

JAERI-M

9 2 7 8

上下非対称トロイダルプラズマのMHD平衡
計算コード「EQUCIR version 2」

1981年1月

新谷 吉郎*・二宮 博正

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

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

上下非対称トロイダルプラズマのMHD平衡計算コード
「EQUCIR version 2」

日本原子力研究所東海研究所大型トカマク開発部

新谷 吉郎*、二宮 博正

(1980年12月22日受理)

上下対称のトカマクプラズマを対象とした、自由境界トロイダルMHD平衡コード「EQUCIR version 1」については既に報告した。本報告では上下非対称のプラズマの平衡解析も可能である「EQUCIR version 2」について述べる。本コードの構成は version 1 と基本的には変りがなく、全て同じオプションが使用可能である。

上下非対称の計算を行うために新たなデータ入力が必要となった部分があり、この点について一般的な背景の説明とデータ入力の方法を解説した。

本コードをINTORの単一ヌル・ダイバータ・プラズマの平衡解析に適用して、充分にその有効性を確認し、一例についてデータ入力、結果の出力等を示した。

* 外来研究員：東京芝浦電気（株）

A MHD Equilibrium Code "EQUCIR version 2" Applicable
to Up-Down Asymmetric Toroidal Plasma

Kichiro SHINYA* and Hiromasa NINOMIYA

Division of Large Tokamaku Development,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received December 22,1980)

Computer code EQUCIR version 2, which can analyse tokamak plasma equilibrium without assuming up-down symmetry with respect to the mid-plane, has been developed. This code is essentially the same as EQUCIR version 1 which has already been reported and can deal with only symmetrical plasma with respect to the mid-plane. Because data input stream is slightly different from version 1 physical background of the change and the method of calculation are explained. Data input manual for the different points is also summarized.

The code has been applied to the analysis of INTOR single-null divertor plasmas and to the design of hybrid poloidal coils resulting in useful and powerful means for the design.

Keywords ; Tokamak, MHD Equilibrium, Computer Code, Up-Down Asymmetric
Plasma, Single Null Plasma

* On leave from Toshiba Research and Development Center, Kawasaki,
Kanagawa, Japan

目 次

1. はじめに	1
2. 一般的説明	1
2.1 平衡計算を行う領域について	1
2.2 ヌル点を探索する領域について	1
2.3 プラズマ形状の設定について	2
2.4 ヌル点, 磁気軸及び電流密度最大値点の内挿法	3
3. インプット・マニュアル	4
4. 計算例	7
5. 結 論	7
参考文献	7

CONTENTS

1. Introduction	1
2. General Discription of the Code	1
2.1 Calculation Area of Equilibrium	1
2.2 Research Area of Null-Point	1
2.3 Determination of Plasma Cross-Section	2
2.4 Interpolation of Null-Point, Magmetic Axis and Maximum Point of Current Density	3
3. User's Manual of Input	4
4. Example of Calculation Result	7
5. Conclusion	7
References	7

1. はじめに

原研では既にいくつかのトカマク・プラズマの平衡を解析する計算コードが開発されている。これらのうちでEQUCIRコードは、外部回路との結合計算ができることや、プラズマの形状を設定することが可能であるため、実際の装置設計に際して非常に便利なコードである。¹⁾ところでこのコードは上下対称のプラズマを対象にしており、上下非対称プラズマに対しては適用できない。

一方、INTORの活動に際してシングルヌル・ダイバータの平衡解析やポロイダルコイルの設計が不可欠となってきた。このため従来のEQUCIRコードを上下非対称プラズマの解析が可能となる様に改造した。解析手法や計算のアルゴリズムには、上下対称の場合(参考文献1)と何等変るところがなく、データ入力の仕方に一部変更箇所が現れた。従って、本報告では解析手法等の説明は一切省略し、データ入力が参考文献1から変更された部分のみ、その一般的な説明とインプット・マニュアルを記述するにとどめ、更にINTORの設計を対象とした計算結果を一例示した。

2. 一般的説明

2.1 平衡計算を行う領域について

上下対称コードでは対称点での全ての物理量は等しいので、計算領域は $Z=0$ をMid-plane とする上半面($Z \geq 0$)のみとし、下半面についてはプログラム内で適当に処理されているが、上下非対称コードでは当然プラズマ全体を計算領域に含める必要がある。上下非対称プラズマではMid-planeの定義が不明確となるので、計算領域の設定は必ずしも $Z=0$ を含む必要はない。

収束計算の初期値としてのプラズマ電流分布は、一様分布の円形プラズマを設定しているが、プラズマ中心位置は、 R 、 Z 共に外部から入力されなければならない。従って、計算領域はこの中心を当然含んでいなければならない。

Mid-planeについては、コード内で計算に便利のように適当に設定されるが、プラズマ形状の最適化を行わない場合($IOP T(3)=0$)には、コイル電流値によってはMid-planeがプラズマ内に存在しなくなる可能性があるので注意を要する。

2.2 ヌル点を探索する領域について

上下非対称プラズマの典型的な例である、シングルヌル・ダイバータ・プラズマについて考えてみると、物理的にはヌル点が上下のいずれ側に存在しても問題になる訳ではないが、本コードではプログラム構成上、磁気軸より上方にヌル点が存在するものとしている。従っ

1. はじめに

原研では既にいくつかのトカマク・プラズマの平衡を解析する計算コードが開発されている。これらのうちでEQUCIRコードは、外部回路との結合計算ができることや、プラズマの形状を設定することが可能であるため、実際の装置設計に際して非常に便利なコードである。¹⁾ところでこのコードは上下対称のプラズマを対象にしており、上下非対称プラズマに対しては適用できない。

一方、INTORの活動に際してシングルヌル・ダイバータの平衡解析やポロイダルコイルの設計が不可欠となってきた。このため従来のEQUCIRコードを上下非対称プラズマの解析が可能となる様に改造した。解析手法や計算のアルゴリズムには、上下対称の場合(参考文献1)と何等変るところがなく、データ入力の仕方に一部変更箇所が現れた。従って、本報告では解析手法等の説明は一切省略し、データ入力が参考文献1から変更された部分のみ、その一般的な説明とインプット・マニュアルを記述するにとどめ、更にINTORの設計を対象とした計算結果を一例示した。

2. 一般的説明

2.1 平衡計算を行う領域について

上下対称コードでは対称点での全ての物理量は等しいので、計算領域は $Z = 0$ をMid-plane とする上半面($Z \geq 0$)のみとし、下半面についてはプログラム内で適当に処理されているが、上下非対称コードでは当然プラズマ全体を計算領域に含める必要がある。上下非対称プラズマではMid-planeの定義が不明確となるので、計算領域の設定は必ずしも $Z = 0$ を含む必要はない。

収束計算の初期値としてのプラズマ電流分布は、一様分布の円形プラズマを設定しているが、プラズマ中心位置は、 R , Z 共に外部から入力されなければならない。従って、計算領域はこの中心を当然含んでいなければならない。

Mid-planeについては、コード内で計算に便利のように適当に設定されるが、プラズマ形状の最適化を行わない場合($I OPT(3) = 0$)には、コイル電流値によってはMid-planeがプラズマ内に存在しなくなる可能性があるので注意を要する。

2.2 ヌル点を探索する領域について

上下非対称プラズマの典型的な例である、シングルヌル・ダイバータ・プラズマについて考えてみると、物理的にはヌル点が上下のいずれ側に存在しても問題になる訳ではないが、本コードではプログラム構成上、磁気軸より上方にヌル点が存在するものとしている。従っ

て、ヌル点 (Active Null) を探索する領域の入力もこれに準拠しなければならない。上下対称コードの場合には、ダイバータの形状として、(1)JT-60型、(2)JFF-2a型、(3)JT-4型の3ケースを考えているが、上下非対称の場合にはMid-planeの定義が不明確なこともあり、必ずしも厳密に分類できる訳ではない。従って、データ入力に際しては一応上記3ケースを選択して行う様になっているが、得られた結果としては、いずれに属するか明確でないこともあり得る。但しプログラム構成から図1に示す様なケースについては、計算が収束しなかったり、たとえ収束してもかなり大きな絶対誤差が現われる可能性があるので注意を要する。

本コードではヌル点を探索する領域は一箇所しか入力できないので、JT-4型のダイバータ・プラズマに於いてもダブルヌル・ダイバータ・プラズマの計算は原理上不可能である。これはたとえヌル点を探索する領域を複数個として、各領域で夫々ヌル点を見つけたとしても、その点の磁束の値が等しくなることは殆んど不可能なので、結局はプラズマ表面を規定するヌル点は一箇になってしまうからである。但し、入力データを全て対称とした場合に、結果的に誤差範囲内でダブルヌル・ダイバータとなる可能性は存在する。

繰返し計算が収束してプラズマの平衡が求められた時点で、例えばJT-4型のプラズマの場合、プラズマ表面を規定しているヌル点とは反対側に、別のヌル点 (但しプラズマ表面よりは外側) が存在する可能性がある。更にこのヌル点 (Passive Null) は、スクレイポフ層の幅によっては事実上Active Nullとして働く可能性があるので、その位置を確実に把握しておく必要がある。この理由から本コードではPassive Nullを探索する領域を同時に入力する必要がある。

2.3 プラズマ形状の設定について

プラズマ形状を最適化して平衡計算を行う場合には、基本的には上下対称コードと同様に以下の三種の設定の仕方がある。

- (1) 個々の点の座標を外部データとして入力する。
- (2) プラズマ表面を

$$R(t) = R_p(t) + \rho(t) \cos \omega$$

$$Z(t) = Z_p(t) + \rho(t) \sin \omega$$

$$\rho(t) = a_p(t) + \sum_{n=1}^m (A_n(t) \cos n\omega + B_n(t) \sin n\omega)$$

で設定する。

- (3) プラズマ表面を上半分で ($Z \geq Z_p$)

$$R(t) = R_p(t) + a_p(t) \cos (\omega + \delta_2(t) \sin \omega)$$

$$Z(t) = Z_p(t) + \epsilon_2(t) a_p(t) \sin \omega$$

下半分で ($Z < Z_p$)

$$R(t) = R_p(t) + a_p(t) \cos (\omega - \delta_1(t) \sin \omega)$$

$$Z(t) = Z_p(t) - \epsilon_1(t) a_p(t) \sin \omega$$

$$\delta_2(t) = \sin^{-1} \gamma_2(t), \quad \delta_1(t) = \sin^{-1} \gamma_1(t)$$

で設定する。ここで $\varepsilon_2(t)$, $\varepsilon_1(t)$ は夫々上半分と下半分での楕円度を, $\gamma_2(t)$, $\gamma_1(t)$ は三角度を示している。

2.4 ヌル点, 磁気軸及び電流密度最大値点の内挿法

プラズマのポロイダル・ベータ β_p を求めるには次式

$$\beta_p = \frac{\int P ds / \int ds}{(\int B_p d\ell / d\ell)^2 / 2\mu_0}$$

を用いているが, プラズマ表面で線積分を行う部分がある。このためにはプラズマ表面の座標を正確に求めなければならない。ダイバータ・プラズマの場合, ヌル点を最初に見つけ, この点での磁場値を有するメッシュ線上の点を探索してプラズマ表面を求めている。ところでヌル点は磁束値の作る曲面の鞍点になっているため, ヌル点の座標を正確に見つけておかないと, 探索しているプラズマ表面が閉曲線を形成しない可能性がある。

上下非対称プラズマでは, プラズマの磁気軸と電流密度最大値点は必ずしも赤道面上にある訳ではない(赤道面の定義は必ずしも正確でない)。従って, プラズマの全域に渡って磁束または電流密度の最大値を求める必要がある。ヌル点あるいは磁気軸のいずれの場合にも, 鞍点と極大値の違いはあるが, それ等の位置は二次曲面の極値を求めることによって得られると考えてよい。具体的には以下に示す手順による。但し, ヌル点の場合を説明する。

- (i) 2.2 で述べたヌル点を探索する領域で, 磁束値が最小となるメッシュ点を求める。
- (ii) ヌル点の近傍では磁束は次式で示す様な二次曲面を形成していると仮定し, この式の係数 $a_1 \sim a_6$ は最小メッシュ点の回りの9点(自分自身を含む)の磁束値から最小二乗法によって推定する。

$$\psi(R, Z) = a_1 R^2 + a_2 RZ + a_3 Z^2 + a_4 R + a_5 Z + a_6$$

- (iii) 上式から鞍点を解析的に求め, それをヌル点とする。

磁気軸と電流値最大値点の場合は, その探索領域と鞍点の代りに極大値を求めること以外は全く同じ手法を適用できる。

本コードでは単純な形のダイバータあるいは非ダイバータ・プラズマ以外にも, ダブレットあるいはそれにダイバータが付随した形のプラズマに対しても, プラズマ表面の探索は可能である様に, プログラムは作成されている。しかし乍ら, 磁気軸および電流密度最大値点は, 例えばダブレット形状の場合には, 上下の磁気軸のうちでより磁束の大きいもの一個しか求めることができないので注意を必要とする。

尚, 本コードのプラズマ表面探索のアルゴリズムでは, 特にヌル点近くでプラズマ表面の座標を見つける事ができなくなる可能性がある。この為別のアルゴリズムによるプログラムが用意されており, 本コードのロードモジュールを edit して用いる事ができるようになっている。

3. インプット・マニュアル

以下に前節で述べた一般的な説明の各項に対応したデータ入力の仕方について記述する。尚、カード番号については、参考文献1の上下対称コードの場合と対応し、新たに入力が付加されるものについては、例えばCard 4'のように'を付けるものとする。

Card 5 ; プラズマ電流が流れ得る領域の入力 (下側)

i) JCLMT 1(I), I = 1, NR

R方向の各メッシュに対して1より小さくない値を与える。この値のメッシュ番号より下のメッシュに対してはプラズマ電流は流れることができない。

ii) 20I3

Card 5' ; プラズマ電流が流れ得る領域の入力 (上側)

i) JCLMT 2(I), I = 1, NR

R方向の各メッシュに対してNZより大きくない値を与える。この値のメッシュ番号より上のメッシュに対してはプラズマ電流は流れることができない。

iii) 20I3

JCLMT 1(I)に1以下の値を入力すると警告が出力されて自動的に1に設定される。逆にJCLMT 2(I)にNZ以上の値を入力すると同様に警告が出力されて自動的にNZに設定される。

Card 6 ; 磁束関数を計算する領域の入力 (下側)

i) JPLMT 1(I), I = 1, NR

R方向の各メッシュに対して1より小さくない値を与える。この値のメッシュ番号より下のメッシュに対しては磁束関数は計算されない。

ii) 20I3

Card 6' ; 磁束関数を計算する領域の入力 (上側)

i) JPLMT 2(I), I = 1, NR

R方向の各メッシュに対してNZより大きくない値を与える。この値のメッシュ番号より上のメッシュに対しては磁束関数は計算されない。

ii) 20I3

JPLMT 1(I)に1以下の値を入力すると警告が出力され自動的に1に設定される。逆にJCLMT 2(I)にNZ以上の値を入力すると同様に警告が出力されて自動的にNZに設定される。

JCLMT 1(I) < JPLMT 1(I) 又は JCLMT 2(I) > JPLMT 2(I) の場合はコードを停止する。JPLMT 1(I) と JPLMT 2(I) で決まる計算領域の中に、リミタ点、プラズマ形状を与える点およびヌル点を探索する領域が含まれなくてはならない。

Card 13 ; プラズマ定数の入力

i) PCONST (12)

PCONST(1) ; プラズマ電流 (A)

PCONST(2); プラズマ大半径 (m)

PCONST(3); プラズマ小半径 (m)

PCONST(4); プラズマ中心の高さ (m)

以上の定数から初期電流分布を決定する。電流分布は一様分布とする。

PCONST(5); プラズマ表面の磁束関数の初期値 (wb)

PCONST(6); プラズマ電流, 電圧初期値 (A or V)

PCONST(7); 電流分布の係数を定めるためのプラズマ半径の入力 R_p (m)

ii) 6E10.0

Card 19 ; Active Nullを探索する領域の入力

i) IDXMN1 ; Active Nullを探すR方向メッシュの最小値

IDXMX1 ; Active Nullを探すR方向メッシュの最大値

IDYMN1 ; Active Nullを探すZ方向メッシュの最小値

IDYMX1 ; Active Nullを探すZ方向メッシュの最大値

ii) 4I3

iii) IDIV = 0 の時不要

この領域はJPLMT1とJPLMT2とで規定された領域の内部になければならない。

Card 19' ; Passive Nullを探索する領域の入力

i) IDXMN2 ; Passive Nullを探すR方向メッシュの最小値

IDXMX2 ; Passive Nullを探すR方向メッシュの最大値

IDYMN2 ; Passive Nullを探すZ方向メッシュの最小値

IDYMX2 ; Passive Nullを探すZ方向メッシュの最大値

ii) 4I3

iii) IDIV = 0 の時不要

この領域はJPLMT1とJPLMT2とで規定された領域の内部になければならない。

Card 33 ; プロッター出力領域・寸法の入力

i) PRMIN ; プロットしたいR方向最小値 (m)

PRMAX ; プロットしたいR方向最大値 (m)

PZMIN ; プロットしたいZ方向最小値 (m)

PZMAX ; プロットしたいZ方向最大値 (m)

PRL ; プロット図面のR方向寸法 (mm)

PZL ; プロット図面のZ方向寸法 (mm)

PZLに115 mm以上の値を入力すると自動的に115 mmに設定される。

$PRL = PZL * (PRMAX - PRMIN) / (PLMAX - PZMIN)$ と自動設定される。

Card 40-3 ; Mid-planeの位置を与える時間ポイント数

i) NZPT

ii) 20I3

iii) IOPT(3) = 1 の時不要

Card 40-4 ; Mid-planeの位置の時間変化の入力

i) ZPTT(I), ZPT(I), I = 1, NZPT
 ZPTT(I) : Mid-plane の位置を与える時刻
 ZPT(I) : Mid-plane の Z 座標 (m)

ii) 6E10.0

iii) IOPT(3) = 1 の時必要

$$TMIN \leq ZPTT(1) < \dots < ZPTT(NZPT) \leq TMAX$$

Mid-plane の位置は上下非対称の場合には実質的な意味はなく、プラズマ表面を探索する際の始点と終点を定めるためのものである。

Card 41-2 ; プラズマ形状を与える定数の入力

i) VARIT(I), RPOT(I), APOT(I), ZPOT(I), AMT(I, 1) ~
 AMT(I, 4), BMT(I, 1) ~ BMT(I, 4), I = 1, NPNT
 VARIT(I) ; R_p, A_n, B_n の値を与える I 番目の時刻

RPOT(I) ; I 番目の時刻での R_p の値 (m)

APOT(I) ; I 番目の時刻での a_p の値 (m)

ZPOT(I) ; I 番目の時刻での Z_p の値 (m)

AMT(I, N) ; I 番目の時刻での A_n の値 (m)

BMT(I, N) ; I 番目の時刻での B_n の値 (m)

ii) 6E10.0

iii) IOPT(3) = 2 の時必要

プラズマ表面の与え方については 2.3 の(2)に対応している。

Card 42-2 ; プラズマ形状を与える定数の入力

i) VARIT(I), RPOT(I), APOT(I), ZPOT(I), GAMAT1(I), GAMAT2
 (I), EPSIT1(I), EPSIT2(I), I = 1, NPNT
 VARIT(I) ; $R_p, a_p, Z_p, \gamma_1, \gamma_2, \epsilon_1, \epsilon_2$ の値を与える I 番目の時刻

RPOT(I) ; I 番目の時刻での R_p の値 (m)

APOT(I) ; I 番目の時刻での a_p の値 (m)

ZPOT(I) ; I 番目の時刻での Z_p の値 (m)

GAMAT1(I) ; I 番目の時刻での γ_1 の値

GAMAT2(I) ; I 番目の時刻での γ_2 の値

EPSIT1(I) ; I 番目の時刻での ϵ_1 の値

EPSIT2(I) ; I 番目の時刻での ϵ_2 の値

ii) 6E10.0

iii) IOPT(3) = 3 の時必要

$$TMIN \leq VARIT(1) < \dots < VARIT(NPNT) \leq TMAX$$

プラズマ表面の与え方については 2.3 の(3)に対応している。

4. 計算例

INTORのプラズマパラメータを用いて、シングルヌル、ダイバータ、プラズマの計算結果を、 $\beta_p = 0.1, 3.5$ について図2に示す。入力データは図3に示す通りで、主要なオプションはIOPT(3)=0, IOPTRS=3である。非対称のチェックを行うために、ポロイダルコイル配置は最内側のコイルを除いて $Z=0$ の面に関して上下対称であるが、Mid-planeは $Z=-1.0$ mとした。

FACOM M-200を使用して図3に示す入力データの平衡計算を行った場合、

$$NRXNZ = 27 \times 60$$

求める平衡 8 ケース

に対して

計算時間 473 秒

必要とする記憶領域 904 KB

である。

5. 結論

トカマク・プラズマ平衡解析コード「EQUCIR version 1」の上下非対称化を行い、INTORその他のSingle Nullプラズマの解析に適用し、充分にその機能を発揮することが確認された。本コード「EQUCIR version 2」と前記version 1とを併用すれば、殆んどどのトカマク・プラズマに対して、その平衡解析とポロイダル・コイル系の設計が可能となる。従来、プラズマの平衡解析とポロイダル・コイルの設計は、多くの試行錯誤の結果として行われていたが、一連のEQUCIRコードを使用することによって、その時間は著しく短縮される。

なお、本コードは、ダブレット形状のプラズマに対しても平衡解析が可能となっているが、現在のところその機能は完全には確認されていないので、ダブレット形状に対しては今後、いくつかのテストランが必要である。

最後に、本報告をまとめるにあたり一部のデータ作成に協力していただいたJT-60計画室の上田孝寿氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 二宮博正, 亀有昭久, 新谷吉郎; JAERI-M 9127, トロイダルプラズマのMHD平衡計算コード「EQUCIR version 1」(1980)

4. 計算例

INTORのプラズマパラメータを用いて、シングルヌル、ダイバータ、プラズマの計算結果を、 $\beta_p = 0.1, 3.5$ について図2に示す。入力データは図3に示す通りで、主要なオプションはIOPT(3)=0, IOPTRS=3である。非対称のチェックを行うために、ポロイダルコイル配置は最内側のコイルを除いて $Z=0$ の面に関して上下対称であるが、Mid-planeは $Z=-1.0$ mとした。

FACOM M-200を使用して図3に示す入力データの平衡計算を行った場合、

NRXNZ = 27 × 60

求める平衡 8 ケース

に対して

計算時間 473 秒

必要とする記憶領域 904 KB

である。

5. 結論

トカマク・プラズマ平衡解析コード「EQUCIR version 1」の上下非対称化を行い、INTORその他のSingle Nullプラズマの解析に適用し、充分にその機能を発揮することが確認された。本コード「EQUCIR version 2」と前記version 1とを併用すれば、殆どどのトカマク・プラズマに対して、その平衡解析とポロイダル・コイル系の設計が可能となる。従来、プラズマの平衡解析とポロイダル・コイルの設計は、多くの試行錯誤の結果として行われていたが、一連のEQUCIRコードを使用することによって、その時間は著しく短縮される。

なお、本コードは、ダブレット形状のプラズマに対しても平衡解析が可能となっているが、現在のところその機能は完全には確認されていないので、ダブレット形状に対しては今後、いくつかのテストランが必要である。

最後に、本報告をまとめるにあたり一部のデータ作成に協力していただいたJT-60計画室の上田孝寿氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 二宮博正, 亀有昭久, 新谷吉郎; JAERI-M 9127, トロイダルプラズマのMHD平衡計算コード「EQUCIR version 1」(1980)

4. 計算例

INTORのプラズマパラメータを用いて、シングルヌル、ダイバータ、プラズマの計算結果を、 $\beta_p = 0.1, 3.5$ について図2に示す。入力データは図3に示す通りで、主要なオプションはIOPT(3)=0, IOPTRS=3である。非対称のチェックを行うために、ポロイダルコイル配置は最内側のコイルを除いて $Z=0$ の面に関して上下対称であるが、Mid-planeは $Z=-1.0$ mとした。

FACOM M-200を使用して図3に示す入力データの平衡計算を行った場合、

NRXNZ = 27 × 60

求める平衡 8 ケース

に対して

計算時間 473 秒

必要とする記憶領域 904 KB

である。

5. 結論

トカマク・プラズマ平衡解析コード「EQUCIR version 1」の上下非対称化を行い、INTORその他のSingle Nullプラズマの解析に適用し、充分にその機能を発揮することが確認された。本コード「EQUCIR version 2」と前記version 1とを併用すれば、殆んどどのトカマク・プラズマに対して、その平衡解析とポロイダル・コイル系の設計が可能となる。従来、プラズマの平衡解析とポロイダル・コイルの設計は、多くの試行錯誤の結果として行われていたが、一連のEQUCIRコードを使用することによって、その時間は著しく短縮される。

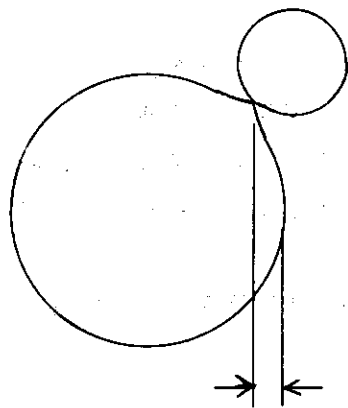
なお、本コードは、ダブレット形状のプラズマに対しても平衡解析が可能となっているが、現在のところその機能は完全には確認されていないので、ダブレット形状に対しては今後、いくつかのテストランが必要である。

最後に、本報告をまとめるにあたり一部のデータ作成に協力していただいたJT-60計画室の上田孝寿氏に感謝致します。

参考文献

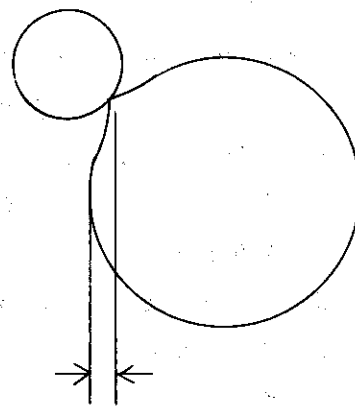
- 1) 二宮博正, 亀有昭久, 新谷吉郎; JAERI-M 9127, トロイダルプラズマのMHD平衡計算コード「EQUCIR version 1」(1980)

(1) JT-60型
(IDIV = 1)



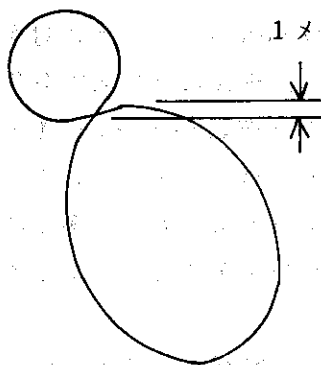
1メッシュ以上外側に出る

(2) JFT-2a型
(IDIV = 2)



1メッシュ以上内側に入る

(3) JT-4型
(IDIV = 3)

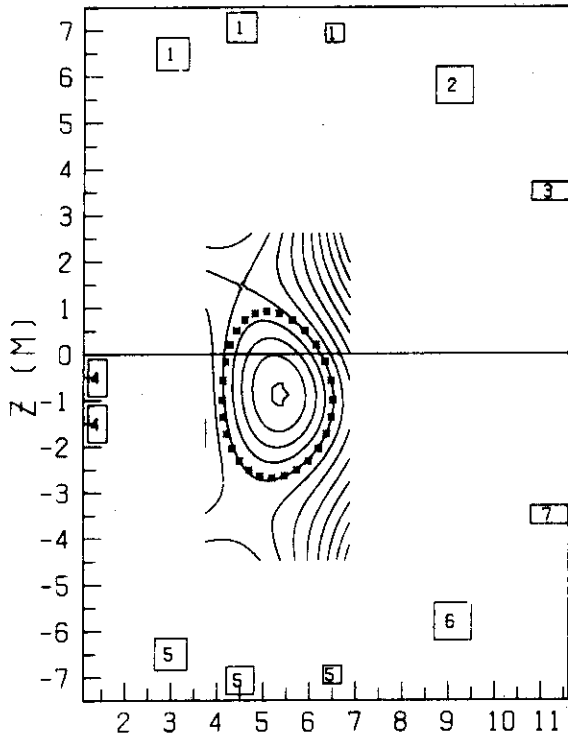


1メッシュ以上上方にある

図1 収束しないか又は絶対誤差が大きくなるダイバータ配位の例

EQUICIRAM CODE....RUN TEST FROM 25/SEPTEMBER/1980 TO.....
 INTOR SINGLE NUCL.RP=5.3M.AP=1.2M

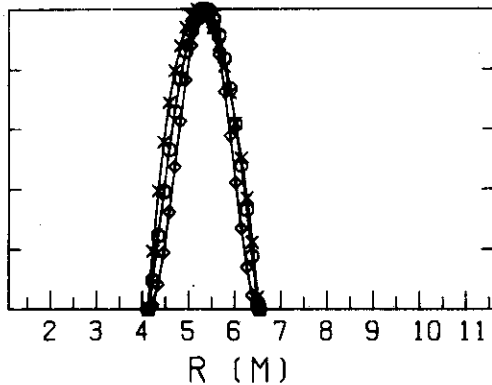
TIME = 5.000E-03 SEC



***** PLASMA PARAMETERS *****

IP-CURRENT	(A)	3.000E 06
EP-VOLTAGE	(V)	1.904E 03
VLOOP-SURFACE	(V)	-1.406E 03
SELF INDUCTANCE	(H)	1.164E-05
RESISTANCE	(OHM)	0.0
R-AVERAGE	(M)	5.332E 00
R-INNER	(M)	4.124E 00
R-OUTER	(M)	6.540E 00
R-MAGNETIC AXIS	(M)	5.336E 00
R-CURRENT MAX.	(M)	5.225E 00
A-HALF WIDTH	(M)	1.208E 00
A-AVERAGE	(M)	1.523E 00
ELLIPTICITY		1.590E 00
CROSS AREA	(M**2)	7.286E 00
VOLUME	(M**3)	2.389E 02
POLOIDAL BETA		1.001E-01
SMALL LI		9.485E-01
Q-VALUE/BT	(/T)	7.989E-01
BV-SHAFRANOV	(T)	-1.354E-01
BV-CALCULATED	(T)	-1.314E-01
LIMITER R	(M)	4.527E 00
Z	(M)	1.469E 00
PSI	(WB)	1.119E 00

R (M)
 MIN=-3.381E 00
 MAX= 3.119E 00
 DEL= 5.000E-01



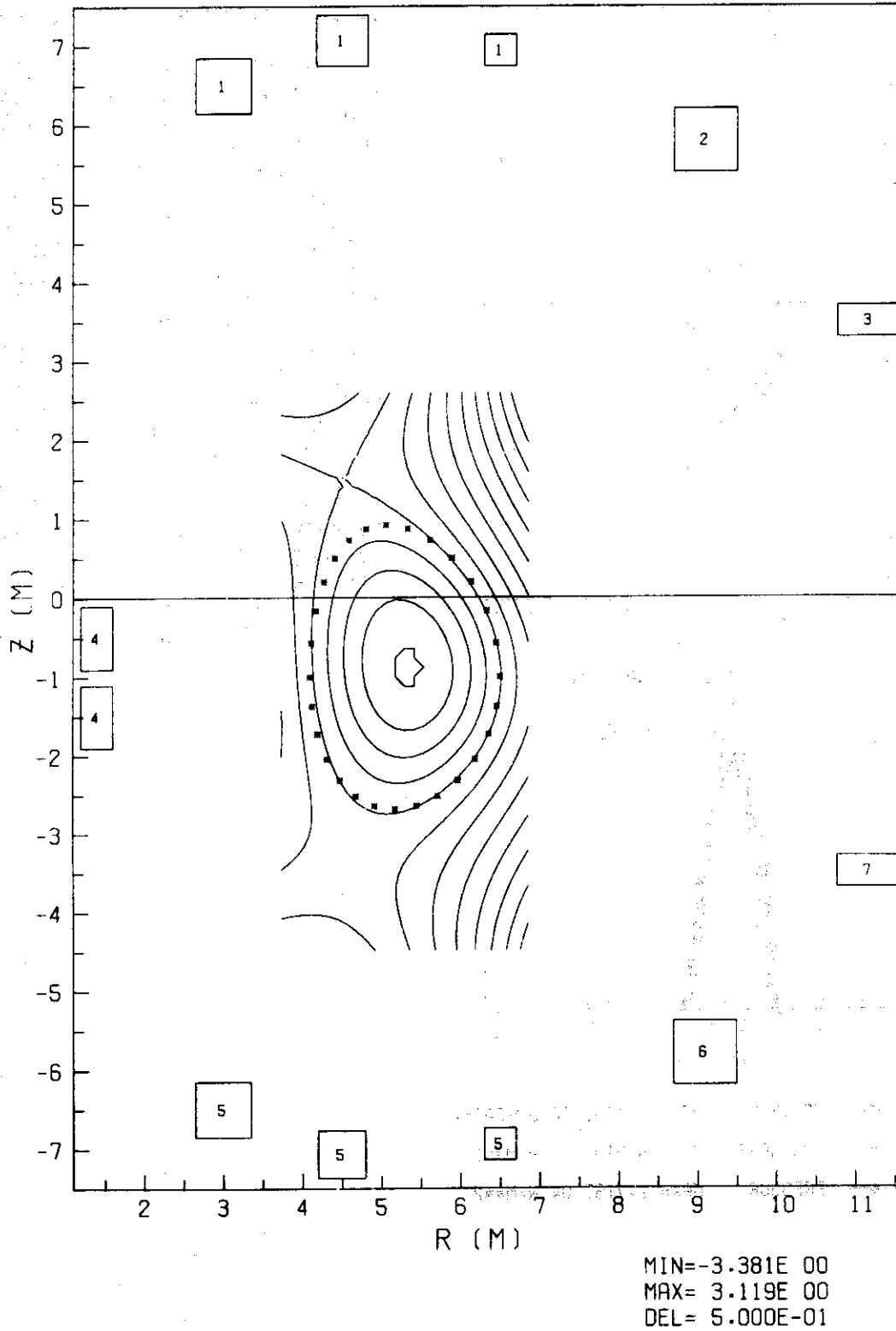
- MAG.FLUX MAX= 3.178E 00.SURFACE= 1.119E 00
- ×— CUR.DENST. MAX= 8.319E 05 A/M**2
- ◇— PRESSUR MAX= 1.718E 04 N/M**2

図 2.1 シングルヌル・ダイバータ・プラズマの計算結果 $\beta_p = 0.1$

EQUICIRAM CODE...RUN TEST FROM 25/SEPTEMBER/1980 TO.....

INTOR SINGLE NULL, RP=5.3M, AP=1.2M

TIME = 5.000E-03 SEC

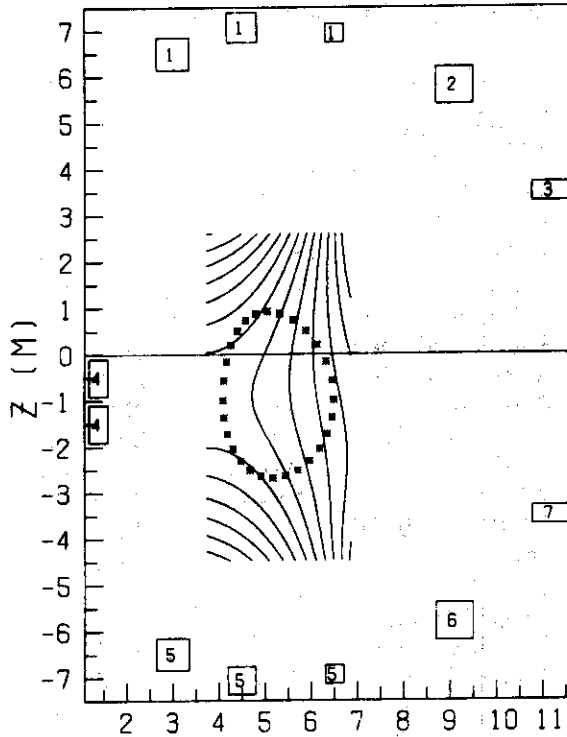


1.0-1.4 磁場軸長からプラズマ・ターンの長さ、サマックス、1.5-1.8

図 2.2 シングルヌル・ダイバータ・プラズマの計算結果 $\beta_p = 0.1$

EQUICRAM CODE...RUN TEST FROM 25/SEPTEMBER/1980 TO.....
 INTOR SINGLE NULL.RP=5.3M.AP=1.2M

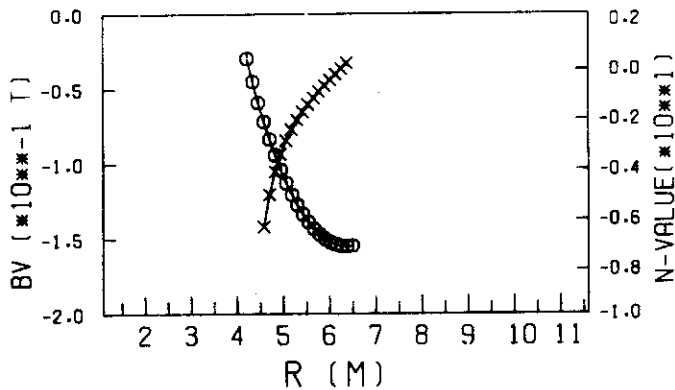
TIME = 5.000E-03 SEC



***** COILS *****

NO.	CURRENT(A)	VOLTAGE(V)	BV(T)
1	3.036E 04	9.809E 07	1.604E-01
2	-1.453E 04	-1.844E 08	-3.377E-01
3	1.904E 02	5.125E 07	6.625E-03
4	-1.650E 04	-1.654E 07	5.974E-02
5	8.592E 03	1.991E 07	6.101E-02
6	-6.733E 03	-5.525E 07	-2.332E-01
7	3.379E 03	1.221E 08	1.518E-01

R (M)
 MIN=-6.000E 00
 MAX= 5.000E-01
 DEL= 5.000E-01



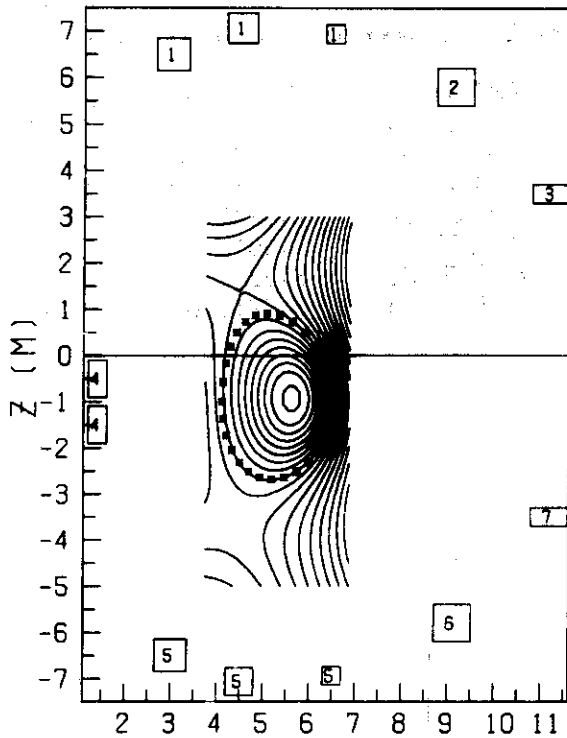
○ BV
 × N-VALUE

図 2.3 シングルヌル・ダイバータ・プラズマの計算結果 $\beta_p = 0.1$

EQUICIRAM CODE...RUN TEST FROM 25/SEPTEMBER/1980 TO.....

INTOR SINGLE NULL, RP=5.3M, AP=1.2M

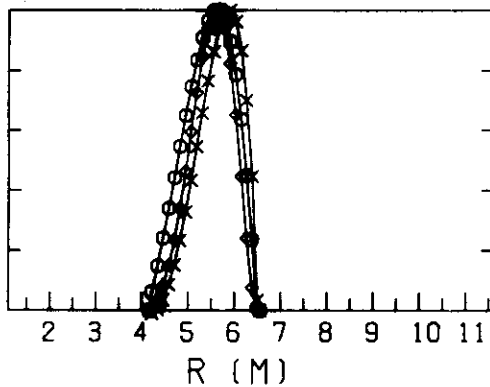
TIME = 5.000E-03 SEC



R (M)
 MIN=-5.194E 00
 MAX= 4.806E 00
 DEL= 5.000E-01

***** PLASMA PARAMETERS *****

IP-CURRENT	(A)	5.320E 06
EP-VOLTAGE	(V)	-6.874E 03
VLOOP-SURFACE	(V)	-1.012E 03
SELF INDUCTANCE	(H)	1.385E-05
RESISTANCE	(OHM)	0.0
R-AVERAGE	(M)	5.361E 00
R-INNER	(M)	4.161E 00
R-OUTER	(M)	6.561E 00
R-MAGNETIC AXIS	(M)	5.605E 00
R-CURRENT MAX.	(M)	5.866E 00
A-HALF WIDTH	(M)	1.200E 00
A-AVERAGE	(M)	1.489E 00
ELLIPTICITY		1.540E 00
CROSS AREA	(M**2)	6.964E 00
VOLUME	(M**3)	2.299E 02
POLOIDAL BETA		3.499E 00
SMALL LI		1.141E 00
Q-VALUE/BT	(/T)	4.307E-01
BV-SHAFRANOV	(T)	-5.671E-01
BV-CALCULATED	(T)	-4.882E-01
LIMITER R	(M)	4.518E 00
Z	(M)	1.389E 00
PSI	(WB)	8.056E-01



- MAG.FLUX MAX= 5.042E 00.SURFACE= 8.056E-01
- × CUR.DENST. MAX= 2.250E 06 A/M**2
- ◇ PRESSUR MAX= 2.139E 06 N/M**2

図 2.4 シングルヌル・ダイバータ・プラズマの計算結果 $\beta_p = 3.5$

EQUICIRAM CODE....RUN TEST FROM 25/SEPTEMBER/1980 TO.....
 INTOR SINGLE NULL,RP=5.3M,AP=1.2M

TIME = 5.000E-03 SEC

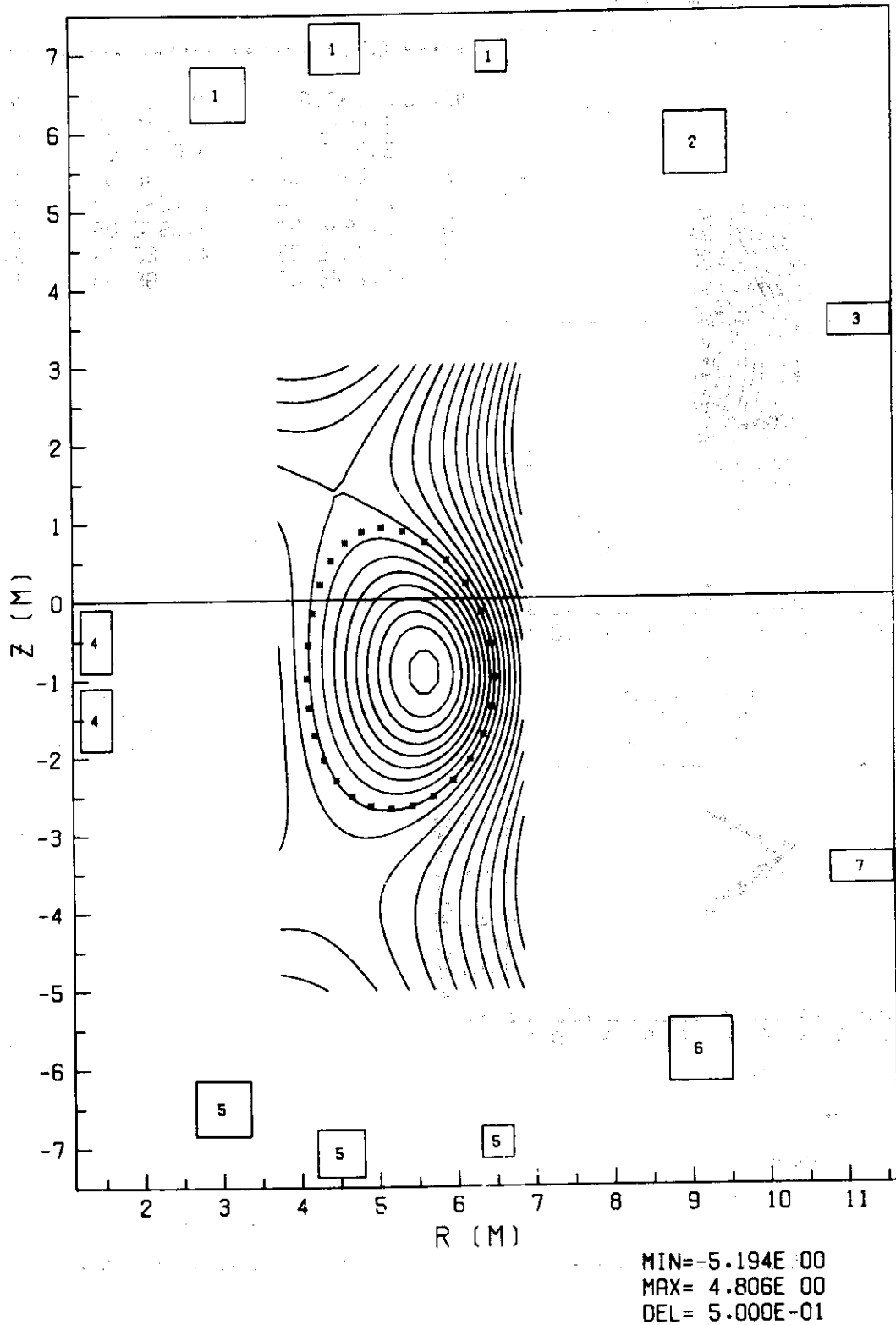
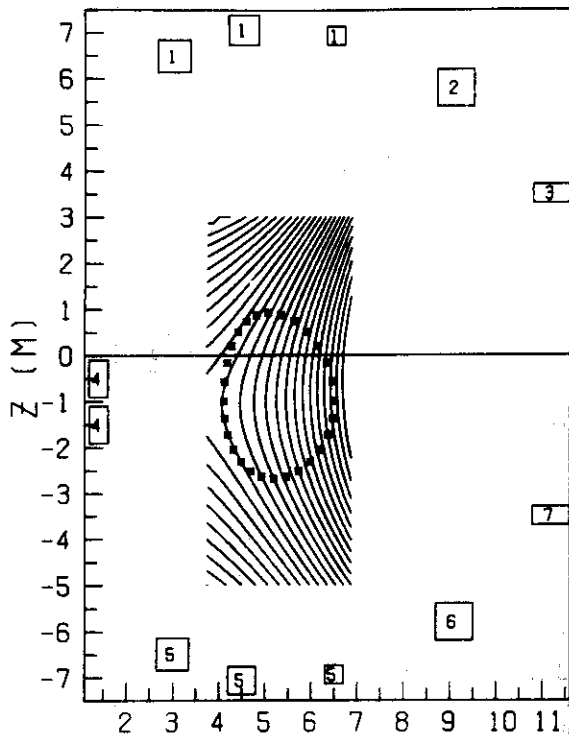


図 2.5 シングルヌル・ダイバータ・プラズマの計算結果 $\beta_p = 3.5$

EQUICRAM CODE....RUN TEST FROM 25/SEPTEMBER/1980 TO.....
 INTOR SINGLE NULL.RP=5.3M.AP=1.2M

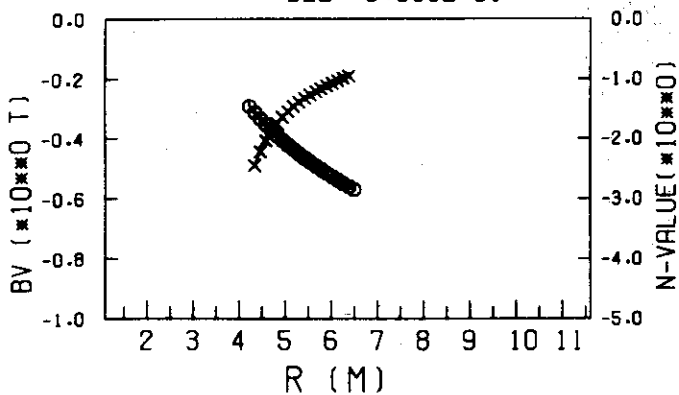
TIME = 5.000E-03 SEC



***** COILS *****

NO.	CURRENT(A)	VOLTAGE(V)	BV(T)
1	2.653E 04	8.821E 07	1.410E-01
2	5.013E 02	3.607E 07	1.173E-02
3	-1.295E 04	-2.254E 08	-4.525E-01
4	-2.015E 04	-2.169E 07	7.244E-02
5	5.263E 03	7.397E 06	3.683E-02
6	1.493E 03	4.918E 07	5.071E-02
7	-7.234E 03	-1.159E 08	-3.209E-01

R (M)
 MIN=-1.250E 01
 MAX= 0.0
 DEL= 5.000E-01



○ BV
 × N-VALUE

図 2.6 シングルヌル・ダイバータ・プラズマの計算結果 $\beta_p = 3.5$

