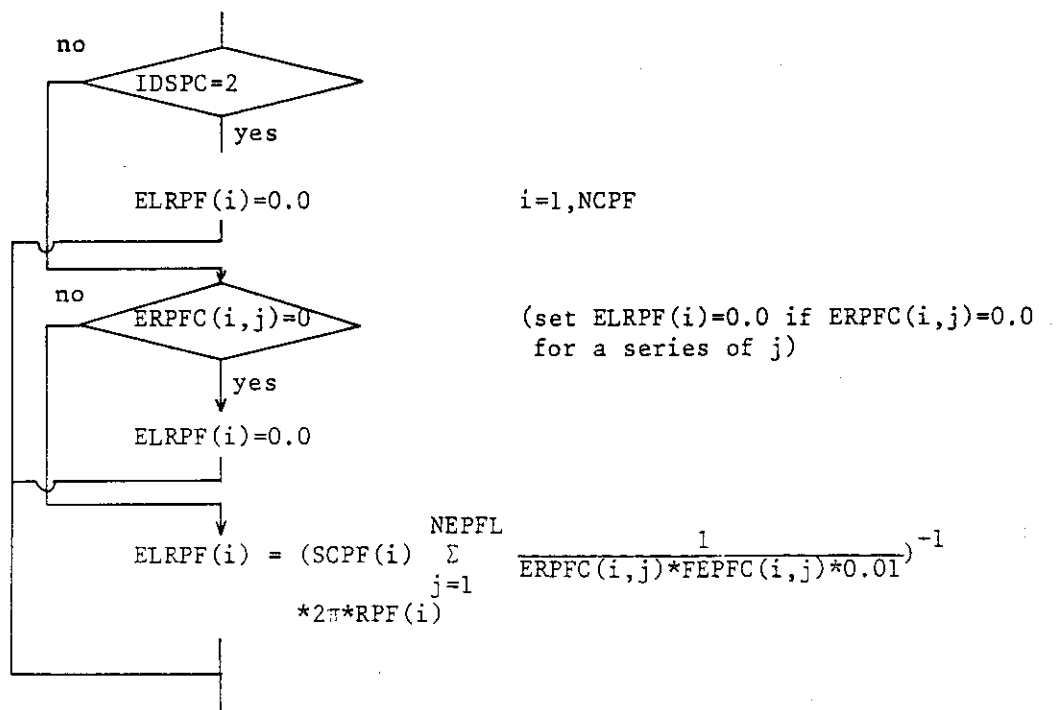
$$\text{TTWPF}\bar{O} = \left(\sum_{i=\text{NCPFI}+1}^{\text{NCPF}} \text{TWPF}(i) \right) * 2.0$$

$$\text{TTWPF} = \text{TTWPF}_I + \text{TTWPF}\bar{O}$$

Attachment-3

PECOIL

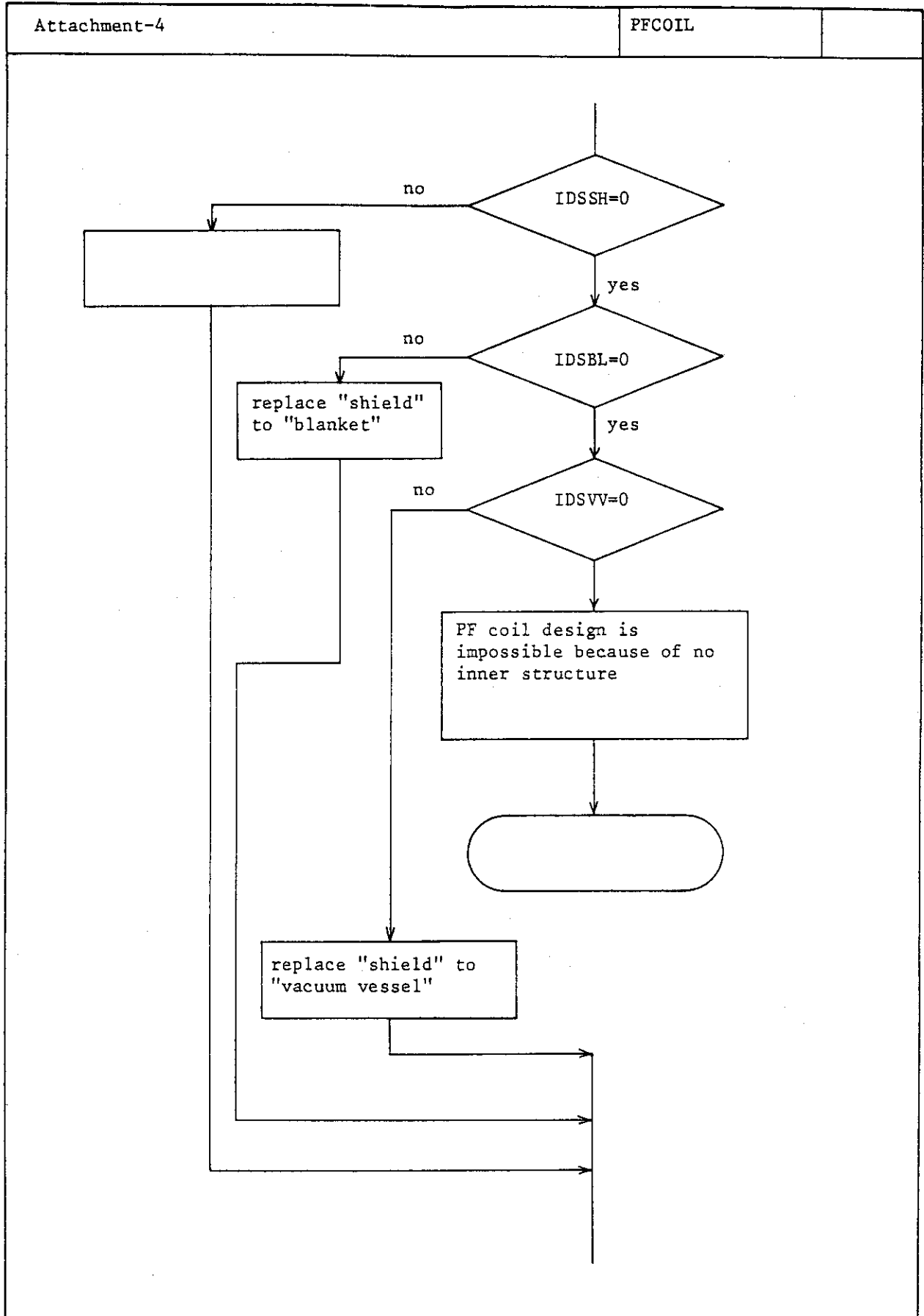
(electric resistance calculation)



(Joule loss calculation)

$$OJ\bar{O}UL(i) = ELRPF(i) * (ATPF(i))^2 * 10^6$$

$$TQJ\bar{O}UL = \sum_{i=1}^{NCPF} OJ\bar{O}UL(i)$$



Appendix-B to Attachment-1

PFCOIL

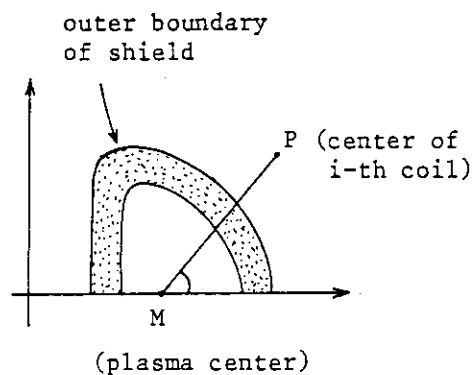
Here, it is assumed that the poloidal coil is located outside of the shield.

In other cases, see attachment-4.

Calculate the intersect point between straight line M-P and outer boundary of shield:

(RINPFO(i), ZINPFO(i)) for reference design

(RINPF(i), ZINPF(i)) for altered design



$$RRPSO(i) = \sqrt{(RINPFO(i) - RP)^2 + (ZINPFO(i))^2}$$

$$RRPS(i) = \sqrt{(RINPF(i) - RP)^2 + (ZINPF(i))^2}$$

$$DRPSO(i) = RRPF(i) - RRPSO(i)$$

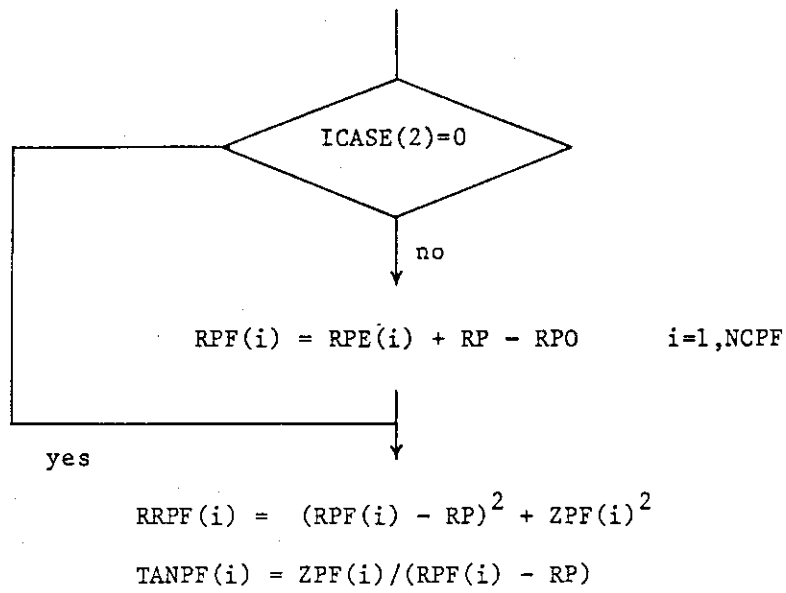
$$RRPF(i) = RRPS(i) + DRPSO(i)$$

$$RPF(i) = RRPF(i) * \cos + RP$$

$$ZPF(i) = RRPF(i) * \sin$$

Appendix-A to Attachment-1

PFCOIL



FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					TFCOIL	
PURPOSE :						
Calculation for the design of toroidal field coil (TF coil)						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE TFCOIL						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ICASE (13)	/OPT	/I 4			Option for perturbation design	
IDSVV	/OPT	/I 4			Option for the position of vacuum vessel	
IDSBL	/OPT	/I 4			Option for the presence of blanket	
IDSSH	/OPT	/I 4			Option for the presence of shield	
IDSTC	/OPT	/I 4			Option for the conductor of TF coils	
RP	/MNP1	/R 4		m	Plasma major radius	
RPO	/MNP1	/R 4		m	Plasma major radius (Ref. design)	
AP	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (horizontal)	
APO	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (horizontal) (Ref. design)	
BP	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (vertical)	
BPO	/MNP1	/R 4		m	Plasma minor radius (vertical) (Ref. design)	
ELL	/MNP1	/R 4			Plasma ellipticity	
ELLO	/MNP1	/R 4			Plasma ellipticity (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					TFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
BT	/MNPI /	R • 4		T	Toroidal field strength	
RPL	/MNPI / WRITE	R • 4		%	Toroidal field ripple	
DEN (62)	/MATLAB /	R • 4		Ton/m ³	Density of material	
ER (62)	/MATLAB /	R • 4		Ohm-m	Electrical resistivity of material	
AMU	/CONST /	R • 4			Magnetic permeability in vacuum	
PAI	/CONST /	R • 4			Pai	
NZBL	/CBLI /	I • 4			Number of zones of blanket	
NPBL (10)	/CBLI /	I • 4			Number of point for i-th boundary of blanket	
RBL (20,10)	/CBLI /	R • 4		m	Radial coordinate of blanket point (i,j)	
RVV (20,2)	/CVVI /	R • 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j)	
NPVV (2)	/CVVI /	I • 4			Number of point for i-th boundary of vacuum vessel	
RVVO (20,2)	/CVVO /	R • 4		m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j) (Ref. design)	
DVV	/CVVO /	R • 4		m	The difference in height of vacuum vessel between created and reference design	
RBLO (20,10)	/CBLO /	R • 4		m	Radial coordinate of blanket point (i,j) (Ref. design)	
DBL	/CBLO /	R • 4		m	The difference in height of blanket between created and reference design	
RSHO (20,10)	/CSHO /	R • 4		m	Radial coordinate of shield point (i,j) (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					TFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
DSH	/CSHO / WRITE	R 4		m	Difference in height of shield between created and reference design	
NCTF	/CTFI / WRITE	I 4			Number of TF coil	
NPTF (25)	/CTFI / WRITE	I 4			Number of point of i-th boundary of TF coil	
RTF (20,10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Radial coordinate of TF coil point (i,j)	
ZTF (20,10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Vertical coordinate of TF coil point (i,j)	
CTF (20,10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
NZTFT	/CTFI / WRITE	I 4			The number of zones in theta direction of TF coil	
TTTF	/CTFI / WRITE	R 4		m	Half thickness of TF coil in theta direction	
TTF (10)	/CTFI / WRITE	R 4		m	Half thickness of i-th zone of TF coil	
NETF (10)	/CTFI / WRITE	I 4			Number of composing material in i-th zone of TF coil	
FETF (10,10)	/CTFI / WRITE	R 4		%	Volumetric fraction of j-th material in i-th zone of TF	
MNTF (10,10)	/CTFI / WRITE	I 4			Material number of j-th material of i-th zone of TF coil	
RRPL	/CTFI / WRITE	R 4			Correction factor for ripple	
RBTM	/CTFI / WRITE	R 4			Correction factor for max. field	
DENTF (10,10)	/CTFI / WRITE	R 4		Ton/m ³	Density of j-th component of i-th zone of TF coil	
CTFO (20,10)	/CTFO / WRITE	R 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

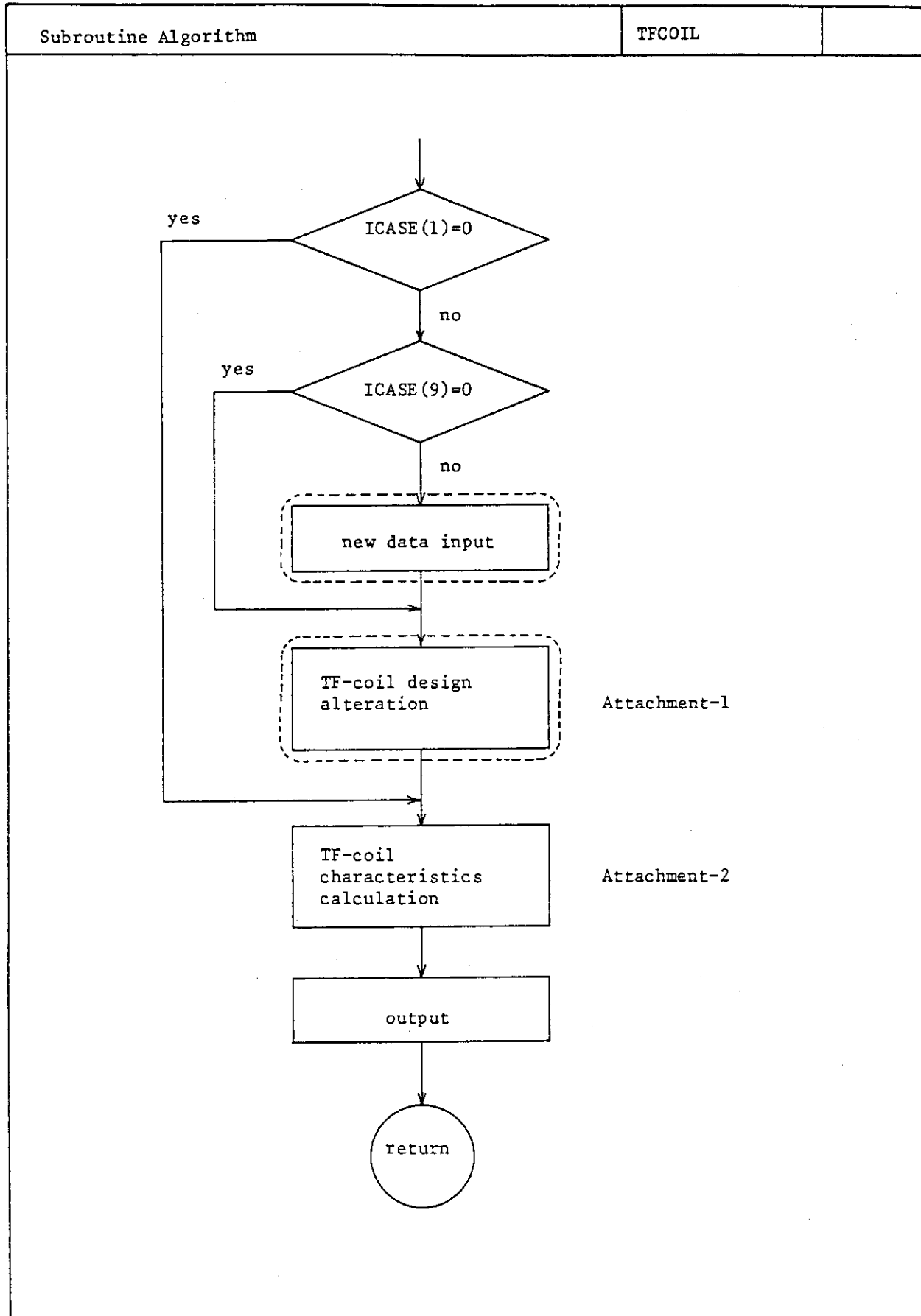
ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					TFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
VTF (10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m ³	Volume of i-th zone of TF coil	
TWTFM	/CTFO / WRITE	R • 4		Ton	Total weight of TF magnet	
ELRTF	/CTFO / WRITE	R • 4		Ohm	Electrical resistance of TF coil	
RTFOUT	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Outer most position of TF coil	
RTFCN	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of the center of TF coil	
DRTF	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Half radial bore of TF coil	
DZTF	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Half vertical bore of TF coil	
RTFO (20,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of TF coil point (i,j) (Ref. design)	
ZTFO (20,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of TF coil point (i,j) (Ref. design)	
WEIF (10,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		Ton	Weight of j-th material of i-th zone of TF coil	
ATTF	/CTFO / WRITE	R • 4		MAT	Ampere turn of TF coil	
CTA (20,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTB (20,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of the center of arc be- tween points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTR (20,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Radius of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil	
CTAO (20,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Radial coordinate of the center of arc between points (i,j) and (i+1,j) of TF coil(Ref.design)	
CTBO (20,10)	/CTFO / WRITE	R • 4		m	Vertical coordinate of the center of arc be- tween points (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION

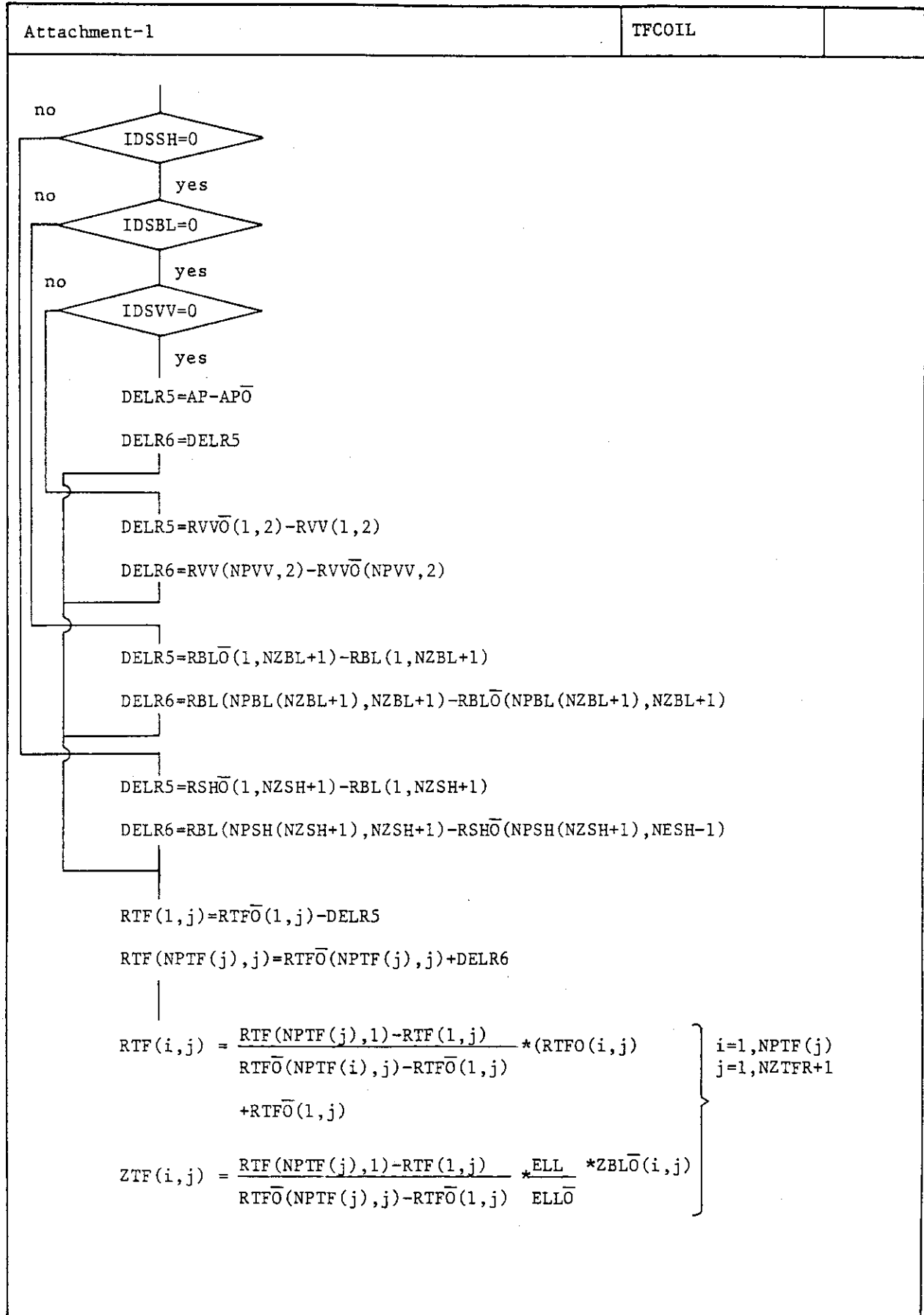
FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					TFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
CTRO (20,10)	/CTFO /	R • 4		m	Radius of arc between point (i,j) and (i+1,j) of TF coil (Ref. design)	
NZTFR	/CTFO /	I • 4			Number of zones in radial direction of TF coil	
EPTF (10)	/CTFO /	R • 4			-	
RSH (20,10)	/CSHI /	R • 4			Radial coordinate of shield point (i,j)	
NZSH	/CSHI /	I • 4			Number of zones in shield	
NPSH (10)	/CSHI /	I • 4			Number of point for i-th boundary of shield	
MNAME1 (70)	/MNAME / WRITE	I • 4			Material name	
MNAME2 (70)	/MNAME / WRITE	I • 4			Material name	
MNAME3 (70)	/MNAME / WRITE	I • 4			Material name	
IGEOM	/FLAG1 /	I • 4			Option for geometrical data print out	
NSI (10)	/TFPLTP /	I • 4			-	
NSO (10)	/TFPLTP /	I • 4			-	
X1 (10,10)	/TFPLTP /	R • 4			-	
X2 (10,10)	/TFPLTP /	R • 4			-	
Y1 (10,10)	/TFPLTP /	R • 4			-	
Y2 (10,10)	/TFPLTP /	R • 4			-	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					TFCOIL	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
WTF (20)	WRITE	R • 4		Ton	Weight of i-th zone of TF coil	
J	WRITE	I • 4			Subscript	
I	WRITE	I • 4			Subscript	
TVTF	WRITE	R • 4		m ³	Total volume of TF coil	
TVTFM	WRITE	R • 4		m ³	Total volume of TF magnet	
TWTF	WRITE	R • 4		Ton	Total weight of TF coil	
ATTFT	WRITE	R • 4		MAT	Ampere turn of TF magnet	
BTMAX	WRITE	R • 4		T	Maximum toroidal field	
DECTF	WRITE	R • 4		MA/m ²	Current density in conductor (MA/m ² =A/mm ²)	
QJTF	WRITE	R • 4		MJ	Joule loss of TF coil	
TOJTF	WRITE	R • 4		MJ	Joule loss of TF magnet	
COMMON NAMES : /CBLI / /CBLD / /CONST / /CSHI / /CSHO / /CTFI / /CTFO / /CVVI / /CVVD / /FLAG1 / /MATTAB / /MNAME / /MNPI / /OPT / /TFPLTP /						
EXTERNAL NAMES : ABS CENTER MAX SECTN SIN TAN						
PARENT NAMES : \$M.OOI						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

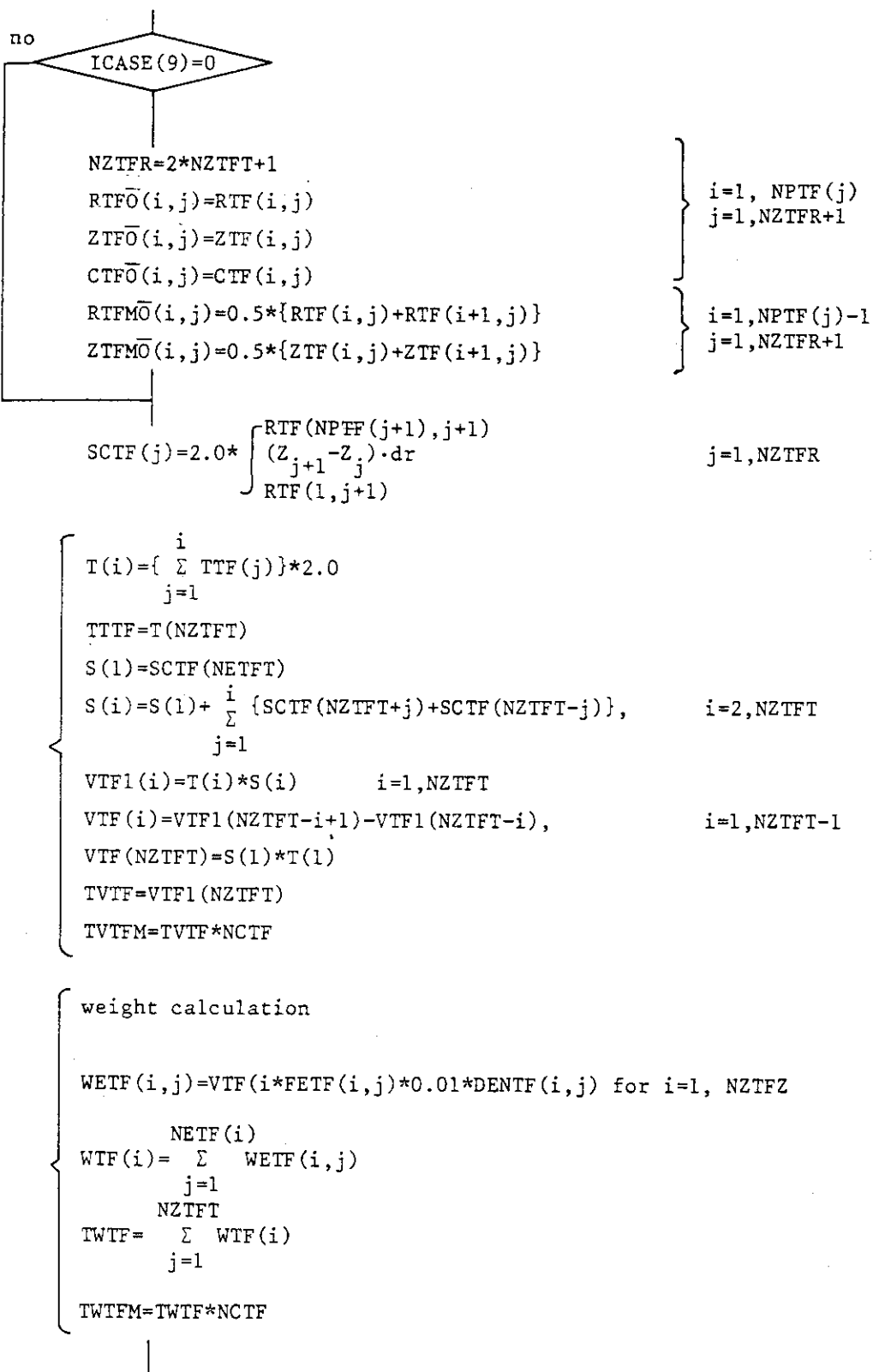




Attachment-1	TFCOIL	
$\left. \begin{aligned} \text{RTFM}(i,j) &= \frac{1}{2}\{\text{RTF}(i,j)+\text{RTF}(i+1,j)\} \\ \text{ZTFM}(i,j) &= \frac{1}{2}\{\text{ZTF}(i,j)+\text{ZTF}(i+1,j)\} \end{aligned} \right\}$ $\text{RTEM}(i,j) = \frac{\text{RTFM}(\text{NPTF}(i),j,1)-\text{RTFM}(1,j)}{\text{RTFM}(\text{NPTF}(j),j)-\text{RTFM}\bar{O}(1,j)} * \{\text{RTFMO}(i,j)-\text{RTFO}(1,j)\} + \text{RTF}(1,j)$ $\text{ZTFM}(i,j) = \frac{\text{RTFM}(\text{NPTF}(j),1)-\text{RTFM}(1,j) * \text{ELL}}{\text{RTFO}(\text{NPTF}(1),j)-\text{RTFO}(1,j) \text{ ELL}\bar{O}} * \text{ZTFM}\bar{O}(i,j) \quad \left. \begin{aligned} i &= 1, \text{NPTF}(j) \\ j &= 1, \text{NZTFR}+1 \end{aligned} \right\}$ CTF(i,j) should be obtained as a radius of circle passing following 3 points: (RTF(i,j), ZTF(i,j), (RTFM(i,j), ZTFM(i,j))), (RTF(i+1,j), ZTF(i+1,j))		

Attachment-2

TFCOIL



Conductor crosssection calculation

$$\text{SCTFC} = 2.0 * \text{TF}(\text{NZTFT}) * \frac{1}{2} \{ \text{RTF}(1, \text{NZTFT}) - \text{RTF}(1, \text{NZTFT}+1) \\ + \text{RTF}(\text{NPTF}(\text{NZTFT}), \text{NZTFT}) - \text{RTF}(\text{NPTF}(\text{NZTFT}+1), \text{NZTFT}+1) \}$$

Ampere-turn calculation

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ATTFT} = \frac{2\pi \cdot \text{RP}}{\text{AMU}} \cdot \text{BT} \cdot 1.0\text{E-6} \\ \text{ATTF} = \text{ATTFT} / \text{NCTF} \end{array} \right.$$

Maximum field in the conductor calculation

$$BT_{MAX} = \frac{RP * BT}{RTF(1, NZTFT)} * RB_{TM}$$

Ripplie calculation.

$$RPL = RRPL * \left\{ \frac{1.0}{\left(\frac{RP+AP}{RTF(1,NZTFT)} \right)^{NCTF} - 1.0} + \frac{1.0}{\frac{RTF(NPTF(NZTFT),NZTFT)^{NCFT}}{RP+AP} - 1.0} \right\}$$

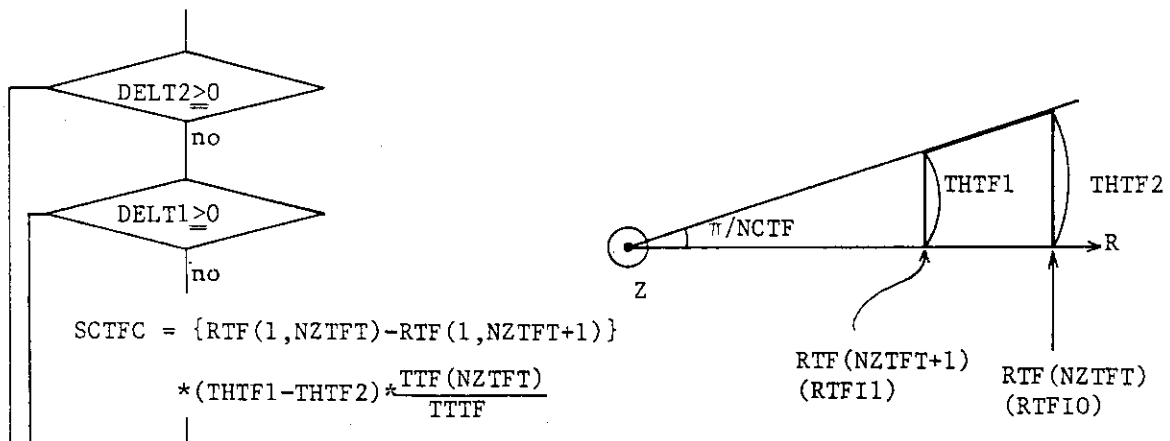
Current density calculation

$$\text{THTF1} = \text{RTF}(1, \text{NZTFT}+1) * \tan(\pi / \text{NCTF})$$

$$\text{THTF2} = \text{RTF}(1, \text{NZTFT}) * \tan(\pi / \text{NCF})$$

$$\text{DELTI} = \text{TTF}(\text{NZTFT}) - \text{THTFI}$$

$$\text{DELT2} = \text{TTF}(\text{NZTFT}) - \text{THTF2}$$



Attachment-2

TFCOIL

$$SCTFC = \{RTF(1, NZTFT) - RTF(1, NZTFT+1)\}$$

$$\times \{THTF1 \times \frac{TTF(NZTFT)}{TTTF} + TTF$$

$$SCTFC = \{RTF(1, NZTFT) - RTF(1, NZTFT+1)\} \times TTF(NZTFT) \times 2.0$$

$$DECTF = ATTF / SCTFC$$

Electric resistances calculation

IDSTC=2

yes

$$ELRTF = 0.0$$

$$ELRTF = \{SCTFC \sum_{i=1}^{NETF} \frac{1.0}{ERTF(i) \times FETF(NZTFT, i) \times 0.01}\}^{-1} \times VTF(NZTFT) / SCTFC$$

Joule loss calculation

$$QJTF = ELRTF \times (ATTF)^2 \times \frac{10^6}{t}$$

$$TQJTF = NCTF \times QJTF$$

Calculation of outer most point of the coil

$$RTFOUT = RTF(NPTF(NZTFR+1), NZTFR+1)$$

Attachment-2	TFCOIL	
Data generation for PSPLYT $\text{RTFCN} = 0.5 * \{ \text{RTF}(1, \text{NZTFT}) + \text{RTF}(\text{NPTF}(\text{NZTFT}), \text{NZTFT}) \}$ $\text{DRTF} = 0.5 * \{ \text{RTF}(\text{NPTF}(\text{NZTFT}), \text{NZTFT}) - \text{RTF}(1, \text{NZTFT}) \}$ DZTF ; Z coordinate (height) of NZTFT-th boundary at R=RTFCN $\text{RFTOUT} = \text{RTF}(\text{NPTF}(\text{NZTFR}+1), \text{NZTFR}+1)$		

Appendix to Attachment-2

TF COIL

(1) Ampere-turn calculation

$$ATTFT = \frac{2\pi \cdot RP}{\mu_0} \times BT \times 10^{-6}, \quad ATTF = \frac{ATTFT}{NCTF}$$

(2) Maximum field in the conductor

(a) value by 1/R scaling

$$BTMAX = \frac{RP}{RTF(1, NZTFT)} \times BT$$

in case of oval (eleptic) shape TF coil

$$RTF(1, NZTFT) = RTFC - ATF(1, NZTFT)$$

(b) multiply the adjust coefficient

$$BTM = BTMAX \times RBTM$$

(3) Ripple calculation

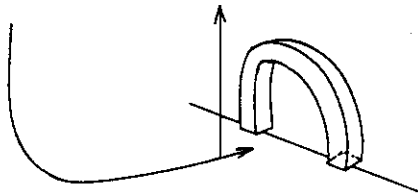
$$RPL = RRPL * \left\{ \frac{1}{\left(\frac{RP+AP}{RTF(1, NZTFT)} \right)^{NCTF} - 1} + \frac{1}{\left(\frac{RTF(NPTF, NZTFT)}{RP + AP} \right)^{NCFT} - 1} \right\}$$

adjust coefficient

$$RTF(NPTF, NZTF) = RTFC + ATF(2, NZTFT)$$

(4) Current density

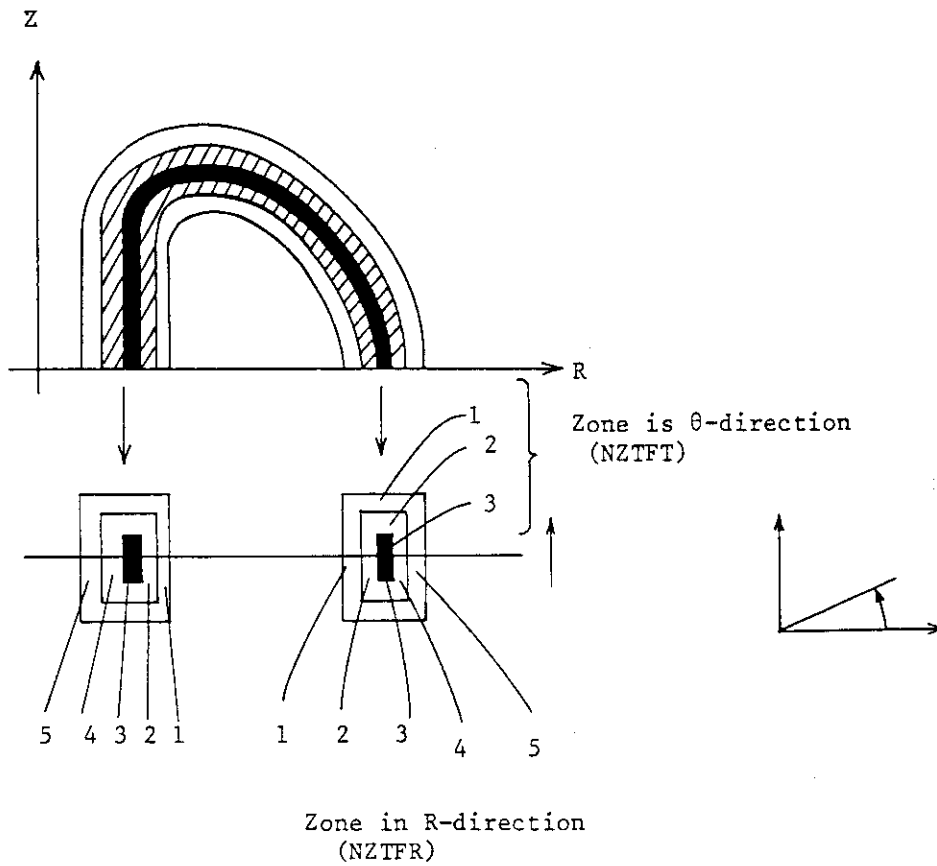
$$DECTF = \frac{ATTF}{\text{crossection of conductor (inoad side crossection should be used)}}$$



Appendix to Attachment-2

TFCOIL

(5) Method of zone-numbering of TF-cool



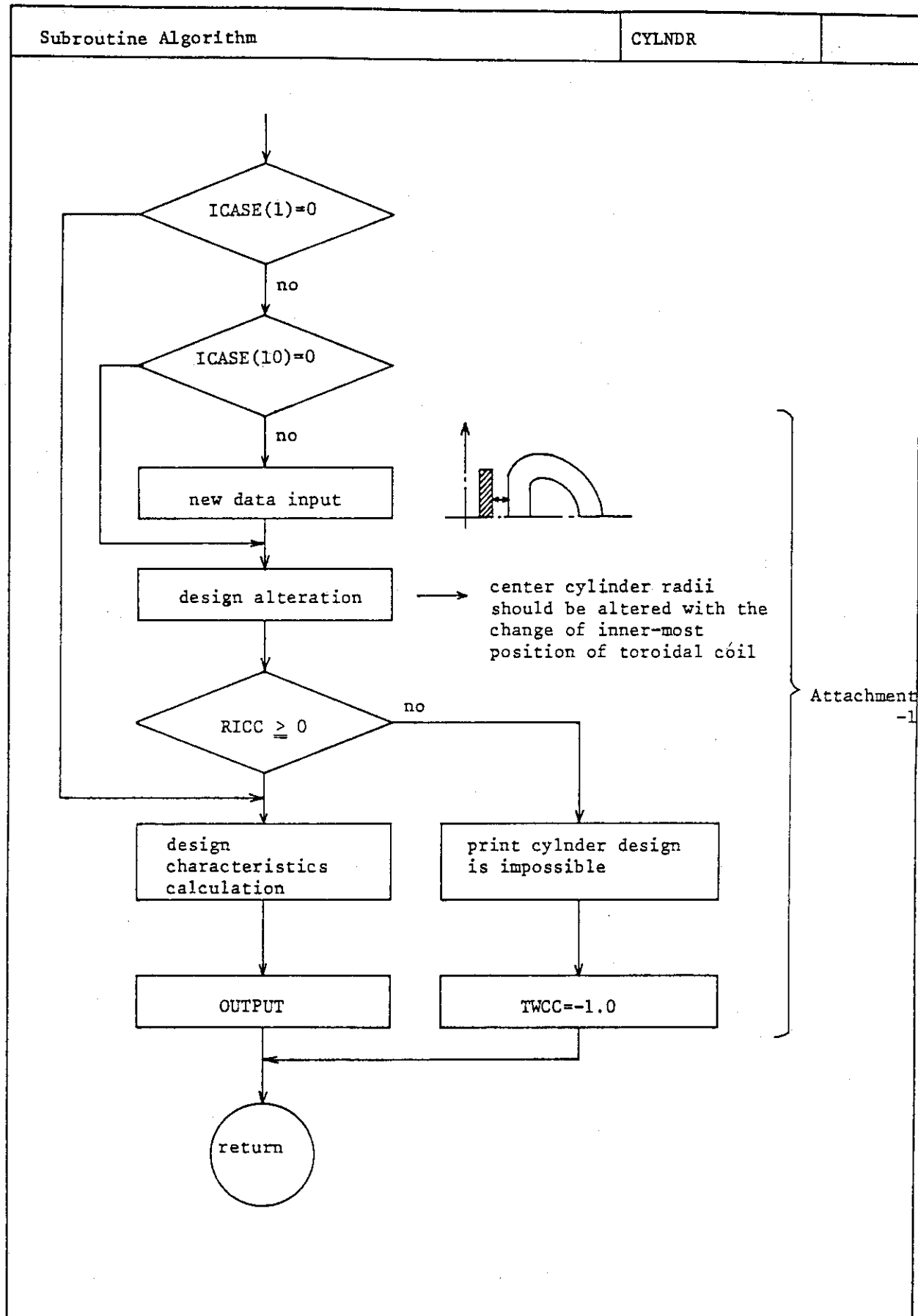
$$NZTFR = 2 * NZTFT - 1$$

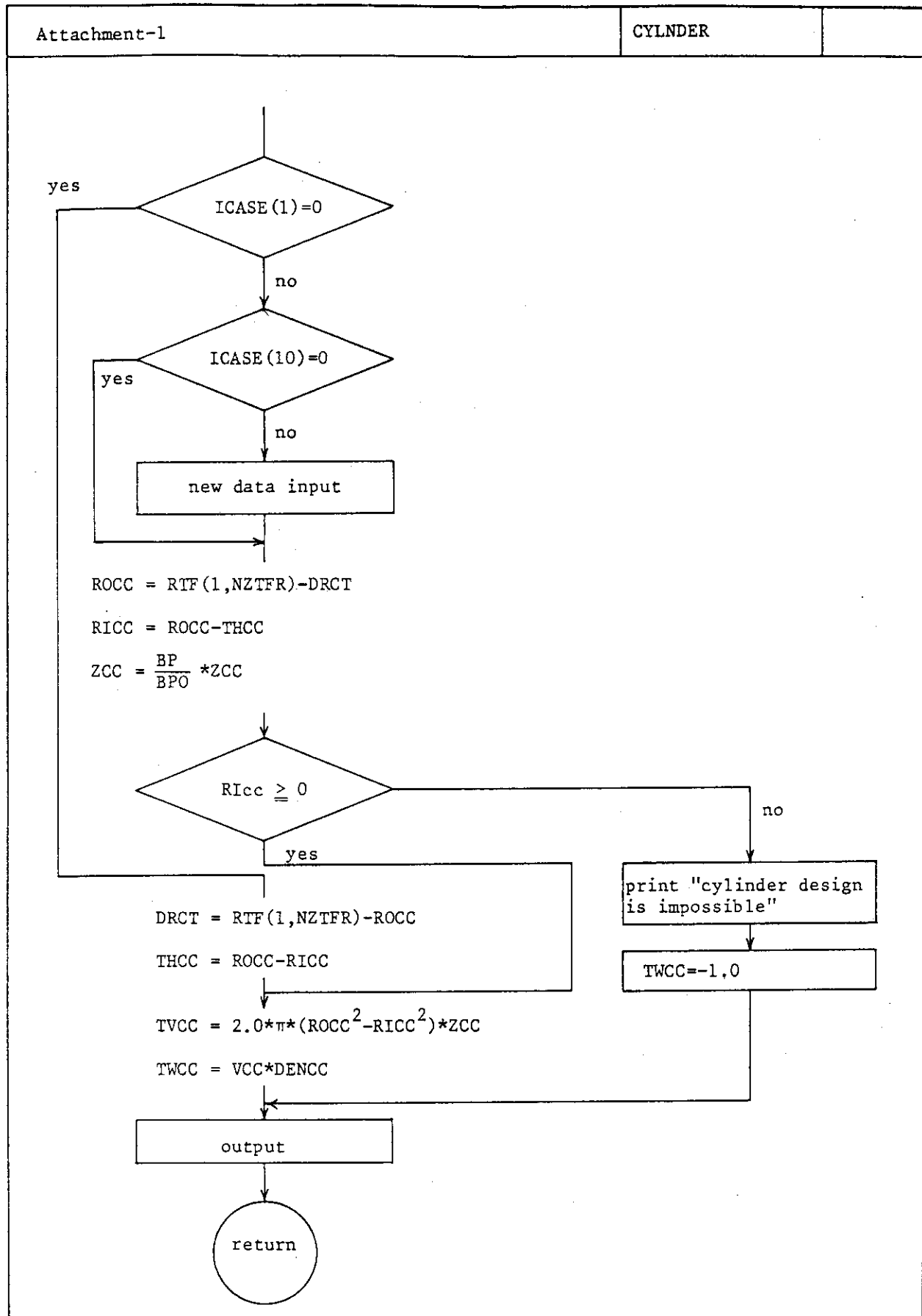
FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		CYLNDR			
PURPOSE :					
Calculation for the design of center cylinder					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE CYLNDR					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT
DEN (62)	/MATIAB /	R • 4		Ton/m ³	Density of materials
ICASE (13)	/OPT /	I • 4			Option for perturbation design
BP	/MNPI /	R • 4		m	Plasma minor radius (vertical)
BPO	/MNPI /	R • 4		m	Plasma minor radius (vertical) (Ref. design)
RTF (20,10)	/CTFI /	R • 4		m	Radial coordinate of TF coil point (i,j)
NZTFR	/CTFO /	I • 4			Number of zone of TF coil in radial direction
MNCC	/CCCI /	I • 4			Material number of center cylinder
ROCC	/CCCI / WRITE	R • 4		m	Outer radius of center cylinder
RIcc	/CCCI / WRITE	R • 4		m	Inner radius of center cylinder
ZCC	/CCCI / WRITE	R • 4		m	Half length of center cylinder
TWCC	/CCCC / WRITE	R • 4		Ton	Total weight of central cylinder
PAI	/CONST /	R • 4			Pai
THCC	WRITE	R • 4		m	Thickness of center cylinder
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					CYLNR	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
TVCC	WRITE	R 4		m ³	Total volume of center cylinder	
COMMON NAMES : /CCCI / /CCCO / /CONST / /CTFI / /CTFO / /MATTAB / /MNPI / /OPT /						
PARENT NAMES : \$M.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE



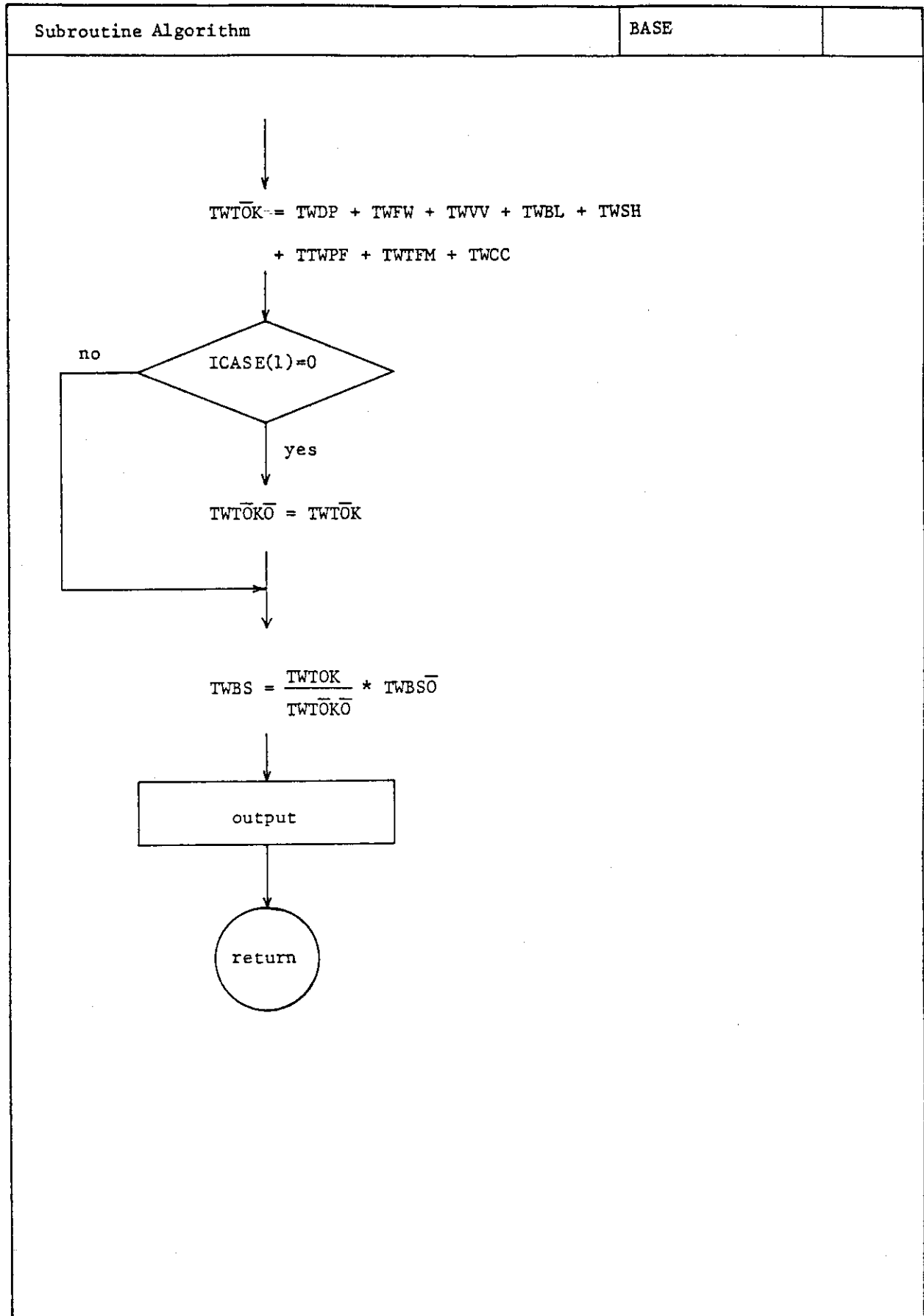


FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					BASE	
PURPOSE :						
Calculation of total weight of base (pedestal)						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE BASE						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ICASE (13)	/OPT	/ I • 4			Option for perturbation design	
TWDP	/COPD	/ R • 4		Ton	Total weight of divertor	
TWFW	/CFWD	/ R • 4		Ton	Total weight of first wall	
TWVV	/CVVD	/ R • 4		Ton	Total weight of vacuum vessel	
TWBL	/CBLO	/ R • 4		Ton	Total weight of blanket	
TWSH	/CSHO	/ R • 4		Ton	Total weight of shield	
TTWPF	/CPFO	/ R • 4		Ton	Total weight of TF magnet	
TWTFM	/CTFO	/ R • 4		Ton	Total weight of TF magnet	
TWCC	/CCCO	/ R • 4		Ton	Total weight of center cylinder	
TWBSQ	/CBSI	/ R • 4		Ton	Total weight of base (Ref. design)	
TWTOK	/CBSO WRITE	/ R • 4			Total weight of torus structure	
TWBS	/CBSO WRITE	/ R • 4			Total weight of base	
TWTOKO	WRITE	/ R • 4			Total weight of torus structure (Ref. design)	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION	SUBROUTINE NAME		INDEX					
	BASE							
COMMON NAMES : /CBLO / /CBSI / /CBSO / /CCCD / /CDPO / /CFWO / /CPFO / /CSHO / /CTFO / /CVVO / /OPT /								
PARENT NAMES : SM.001								
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:								
	AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE				

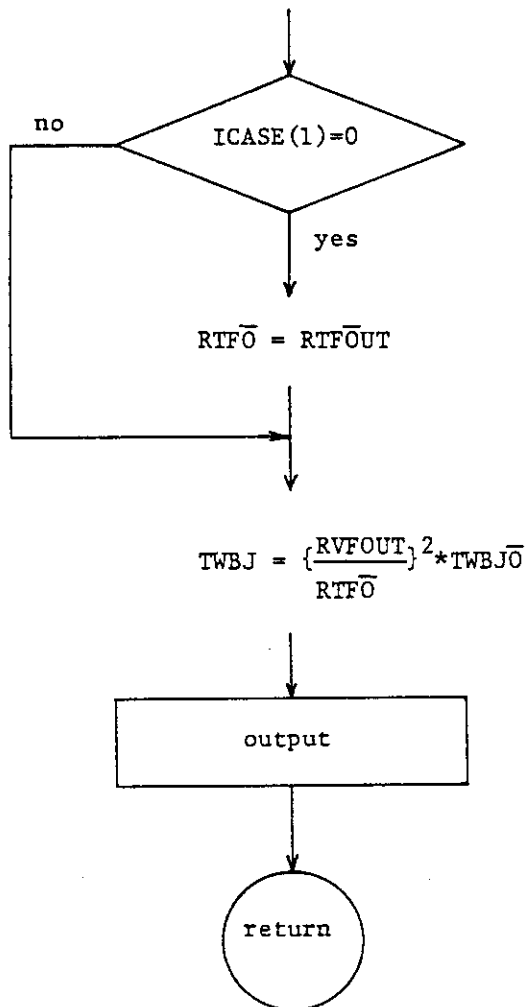


FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					BELJAR	
PURPOSE :						
Calculation of belljar design						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE BELJAR						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
ICASE 113	/OPT	/ 1 4			Option for perturbation design	
RTFOU	/CTFO	/ R 4		m	Outer most position of TF coil	
TWBJO	/CBJI	/ R 4		Ton	Total weight of belljar (Ref. design)	
TWBJ	/CBJO WRITE	/ R 4		Ton	Total weight of belljar	
COMMON NAMES : /CBJI / /CBJO / /CTFO / /OPT /						
PARENT NAMES : SM.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

Subroutine Algorithm

BELJAR



FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PSPLYT	
PURPOSE :						
Calculation for TF coil power supply						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE PSPLYT						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
IDSTC	/OPT /	I • 4			Parameter for conductor of TF coil	
TRIST	/CPSLYT /	R • 4		Sec	TF coil current rise time	
SLT	/CPSLYT / WRITE	R • 4		H	Self inductance of TF coil.	
PWRT	/CPSLYT / WRITE	R • 4		MW	Peak power of TF coil	
TMW	/CPSLYT / WRITE	R • 4		MW	Constant power of TF coil	
TMJ	/CPSLYT / WRITE	R • 4		MW	Total energy of TF coil	
NCTF	/CTFI /	I • 4			Number of TF coils	
ELRTF	/CTFO /	R • 4		Ohm	Electrical resistance of TF coil	
RTFCN	/CTFO /	R • 4		m	Radial coordinate of the center of TF coil	
DRTF	/CTFO /	R • 4		m	Half radial bore	
DZTF	/CTFO /	R • 4		m	Half vertical bore	
ATTF	/CTFO /	R • 4		MAT	Ampere turn of TF coil	
AMU	/CONST /	R • 4			Magnetic permeability in vacuum	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME		INDEX	
					PSPLYT			
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT			
ITIT (20)	/TITLE / WRITE	1 • 4			Title			
COMMON NAMES : /CONST / /CPSLYT / /CTFI / /CTFD / /OPT / /TITLE /								
EXTERNAL NAMES : ABS EXP FLOAT SORT								
PARENT NAMES : SM.001								
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:								
			AUTHOR		DATE		REVISION	
							PAGE	

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		PSPLYP			
PURPOSE :					
Calculation for the design of power supply system of PF coil					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE PSPLYP					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT
IP	/MNP1 /	R • 4		MA	Plasma current
IPO	/MNP1 /	R • 4		MA	Plasma current (Ref. design)
ICASE (13)	/OPT /	I • 4			Option for perturbation design
NCPF	/CPFI /	I • 4			Total number of PF coil
ELRPF (25)	/CPFO /	R • 4		Ohm	Electrical resistance of i-th PF coil
CURT (25.50)	/CPSLYP /	R • 4		MA	PF coil current as a function of time
FPOW	/CPSLYP /	R • 4			Power factor
NTMP	/CPSLYP /	I • 4			-
NTPL	/CPSLYP / WRITE	I • 4			Number of time point of plasma current pattern
TPL (50)	/CPSLYP / WRITE	R • 4		Sec	Time for NTPL
CURPL (50)	/CPSLYP /	R • 4		MA	Plasma current as a function of time
AINO (25.25)	/CPSLYP / WRITE	R • 4		H	Inductance (plasma, PF coil)
VIP (25.50)	/CPSLYP / WRITE	R • 4			-
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PSPLYP	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT	
VIPM	/CPSLYP / WRITE	R • 4		MVA	Maximum apparent power	
PWCP	/CPSLYP / WRITE	R • 4		MW	Power supply capacity	
TJHP	/CPSLYP / WRITE	R • 4		MW	Total Joule loss of PF coil	
TPWCP	/CPSLYP / WRITE	R • 4		MJ	Total energy capacity	
CURPLO (50)	/CPSLYP / WRITE	R • 4		MA	Plasma current (Ref. design)	
TVIPR (50)	WRITE	R • 4			-	
TVIP (50)	WRITE	R • 4			-	
EVPF (25.50)	WRITE	R • 4			-	
EVPR (25.50)	WRITE	R • 4			-	
VIPR (25.50)	WRITE	R • 4			-	
I	WRITE	I • 4			Subscript	
NCPF1	WRITE	I • 4			-	
K11	WRITE	I • 4			-	
KM1	WRITE	I • 4			-	
THCAP	WRITE	R • 4			Thyristor capacity (MW)	
COMMON NAMES : /CPF1 / /CPFD / /CPSLYP / /MNPI / /OPT /						
EXTERNAL NAMES : ABS AMAX1 MAX0 MIND						
PARENT NAMES : \$M.001						
FUNCTION.CONSTRAINT.COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		ADHEAT			
PURPOSE :					
Calculation of additional heating system					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE ADHEAT					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT
IDSAH	/OPT	/ I • 4			Option for additional heating
NSPNB	/CADHT	/ I • 4			Number of NBI species
NSPRF	/CADHT	/ I • 4			Number of RF species
EKNB (30,30)	/CADHT	/ R • 4		KeV	Energy of NBI of i-th species at time j
PRNB (30,30)	/CADHT	/ R • 4		MW	Power of NBI of i-th species at time j
PRRF (30,30)	/CADHT	/ R • 4		MW	Power of RF of i-th species at time j
EFNB (30)	/CADHT	/ R • 4			Efficiency of NBI of i-th species
EFRF (30)	/CADHT	/ R • 4			Efficiency of RF of i-th species
PRSNB	/CADHT	/ R • 4		Torr	Pressure at NBI
PRHTM	/CADHT WRITE	/ R • 4		MW	Maximum power supply capacity
TPRH	/CADHT WRITE	/ R • 4			Total energy of RF and NBI
SPNB (30)	/CADHT WRITE	/ R • 4			Pumping speed for NBI
TPIN	/CADHT WRITE	/ R • 4			Total power of NBI
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					ADHEAT	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
NT	/CADHT /	I 4			The number of time mesh (40)	
PWRHT (30)	/CADHT / WRITE	R 4		MW	Time-dependent power supply capacity	
CK	/CONST /	R 4			Boltzmann's constant	
TBURN	/MNPI /	R 4		Sec	Burn time	
TRISE	/MNPI /	R 4		Sec	Plasma current rise time	
J	WRITE	I 4			Subscript	
FROM	WRITE	R 4		Sec	Start time of maximum power	
TO	WRITE	R 4		Sec	End time of maximum power	
COMMON NAMES : /CADHT / /CONST / /MNPI / /OPT /						
EXTERNAL NAMES : FLOAT						
PARENT NAMES : SM.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PUMSYS	
PURPOSE :						
Calculation for the design of vacuum pumping system						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE PUMSYS						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
IDSVV	/OPT	/	I 4		Option for the position of vacuum vessel	
TRBRN	/CMNO	/	R 4		Amount of burning tritium	
TRCYCL	/CMNO	/	R 4		Amount of recycling tritium	
RVV (20.2)	/CVVI	/	R 4	m	Radial coordinate of vacuum vessel point (i,j)	
NPVV (2)	/CVVI	/	I 4		The number of point for i-th boundary of vacuum vessel	
VVV	/CVVO	/	R 4	m ³	Total volume of vacuum vessel	
NPBL (10)	/CBLI	/	I 4		Number of point for i-th boundary of blanket	
RBL (20.10)	/CBLI	/	R 4	m	Radial coordinate of blanket point (i,j)	
RSH (20.10)	/CSHI	/	R 4	m	Radial coordinate of shield point (i,j)	
NPSH (10)	/CSHI	/	I 4		Number of point for i-th boundary of shield	
NPUMP	/CPUMS	/	I 4		Number of vacuum pumping systems	
PRSRHE	/CPUMS	/	R 4	Torr	Pressure of He at vacuum pump	
PRSRD	/CPUMS	/	R 4	Torr	Pressure of D at vacuum pump	
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					PUMSYS	
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
PRSRT	/CPUMS /	R • 4		Torr	Pressure of T. at vacuum pump	
ALTD	/CPUMS /	R • 4		m	Length of thicker duct	
DATD	/CPUMS /	R • 4		m	Diameter of thicker duct	
ALSD	/CPUMS /	R • 4		m	Length of slender duct	
DASD	/CPUMS /	R • 4		m	Diameter of slender duct	
DAVLV	/CPUMS /	R • 4		m	Diameter of gate valve	
SEFFHE	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Effective pumping speed of He	
SEFFD	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Effective pumping speed of D.	
SEFFT	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Effective pumping speed of T.	
CHE	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Conductance of He	
CD	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Conductance of D.	
CT	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Conductance of T.	
SPHE	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Pumping speed for He	
SPD	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Pumping speed for D.	
SPT	/CPUMS / WRITE	R • 4		m ³ /sec	Pumping speed for T.	
PAI	/CONST /	R • 4			Pai	
COMMON NAMES : /CBLI / /CMND / /CONST / /CPUMS / /CSHI / /CVVI / /CVVD /						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
			AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION	SUBROUTINE NAME		INDEX					
	PUMSYS							
COMMON NAMES : /OPT /								
EXTERNAL NAMES : ABS								
PARENT NAMES : SM.001								
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:								
	AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE				

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION		SUBROUTINE NAME		INDEX	
		REFSYS			
PURPOSE :					
Calculation for the design of refrigeration system					
ARGUMENT SEQUENCE :					
SUBROUTINE REFSYS					
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT
ICASE (13)	/OPT	/ I 4			Control parameter for perturbation design
TBURN	/MNP1	/ R 4		Sec	Burn time
PT	/MNP1	/ R 4		MW	Total thermal power
DUTY	/MNP1	/ R 4			Duty factor
QREFHO	/CREF	/ R 4		MW	Reference refrigeration power for He
QREFNO	/CREF	/ R 4		MW	Reference refrigeration power for N ₂
QREFH	/CREF WRITE	/ R 4		MW	Refrigeration power for He
QREFN	/CREF WRITE	/ R 4		MW	Refrigeration power for N.
COMMON NAMES : /CREF / /MNP1 / /OPT /					
PARENT NAMES : \$M.001					
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:					
		AUTHOR	DATE	REVISION	PAGE

FORM NO. R27

ROUTINE EXPLANATION					SUBROUTINE NAME	INDEX
					BLDSYS	
PURPOSE :						
Calculation of building system design						
ARGUMENT SEQUENCE :						
SUBROUTINE BLDSYS						
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	TYPE	ITEM	UNIT	CONTENT	
ICASE (13)	/OPT	/I 4			Control parameter for perturbation design	
PT	/MNP1	/R 4		MW	Total thermal power	
RTFOUT	/CTFO	/R 4		m	Outer most position of TF coil	
RRRO	/CBLD	/R 4		m	Radius of reactor room for reference design	
HRRO	/CBLD	/R 4		m	Height of reactor room for reference design	
SAUXD	/CBLD	/R 4		m ²	Area of aux. building for reference design	
VRR	/CBLD WRITE	/R 4		m ³	Volume of reactor room	
SAUX	/CBLD WRITE	/R 4		m ²	Area of aux. building	
RRR	/CBLD WRITE	/R 4		m	Radius of reactor room	
HRR	/CBLD WRITE	/R 4		m	Height of reactor room	
COMMON NAMES : /CBLD / /CTFO / /MNP1 / /OPT /						
PARENT NAMES : \$M.001						
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:						
				AUTHOR	DATE	REVISION
						PAGE

FORM NO R27

ROUTINE EXPLANATION				BLOCK DATA NAME		INDEX	
				\$B.001			
PURPOSE :							
Data set for the composing materials							
ARGUMENT SEQUENCE :							
BLOCK DATA \$B.001							
VARIABLE NAME (ARRAY)	LINKAGE	T Y P E	ITEM	UNIT	CONTENT		
DEN (62)	/MATTAB /	R • 4		Ton/m ³	Density of materials		
ER (62)	/MATTAB /	R • 4		Ohm-m	Electrical resistivity of materials		
COMMON NAMES : /MATTAB /							
FUNCTION, CONSTRAINT, COMMENT:							
				AUTHOR		DATE	
				REVISION		PAGE	

Appendix-C3

入力データ作成仕様

インプット・データ作成仕様

入力データは全てネーム・リストから成り、それは各コモン・ブロックがそれぞれネーム・リスト・グループ名と対応している。

○ 入力データ作成の注意事項

- 1) 第1カラムは必ずブランクである。
- 2) 第2カラムめから\$ネームリストグループ名で始まる。
- 3) ネームリストグループ名の後は必ず1つ以上のブランクをあけ、データとデータとの間はカンマで区切る。
- 4) データの最後は\$ENDで終わる。直前のコンマは省略してもよい。

以下に入力データの説明を記す。

- 第1枚目のカードはタイトルカードである。
- 次のカードには、材料名のカードが入力される。但し、これは参照設計の場合にのみ必要で、摂動設計時には必要でない。即ち、このカードは1回のランに対して唯1回のみ入力される。

このカードの入力により、材料表を含む全てのプリントアウトの材料名が規定される。現在材料番号は70番までであるので、MNAME1(70), MNAME2(70), MNAME3(70)の3つの配列変数を用い、1つの材料に対しては12キャラクタまで入力することができる。

このカードは14枚のカードで構成され、1枚に5個の材料名が左詰めに入力される。従って、実際に用いるカードのカラムは60カラムである。

入力すべき材料名については、第Ⅱ.1表材料リストを参照すること。

設計のオプション

- IDS DPダイバータ・プレートの数
- IDS FWライナー（保護パネル）の有無
- IDS VV真空容器の位置
 - 1. 独立
 - 2. ブランケットの一部
 - 3. 遮蔽体の一部
- IDS BLブランケットの有無
- IDS SH遮蔽体の有無
- IDS PPPFコイルの位置
- IDS TCTFコイルの導体の種類
- IDS CC中心支持柱（Central Column）の位置
- IDS BS架台の有無
- IDS DWデュワー（Dewar）の構造
- IDS AH加熱の種類

計算のオプション

IAUX = 1; 補機類計算をする。

= 0; 補機類計算をしない。

ICOS = 1; コスト計算をする。

= 0; コスト計算をしない。

IGEOM = 1; 本体計算形状パラメータの出力をする。

= 0; 本体計算形状パラメータの出力をしない。

IMATT = 1; 材料表の計算及び出力をする。

= 0; 材料表の計算及び出力をしない。

ICOST = 1; コスト表の計算及び出力をする。

= 0; コスト表の計算及び出力をしない。

IPLLOT = 1; プロッタ・ルーチン計算をする。

= 0; プロッタ・ルーチン計算をしない。

IMFLD = 1; 磁場計算をする。

= 0; 磁場計算をしない。

IOPNST = 1; NASTRAN への出力をする。

= 0; NASTRAN への出力をしない。

IOPEQ = 1; EQUICIR の計算をする。

0; EQUICIR の計算をしない。

本体設計計算のオプション

ICASE(*) は、2ケタの整数であらわされる。この整数値の10の位は各種設備の形状が対称か、非対称であるかのオプションであり、1の位は基準設計では必ず0（意味を持たない）でなければならないが、振動設計では振動の内容をあらわすオプションである。

$$\text{ICASE} (*) = 10 \times m + n$$

$m = 0$ …… 対称形状

$= 1$ …… 非対称形状

$n = 0$ …… 設計変更なし（他種設備の設計を考慮）

$= 1$ …… 設計変更あり。新規 input data に形状を固定する。

$= 2$ …… 設計変更なし。（他種設備の設計を考慮しない）基準設計の形状に固定する。

* = 3 …… ダイバータ・プレート

* = 5 …… 真空容器

* = 6 …… ブランケット

* = 7 …… 遮蔽体

* = 8 …… ボロイダルコイル

* = 9 …… トロイダルコイル

* = 10 …… 中心支持柱

ただし以下のオプションは下記の扱いをする。

$$\text{ICASE} (2) = 10 \times m + n$$

$m = 0$ …… 対称形状

$= 1$ …… 非対称形状

$n = 0$ …… プラズマ主副半径一定

$= 1$ …… プラズマ主半径変動・副半径一定

$= 2$ …… プラズマ主半径一定・副半径変動

$= 3$ …… プラズマ副半径変動

ICASE (4) = 0ライナーの設計変動なし
= 1ライナーの設計変動あり

ICASE (11) = 0デュワーの設計変動なし
= 1デュワーの設計変動あり

ICASE (12) = 0TFコイル磁場に変更なし
= 1TFコイル磁場に変更あり

ICASE (13) = 0プラズマの β 値に変更なし
= 1プラズマの β 値に変更あり

磁場計算のオプション

ITFOP1=1; トロイダルコイル各要素に働く拡張力の計算を行う。

=0; 上記計算を行わない。

ITFOP2=1; トロイダルコイル中心軸側部において、拡張力による平均引張り応力の計算を、解析計算、数値計算の2通りの方法で行う。

=2; 上記計算を解析計算でのみで行う。

=0; 上記計算を行わない。

ITFOP3=1; トロイダルコイルに働く向心力と、向心力による応力の計算を解析計算、数値計算の2通りの方法で行う。

応力; センタシリンダ使用時……センタシリンダ内の応力 センタシリンダ非使用時……コイルノーズ部のHeキャン内の 応力

=2; 上記計算を解析計算でのみで行う。

=0; 上記計算を行わない。

ITFOP4=1; トロイダルコイルの倒し力の計算を解析計算、数値計算の2通りの方法で行う。

=2; 上記計算を解析計算でのみで行う。

=0; 上記計算を行わない。

プロッタ出力のオプション

KPLCR = 1; CROSS SECTION 図を出力する。
 = 0; CROSS SECTION 図を出力しない。

KPLPL = 1; PLANE FIGUREを出力する。
 = 0; PLANE FIGUREを出力しない。

KPLPF1 = 1; ポロイダルコイル (プラズマを含む) の通電波形電源のPower 及び電
 圧のグラフを出力する。
 = 0; 上記のグラフを出力しない。

KPLPF2 = 1; ポロイダルコイルの磁場及び電磁力を図形出力する。
 = 0; 上記出力をしない。

KPLTF = 1; 指定した水平面での本体平面図を出力する。
 = 0; 上記出力をしない。

KPLMF = 1; トロイダルコイルの拡張力を図形出力する。
 = 0; 上記出力をしない。

KTIT: タイトルオプション

= 1 のとき、タイトルを書く。

= 0 のとき、タイトルを書かない。

KSW(I, J, K) : 図面の詳細なオプション

I = 1 のとき、断面図に関するスイッチであることを示す。

= 2 のとき、平面図に関するスイッチであることを示す。

J = 1 のとき、機器の外部に関するスイッチであることを示す。

= 2 のとき、機器の内部構造に関するスイッチであることを示す。

= 3 のとき、機器の名称に関するスイッチであることを示す。

= 4 のとき、機器の交点の座標に関するスイッチであることを示す。

= 5 のとき、機器の形状パラメータに関するスイッチであることを示す。

K = 1 のとき、プラズマに関するスイッチであることを示す。

= 2 のとき、ダイバータに関するスイッチであることを示す。

= 3 のとき、真空容器に関するスイッチであることを示す。

= 4 のとき、ブランケットに関するスイッチであることを示す。

= 5 のとき、遮蔽体に関するスイッチであることを示す。

= 6 のとき、PFコイルに関するスイッチであることを示す。

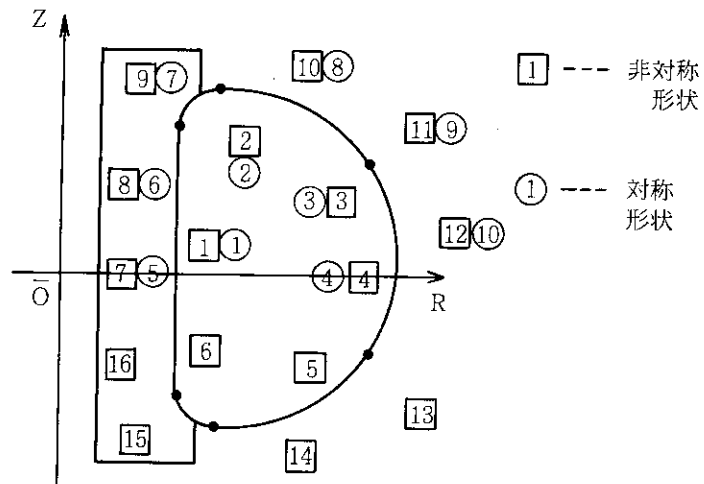
= 7 のとき、TFコイルに関するスイッチであることを示す。

= 8 のとき、中心支持体に関するスイッチであることを示す。

KSW(I, J, K) が 1 のとき、それに対応する事項が描かれ、0 のときは描かない。

但し、KSW(1, 2, 3) 即ち真空容器の内部構造に関するスイッチのように意味を持たないものがある。

IPFOP1(I) = 1; I 番目のポロイダルコイル内の最大磁場を求める。ポロイダルコイルの番号は下図のように、中心軸側、TFコイル内側より 1 ~ NCPF となっている。また、対称形状のときは、上側部分の入力のみでよい。



IPFOP1(I) = 0; I 番目のポロイダルコイル内の最大磁場の計算を行わない。

IPFOP2= 1; ポロイダルコイルに働く、拡張力と上下力の計算を行う。

= 0; 上記計算を行わない。

第Ⅱ.1表 (1/5) 材料リスト (構造材料)

材料番号	材 料 名	密度 (Ton/m ³)	電気抵抗率 ($\Omega \cdot m$)
1	SUS304	8.03	7.0×10^{-7}
2	SUS310	7.92	9.0×10^{-7}
3	SUS316	7.97	7.0×10^{-7}
4	Hastelloy X	8.23	1.35×10^{-6}
5	Inconel 600	8.43	1.2×10^{-6}
6	高マンガン鋼	<u>8.0</u>	<u>5.0×10^{-7}</u>
7	Cu	8.93	1.72×10^{-8}
8	Al	2.69	2.75×10^{-8}
9	Nb	8.56	1.3×10^{-7}
10	Mo	10.2	5.6×10^{-8}

＝は、必ずしも正確な値ではない。

第Ⅱ.1表 (2/5) 材料リスト (増殖材, 遮蔽材, 冷却材)

材料番号	材 料 名	密度 (Ton/m ³)	電気抵抗率 ($\Omega \cdot m$)
21	Pb鉛	11.34	2.1×10^{-7}
22	C	2.25	<u>1.0</u>
23	Be	1.84	6.4×10^{-8}
24	B	2.35	1.8×10^{10}
25	B ₄ C	2.54	<u>1.0×10^{10}</u>
26	Li	0.534	9.4
27	Li ₂ O	2.013	<u>1.0×10^{10}</u>
28	Flibe	1.92	<u>1.0×10^{10}</u>
29	H ₂ O	1.0	1.0×10^{10}
30	モルタル	2.4	<u>1.0×10^{10}</u>
31	W	19.1	5.5×10^{-8}
32	Li ₂ SiO ₃	2.52	1.0×10^{10}
33	Li ₄ SiO ₄	2.28	1.0×10^{10}

==は, 必ずしも正確な値ではない。

第Ⅱ.1表 (3/5) 材料リスト (導体材料)

材料番号	材 料 名	密度 (Ton/m ³)	電気抵抗率 ($\Omega \cdot m$)
41	NbTi	6.68	0.0
42	Nb ₃ Sn	8.20	0.0
43	Cu (銀入銅)	8.93	1.72×10^{-8}
44	Al	2.69	2.75

第Ⅱ.1表 (4/5) 材料リスト (絶縁材料)

材料番号	材 料 名	密度 (Ton/m ³)	電気抵抗率 ($\Omega \cdot m$)
51	エポキシガラス (GFR)	2.0	1.0×10^{10}
52	スーパーインシエレー ション (SI)	0.15	1.0×10^{10}
53	FRP		

第Ⅱ.1表 (5/5) 材料リスト (その他)

材料番号	材 料 名	密度 (Ton/m ³)	電気抵抗率 ($\Omega \cdot m$)
61	SiC	2.0	1.0×10^{10}
62	Air	1.2×10^{-3}	1.0×10^{10}

NAMELIST 一覧表(1)			
入力ルーチン	NAMELIST	Reference 設計	Perturbation設計
INP1	NOPT NFLAG1 NMNP1 NMNP2	必須	必須
INP2	NDP NFW NVV NBL NSH NPF NTF NCC NBJ NBS	IDSDP $\neq 0$ のとき必要 (以下同様) IDSFw $\neq 0$ IDSVV $\neq 0$ IDSBL $\neq 0$ IDSSH $\neq 0$ IDSPP $\neq 0$ IDSTC $\neq 0$ IDSCC $\neq 0$ IDSDW $\neq 0$ IDSBS $\neq 0$	IDSDP $\neq 0$ ICASE (3) $\neq 0$ IDSFw $\neq 0$ ICASE (4) $\neq 0$ IDSVV $\neq 0$ ICASE (5) $\neq 0.10$ IDSBL $\neq 0$ ICASE (6) $\neq 0.10$ IDSSH $\neq 0$ ICASE (7) $\neq 0.10$ IDSPP $\neq 0$ ICASE (8) $\neq 0.10$ IDSTC $\neq 0$ ICASE (9) $\neq 0.10$ IDSCC $\neq 0$ ICASE (10) $\neq 0.10$ IDSDW $\neq 0$ IDSBS $\neq 0$
INP3	NPSPT NPSPP NADHE NPUMS NREFS NBLDS	必須 IAUX $\neq 0$	

NAMELIST 一覧表(2)			
入力ルーチン	NAMELIST	Reference 設計	Perturbation設計
INP4	NBDYI NTSP10 NTRI10 NTCL10 NBLD10 NPUM10 NVEN10 NWCL10 NGEN10 NREM10 NCNT10 NREF10 NADH10 NPSP10	ICOS $\neq$ 0	
INP2 INP4	PLPARM PLTFL PLTIN	IPL0T $\neq$ 0 IMFLD-1かつIPL0T-1	IPL0T $\neq$ 0 IMFLD-1かつIPL0T-1
INP5	NMFOPT NMFDI	IMFLD $\neq$ 0	
INP6	NPLNT NCOST NEGY	IC0S $\neq$ 0 IENE $\neq$ 0	IC0S $\neq$ 0 IENE $\neq$ 0

NAMELIST: NOPT (INP1)		
変 数 名	配列 (i. j. k)	
ICASE	(13)	本体設計計算のオプション。詳細はオプションの部分 を参照のこと。
IDSDP		ダイバータ・プレートの数
IDSFW		ライナー（保護パネル）の有無
IDSVV		真空容器の位置
IDSBL		ブランケットの有無
IDSSH		遮蔽体の有無
IDSPP		PFコイルの位置
IDSTC		TFコイルの導体の種類
IDSPC		PFコイルの導体の種類
IDSCC		中心支持柱の位置
IDSBS		架台の有無
IDSDW		デュワー（Dewar）の構造
IDSAH		追加熱

NAMELIST: NFLAG1 (INP1)		
変 数 名	配 列 (i. j. k)	
IAUX		補機類計算オプション (0 または 1)
ICOS		コスト計算オプション (0, 1, -1, -2, -3) 1: 旧コスト計算のみを行う 0: 計算しない -1: 動力炉経済評価計算, 旧コスト計算を行う -2: 動力炉経済評価計算のみを行う -3: 同 上 (但し, 設計計算は行わない)
IGEOM		本体計算プリントアウトオプション (0 または 1)
IMATT		材料表計算オプション (0 または 1)
ICOST		コスト表計算オプション (0 または 1)
IPLOT		プロット・ルーチン計算オプション (0 または 1)
IMFLD		磁場計算オプション (0 または 1)
IOPNST		NASTRAN コードへの出力オプション (0 または 1)
IOPER		EQUCIRの計算オプション (0 または 1)
KOUT		出力分類でASSIGNするファイル番号 (1 または 6) (何も入れないと 1 にセットされる)
TTHETA		重心を求めるためのトロイダル方向角度 (degree) (0 でない値を入れること) (デフォルト値は 360°)

NAMELIST: NMNP1(1) (INP1)		
変数名	配列 (i, j, k)	
RP	(2)	プラズマ主半径 (M)
AP		プラズマ副半径 (Horizontal方向) (M)
BP		プラズマ副半径 (Vertical方向) (M) BP(1)は $Z > 0$, BP(2)は $Z < 0$ の領域。
ELL	(2)	非円形度 (BP / AP) ELL(1)は $Z > 0$, ELL(2)は $Z < 0$ の領域。
ASP		アスペクト比 (RP / AP)
IP		プラズマ電流 (MA)
BT		トロイダル磁場 (T)
BTM		最大トロイダル磁場 (T)
SQA		安全係数
LP		自己インダクタンス (H)
TAUN		粒子閉じ込め時間 (SEC)
CYCL		燃料処理系と炉心との間をrecycle しているトリチウム量の拡散による炉心からの漏れ量に対する比
TBURN		Burn phaseの時間 (SEC)
NOP		年間の運転パルス回数
BETAT		トロイダル β 値
BETAP		ポロイダル β 値
SLI		内部インダクタンス
RPL		トロイダル・リップル (%)
VS		0-H のVS (V·S)
FVS		0-H のVSの I_P L_P に対する比
TAUE		エネルギーの閉じ込め時間 (SEC)
PT		総熱出力 (MW)
PWN		Wall Loading (MW / M ²)
TRISE		プラズマ電流立上げ時間 (SEC)
DUTY		Duty factor
DLP		三角形度

NAMELIST: NMNP2 (INP1)		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
IDFL		プラズマ粒子の種類を示すパラメータ (不純物を含まず)
ISPN		プラズマ粒子の種類数 (不純物を含めても良い)
ISPT		プラズマ温度の種類数
LN	(5)	密度分布を示すパラメータ
MN	(5)	同 上
LT	(2)	温度分布を示すパラメータ
MT	(2)	同 上
DNP	(5)	プラズマ中心密度 (/ M^3)
DNB	(5)	プラズマ境界密度 (/ M^3)
TMP	(2)	プラズマ中心温度 (KeV)
TMB	(2)	プラズマ境界温度 (KeV)

NAMELIST: NDP (INP2)		
変 数 名	配列 (i, j, k)	
RDP	(5, 2)	ダイバータ・プレート(i)のR座標 (j=1; 上側, j=2; 下側)
ZDP	(5, 2)	ダイバータ・プレート(i)のZ座標 (j=1; 上側, j=2; 下側)
SDP	(5, 2)	ダイバータ・プレート(i)のポロイダル断面積 (j=1; 上側, j=2; 下側)
MNDP	(5, 2)	ダイバータ・プレート(i)の材料番号 (j=1; 上側, j=2; 下側)

NAMELIST: NFW (INP2)		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
NEFW		第 1 壁構成材の数
MNFW	(10)	第 1 壁第 (i) 成分の材料番号
FFTW		プラズマ表面積に対する第 1 壁の表面積比
FEFW	(10)	第 1 壁第 (i) 成分の体積割合 (%)
DENFW	(10)	第 1 壁第 (i) 成分の密度 (ton/m ²)
THFW		第 1 壁の厚さ (m)

NAMELIST: NVV (INP2)		
変 数 名	配列 (i, j, k)	
NPVV	(2, 2) 必ず 2 * と入力	バキューム・ベッセル第(i)境界の点の数 (j = 1; 上側, j = 2; 下側)
RVV	(20, 2, 2)	第(j)境界の第(i)番目の点のR座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
ZVV	(20, 2, 2)	第(j)境界の第(i)番目の点のZ座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
CVV	(20, 2, 2)	第(j)境界の円弧 i, i + 1 の曲率半径 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
THVV	(20, 2)	第(i)番目の変形ポイントにおける真空容器の厚さ (j = 1; 上側, j = 2; 下側)
MNVV	(10)	真空容器の壁材第(i)成分の番号
NEVV		真空容器の壁材の構成成分の数
FEVV	(10)	真空容器の壁材第(i)成分の体積割合

NAMELIST: NBL (INP2)		
変数名	配列 (i, j, k)	
NPBL	(10, 2)	ブラケット第(i)層内側境界の変形点の数 (j = 1; 上側, j = 2; 下側)
RBL	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界第(i)点のR座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
ZBL	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界第(i)点のZ座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
CBL	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界の円弧 i, i + 1 の曲率半径 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
NZBL		ブラケットを構成する層の数
NEBL	(10)	ブラケットの第(i)層の構成成分の数
MNBL	(10, 10)	ブラケットの第(i)層, 第(j)成分の材料番号
FEBL	(10, 10)	ブラケットの第(i)層, 第(j)成分の体積割合

NAMELIST: NSH (INP2)		
変 数 名	配 列 (i , j , k)	
NPSH	(10, 2)	シールドの第(i)層内側境界の変形点の数 (j = 1; 上側, k = 2; 下側)
RSH	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界第(i)点のR座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
ZSH	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界第(i)点のZ座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
CSH	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界の円弧 i , i + 1 の曲率半径 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
NZSH		シールドを構成する層の数
NESH	(10)	シールドの第(i)層の構成成分の数
MNSH	(10, 10)	シールドの第(i)層, 第(j)成分の材料番号
FESH	(10, 10)	シールドの第(i)層, 第(j)成分の体積割合

NAMELIST: NPF (INP2)		
変数名	配列 (i, j, k)	
NCPF		PFコイルの総数
NCPFI		TFコイルの内側にあるPFコイルの数
RPF	(30)	PFコイル(i)の中心のR座標(m)
ZPF	(30)	PFコイル(i)の中心のZ座標(m)
DRPF	(30)	PFコイル(i)のR方向の太さ(m)
DZPF	(30)	PFコイル(i)のZ方向の太さ(m)
TIPF	(30)	PFコイル(i)の絶縁物の厚さ
TVPF	(30)	PFコイル(i)の真空槽の厚さ
ATPF	(30)	PFコイル(i)のアンペアターンの最大値
PEQUI	(30)	ATPF(i)に占める平衡磁場電流
NEPFC	(30)	PFコイル(i)の導体部分の成分の数
MNPFC	(30, 10)	PFコイル(i)の導体部分第(j)成分の成分番号
FEPFC	(30, 10)	PFコイル(i)の導体部分第(j)成分の体積割合
NEPFI	(30)	PFコイル(i)の絶縁部分の成分の数
MNPFI	(30, 10)	PFコイル(i)の絶縁部分の第(j)成分の成分番号
FEPFI	(30, 10)	PFコイル(i)の絶縁部分の第(j)成分の体積割合
MNPFV	(30)	PFコイル(i)の真空槽の成分番号

NAMELIST: NTF (INP2)		
変 数 名	配列 (i, j, k)	
NCTF		TFコイルの数
NPTF	(10, 2)	第(i)層内側境界の変形点の数 (j = 1; 上側, j = 2; 下側)
RTF	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界第(i)点のR座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
ZTF	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界第(i)点のZ座標 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
CTF	(20, 10, 2)	第(j)層内側境界の円弧 i, i + 1 の曲率半径 (k = 1; 上側, k = 2; 下側)
NZTFT		θ 方向に見たTFコイルの層の数
NETF	(10)	TFコイルの第(i)層の構成成分の数
MNTF	(10, 10)	TFコイルの第(i)層, 第(j)成分の材料番号
FETF	(10, 10)	TFコイルの第(i)層, 第(j)成分の体積割合 (%)
TTTF		TFコイルの θ 方向の厚みの半分
TTF	(10)	TFコイルの第(i)層 θ 方向の厚み
RRPL		プラズマ表面リップルの補正係数
RBTM		最大磁場の補正係数

NAMELIST: NBS (INP2)		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
MNBS TWBS		架台の材料番号 架台の総重量

NAMELIST: NCC (INP2)		
変数名	配列 (i, j, k)	
ICTYP		セントラル・シリンダの形を決めるオプション
IDPF	(2, 2)	PFコイル番号, ICTYP = 2, 3のとき意味をもつ。 (j = 1; 上側, j = 2; 下側)
NPCC	(2)	セントラル・シリンダの変形点の数 (i = 1; 上側, i = 2; 下側)
ROCC	(2)	セントラル・シリンダの外半径 (i = 1; 上側, i = 2; 下側)
RICC	(2)	セントラル・シリンダの内半径 (i = 1; 上側, i = 2; 下側)
ZCC	(2)	セントラル・シリンダの長さ (i = 1; 上側, i = 2; 下側)
RC	(10, 2)	セントラル・シリンダの第(i)番目の変形点のR座標 (j = 1; 上側, j = 2; 下側)
ZC	(10, 2)	セントラル・シリンダの第(i)番目の変形点のZ座標 (j = 1; 上側, j = 2; 下側)
MNCC		セントラル・シリンダの材料番号

NAMELIST: NBJ (INP2)		
変 数 名	配列 (i. j. k)	
MNBJ		ベルジャ ーの材料番号
TWBJ		ベルジャ ーの総重量

NAMELIST: NPSPP (INP3)		
変数名	配列 (i, j, k)	
NTPL		プラズマ電流のTime Mesh
TP	(30, 50)	ポロイダルコイル (i) の電流立上げパターンを示す時間パラメータ (sec)
CURT	(30, 50)	ポロイダルコイル (i) の $t = TP(i, j)$ sec における電流値
FPOW		力率
CURPL	(50)	プラズマの $t = TP(i, j)$ sec における電流値
		上下対称………上半分のコイル数
		上下非対称………全コイル数

NAMELIST: NADHE (INP3)		
変 数 名	配列 (i, j, k)	
NSPNB		NBI の種類の数
NSPRF		RFの種類の数
NEQNB	(30)	(i) 種NBI の台数
NEQRF	(30)	(i) 種RFの台数
EKNB	(30, 30)	(i) 種NBI のTime=(j)のときのエネルギー
FRRF	(30)	(i) 種RFの周波数
PRNB	(30, 30)	(i) 種NBI のTime=(j)のときの総出力
PRRF	(30, 30)	(i) 種RFのTime=(j)のときの総出力
EFNB	(30)	(i) 種NBI の効率
EFRF	(30)	(i) 種RFの効率
TSTNB	(30)	(i) 種NBI の injection の開始時間
TEDNB	(30)	(i) 種NBI の injection の停止時間
TSTRF	(30)	(i) 種RFの injection の開始時間
TEDRF	(30)	(i) 種RFの injection の停止時間
PRSNB		NBI 内圧力 (Torr)
NT		加熱出力変化時点数

NAMELIST: NPUMS (INP3)		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
NPUMP		排気系の数
PRSRHE		真空系の圧力 [He] (Torr)
PRSRD		真空系の圧力 [D] (Torr)
PRSRT		真空系の圧力 [T] (Torr)
ALTD		太径排気ダクトの長さ
DATD		太径排気ダクトの直径
ALSD		細径排気ダクトの長さ
DASD		細径排気ダクトの直径
DAVLV		ゲートバルブの直径

NAMELIST: NREFS (INP3)		
変 数 名	配列 (i. j. k)	
QREFHO		液体He系熱負荷 (k W)
QREFNO		液体 N ₂ 系熱負荷 (k W)

NAMELIST: NBLDS (INP3)		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
RRR0		炉室半径 (reference 設計)
HRR0		炉室の高さ (reference 設計)
SAUX0		補機建家の総面積 (reference 設計)

NAMELIST: NBDYI		
変数名	配列 (i, j, k)	
PDP		Unit cost of divertor (M\$/ton)
CGDP		Contingency of divertor (%)
PFW	(10)	Unit cost of (i)th first wall material (M\$/ton)
CGFW		Contingency of first wall (%)
PJVV	(10)	Unit cost of (i)th vacuum vessel material (M\$/ton)
CGVV		Contingency of vacuum vessel (%)
PJBL	(10, 10)	Unit cost of (j)th material in (i)th layer of blanket material (M\$/ton)
CGBL		Contingency of blanket (%)
PJSH	(10, 10)	Unit cost of (j)th material in (i)th layer of shield material (M\$/ton)
CGSH		Contingency of shield (%)
PPFC	(30, 10)	Unit cost of (j)th material in (i)th poloidal coil conductor (M\$/ton)
PPFV	(30)	Unit cost of vacuum chamber of (i)th poloidal coil (M\$/ton)
PPFI	(30, 10)	Unit cost of (j)th material in (i)th poloidal coil (M\$/ton)
CGPF		Contingency of poloidal coil (%)
PTF	(10, 10)	Unit cost of (j)th material in (i)th layer of toroidal coil (M\$/ton)
CGTF		Contingency of toroidal coil (%)
PBS		Unit cost of base (M\$/ton)
CGBS		Contingency of base (%)
PCC		Unit cost of centre cylinder (M\$/ton)
CGCC		Contingency of centre cylinder (%)
PBJ		Unit cost of belljar (M\$/ton)
CGBJ		Contingency of belljar (%)

NAMELIST: NTSP10		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
PTREC		Unit cost of rectifier for TF coil (M\$/MVA)
PTFLY		Unit cost of flywheel for TF coil (M\$/MVA)
PTGEN		Unit cost of generator for TF coil (M\$/MVA)
PTMTR		Cost of motor for TF coil (M\$/device)

NAMELIST: NTRII0		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
PTRICN		Fixed cost (M\$)
PTRSL1		
PTRSL2		Scaling cost (M\$/ g/day)
THPTR1		Tritium throughput (g/day)
PRTRI		Tritium production (g/day)
CNTB		Tritium concentraion in blanket (g/kg)

NAMELIST: NTCLIO		
変数名	配列 (i, j, k)	
NTCV		Required number of perfect volum changes required for the cleanup campain interfacing for vacuum vessel
NTCR		Required number of perfect volum changes required for the cleanup campain interfacing for reactor room
EMV		Frانction of complete mixing attained for V.V.
EMR		Frانction of complete mixing attained for Reactor room
TTCV		Desired cleanup time for V.V. (min)
PTCV		Unit cost for V.V. T cleanup system (M\$/ (m ³ /min) ^{0.21})
PTCR		Unit cost for R.R. T cleanup system (M\$/ (m ³ /min) ^{0.38})
PTCDP		Ducting and Piping (M\$/device)
PTCVLC		Valving, Louvers, Controllers (M\$/device)
PTCSH		Supports and Hangers (M\$/device)
PTCES		Exhaust Stack (M\$/device)
PTCI		Instrumentation (M\$/device)
PTCPS		Penetration Seals (M\$/device)
PTCRBD		Recirculation Blowers and Drivers (M\$/device)

NAMELIST: NBLD10		
変 数 名	配列 (i, j, k)	
PBLD1		Volumetric unit cost of reactor room (M\$/m ³)
PBLD2		Area unit cost of aux-room (M\$/m ²)
PBLD3		Cost of utility (M\$/device)

NAMELIST: NPUMIO		
変数名	配列 (i. j. k)	
COHE		Unit cost of He pump (M\$/m ³ /s)
CODT		Unit cost of D-T pump (M\$/m ³ /s)
CORC		Unit cost of recovery pump (M\$/m ³ /s)
COMV		Unit cost of metal valve (M\$/m ^{1.6})

NAMELIST: NVENIO		
変 数 名	配列 (i. j. k)	
PEVACP		Air conditioning Package cost (M\$/MW ^{0.67})
PEVEB		Exhaust blower's (with motors) cost (M\$/m ³ /min)
PEVAR		Air reheater's cost (M\$/MW ^{0.28})
PEVAD		Air ducting for reactor hall (M\$/m ²)
PEVEF		Electrostatic filters (M\$/m ³ /min)
PEVPLD		Plenums, Louvers, Dampers, Valves (M\$/m ³ /min)
PEVIHF		Inlet and HEPA filters and Frames (M\$/m ³ /min)
PEVEP		Electric power wiring (M\$/MW)
PEVHS		Hangers and Supports (M\$/M)
PEVCT		Condensate Tanks (M\$/kgwater/days)
PEVCS		Control System (M\$/device)
PEVM		Monitors (M\$/device)
PEVT		Tie-ins for Tritium cleanup system (M\$/device)
PEVFP		Foundation and Pads (M\$/device)
PEVPP		Piping and Plumbing (M\$/device)
PEVIV		Isolation Valves (M\$/device)

NAMELIST: NWCLIO		
変数名	配列 (i. j. k)	
PPFP		Unit cost per peak fusion power (M\$/ (MW) ^{0.822})
PAFP		Unit cost per average fusion power (M\$/ (MW) ^{0.815})
PTFP		Unit cost per total fusion power (M\$/ (MJ) ^{0.749})
PPCP		Unit cost per peak PF coil heating (M\$/ (MW) ^{0.822})
PPCA		Unit cost per average coil heating (M\$/ (MW) ^{0.815})
PPCT		Unit cost per total coil heating (M\$/ (MJ) ^{0.749})
PTCP		Unit cost per peak TF coil heating (M\$/ (MN) ^{0.822})
PFCA		Unit cost per average coil heating (M\$/ (MN) ^{0.815})
PTCT		Unit cost per total coil heating (M\$/ (MJ) ^{0.749})
TEMPB		PF coil base temperature difference (°C)
TEMPM		PF coil maximum temperature difference (°C)
TEMTB		TF coil base temperature difference (°C)
TEMTM		TF coil maximum temperature difference (°C)
PTAP		Unit cost per total average power (M\$/ (MW) ^{0.868})

NAMELIST: NGENIO		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
PGEN		Unit cost of generator (M\$/MVA ^{0.7})

NAMELIST: NREMIO		
変数名	配列 (i. j. k)	
PREM		Reference cost of remoto system (M\$/device)

NAMELIST: NCNTIO		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
PCNT		Reference cost of control system (M\$/device)

NAMELIST: NREF10		
変数名	配列 (i. j. k)	
PREFHE		Unit cost of He refrigeration system (M\$/device)
PREFN		Unit cost of N refrigeration system (M\$/device)

NAMELIST: NADHIO		
変数名	配列 (i. j. k)	
PADN		Unit cost of NBI (M\$/MW)

NAMELIST: NPSP10		
変数名	配列 (i, j, k)	
PFLYP		Unit cost of flywheel for Poloidal coil power supply (M\$/MJ)
PGENP		Unit cost of generator for Poloidal coil power supply (M\$/MVA)
PMOTP		Unit cost of motor for Poloidal coil power supply (M\$/device)
PSCR P		Unit cost of Thyristor-Type rectifier inverter power supply (M\$/MVA)
PSWTP		Unit cost of SCR switch cost (M\$/MVA)

NAMELIST: PLPARAM (INP2, INP4)		
変数名	配列 (i. j. k)	
XMAX		R 方向に描く最大の R 座標 (m)
YMAX		Z 方向に描く最大の Z 座標 (m)
ZHGT		本体平面部分図を出す Z の高さ (m) ←断面の高さ
MAGNF1		断面図の縮尺 (整数タイプ)
MAGNF2		平面図の縮尺 (整数タイプ)
NPLOT		プロッタ出力指示 <u>ユニット番号</u> (整数タイプ)
		↑
		通常10を入力する

NAMELIST: PLTFL (INP2, INP4)		
変 数 名	配列 (i. j. k)	
KPLCR	(2 , 5 , 8)	断面図オプション
KPLPL		平面図オプション
KPLPF1		ポロイダルコイル通電波形図
KPLPF2		ポロイダルコイル磁場, 電磁力図オプション
KPLTF		本体平面部分図 (任意水平面) オプション
KPLMF		トロイダルコイル拡張力図オプション
KTIT		タイトル・オプション
KSW		プロッタ・スイッチ

NAMELIST: NMFOPT		
変 数 名	配列 (i. j. k)	
ITFOP1	(30)	トロイダルコイルに働く拡張力の計算オプション
ITFOP2		トロイダルコイルに働く平均引張り応力の計算オプション
ITFOP3		トロイダルコイルに働く向心力の計算オプション
ITFOP4		トロイダルコイルに働く倒し力の計算オプション
IPFOP1		ポロイダルコイル内最大磁場計算オプション
IPFOP2		ポロイダルコイルに働く拡張力と上下力の計算オプション

NAMELIST: PLTIN (INP2, INP4)		
変 数 名	配列 (i, j, k)	
NIDPLT		TIMEスケールの分割数 …例えばNIDPLT=1ならばTIME方向2つのスケールで図を描く。もし従来どおりTIME方向分割なしの1図で描くならば、NIDPLT=0を代入すること。
IDNUM	(9)	分割されるTIMEのmesh番号 …例えばNIDPLT=1でTIMEポイントTPLが8のポイントを持っているとき、IDNUM(1)=3とすればT(1)～T(3)までと、T(4)～T(8)の2つのスケールで図を描く。 もし、IDNUM(I-1)+1とIDNUM(I)のTPLの値が1×10^2以上はなれている場合JOBは“PLTPF-FIG1-ERROR”のメッセージを出力するが実行を続ける。

NAMELIST: NMFDT		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
SIGMAB		転倒力支持ビームに働く曲げ応力の値

NAMELIST: NPLNT (INP6)		
変数名	配列 (i. j. k)	
PE	(5)	Electric Output Power
PEP		Switchgear Load
		Station Service Equip Load
		Switchboard Load
		Electrical Structures Load
	(12)	Power & Control Wiring Load
ALND		Site Area
VR		Building Volume
		Site Improvements and Facilities
		Reactor Building
		Hot Cell Building
		Fuel Handling and Storage Building
		Radioactive Waste Building
		Control Room Building
		Electric Equipment and Power Supply Building
		Cooling System Structure
		Cryogenics and Inert Gas Storage Building
		Turbine Buildings
		Miscellaneous Buildings
		Ventilation Stack

NAMELIST: NPLNT (INP6)		
変数名	配列 (i. j. k)	
FR	(12)	Volume Fraction of Building Wall Site Improvements and Facilities Reactor Building Hot Cell Building Fuel Handling and Strage Buliding Radioactive Waste Building Control Room Building Electric Equipment and Power Supply Building Cooling System Structure Cryogenics and Inert Gas Strage Building Turbine Buildings Miscellaneous Buildings Ventilation Stack
SR	(12)	Plot Area of Building Site Improvements and Facilities Reactor Building Hot Cell Building Fuel Handling and Strage Buliding Radioactive Waste Building Control Room Building Electric Equipment and Power Supply Building Cooling System Structure Cryogenics and Inert Gas Strage Building Turbine Buildings Miscellaneous Buildings Ventilation Stack
VAL		Total Volume of All Building
AAL		Total Plot Area of All Building
PNBI		NBI Power
PRFH		RF Heating Power
NPMP		Number of Exhaust System

NAMELIST: NPLNT (INP6)		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
SPHE		Required Pumping Speed for He Gas
SPD		Required Pumping Speed for D ₂ Gas
SPT		Required Pumping Speed for T ₂ Gas
DAVG		Diameter of Gate Valve
DAVR		Diameter of Right Angle Valve
VCV		Volume of Coil Vacuum Chamber
TPWCP		Max. Energy-input to PF Coils
PWCP		Max. Volt × Max Current of PF Coils
PWRP		Max. Volt × Max Current of TF Coils
TMJ		Max. Energy-input to TF Coils
QFLD		Flow Rate of Coolant
QREFH		Liq. He System Load
QREFN		Liq. N System Load
QLHE		Liq. He Refrigerator Load
QLN2		Liq. N Refrigerator Load
PFH	(3)	Tritium Through put
		Tritium Production
		Tritium Concentration in Blanket
QFL	(1)	Initial Inventory of Tritium
QFL	(2)	Initial Inventory of Deuterium
NSM		Number of Special Materials
QSM		Weight of Special Materials
FCF		Rate of Construction Facilities, Equipment and Services
FEM		Rate of Engineering and Construction Management Service
NCR		Max. Number of Reactor Component Replacement

NAMELIST: NPLNT (INP6)		
変数名	配列 (i. j. k)	
TLF	(10)	Life time of Reactor Component Divertor or Limiter Plate First Wall Vacuum Vessel Blancet Shield Toroidal Field Magnet Poloidal Field Magnet Bucking Cylinder Magnet Cryostat System Support Structure
TRBRN		Annual Consumed Quantity Fuel
TBRED		Tritium Breeding Ratio
PAF		Plant Availability Factor
P		Construction Period
TLFP		Plant Life Time
WRE	(10. 10. 10)	Weight of Material i of Zone k in Reactor Equipment j (i. j. k)

NAMELIST: NCOST (INP6)		
変数名	配列 (i, j, k)	
CL (1)		Unit Cost of Land
CL (2)		Unit Cost of Site Cleaning
CRV	(12)	Unit Cost of Building (per Wall Volume)
		Site Improvements and Facilities
		Reactor Building
		Hot Cell Building
		Fuel Handling and Storage Build
		Reactive Waste Building
		Control Room Building
		Electrical Equipment and Pwer Supply Building
		Cooling System Structure
		Cryogenics and Inert Gas Storage Building
		Turbine Building
		Miscellaneous Building
		Ventiation Stack
CRS	(12)	Unit Cost of Building (per Plot Area)
		Site Improvements and Facilities
		Reactor Building
		Hot Cell Building
		Fuel Handling and Storage Build
		Reactive Waste Building
		Control Room Building
		Electrical Equipment and Pwer Supply Building
		Cooling System Structure
		Cryogenics and Inert Gas Storage Building
		Turbine Building
		Miscellaneous Building
		Ventiation Stack

NAMELIST: NCOST (INP6)		
変数名	配列 (i. j. k)	
CRU	(12)	Cost of Utility Site Improvements and Facilities Reactor Building Hot Cell Building Fuel Handling and Storage Build Reactive Waste Building Control Room Building Electrical Equipment and Pwer Supply Building Cooling System Structure Cryogenics and Inert Gas Storage Building Turbine Building Miscellaneous Building Ventiation Stack
CPH	(1)	Unit Cost of NBI
CPH	(2)	Unit Cost of RFH
CHEP		Unit Cost of He-Exhaust Pump
CDT		Unit Cost of D. T Exhaust Pump
CVG		Unit Cost of Gate Valve
CVRA		Unit Cost of Right-angle Valve
CVU		Cost of Rough Exhaust System
CVC		Unit Cost of Coil Vaccum Chamber Exhaust System
CPS	(5)	Unit Cost of Flywheel for PFC Unit Cost of Generator for PFC Cost of Moter for PFC Unit Cost of Rectifier for PFC Unit Cost of SCR Switch for PFC
CTPS	(4)	Unit Cost of Rectifier for PFC Unit Cost of Flywheel for PFC Unit Cost of Generator for PFC Cost of Motor for PFC

NAMELIST: NCOST (INP6)		
変 数 名	配列 (i, j, k)	
CHT	(8)	Unit Cost of Pumps and Motor Drives Unit Cost of Heat Exchanger Unit Cost of Steam Generator Cost of Other Main Heat Transfer Unit Cost of NBI Cooling Syst Unit Cost of RFH Cooling System Unit Cost of Power Supply Cooling System Unit Cost of Refrigerator Cooling System
CRF	(2)	Unit Cost of Liq. He Refrigerator Unit Cost of Liq. N ₂ Refrigerator
CRW		Cost of Radioactive Waste Treatment & Disposal
CFH	(3)	Cost of Fuel Handling System Utilities Unit Cost of Fuel Circulating System Unit Cost of Tritium Recovery System
COTH		Cost of Other Reactor Plant Equipment
CICR		Cost of Instrumentation & Control
CFL	(2)	Unit Cost of Tritium Unit Cost of Deuterium
CTP	(7)	Unit Cost of Turbine Plant Equipment Turbine Generators Mine Steam (or Other Fluid) System Heat Rejection Systems Condensing System Feed Heating System Other Turbine Plant Equipment Instrumentation and Control Equipment

NAMELIST: NCOST (INP6)		
変 数 名	配 列 (i , j , k)	
CEP	(9)	Unit Cost of Electric Plant Equipment Switchgear Station Service Equipment Switchboards (Including Heat Tracing) Protective Equipment Electrical Structures and Wiring Containers Power and Control Wiring Electrical Lighting
CMP	(4)	Cost of Miscellaneous Plant Equipment Transportation and Lifting Equipment Air and Water Service System Communications Equipment Furnishing and Fixtures
CSM	(10)	Unit Cost of Special Material
RSPA	(7)	Spare Parts Allowance Land and Land Right (通常考えない) Structures and Site Facilities Reactor Plant Equipment Turbine Plant Equipment Electric Plant Equipment Miscellaneous Plant Equipment
RCA	(7)	Contingency Allowance Land and Land Right (通常考えない) Structures and Site Facilities Reactor Plant Equipment Turbine Plant Equipment Electric Plant Equipment Miscellaneous Plant Equipment
FOC		Rate of Other Cost
FIDC	(2)	Interest Rate (Without & with Escalation)
FEDC	(2)	Escalation ((1)については0.0 とする。)

NAMELIST: NCOST (INP6)		
変数名	配列 (i. j. k)	
FOP		Rate of Operating & Maintenance Cost
CREP	(10)	Replacement Cost Divertor or Limiter Plate First Wall Vacuum Vessel Blanket Shield Toroidal Field Magnet Poroidal Field Magnet Bucking Cylinder Magnet Cryostat System Support Structure
FCR	(2)	Annual Fixed Change Rate (Without & with Escalation)
E		Annual Escalation Rate
FCL	(7)	Leaning Curve for Reactor Equipment Divertor or Limiter Plate First Wall Vacuum Vessel Blanket Shield Toroidal Field Magnet Poroidal Field Magnet
NSTD	(7)	Production Quantity of Reactor Equipment Before Unit Cost of Reactor Equipment Divertor or Limiter Plate First Wall Vacuum Vessel Blanket Shield Toroidal Field Magnet Poroidal Field Magnet

NAMELIST: NCOST (INP6)		
変数名	配列 (i. j. k)	
NBF	(7)	Production Quantity of Reactor Equipment Before This Production Start Divertor or Limiter Plate First Wall Vacuum Vessel Blanket Shield Toroidal Field Magnet Poroidal Field Magnet
NPRD	(7)	Production Quantity of Required for Reactor Equipment Divertor or Limiter Plate First Wall Vacuum Vessel Blanket Shield Toroidal Field Magnet Poroidal Field Magnet
CRE	(10. 10. 10)	Unit Cost of Material i of Zone k in Reactor Equipment j (i. j. k)

NAMELIST: NENGY (INP6)		
変 数 名	配 列 (i . j . k)	
ERCA	(10)	Contingency Allowance Divertor or Limiter Plate First Wall Vacuum Vessel Blanket Shield Toroidal Field Magnet Poloidal Field Magnet Bucking Cylinder Magnet Cryostat System Support Structures
ERSPA		Spare Parts Allowance