

JAERI-M

6470

多数の線電流が作る磁場の計算プログラム

(臨界プラズマ試験装置設計報告-XX)

1976年3月

吉田吉一^{*}・齊藤龍太^{**}・関 省吾・狐崎晶雄・小林哲郎^{***}
小林朋文^{****}・鳴田隆一・田村早苗・谷 啓二

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

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

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.

多数の線電流が作る磁場の計算プログラム
(臨界プラズマ試験装置設計報告 -XX)

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

吉田吉一* 斎藤龍太** 関省吾

狐崎晶雄 小林哲郎*** 小林朋文****

嶋田隆一 田村早苗 谷啓二

(1976年2月10日受理)

大型トカマク装置のポロイダル磁場コイルについて、実際のコイル構造により生ずる不整磁場を評価するため、コイルの接続部、給電線の構造などを考慮して磁場を計算するプログラムを作成した。

* 特別研究生 ; 東北大学工学部, ** 外来研究員 ; 三菱電機株式会社,
*** 外来研究員 ; 富士電機製造株式会社, **** 外来研究員 ; 日立製作所

JAERI-M 6470.

A Computer Code for Study of the Error Magnetic Fields based
on a Model of Practical Poloidal Field Coils in a Large Tokamak

Yoshikazu YOSHIDA*, Ryuta SAITO**, Shogo SEKI, Akio KITSUNEZAKI,
Tetsuro KOBAYASHI***, Tomofumi KOBAYASHI****, Ryuiti SHIMADA,
Sanae TAMURA, Keiji TANI

Division of Thermonuclear Fusion Research,
Tokai, JAERI

(Received February 10, 1976)

A computer code has been prepared for study of the error magnetic fields due to poloidal field coils in a large tokamak. It is based on the model of a practical structure of the windings by segmented multicurrent filaments in three-dimensional space.

-
- * Tohoku University,
 - ** Mitsubishi Electric Co., Ltd.,
 - *** Fuji Electric Co., Ltd.,
 - **** Hitachi Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 計算方法	1
3. プログラム構造	2
4. 使用方法	6
5. 計算例	6
付 録	12
プログラムリスト	

1. はじめに

近年、磁場によりプラズマを閉じ込める型の核融合装置の研究が盛んに行われるようになって来た。日本原子力研究所においても現在トカマク型の実験装置を用いて研究が行われておりそれを大巾にスケールアップした大型トカマク (JT-60, JT-4) の設計も同時に進められている。

トカマク型装置の特徴の一つはトーラスの中心軸に關し、対称な磁場配位によりプラズマを閉じ込める点にあるが、技術的理由により磁場を作るコイルやコイルへの給電線が軸対称性を損なってしまう。これらの点を考慮して磁場構造を調べ、不整磁場の大きさ、性質を評価検討することは装置設計上重要な作業の一つである。JT-60では、ポロイダル磁場コイルはすべてトロイダル磁場コイル内部に設置する設計となっており、コイルとプラズマの距離が近くかつコイル巻数を少なくさせざるを得ないため、一コイルあたりの電流も大きくなり、コイルの接続部や給電線などにより生ずる不整磁場について十分な検討が必要である。このような検討を出来るだけ実際に近いコイル配置について行なうため、3次元空間内に任意に配置されたコイルの電流が作る磁場を計算するプログラムを作成した。本報告ではこの計算プログラムの概要およびJT-60の空心変流器コイルの一設計例について計算を行った結果を記述する。

2. 計算方法

任意の形状をしたコイルに流れる電流が任意の点に作る磁場を求めるため、コイルの曲線部分を多数の直線を連結した折線で近似し、多数の直線の連結したものでコイルを置き変える。一つの有限直線片の作る任意の点の磁場をBiot-Savartの法則より求め、各電流片による磁場を合成し、一つのコイルが作る任意の点の磁場を計算する。コイルが複数個ある場合は一コイルについて任意の点の磁場を合成し、その後各コイルについて和を取り磁場を求めた。

計算はまず任意の与えられた形状のコイル群を多数の微少直線群に分割する事から始め、次いで一つの微少直線片の作る磁場を計算し、一つのコイルについてこれら各微少直線片の作る磁場の和を取る過程と各コイルによる磁場を合成する過程より成っている。

有限長直線電流の作る任意の点の磁場はベクトル演算により簡単に求められる。3次元の空間座標 (x, y, z) 上に有限長直線片 I と任意の観測点 P を図 1 のように与え、直線片の始点と終点と点 P を結ぶベクトルをそれぞれ α , β とし、P から直線片 I の延長上へ下した垂線ベクトルを \vec{r} とすると Biot-Savart の法則により、点 P に電流片 I の作る磁場 \vec{B} は

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi |\vec{r}|^2} \vec{r} \times \left(\frac{\vec{\beta}}{|\vec{\beta}|} - \frac{\vec{\alpha}}{|\vec{\alpha}|} \right) \quad (1)$$

ただし I は電流片 I に流れる電流の値

1. はじめに

近年、磁場によりプラズマを閉じ込める型の核融合装置の研究が盛んに行われるようになって来た。日本原子力研究所においても現在トカマク型の実験装置を用いて研究が行われておりそれを大巾にスケールアップした大型トカマク (JT-60, JT-4) の設計も同時に進められている。

トカマク型装置の特徴の一つはトーラスの中心軸に關し、対称な磁場配位によりプラズマを閉じ込める点にあるが、技術的理由により磁場を作るコイルやコイルへの給電線が軸対称性を損なってしまう。これらの点を考慮して磁場構造を調べ、不整磁場の大きさ、性質を評価検討することは装置設計上重要な作業の一つである。JT-60では、ポロイダル磁場コイルはすべてトロイダル磁場コイル内部に設置する設計となっており、コイルとプラズマの距離が近くかつコイル巻数を少なくさせざるを得ないため、一コイルあたりの電流も大きくなり、コイルの接続部や給電線などにより生ずる不整磁場について十分な検討が必要である。このような検討を出来るだけ実際に近いコイル配置について行なうため、3次元空間内に任意に配置されたコイルの電流が作る磁場を計算するプログラムを作成した。本報告ではこの計算プログラムの概要およびJT-60の空心変流器コイルの一設計例について計算を行った結果を記述する。

2. 計算方法

任意の形状をしたコイルに流れる電流が任意の点に作る磁場を求めるため、コイルの曲線部分を多数の直線を連結した折線で近似し、多数の直線の連結したものでコイルを置き変える。一つの有限直線片の作る任意の点の磁場をBiot-Savartの法則より求め、各電流片による磁場を合成し、一つのコイルが作る任意の点の磁場を計算する。コイルが複数個ある場合は一コイルについて任意の点の磁場を合成し、その後各コイルについて和を取り磁場を求めた。

計算はまず任意の与えられた形状のコイル群を多数の微少直線群に分割する事から始め、次いで一つの微少直線片の作る磁場を計算し、一つのコイルについてこれら各微少直線片の作る磁場の和を取る過程と各コイルによる磁場を合成する過程より成っている。

有限長直線電流の作る任意の点の磁場はベクトル演算により簡単に求められる。3次元の空間座標 (x, y, z) 上に有限長直線片 I と任意の観測点 P を図 1 のように与え、直線片の始点と終点と点 P を結ぶベクトルをそれぞれ α , β とし、P から直線片 I の延長上へ下した垂線ベクトルを \vec{r} とすると Biot-Savart の法則により、点 P に電流片 I の作る磁場 \vec{B} は

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi |\vec{r}|^2} \vec{r} \times \left(\frac{\vec{\beta}}{|\beta|} - \frac{\vec{\alpha}}{|\alpha|} \right) \quad (1)$$

ただし I は電流片 I に流れる電流の値

$$\vec{r} = \frac{(\vec{\beta} - \vec{\alpha}) \times (\vec{\alpha} \times \vec{\beta})}{|\vec{\beta} - \vec{\alpha}|^2} \quad (2)$$

であるため

$$\vec{r} = \frac{(\vec{\alpha} \times \vec{\beta})^2}{|\vec{\beta} - \vec{\alpha}|^2} \quad (3)$$

の関係が成立する。

(2), (3)を(1)に代入すると

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{(\vec{\beta} - \vec{\alpha}) \cdot \left(\frac{\vec{\beta}}{|\vec{\beta}|} - \frac{\vec{\alpha}}{|\vec{\alpha}|} \right)}{|\vec{\alpha} \times \vec{\beta}|^2} \right] \cdot (\vec{\alpha} \times \vec{\beta}) \quad (4)$$

が成立する。 $\vec{\alpha}$ と $\vec{\beta}$ より簡単なベクトル演算で磁場を求めうる。

3. プログラム構造

磁場計算用プログラムは主プログラム、2つのサブルーチン (ERRF, DERRF) の3つの部分から構成されている。主プログラムは磁場を計算する領域をNAMELIST/OUTPR/で入力し、結果を定まった型式でラインプリンターへ出力する。ERRFはCOMMON/LOOPで与えられた微小直線電流片群による与えられた点(円柱座標)における磁場の各成分(B_R , B_ϕ , B_Z)を計算する。DERRFは入力又は算術式により与えられたコイル群を多数の微小直線群に直し、その結線点をCOMMON/LOOP/に与える。COMMON/LOOP/を通じコイルのすべてのデータが与えられるのでDERRFをコイル配置に応じて作り直して用いるようにした。

COMMON/LOOP/の内容

NG ; コイルの数 J ; コイルの番号

NL(J) ; J番のコイルの微小直線の数

CL(J) ; J番のコイルに流れる電流値

I ; J番のコイルを微小直線群に分割した時、その結線点を電流の流れる順に付した番号

RA(I, J) ; J番コイルのI番目の結線点の空標の直交空間座標(X, Y, Z)のX成分

PA(I, J) ; 同上座標のY成分

ZA(I, J) ; 同上座標のZ成分

以下に簡単なFLOW CHARTを示した。

座標が円柱、擬トロイダル、直交の3種類を使用しているため、混同しないように注意する必要がある。

$$\vec{r} = \frac{(\vec{\beta} - \vec{\alpha}) \times (\vec{\alpha} \times \vec{\beta})}{|\vec{\beta} - \vec{\alpha}|^2} \quad (2)$$

であるため

$$\vec{r} = \frac{(\vec{\alpha} \times \vec{\beta})^2}{|\vec{\beta} - \vec{\alpha}|^2} \quad (3)$$

の関係が成立する。

(2), (3)を(1)に代入すると

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{(\vec{\beta} - \vec{\alpha}) \cdot \left(\frac{\vec{\beta}}{|\vec{\beta}|} - \frac{\vec{\alpha}}{|\vec{\alpha}|} \right)}{|\vec{\alpha} \times \vec{\beta}|^2} \right] \cdot (\vec{\alpha} \times \vec{\beta}) \quad (4)$$

が成立する。 $\vec{\alpha}$ と $\vec{\beta}$ より簡単なベクトル演算で磁場を求めうる。

3. プログラム構造

磁場計算用プログラムは主プログラム、2つのサブルーチン (ERRF, DERRF) の3つの部分から構成されている。主プログラムは磁場を計算する領域をNAMELIST/OUTPR/で入力し、結果を定まった型式でラインプリンターへ出力する。ERRFはCOMMON/LOOPで与えられた微小直線電流片群による与えられた点(円柱座標)における磁場の各成分(B_R , B_ϕ , B_Z)を計算する。DERRFは入力又は算術式により与えられたコイル群を多数の微小直線群に直し、その結線点をCOMMON/LOOP/に与える。COMMON/LOOP/を通じコイルのすべてのデータが与えられるのでDERRFをコイル配置に応じて作り直して用いるようにした。

COMMON/LOOP/の内容

NG ; コイルの数 J ; コイルの番号

NL(J) ; J番のコイルの微小直線の数

CL(J) ; J番のコイルに流れる電流値

I ; J番のコイルを微小直線群に分割した時、その結線点を電流の流れる順に付した番号

RA(I, J) ; J番コイルのI番目の結線点の空標の直交空間座標(X, Y, Z)のX成分

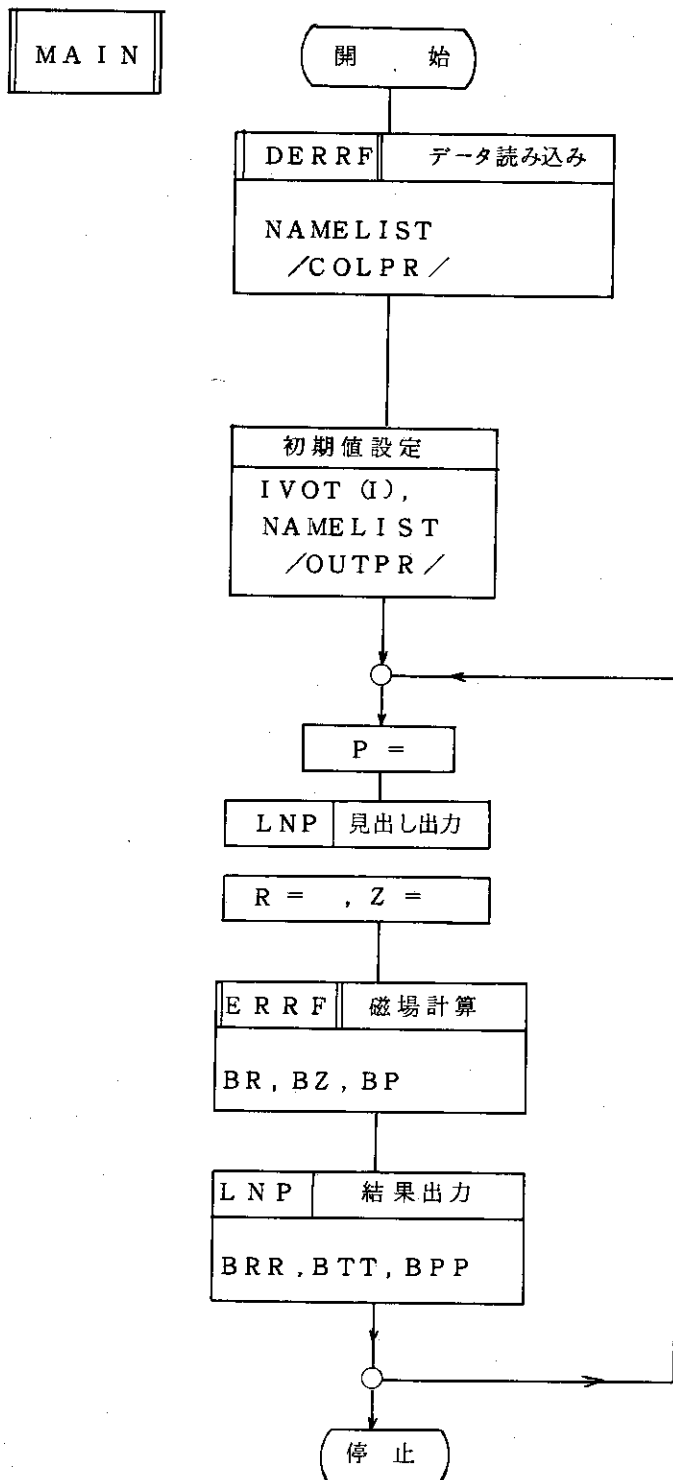
PA(I, J) ; 同上座標のY成分

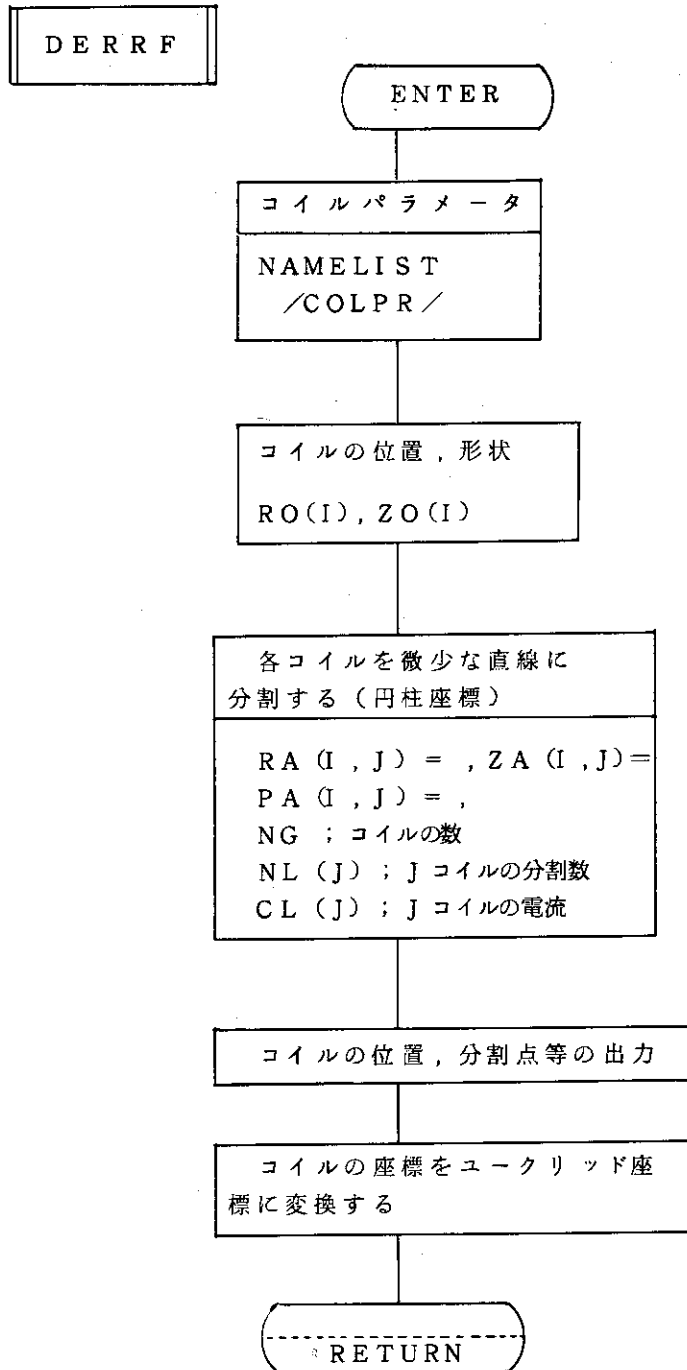
ZA(I, J) ; 同上座標のZ成分

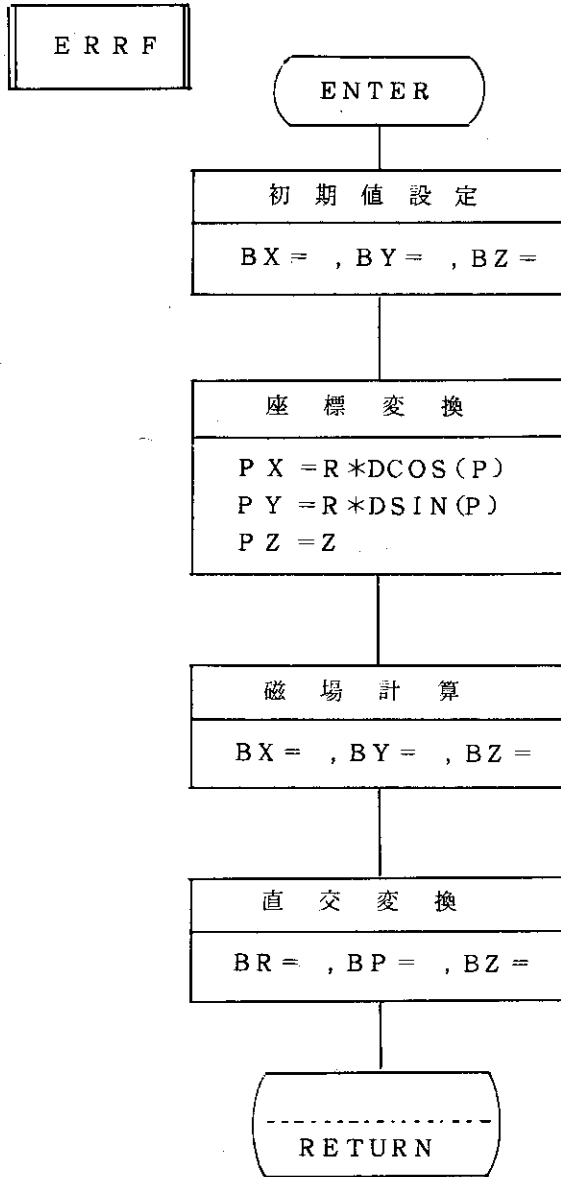
以下に簡単なFLOW CHARTを示した。

座標が円柱, 擬トロイダル, 直交の3種類を使用しているため, 混同しないように注意する必要がある。

FLOW CHART







4. 使用法

(1) MAIN プログラム

INPUT : NAMELIST/OUTPR/RORGN, ZORGN, PORGN ; 磁場を計算する領域の原点の座標を円柱座標で与える。

RSRCH, TSRCH, PSRCH ; 上で与えた原点の第一象限方向の空間の広さの領域を RORGN を擬トロイダル座標の中心半径とする擬トロイダル座標で与え各座標を 10 等分し、その交点 1000 点の磁場を求め、その結果を定められた型式で出力する。

(2) SUBROUTINE ERRF (BR, BZ, BP, R, Z, P)

INPUT : R, Z, P 磁場を求めようとする点の円柱座標による座標の各成分

OUTPUT : BR, BZ, BP 求めようとした点の磁場の円柱座標による各成分

(3) SUBROUTINE DERRF

微少線電流の集合としてコイル群を表示する COMMON/LOOP/ を与える任意のサブルーチン

5. 計算例

JT-60 の空心変流器コイルの配置はコイルを構成する導体リングが完全な円である場合、プラズマの存在すると予想される領域における漏洩磁場が最小になるように設計されてある。空心変流器コイルなどのポロイダル磁場コイルはトロイダル磁場コイルの内部に設置されるため、導体リングを二分割して作り接合して用いる事が現在考えられている。この接続部分は図 2, 図 3 に示したような直線になると予想されている。又この接続部分で各コイルへ給電すると仮定するとかなり複雑なコイル配置となる。このような配置の全体図を図 2, 図 3, 図 4 に示した。このコイル配置で磁場配置を計算するのであるが導体リングの完全な円の部分の作る磁場は本来打消し合って小さくなっているため完全な円形のコイル群の作る合成された磁場は零であると考えられる。図 2 および図 3 に示した接合部のモデルを図 5 (上) に示したように重ね合わせの原理を適用して、完全な円電流と円弧と直線部分からなる小ループの重ね合わせで表わし、給電線部を図 4 および図 5 (下) のような線電流で近似して、これらの電流の作る磁場を計算した。図 6 に出力に用いた擬トロイダル座標の取り方を示し、図 7, 図 8, 図 9 に B_r , B_θ , B_ϕ の各成分のプラズマ表面付近での ($r = 1.05\text{m}$ の面) θ , ϕ による変化を示した。計算に用いたシステムは FACOM 230/75 で、実行時のメモリーは 120k W, 計算時間 800 SEC で図のデータが得られた。

付録として、計算に用いたプログラムのリストと出力例を示した。

4. 使用法

(1) MAIN プログラム

INPUT ; NAMELIST/OUTPR/RORGN, ZORGN, PORGN ; 磁場を計算する領域の原点の座標を円柱座標で与える。

RSRCH, TSRCH, PSRCH ; 上で与えた原点の第一象限方向の空間の広さの領域を RORGN を擬トロイダル座標の中心半径とする擬トロイダル座標で与え各座標を 10 等分し、その交点 1000 点の磁場を求め、その結果を定められた型式で出力する。

(2) SUBROUTINE ERRF (BR, BZ, BP, R, Z, P)

INPUT ; R, Z, P 磁場を求めようとする点の円柱座標による座標の各成分

OUTPUT ; BR, BZ, BP 求めようとした点の磁場の円柱座標による各成分

(3) SUBROUTINE DERRF

微少線電流の集合としてコイル群を表示する COMMON/LOOP/ を与える任意のサブルーチン

5. 計算例

JT-60 の空心変流器コイルの配置はコイルを構成する導体リングが完全な円である場合、プラズマの存在すると予想される領域における漏洩磁場が最小になるように設計されてある。空心変流器コイルなどのポロイダル磁場コイルはトロイダル磁場コイルの内部に設置されるため、導体リングを二分割して作り接合して用いる事が現在考えられている。この接続部分は図 2, 図 3 に示したような直線になると予想されている。又この接続部分で各コイルへ給電すると仮定するとかなり複雑なコイル配置となる。このような配置の全体図を図 2, 図 3, 図 4 に示した。このコイル配置で磁場配置を計算するのであるが導体リングの完全な円の部分の作る磁場は本来打消し合って小さくなっているため完全な円形のコイル群の作る合成された磁場は零であると考えられる。図 2 および図 3 に示した接合部のモデルを図 5 (上) に示したように重ね合わせの原理を適用して、完全な円電流と円弧と直線部分からなる小ループの重ね合わせで表わし、給電線部を図 4 および図 5 (下) のような線電流で近似して、これらの電流の作る磁場を計算した。図 6 に出力に用いた擬トロイダル座標の取り方を示し、図 7, 図 8, 図 9 に B_r , B_θ , B_ϕ の各成分のプラズマ表面付近での ($r = 1.05\text{m}$ の面) θ , ϕ による変化を示した。計算に用いたシステムは FACOM 230/75 で、実行時のメモリーは 120k W, 計算時間 800 SEC で図のデータが得られた。

付録として、計算に用いたプログラムのリストと出力例を示した。

6. お わ り に

この研究に際し、種々の便宜を払って載いた事に関し、古川允二氏をはじめ、JT-60グループの諸氏に謝意を表わす。

又、著者の1人（吉田）が日本原子力研究所の特別研究生として本研究に参加した事に関し、岩手大学教授杉田慶一郎氏、東北大学教授麻生忠雄氏、長尾重夫氏、原子力研究所核融合研究部部長森茂氏に謝意を表わす。

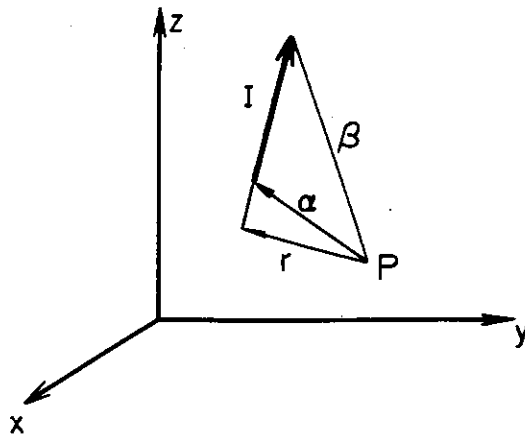


図1 ベクトル α, β, r の説明図

- P: 磁界の観測位置
- α : P点から電流線分の始点へのベクトル
- β : P点から電流線分の終点へのベクトル
- r: P点から電流線分と下した垂線ベクトル

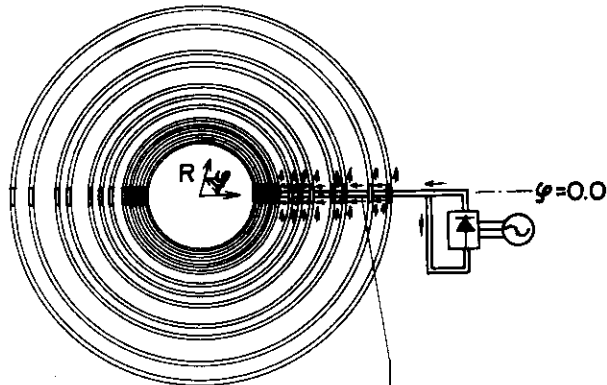


図2 ポロイダル系コイル平面図 1/100

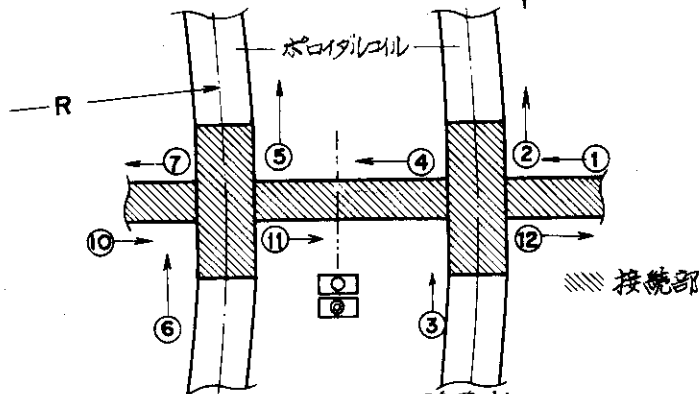


図3 ポロイダル系コイル部分図 1/10
①; 番導膜に電流が流れる

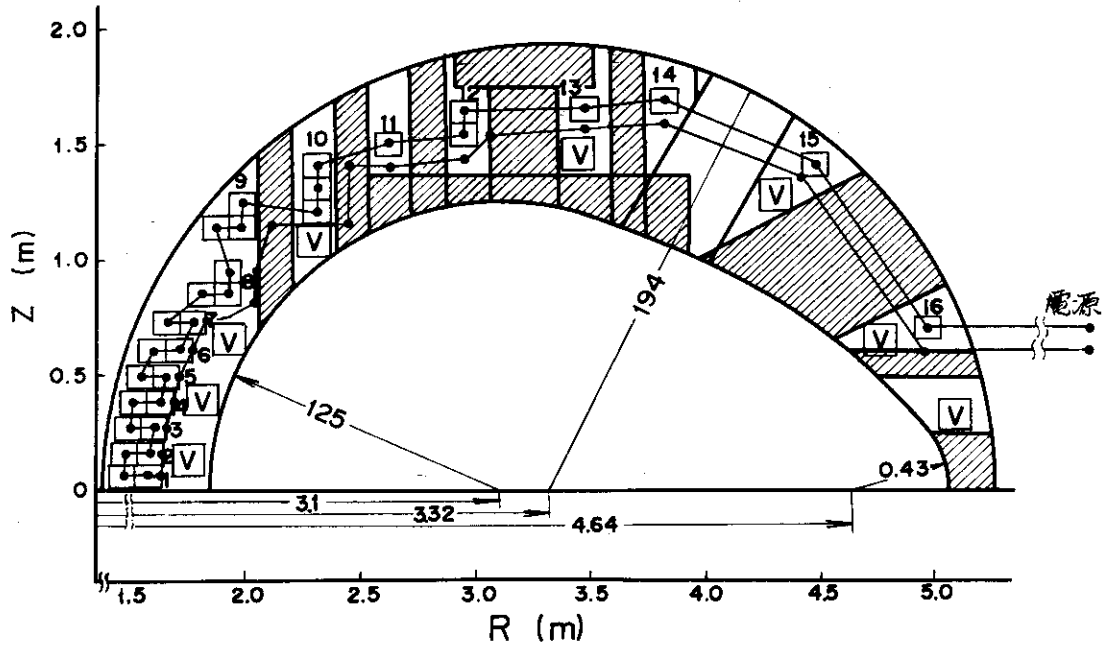


図4 ホロイダルコイル及び給電線配置図 ($\varphi = 0.0$ の面内)

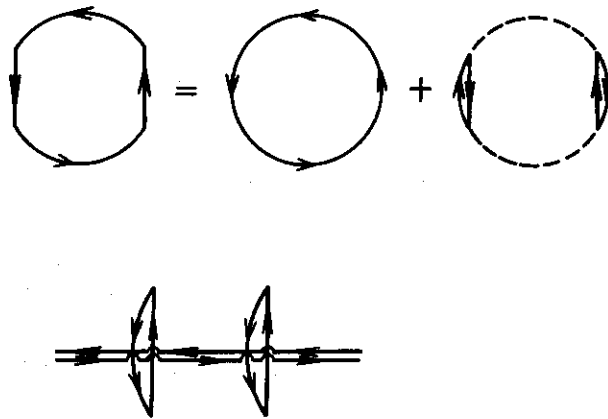


図5 コイル配置の模式図

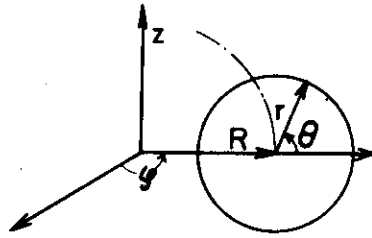
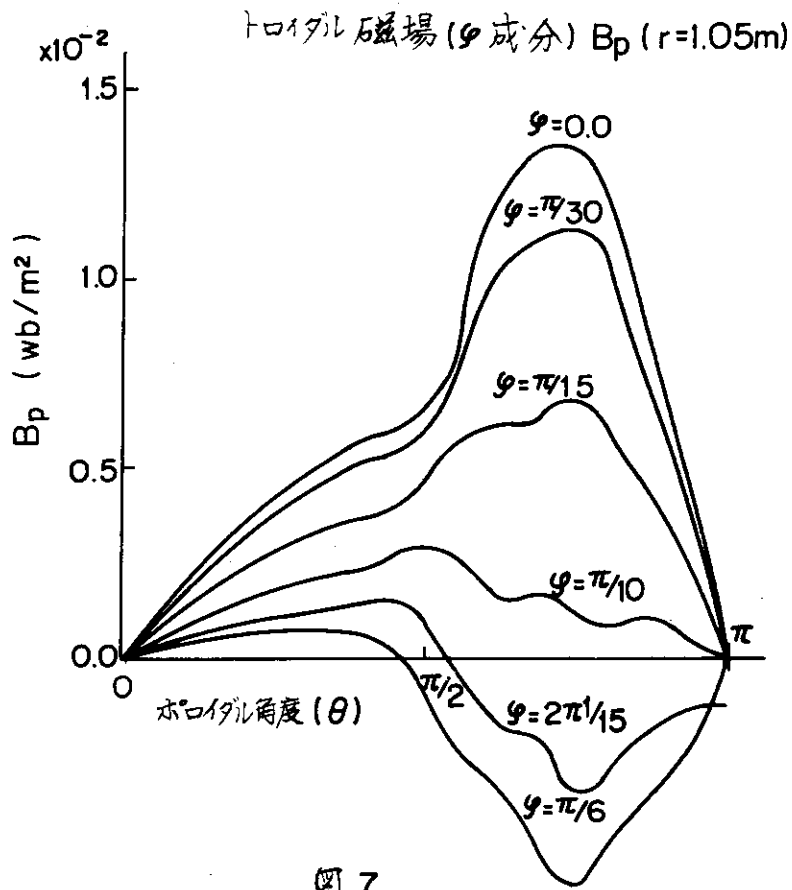


図6 擬トロイダル座標 (r, θ, φ) の関係
 R : 擬トロイダル座標の中心半径



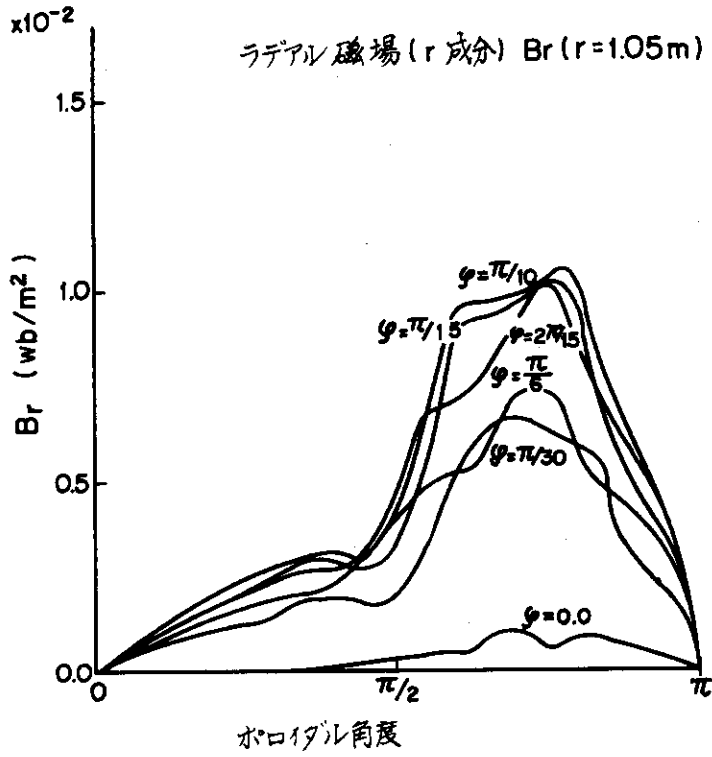


図 8

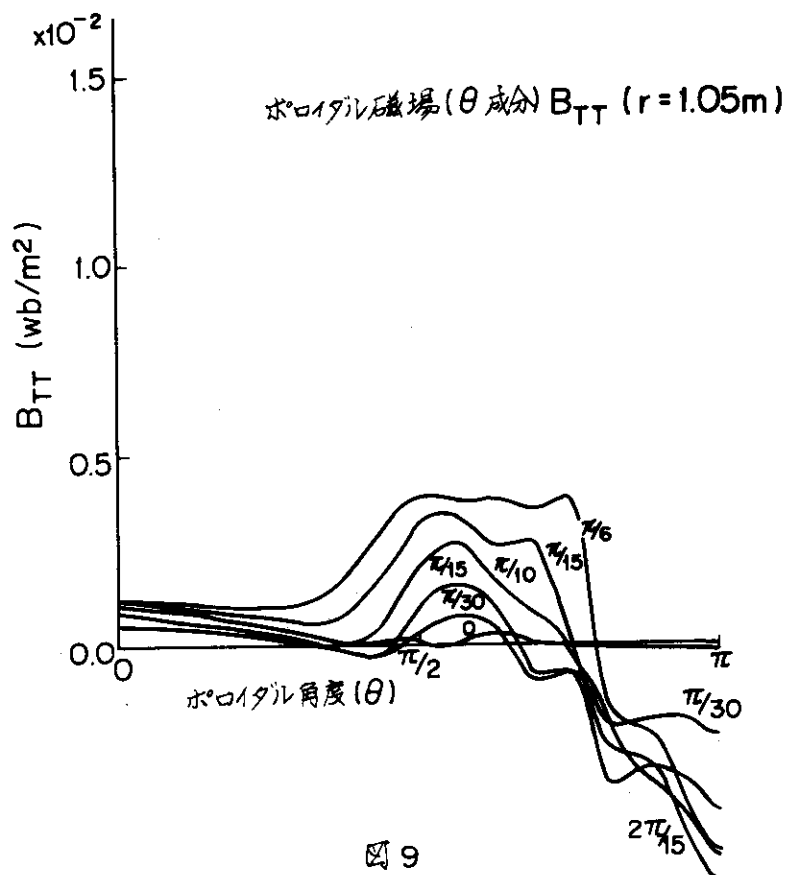


図 9

付 録

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -751110-(V02,L04)

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
	C	ERROR FIELD DISTRIBUTION PRODUCED BY DIVERTOR SECTOR COIL	
1		DIMENSION BRR(30),BTT(30),BPP(30)	
2		DIMENSION IVOT(7)	
3		COMMON /LOOP/ NG,NL(250),CL(250),RA(110,250),PA(110,250),	
	1	ZA(110,250)	
4		NAMELIST /OUTPR/ RDRGN,ZORGN,PORGN,RTSRCH,TSRCH,PSRCH	
5		CALL DERRF	
6		DO 11 J=1,7	
7		IVOT(J)=4H	
8	11	CONTINUE	
9		IVOT(1)=4H(1H+	
10		IVOT(2)=4H,14X	
11		IVOT(3)=4H,	
12		IVOT(5)=4H X,F	
13		IVOT(6)=4H11,3	
14		IVOT(7)=4H)	
15		READ(5,OUTPR)	
16		WRITE(6,OUTPR)	
17		DELR=RTSRCH/10,000	
18		DELT=TSRCH/16,000	
19		DELF=PSRCH/10,000	
20		DO 10 K=1,11	
21		P=PORGN+DELF*DFLOAT(K-1)	
22		WRITE(6,300)	
23	300	FORMAT(1H1,'*** ERROR FIELD ***')	
24		WRITE(6,400) P	
25	400	FORMAT(1H0,10X,' P(RAD)= 'F6.2//1H0,65X,'R= '/1H)	
26		L=1	
27		DO 20 J=1,17	
28		THETA=DELT*DFLOAT(J-1)	
29		DO 30 I=1,11	
30		RADIOS=DELR*DFLOAT(I-1)	
31		R=RDRGN+RADIOS*DCOS(THETA)	
32		Z=ZORGN+RADIOS*DSIN(THETA)	
33		CALL DERRF(BR,BZ,BP,R,Z,P)	
34		BRR(I)=BR*DCOS(THETA)+BZ*DSIN(THETA)	
35		BTT(I)=BZ*DCOS(THETA)-BR*DSIN(THETA)	
36		BPP(I)=BP	
37		IF(J.NE.1) GO TO 10000	
38		IVOT(4)=IBTOD(L)	
39		WRITE(6,IVOT) RADIOS	
40		L=L+11	
41	10000	CONTINUE	
42	30	CONTINUE	
43		WRITE(6,600) (BRR(I),I=1,11)	
44	600	FORMAT(1H0,'THETA= BR ',11(1PE11,3))	
45		WRITE(6,700) THETA,(BTT(I),I=1,11)	
46	700	FORMAT(1H ,F6.2,'* BTT ',11(1PE11,3))	
47		WRITE(6,800) (BPP(I),I=1,11)	
48	800	FORMAT(1H ,' * BP ',11(1PE11,3))	
49	20	CONTINUE	
50	10	CONTINUE	
51		STOP	
52		END	

=E=

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -751110-(V02,L04)

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE ERRF(BR,BZ,BP,R,Z,P)	
	C	NG---NUMBER OF GROUPS NL---NUMBER OF LINE CURRENT ELEMENTS	
	C	CL---CURRENT OF THE GROUP (KA) RA,ZA,PA---POSITION OF LINE	
	C	CURRENT ELEMENT (M),(M),(DEGREE)	
2		COMMON /LOOP/ NG,NL(250),CL(250),RA(110,250),PA(110,250),	
	1	ZA(110,250)	
3		DIMENSION QX(110),QY(110),QZ(110),QS(110)	
4		IF(NG.NE.0) GO TO 10	
5		SR=0.000	
6		BZ=0.000	
7		BP=0.000	
8		RETURN	
9	10	CONTINUE	
10		BX=0.000	
11		BY=0.000	
12		BZ=0.000	
13		DSINP=DSIN(P)	
14		DCOSP=DCOS(P)	
15		PX=R*DCOSP	
16		PY=DSINP	
17		PZ=Z	
18		DO 50 J=1,NG	
19		FX=0.000	
20		FY=0.000	
21		FZ=0.000	
22		AKK=1.0D-7*CL(J)	
23		NL1=NL(J)+1	
24		DO 60 I=1,NL1	
25		QX(I)=RA(I,J)-PX	
26		QY(I)=PA(I,J)-PY	
27		QZ(I)=ZA(I,J)-PZ	
28		QS(I)=SQRT(QX(I)**2+QY(I)**2+QZ(I)**2)	
29	60	CONTINUE	
30		DO 70 I=1,NL(J)	
31		TX=QX(I+1)/QS(I+1)-QX(I)/QS(I)	
32		TY=QY(I+1)/QS(I+1)-QY(I)/QS(I)	
33		TZ=QZ(I+1)/QS(I+1)-QZ(I)/QS(I)	
34		VX=QY(I)*QZ(I+1)-QZ(I)*QY(I+1)	
35		VY=QZ(I)*QX(I+1)-QX(I)*QZ(I+1)	
36		VZ=QX(I)*QY(I+1)-QY(I)*QX(I+1)	
37		VSS=VX**2+VY**2+VZ**2	
38		DXA=KA(I+1,J)-RA(I,J)	
39		DYA=PA(I+1,J)-PA(I,J)	
40		DZA=ZA(I+1,J)-ZA(I,J)	
41		IF(VSS.EQ.0.000) GO TO 22	
42		EE=(DXA*TX+DYA*TY+DZA*TZ)/VSS	
43		GO TO 20	
44	22	EE=0.000	
45	20	CONTINUE	
46		FX=EE*VX+FX	
47		FY=EE*VY+FY	
48		FZ=EE*VZ+FZ	
49	70	CONTINUE	
50		BX=AKK*FX+BX	
51		BY=AKK*FY+BY	
52		BZ=AKK*FZ+BZ	
53	50	CONTINUE	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -751110-(V02,L04)

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	(ERRF)	SEQUENCE
54		BR=BX*DCOSP+BY*DSINP		
55		BP=BY*DCOSP-BX*DSINP		
	C	BZ=BZ		
56		RETURN		
57		END		

=E=

*** ERROR FIELD ***

(RAD) = 0.0

		R =											
		0.0	0.150	0.300	0.450	0.600	0.750	0.900	1.050	1.200	1.350	1.500	
THETA**	BR	-2.908E-12	-8.747E-12	-1.949E-11	-3.698E-11	-6.015E-11	-8.877E-11	-1.230E-10	-1.614E-10	-2.038E-10	-2.501E-10	-3.001E-10	-3.536E-10
	BTT	-9.715E-05	-7.815E-05	-6.444E-05	-5.282E-05	-4.322E-05	-3.522E-05	-2.852E-05	-2.292E-05	-1.812E-05	-1.392E-05	-1.022E-05	-6.822E-06
	BP	-4.608E-12	4.924E-12	4.752E-10	1.008E-11	-1.232E-11	3.058E-11	9.499E-12	-2.799E-11	1.500E-11	-6.094E-12	1.693E-11	-5.193E-12
THETA**	BR	-1.856E-05	-1.827E-05	-1.201E-05	-6.852E-06	-3.694E-06	-1.960E-06	-1.135E-06	-6.195E-07	-3.284E-07	-1.788E-07	-9.514E-08	-5.128E-08
	BTT	-9.335E-05	-8.535E-05	-7.719E-05	-6.935E-05	-6.121E-05	-5.399E-05	-4.741E-05	-4.135E-05	-3.584E-05	-3.094E-05	-2.654E-05	-2.264E-05
	BP	-4.608E-12	8.654E-12	1.731E-04	2.749E-04	4.010E-04	5.740E-04	8.365E-04	1.234E-03	1.875E-03	2.768E-03	4.038E-03	5.828E-03
THETA**	BR	-3.641E-05	-3.021E-05	-2.388E-05	-1.773E-05	-1.167E-05	-5.340E-06	-1.906E-06	-6.899E-07	-2.500E-07	-9.174E-08	-3.474E-08	-1.322E-08
	BTT	-8.791E-05	-8.448E-05	-7.408E-05	-6.398E-05	-5.944E-05	-5.277E-05	-4.639E-05	-4.234E-05	-3.854E-05	-3.504E-05	-3.184E-05	-2.894E-05
	BP	-6.608E-12	1.704E-04	3.403E-04	5.346E-04	7.813E-04	1.118E-03	1.606E-03	2.354E-03	3.574E-03	5.384E-03	7.864E-03	1.075E-02
THETA**	BR	-5.246E-05	-4.446E-05	-3.595E-05	-2.675E-05	-1.771E-05	-9.312E-06	-4.444E-06	-1.799E-06	-6.932E-07	-2.500E-07	-9.174E-08	-3.474E-08
	BTT	-7.715E-05	-7.036E-05	-6.282E-05	-5.592E-05	-4.932E-05	-4.302E-05	-3.722E-05	-3.192E-05	-2.702E-05	-2.252E-05	-1.832E-05	-1.432E-05
	BP	-4.608E-12	2.466E-04	4.993E-04	7.739E-04	1.125E-03	1.596E-03	2.209E-03	3.028E-03	4.133E-03	5.593E-03	7.443E-03	9.713E-03
THETA**	BR	-6.728E-05	-5.766E-05	-4.650E-05	-3.472E-05	-2.277E-05	-1.075E-05	-4.148E-06	-1.484E-06	-5.244E-07	-1.884E-07	-6.904E-08	-2.544E-08
	BTT	-6.728E-05	-6.513E-05	-6.298E-05	-6.083E-05	-5.868E-05	-5.653E-05	-5.438E-05	-5.223E-05	-5.008E-05	-4.793E-05	-4.578E-05	-4.363E-05
	BP	-4.608E-12	3.147E-04	6.395E-04	9.936E-04	1.426E-03	2.007E-03	2.838E-03	4.009E-03	5.615E-03	7.695E-03	1.039E-02	1.394E-02
THETA**	BR	-7.911E-05	-6.941E-05	-5.676E-05	-4.213E-05	-2.590E-05	-1.342E-05	-6.194E-06	-2.500E-06	-9.174E-07	-3.474E-07	-1.322E-07	-4.974E-08
	BTT	-5.246E-05	-5.478E-05	-5.403E-05	-5.044E-05	-4.374E-05	-3.338E-05	-1.822E-05	-4.943E-06	-1.077E-05	4.300E-05	1.077E-04	2.238E-04
	BP	-6.608E-12	3.732E-04	7.577E-04	1.176E-03	1.682E-03	2.359E-03	3.366E-03	4.908E-03	7.088E-03	1.027E-02	1.474E-02	2.074E-02
THETA**	BR	-8.791E-05	-7.815E-05	-6.398E-05	-4.652E-05	-2.675E-05	-1.135E-05	-4.444E-06	-1.799E-06	-6.932E-07	-2.500E-07	-9.174E-08	-3.474E-08
	BTT	-9.715E-05	-9.036E-05	-8.282E-05	-7.592E-05	-6.932E-05	-6.302E-05	-5.722E-05	-5.192E-05	-4.702E-05	-4.252E-05	-3.832E-05	-3.432E-05
	BP	-4.608E-12	4.251E-04	8.502E-04	1.333E-03	1.992E-03	2.895E-03	4.140E-03	5.805E-03	7.945E-03	1.075E-02	1.474E-02	2.074E-02
THETA**	BR	-9.335E-05	-8.535E-05	-7.375E-05	-5.394E-05	-2.561E-05	-1.498E-05	-7.316E-06	-2.525E-06	-9.325E-07	-3.284E-07	-1.135E-07	-4.195E-08
	BTT	-1.856E-05	-2.548E-05	-2.995E-05	-3.094E-05	-3.094E-05	-2.561E-05	-1.498E-05	-7.316E-06	-2.525E-06	-9.325E-07	-3.284E-07	-1.135E-07
	BP	-4.608E-12	5.376E-04	9.328E-04	1.462E-03	2.094E-03	2.908E-03	4.058E-03	5.602E-03	7.652E-03	1.027E-02	1.474E-02	2.074E-02
THETA**	BR	-9.314E-05	-8.142E-05	-6.776E-05	-5.853E-05	-4.232E-05	-2.222E-05	-1.344E-05	-6.194E-06	-2.500E-06	-9.174E-07	-3.474E-07	-1.322E-07
	BTT	-1.394E-05	-1.394E-05	-1.496E-05	-1.696E-05	-1.991E-05	-2.331E-05	-2.727E-05	-3.177E-05	-3.687E-05	-4.257E-05	-4.887E-05	-5.577E-05
	BP	-6.608E-12	5.739E-04	9.309E-04	1.562E-03	2.277E-03	3.232E-03	4.566E-03	6.289E-03	8.466E-03	1.119E-02	1.562E-02	2.174E-02
THETA**	BR	-9.332E-05	-8.392E-05	-6.932E-05	-4.652E-05	-2.314E-05	-1.009E-05	-4.365E-06	-1.609E-06	-5.852E-07	-2.132E-07	-8.042E-08	-2.972E-08
	BTT	-1.598E-05	-1.598E-05	-1.696E-05	-1.896E-05	-2.191E-05	-2.531E-05	-2.927E-05	-3.377E-05	-3.827E-05	-4.277E-05	-4.727E-05	-5.177E-05
	BP	-4.608E-12	4.728E-04	9.394E-04	1.668E-03	2.449E-03	3.403E-03	4.565E-03	5.955E-03	7.629E-03	9.539E-03	1.174E-02	1.539E-02
THETA**	BR	-8.791E-05	-9.041E-05	-8.406E-05	-6.401E-05	-2.199E-05	-6.022E-06	-2.057E-06	-4.070E-06	-6.191E-06	-8.521E-06	-1.102E-05	-1.367E-05
	BTT	3.641E-05	2.941E-05	2.175E-05	1.441E-05	1.040E-05	1.934E-05	6.747E-05	2.363E-04	8.172E-04	2.943E-03	1.030E-02	3.641E-02
	BP	-4.608E-12	4.529E-04	9.768E-04	1.637E-03	2.539E-03	3.972E-03	6.524E-03	1.122E-02	2.547E-02	5.124E-02	1.024E-01	1.885E-01
THETA**	BR	-7.911E-05	-6.941E-05	-5.676E-05	-4.213E-05	-2.590E-05	-1.342E-05	-6.194E-06	-2.500E-06	-9.174E-07	-3.474E-07	-1.322E-07	-4.974E-08
	BTT	5.246E-05	4.846E-05	4.191E-05	3.401E-05	2.634E-05	2.183E-05	1.822E-05	1.504E-05	1.222E-05	9.962E-06	8.162E-06	6.742E-06
	BP	-4.608E-12	4.145E-04	9.136E-04	1.575E-03	2.540E-03	4.105E-03	6.986E-03	1.136E-02	1.869E-02	2.849E-02	4.057E-02	5.617E-02
THETA**	BR	-6.728E-05	-5.766E-05	-4.650E-05	-3.472E-05	-2.277E-05	-1.075E-05	-4.148E-06	-1.484E-06	-5.244E-07	-1.884E-07	-6.904E-08	-2.544E-08
	BTT	6.728E-05	6.282E-05	5.592E-05	4.932E-05	4.302E-05	3.722E-05	3.192E-05	2.702E-05	2.252E-05	1.832E-05	1.432E-05	1.032E-05
	BP	-4.608E-12	3.580E-04	8.059E-04	1.444E-03	2.139E-03	3.093E-03	4.393E-03	6.093E-03	8.243E-03	1.093E-02	1.443E-02	1.893E-02
THETA**	BR	-5.246E-05	-4.073E-05	-2.590E-05	-1.135E-05	-4.444E-06	-1.799E-06	-6.932E-07	-2.500E-07	-9.174E-08	-3.474E-08	-1.322E-08	-4.974E-08
	BTT	7.911E-05	8.123E-05	8.059E-05	7.613E-05	6.560E-05	5.278E-05	4.044E-05	3.022E-05	2.222E-05	1.622E-05	1.122E-05	7.722E-06
	BP	-4.608E-12	2.450E-04	5.529E-04	1.177E-03	1.988E-03	3.337E-03	5.196E-03	7.629E-03	1.075E-02	1.500E-02	2.074E-02	2.849E-02
THETA**	BR	-3.641E-05	-4.157E-05	-4.361E-05	-3.803E-05	-1.499E-05	-4.974E-06	-2.169E-06	-8.300E-07	-3.044E-07	-1.135E-07	-4.195E-08	-1.544E-08
	BTT	8.791E-05	9.302E-05	9.572E-05	9.420E-05	8.539E-05	7.278E-05	5.639E-05	4.173E-05	3.044E-05	2.222E-05	1.622E-05	1.122E-05
	BP	-4.608E-12	1.983E-04	4.603E-04	8.443E-04	1.449E-03	2.446E-03	4.282E-03	8.000E-03	1.501E-02	2.701E-02	4.626E-02	7.818E-02
THETA**	BR	-1.856E-05	-2.144E-05	-2.202E-05	-2.026E-05	-1.830E-05	-1.630E-05	-1.430E-05	-1.230E-05	-1.030E-05	-8.300E-06	-6.300E-06	-4.300E-06
	BTT	9.238E-05	1.075E-04	1.230E-04	1.385E-04	1.540E-04	1.695E-04	1.850E-04	2.005E-04	2.160E-04	2.315E-04	2.470E-04	2.625E-04
	BP	-4.608E-12	1.017E-04	2.100E-04	4.389E-04	7.960E-04	1.292E-03	2.029E-03	3.006E-03	4.282E-03	5.899E-03	7.926E-03	1.050E-02
THETA**	BR	-1.549E-12	1.199E-11	1.013E-10	4.978E-10	5.201E-10	1.063E-09	6.370E-10	4.947E-10	3.520E-10	2.094E-10	1.667E-10	1.240E-10
	BTT	9.515E-05	1.011E-04	1.091E-04	1.108E-04	1.108E-04	1.108E-04	1.108E-04	1.108E-04	1.108E-04	1.108E-04	1.108E-04	1.108E-04
	BP	-4.608E-12	-1.435E-09	-3.749E-09	4.595E-09	4.944E-09	5.289E-09	5.634E-09	5.979E-09	6.324E-09	6.669E-09	7.014E-09	7.359E-09