

JAERI - M
82-066

NBIビームラインのビーム強度分布
計算コード「BEMPROF」

1982年7月

小原 祥裕・栗山 正明

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。
入手の間合わせは、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、お申しこしてください。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 Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

NBI ビームラインのビーム強度分布計算コード
「BEMPROF」

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

小原祥裕・栗山正明⁺

(1982年5月26日受理)

本コードは、中性粒子入射装置 (NBI) のビームラインに配置されているビームターゲット、ビームリミター、カロリメータ等の各種受熱機器の受ける熱負荷、熱負荷分布を計算するためのものである。同時に、ビームラインの幾何学的形状によって決まるトーラスへのビーム入射効率や、トーラスのNBI入射ポート対向面の熱負荷分布も計算することができる。本コードの特色は、ビームレットの強度分布関数、ビームレットの偏向、上流側ビームリミターによる遮蔽効果及びビーム引出し領域での密度分布、ビーム発散角の分布を考慮に入れることが可能であるということである。

⁺ 大型トカマク開発部

A Computer Code for Computing the Beam Profiles
in the NBI Beam Line "BEMPROF"

Yoshihiro OHARA and Masaaki KURIYAMA⁺

Division of Thermonuclear Fusion Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received May 26, 1982)

A computer code was developed which can compute the beam profiles and the percentage heat loadings on the various components in the NBI beam line such as the beam target, the beam limiters and the calorimeter. The geometrical injection efficiency of NBI and the heat input pattern on the counter surface of the injection port of the torus can also be computed. The major feature of this code is that the effects of the beamlet intensity distribution, the beamlet deflection, the beam screening by the upstream limiters and also the plasma density distribution and the divergence angle distribution over the beam extraction area can be taken into account.

Keywords: Computer Code, Beam Profile, NBI Beam Line, Injection Efficiency

⁺ Division of Large Tokamak Development, Tokai Research Establishment, JAERI

目 次

1. はじめに	1
2. 計算方法	2
3. プログラムの説明	
3.1 入力データ	6
3.2 プログラムの構造	17
3.3 COMMON	18
3.4 サブルーチンの機能	23
3.5 JCL	55
4. 使用法	
4.1 メッシュの分割法	56
4.2 計算例	57
謝 辞	68
参考文献	68

Contents

1. Introduction	1
2. Computational Method	2
3. Details of the Code	
3.1 Input Data	6
3.2 Structure of the Code	17
3.3 Common	18
3.4 Subroutines	23
3.5 Job Control Cards	55
4. Usage	
4.1 How to Divide the Meshes	56
4.2 Examples	57
Acknowledgements	68
References	68

1. はじめに

中性粒子入射装置 (NBI) のビームラインに配置されているビームターゲット、ビームリミター、カロリメータ等の各種受熱機器は、数 kW/cm² 以上の繰返し熱負荷を受けるため、ビームパルス幅が長くなるに従って、その熱応力設計は難しくなり、注意深く行う必要がある。又、クライオパネル、接続ベローズ等、わずかのビームが漏れて当たっても大きな故障につながるような機器もある。ビームラインの各機器の最適な寸法および配置を決め、かつ熱応力設計を行うためには、実際の熱負荷分布を精度よく模擬した分布を求めることが必要である。又、NBI を設計する上で、トーラスへの中性粒子ビームの入射効率は重要な要素である。入射効率がビーム発散角、焦点距離、ビームレット分布関数、ビームリミターの形状等にどのように依存するかを求め、それぞれどのように設計すべきか、又その許容範囲はどの程度あるのかを求めることも重要である。一方、トーラスの NBI ポート対向面は、突抜けた中性粒子ビームによる高熱流束にさらされるが、そのトーラス内面の熱負荷分布も、NBI 対向面の熱応力設計に必要である。

このように、NBI ビームラインを設計していく上で、熱負荷分布計算は重要な計算の一つである。今まで、各研究所で各種の熱負荷計算コードが開発され、NBI の設計に使われてきた。熱負荷分布計算は、イオン源の多孔型引出し電極の各ビームレットのビーム強度空間分布関数の重ね合せによって求めることができるが、重ね合せを積分計算に変換して数値的に求める方法が今まで最もよく用いられてきた。^{1,2,3,4,5)} この方法は、短い計算時間で熱負荷分布が求まるという利点があるが、各ビームレットのビーム強度、焦点距離、ビーム発散角が異なる場合には計算は困難である。さらに、熱負荷分布を求める位置とイオン源の間に、ビームリミター等があり、ビームの一部が遮蔽される場合は、計算ができないという決定的な欠点がある。一方、モンテカルロ法によって解く方法があるが⁶⁾、この方法では、上記のビームの遮蔽効果を容易に考慮することができる。しかし、ビーム入射量が少ない部分の熱負荷分布の計算精度が非常に悪く、精度を向上させようとするれば、計算時間が大幅に増大する。又、一種のモンテカルロ法と考えられるが、ビームレットの速度分布関数 (ドリフトマックスウェル分布が実際のビームのよい近似となる) を有限個の速度空間に分割し、各空間での平均速度 $\langle v_{\parallel} \rangle$ 、 $\langle v_{\perp} \rangle$ を求めて、各空間から1本のビームを発射させる方法もある。⁷⁾

以上の方法は、ビーム中心部の熱負荷分布を求めるには不都合はないが、JT-60 NBI のようにビームパルス幅が長い場合、熱負荷の小さい部分、ビーム強度分布の裾の部分も問題となるような場合には適当な方法とはいえない。そのため、計算時間は長くなるが上記の欠点を解決する計算法として、ビームレットのビーム強度分布関数の重ね合せ計算を積分計算に変換せず直接数値的に行う方法を採用することにし、コードの開発を行ってきた。この方法では、ビームレットのビーム強度分布関数がガウス分布からずれた場合も計算は可能であり、かつ、各ビームレットのビーム強度、焦点距離、ビーム発散角が異なる場合も計算は可能である。今まで、JFT-2 NBI、JT-60 NBI の予備設計等に利用してきたが⁸⁾、さらに汎用性のあるコードに改良したので、ここに計算法、コード使用法等についてまとめ報告する。

2. 計 算 方 法

NBI 用の高出力イオン源では、多孔型引出し電極を用いてビームを発生させる。JT-60 NBI 用のイオン源では、直径約 4mm の電極孔が約 1000 ケ 明けられた引出し電極が用いられる。それぞれの電極孔からは、あるビーム強度分布関数をもったイオンビーム（ビームレットと呼ぶ）が、焦点に向かって放出される。イオン源からある距離 ($Z=Z$) の点におけるビーム強度は、各ビームレットからの寄与を重ね合わせたものになる。 $Z=Z$ におけるビーム強度分布がわかればこれを積分することにより、受熱面の熱負荷やリミターを通過するビーム量を計算することができる。ただし、イオン源との間には多くのビームリミター（中性化セル、偏向磁石等もビームリミターとなる）が設置されており、これらのリミターによって遮蔽されている電極孔、すなわち見込むことのできない電極孔の寄与は計算上除外しなければならない。又、ビームレットの強度分布関数として、どういうものを用いるかは重要な要素である。今までの原研における実験結果によれば、パービアンスが最適な時、いいかえれば、ビーム電流値をかえた時最小のビーム発散が得られる時には、ビーム強度分布関数はほとんどガウス分布に一致する。そして、このパービアンスマッチングのとれた点を境として、低パービアンス側では分布はしだいに三角形のやせた分布となり、高パービアンス側ではガウス分布より太った分布、台形状の分布となる。さらに高パービアンス側ではホロー状の分布となるが、このような条件ではイオン源は一般に運転されない。又、電極孔の断面形状にも依存するであろう。このように、ビームレットの強度分布は、運転条件等によりガウス分布からずれることがあるため、分布関数としては $\exp(-x^\alpha)$ を採用することとした。分布指数 α が $1 \leq \alpha < 2$ の時は、三角形の分布となり、 $2 < \alpha$ の時台形状分布となる。 $\alpha = 2$ の時はガウス分布となる（第 1 図参照）。

今、 $Z=0$ にあるイオン源引出し電極の 1 つの電極孔 A ($a_i, b_i, 0$) から、上記のビーム強度分布関数をもったビームレットが、焦点 F (x_f, y_f, z_f) に向かって放出されるものとする（第 2 図参照）。この時、このビームレットによる点 C (x, y, z) でのビーム強度分布関数 $I_i(x, y, z)$ は、円筒対称ビームの場合は次式で表わされる。

$$I_i(x, y, z) = - \frac{n_i (\mathbf{n} \cdot \mathbf{m})}{\left(\frac{2}{\alpha}\right) \Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) \pi R_e^2} \exp\left\{-\left(\frac{R}{R_e}\right)^\alpha\right\}$$

ただし、

$$R_e = Z \tan \omega_i$$

$$R^2 = (x - g_i)^2 + (y - h_i)^2$$

α : 分布指数 (ガウス分布からのずれを示す指数)

$\alpha < 2$ 三角形分布

$\alpha = 2$ ガウス分布

$\alpha > 2$ 台形状分布

ω_i : i -th ビームレットのビーム発散角 ($1/e$)

ビーム強度が $1/e$ になる半幅で定義される発散角である。

n_i : i -th ビームレットのビーム強度

$$\int_0^\infty I_i 2\pi R dR = n_i \text{ である。}$$

g_i : $Z = Z$ でのビームレットの中心の X 座標

$$g_i = (\bar{x}_f - a_i) \frac{Z}{Z_f} + a_i$$

h_i : $Z = Z$ でのビームレットの中心の Y 座標

$$h_i = (y_f - b_i) \frac{Z}{Z_f} + b_i$$

\mathbf{n} : 受熱面の法線単位ベクトル

\mathbf{m} : 点 A ($a_i, b_i, 0$) と点 C (x, y, z) を結ぶ単位ベクトル \overrightarrow{AC}

一方、スリット状ビームの場合は、 x 方向、 y 方向のビーム発散角が異なるとすると、ビーム強度分布関数は次式で表わせられる。

$$I_i(x, y, z) = - \frac{n_i (\mathbf{n} \cdot \mathbf{m})}{4R_{ex}R_{ey} \left\{ \frac{1}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \right\}^2} \exp \left\{ - \left(\frac{R_x}{R_{ex}} \right)^\alpha - \left(\frac{R_y}{R_{ey}} \right)^\alpha \right\}$$

ただし、

$$R_x = |x - g_i|$$

$$R_y = |y - h_i|$$

$$R_{ex} = Z \tan \omega_{ix}$$

$$R_{ey} = Z \tan \omega_{iy}$$

ω_{ix} : x -方向のビーム発散角 ($1/e$)

ω_{iy} : y -方向のビーム発散角 ($1/e$)

スリット状ビームの場合、一般には $\omega_{ix} \ll \omega_{iy}$

又は $\omega_{ix} \gg \omega_{iy}$ である。

以上は、1つのビームレットによる点 C (x, y, z) でのビーム強度であるが、引出し電極のすべての電極孔からビームが放出された場合は、点 C (x, y, z) でのビーム強度分布関数 $F(x, y, z)$ は次式で表わされる。

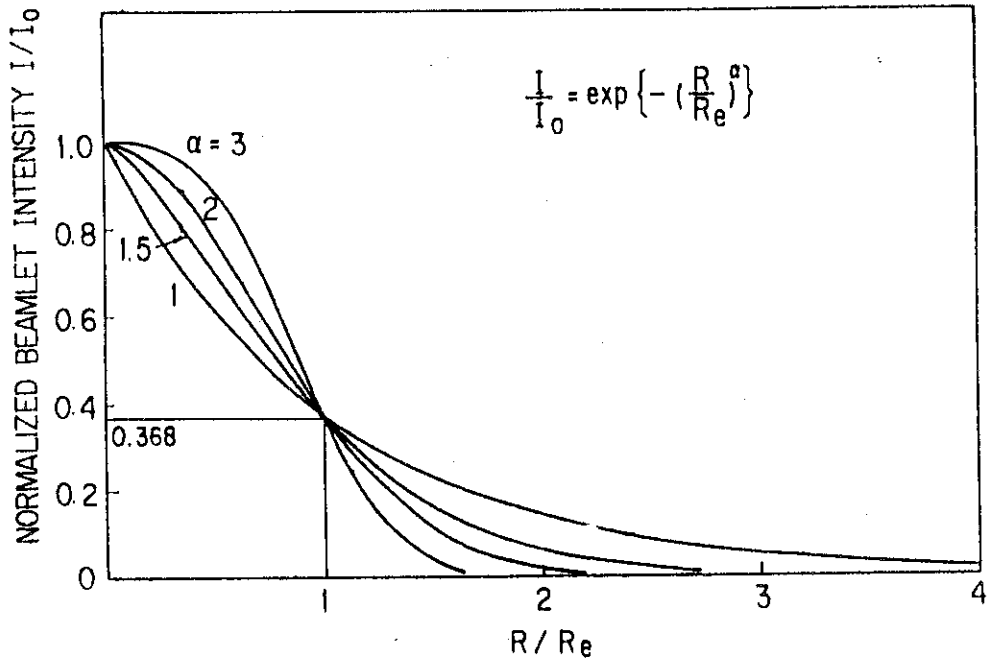
$$F(x, y, z) = \sum_i I_i(x, y, z) / \sum_i n_i$$

ただし、点 C (x, y, z) と点 A ($a_i, b_i, 0$) を結ぶ線分が、途中のビームリミター群と交わる場合は、ビームは遮蔽されるので \sum_i の計算には加えられないことに注意しなければならない。 $F(x, y, z)$ は、イオン源 1 台当りのビーム出力を 1 とした時、単位面積 (本コードでは 1 cm^2) 当りに入るビーム出力の割合で表わされる。

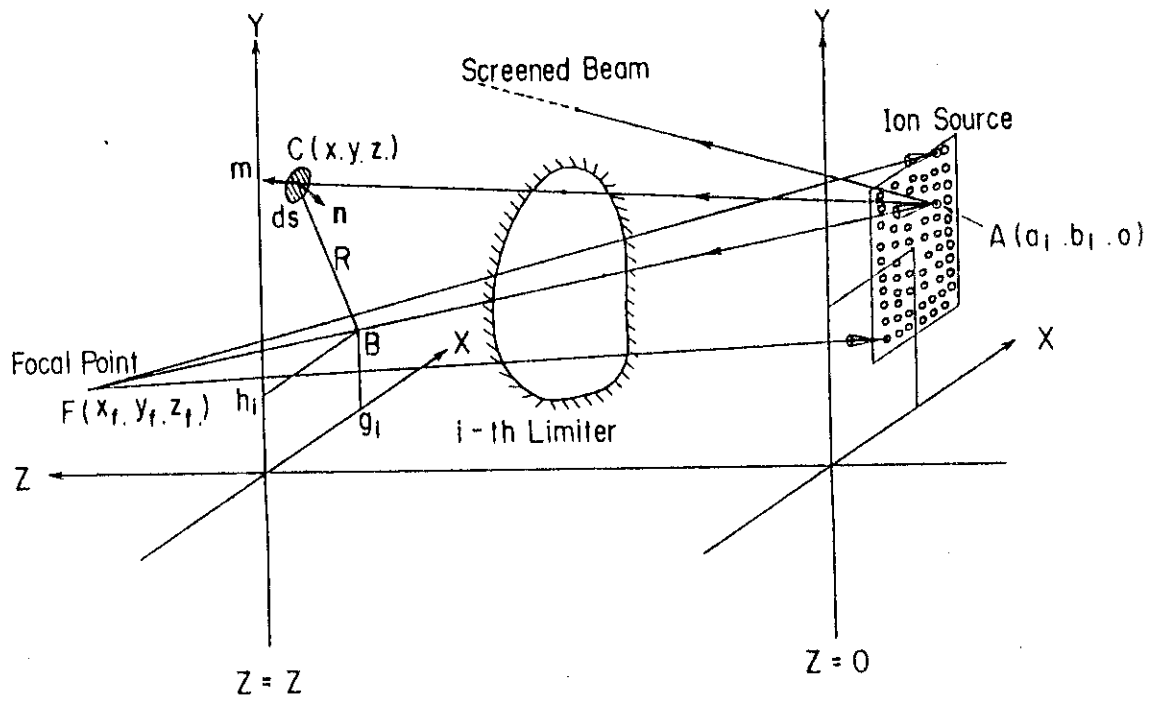
ビームリミターに当るビームの割合やリミターを通過するビームの割合 T は、 $F(x, y, z)$ を積分することにより求めることができる。すなわち、

$$T = \int F(x, y, z) ds$$

ただし、 ds は単位面積である。ここで、偏向磁石とイオン源の間にある機器へのビーム入射の割合は、全ビーム出力に対するものであり、偏向磁石より下流側の熱負荷は中性化効率を考慮に入れた中性粒子ビーム出力に対する割合としなければならないことに注意しなければならない。又、本コードでは、ビームは直進するものとし、外部電場、外部磁場、空間電荷、散乱等の影響は考慮することはできない。



第1図 ビームレット強度分布関数，分布指数 $\alpha = 2$ の時，ガウス分布となる。



第2図 ビームラインの配置

3. プログラムの説明

3.1 入力データ

1) タイトル

①	iTiTLE	18 A 4	タイトル (72 文字)	FTMAiN
---	--------	--------	--------------	--------

2) イオン源に関する入力

①	NE	i 5	イオン源の個数 (≤ 10)	i NPUT
	i AS	i 5	= 0 円筒対称ビーム = 1 スリット状ビーム	
	ALPHA	F 10.0	α ビーム強度分布関数のガウス分布からのずれを示す分布指数 $\alpha = 2$ の時ガウス分布となる	

(注) スリット状ビームの場合は、各スリットをスリット方向に複数個の要素に分割し、各要素からビームが出るものとして計算する。

② 2枚1組でNE組数入力する。

XA	F 10.0	イオン源中心のX座標 (mm) Z = 0 である	i NPUT
YA	F 10.0	イオン源中心のY座標 (mm) Z = 0 である	
XSP	F 10.0	イオン源中心軸上の点のX座標 (mm)	
YSP	F 10.0	" Y座標 (mm)	
ZSP	F 10.0	" Z座標 (mm) Z > 0 である	

(注) 点(XSP, YSP, ZSP)の入力は、イオン源からビームの出る方向を決めるために必要であり、原点以外の点であればどこでもよい。各ビームレットの方向を決めるものではない。

DENS	F 10.0	イオン源中心でのビームレットのビーム強度 (= 1 とする)	i NPUT
FOPX	F 10.0	X方向 (水平方向) の焦点距離 (mm)	
FOPY	F 10.0	Y方向 (垂直方向) " (mm)	
DiVX	F 10.0	X方向 (水平方向) のビーム発散角 (Deg) e-folding half-width である	
DiVY	F 10.0	Y方向 (垂直方向) "	

(注1) 各ビームレットを1点に集束する場合は、FOPX = FOPYとする。

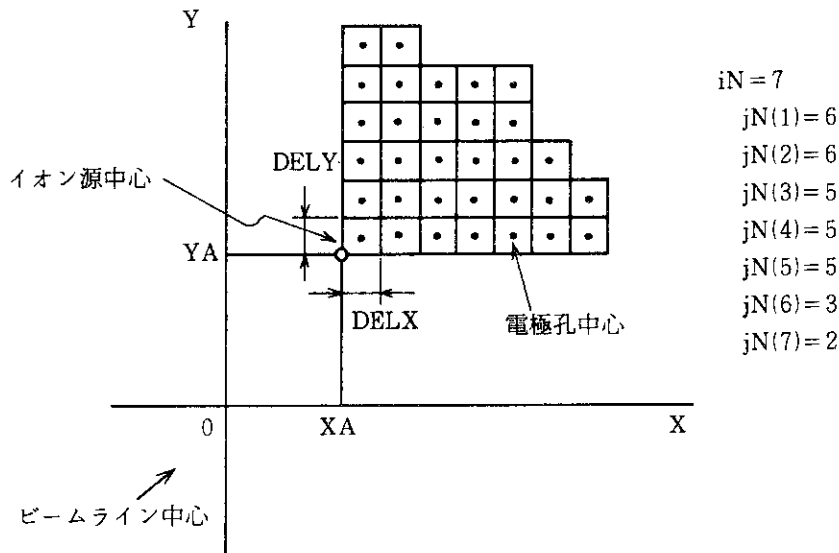
(注2) 円筒対称ビームの場合は、DiVX = DiVYとする。

(注3) 引出し電極多孔部全面にわたって、均一なソースプラズマが得られない場合は、各電極孔から放出されるビームの強度 (電流値) 及びビーム発散角が異なってくる。又、電極が熱負荷等によってわん曲した場合には、各ビームレットは偏向され焦点に集束されなくなる。

このような効果も本コードで計算することができる。ただし、ビームレットのビーム強度、X、Y方向焦点距離及びX、Y方向ビーム発散角をイオン源電極孔中心のX、Y座標(XE, YE)の関数として表わす必要がある。上記のそれぞれの関数FUNDEN(XE, YE), FUNFOX(XE, YE), FUNFOY(XE, YE), FUNDiX(XE, YE), FUNDiY(XE, YE)はサブルーチンiNiTのISN = 25 ~ 29行において入力すればよい。

③	i N jN(i) i=1, iN	i 3 20 i 3	電極孔ラインの数 (≤ 20) 各電極孔ラインのY-方向電極孔の数 (≤ 40)	iNPUT
④	DELX DELY	F 10.0 F 10.0	電極孔X方向間隔 (mm) 電極孔Y方向間隔 (mm)	iNPUT

(注) イオン源引出し電極の多孔部は上下、左右対称とし、多孔部の1/4の部分に関するデータのみ入力する。



3) 中性化セルに関する入力

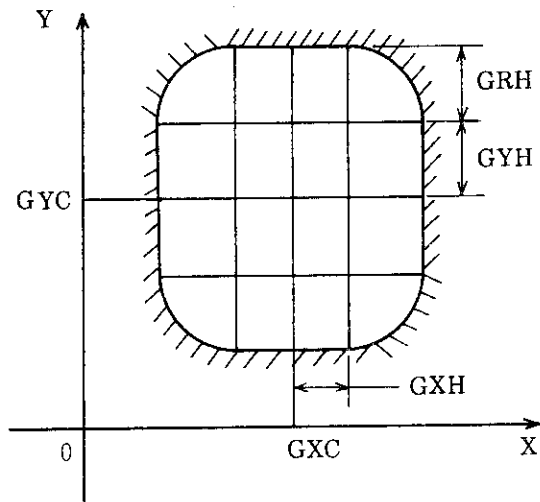
① 2枚1組でNE組数入力する。

iG	i 5	= 0 ビームの通過する割合を計算しない = 1 " 計算する	iNPUT
GXC	F 10.0	中性化セル出口の中心のX座標 (mm)	
GYC	F 10.0	" Y座標 (mm)	
GZC	F 10.0	" Z座標 (mm)	
GXH	F 10.0	中性化セルの大きさを表わす長さ (mm)	
GYH	F 10.0	" (mm)	
GRH	F 10.0	" (mm)	

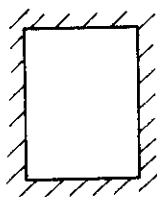
MGX	i 5	GXH の分割数	INPUT
MGY	i 5	GYH の分割数	
MGR	i 5	GRH の分割数	
MGT	i 5	¼円の分割数	

(注1) メッシュ分割数の決め方に関しては、4章参照のこと。

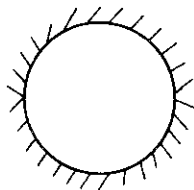
(注2) 中性化セルとイオン源を直結した形式のビームラインとなっているため、中性化セル入口部に関する入力の本コードでは存在しない。もっとも、中性化セルの長さGZCを十分短くとれば、中性化セルのないビームラインと同一にすることができる。



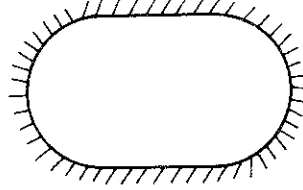
GRH=0の時



GXH=GYH=0の時



GYH=0の時

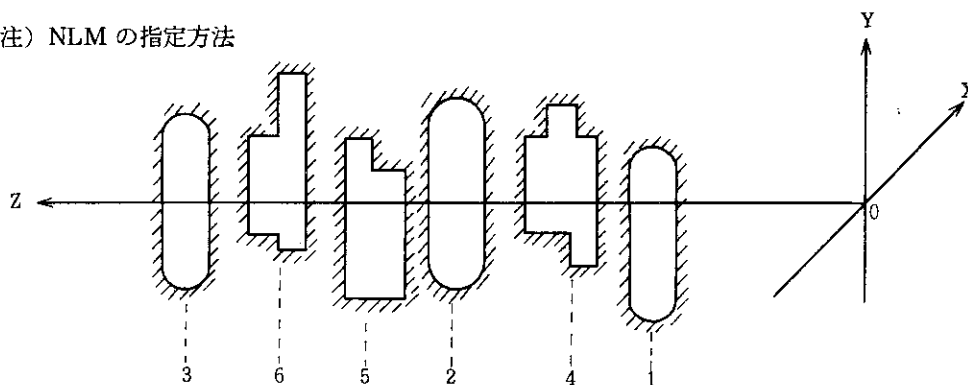


4) レーストラック型リミター、任意形状リミター、傾斜面、トーラス内面に関する入力

①

NRL	i 5	レーストラック型リミターの数 (≤ 20)	
NAL	i 5	任意形状リミターの数 (≤ 5)	
LLF	i 5	傾斜面上の熱負荷分布を求める時 ($\neq 0$)	
LLT	i 5	トーラス内面の熱負荷分布を求める時 ($\neq 0$)	
NLM	i 5	リミターの形状をCOM出力するリミターの番号を指定する。	

(注) NLM の指定方法



リミターのZ座標は小さい順に入力するものとし、レーストラック型リミターを優先してZ座標の小さい順に番号が1, 2, 3とつく。

次に任意形状リミターのZ座標の小さい順に番号がつく。上例では4, 5, 6とつく。

以上の番号で、リミター形状をCOM出力したいリミターの番号を指定する。

又、形状をCOM出力できるのは以下の3つの分布のみである。

1. X-方向一次元分布
2. Y-方向一次元分布
3. 二次元等高線分布

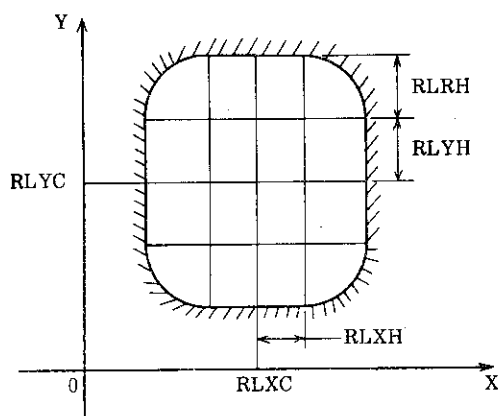
② レーストラック型リミター

2枚1組でNRL組数入力する。 NRL = 0の時不要

iRL	i 5	= 0 ビームの通過する割合を計算しない = 1 " 計算する	i INPUT
RLXC	F 10.0	リミターの中心のX座標 (mm)	
RLYC	F 10.0	" Y座標 (mm)	
RLZC	F 10.0	" Z座標 (mm)	
RLXH	F 10.0	リミターの大きさを表わす長さ (mm)	
RLYH	F 10.0	"	
RLRH	F 10.0	"	

MR LX	i 5	RLXHの分割数	i INPUT
MR LY	i 5	RLYHの分割数	
MR LR	i 5	RLRHの分割数	
MR LT	i 5	¼ 円の分割数	
i NT	i 5	トンネル入口の時 = 1 その他 = 0	

(注) 出入口2ケのレーストラック型リミターで定義されるトンネル型リミターの内面熱負荷分布の計算(後述)を行う時、トンネル入口を指定するリミターであれば iNT = 1 とする。出口はZ-軸にそって次のリミターとなるため指定は不要である。

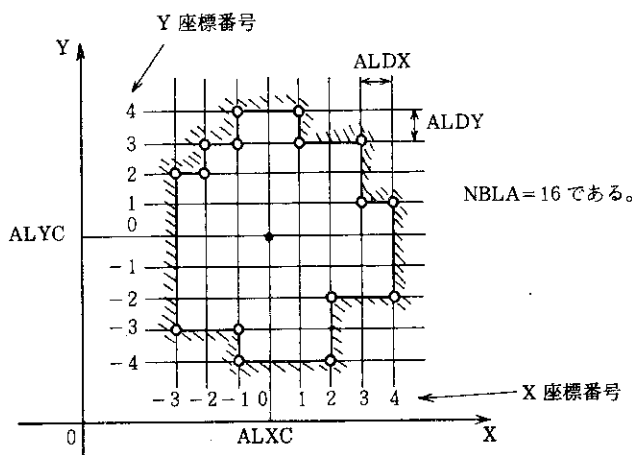


③ 任意形状リミター

4枚1組でNAL組数入力する。NAL=0の時不要

iAL	i5	=0 ビームの通過する割合を計算しない =1 " 計算する	iINPUT
ALXC	F10.0	リミターの中心のX座標 (mm)	
ALYC	F10.0	" Y座標 (mm)	
ALZC	F10.0	" Z座標 (mm)	
ALDX	F10.0	X方向メッシュ幅 (mm)	
ALDY	F10.0	Y方向メッシュ幅 (mm)	
NBLA	i5	形状を表わす座標点数 (≤ 100)	iINPUT
MALAX(i) i=1, NBLA	18i4	形状を表わすX座標番号	iINPUT
MALAY(i) i=1, NBLA	18i4	形状を表わすY座標番号	iINPUT

(注) NBLAの値が18を越えるとき、MALAX(i)、MALAY(i)のデータは、それぞれ $(NBLA/18+1)$ 枚となる。ただし、 $NBLA/18$ は切り捨て整数化したものである。

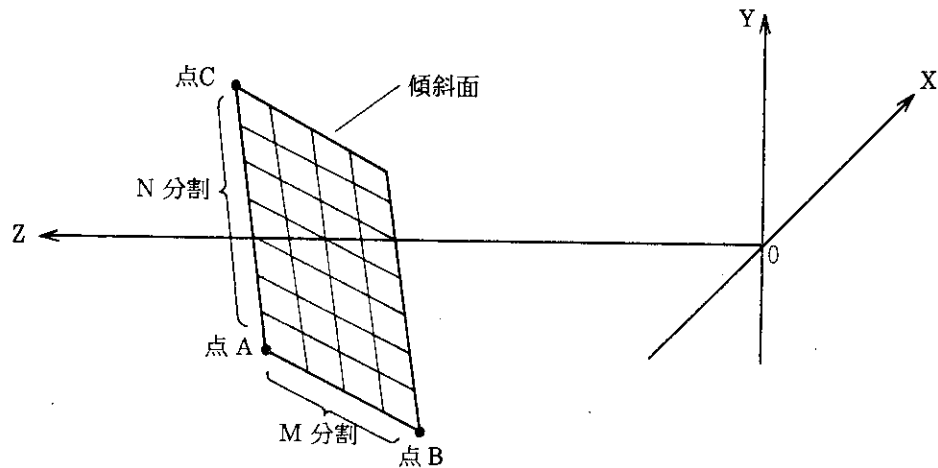


④ 傾斜面

5枚1組として入力する。 LLF = 0 の時不要
 図形出力はX-Y平面への投影面上に出力される。

X 1	F 10.0	} 下図点Aの座標	
Y 1	F 10.0		
Z 1	F 10.0		
X 2	F 10.0	} 下図点Bの座標	
Y 2	F 10.0		
Z 2	F 10.0		
X 3	F 10.0	} 下図点Cの座標	
Y 3	F 10.0		
Z 3	F 10.0		
XH	F 10.0	等高線を描く X-方向展開長	
YH	F 10.0	" Y-方向展開長	
H(1)	F 10.0	等高値 初期値	
H(2)	F 10.0	" 増分値	
H(3)	F 10.0	" 終値	
M	i 5	下図点 A, B間の分割数 (≤50)	
N	i 5	下図点 A, C間の分割数 (≤50)	

(注) 等高値がわからない時は、 $H(1) = H(2) = H(3) = 0.0$ と入力すると、無条件に10本の等高線を描く。



⑤ トーラス内面

7枚 1組として入力する。 LLT=0の時不要

NT	I 5	ビームラインの数 (≤ 20)	
----	-----	------------------------	--

次の2枚は1組としNT組入力する。

TXO	F 10.0	} NBI ビームラインの座標系の原点のトーラス座標系での X, Y, Z 座標 (下図の X_0, Y_0, Z_0) (mm)	
TYO	F 10.0		
TZO	F 10.0		

TX1	F 10.0	} NBI ビームラインの座標系の Z 軸上の 1 点のトーラス座標系での X, Y, Z 座標 (下図の X_1, Y_1, Z_1) (mm)	
TY1	F 10.0		
TZ1	F 10.0		

ROL	F 10.0	トーラス大半径 (下図の R_0) (mm)	
ROS	F 10.0	トーラス小半径 (下図の r_0) (mm)	

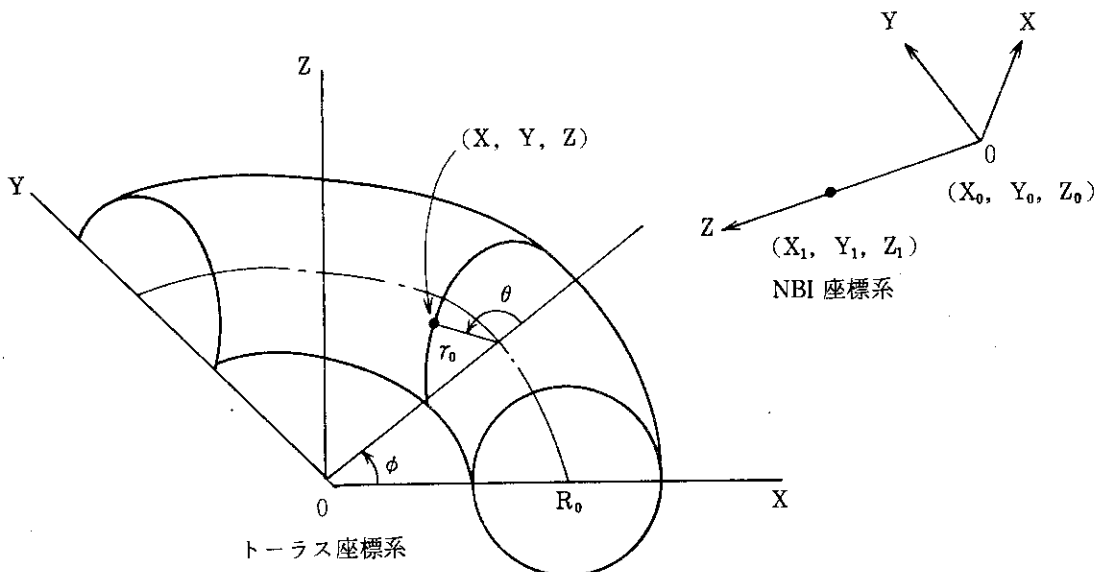
次の2枚はトーラス内面の熱負荷分布を求める領域を定めるデータである。

PAi 1	F 10.0	下図 ϕ の初期値	
PAi 2	F 10.0	" 終値	
NFPai	I 5	" 分割数 (≤ 100)	

CiT1	F 10.0	下図 θ の初期値	
CiT2	F 10.0	" 終値	
NTCiT	I 5	" 分割数 (≤ 100)	

XHH	F 10.0	等高線を描く X 方向展開長	
YHH	F 10.0	" Y 方向展開長	
HH(1)	F 10.0	等高値 初期値	
HH(2)	F 10.0	" 増分値	
HH(3)	F 10.0	" 終値	

(注) 等高値がわからない時は $HH(1) = HH(2) = HH(3) = 0.0$ と入力すると、無条件に10本の等高線を描く。



5) 図形出力に関する入力データ

(注) 図形出力をする時は、必ず単精度で行うこと。単精度でビーム強度は $\pm 1 \times 10^{-4}$ % 以下の精度を得ることができる。

① 一次元分布, 一次元線密度分布, 二次元等高線分布

NZ	i 5	分布を求めるZ座標数	DiSPLT
----	-----	------------	--------

以下のデータは、Z座標毎、組にしてNZ組数入力する。(NZ=0の時不要)

ZD	F 10.0	分布を求めるZ座標 (mm)	DiSPLT
NXD	i 5	X方向一次元分布を求めるY座標数	
NYD	i 5	Y方向一次元分布を求めるX座標数	
iLD	i 5	= 0 一次元線密度分布を求めない = 1 " 求める	
iSD	i 5	= 0 二次元等高線分布を求めない = 1 求める	

(注) 一次元線密度分布とは、 $F(x) = \int I(x, y) dy$, $F(y) = \int I(x, y) dx$ によって定義される分布のことである。ただし $I(x, y)$ は z の位置でのビーム強度分布関数である。ビームの発光強度の分布を求める時に利用する。

X-方向一次元分布, NXD枚入力する。(NXD=0の時不要)

YD	F 10.0	X方向一次元分布を求めるY座標 (mm)	DiSPLT
XD 1	F 10.0	左端 (最小値) のX座標 (mm)	
XD 2	F 10.0	右端 (最大値) のX座標 (mm)	
MXD	i 5	XD 1, XD 2間の分割数 (≤ 100)	

(注) リミターの形状を出力させたい時は、その番号を前述のパラメータ NLMにより指定すること。

Y-方向一次元分布, NYD枚入力する。(NYD=0の時不要)

XD	F 10.0	Y-方向一次元分布を求めるY座標 (mm)	DiSPLT
YD 1	F 10.0	下端 (最小値) のY座標 (mm)	
YD 2	F 10.0	上端 (最大値) のY座標 (mm)	
MYD	i 5	YD 1, YD 2間分割数 (≤ 100)	

(注) リミターの形状は NLMにより指定する。

一次元線密度分布 (iLD = 0 の時不要)

XD 1	F 10.0	左端 (最小値) の X 座標 (mm)	Di SPLT
XD 2	F 10.0	右端 (最大値) の X 座標 (mm)	
YD 1	F 10.0	下端 (最小値) の Y 座標 (mm)	
YD 2	F 10.0	上端 (最大値) の Y 座標 (mm)	
MXD	i 5	XD 1, XD 2 間分割数 (≤ 100)	
MYD	i 5	YD 1, YD 2 間分割数 (≤ 100)	

二次元等高線分布 (2枚) (iSD = 0 の時不要)

XD 1	F 10.0	左端 (最小値) の X 座標 (mm)	Di SPLT
XD 2	F 10.0	右端 (最大値) の X 座標 (mm)	
YD 1	F 10.0	下端 (最小値) の Y 座標 (mm)	
YD 2	F 10.0	上端 (最大値) の Y 座標 (mm)	
MXD	i 5	XD 1, XD 2 間分割数 (≥ 100)	
MYD	i 5	YD 1, YD 2 間分割数 (≤ 100)	

XH	F 10.0	COM 上に等高線を描く時の X 方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	Di SPLT
YH	F 10.0	Y 方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	
H(1)	F 10.0	等高値 初期値	
H(2)	F 10.0	" 増分値	
H(3)	F 10.0	" 終値	

(注) 等高値が分からない時, H(1) = H(2) = H(3) = 0.0 を入力すると, 無条件に 10本の等高線を描く。

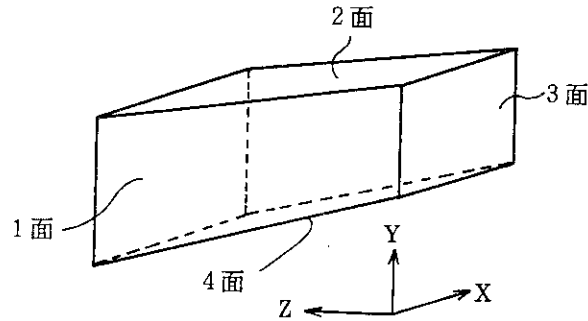
(注) リミターの形状を出力させたい時は, その番号を前述のパラメータ NLM により指定すること。

② ガスセル内面熱負荷分布 (等高線)

NGTP	i 5	分布を求めるガスセルの数	Di SPLT
------	-----	--------------	---------

最大 3 枚 1 組で NGTP 組入力する (NGTP = 0 の時不要)

NG	i 5	ガスセル番号	Di SPLT
iTP(j) j = 1, 4	4 i 5	= 0 面 - j で分布を求めない = 1 " 求める	
MZT	i 5	Z 方向分割数 (≤ 33)	



iTP (1) = 1 又は iTP (3) = 1 とした時、次のカードを入力する。

XH	F 10.0	1面および3面における等高線を描く時の Y方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	PGTD
YH	F 10.0	" Z方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	
H(1)	F 10.0	等高値 初期値	
H(2)	F 10.0	" 増分値	
H(3)	F 10.0	" 終値	

(注) 等高線の値が分からない時、H(1)=H(2)=H(3)=0.0を入力すると、無条件に10本の等高線を描く。

iTP (2) = 1 又は iTP (4) = 1 とした時、次のカードを入力する。

XH	F 10.0	2面および4面における等高線を描く時の X方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	PGTD
YH	F 10.0	Z方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	
H(1)	F 10.0	等高値 初期値	
H(2)	F 10.0	" 増分値	
H(3)	F 10.0	" 終値	

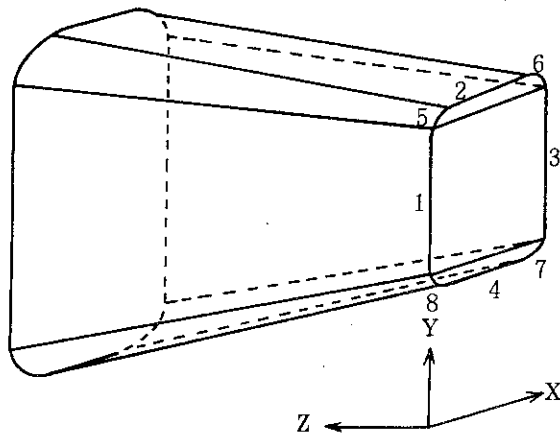
(注) 等高線の値が分からない時、H(1)=H(2)=H(3)=0.0を入力すると、無条件に10本の等高線を描く。

③ トンネル型リミター内面熱負荷分布

NTP	i 5	トンネル型リミター一個数	DiSPLT
-----	-----	--------------	--------

最大4枚1組でNTP組入力する (NTP=0の時不要)

NT	i 5	トンネルの入口のリミター番号	DiSPLT
iTP(j), j=1,8	8 i 5	= 0 面-j で分布を求めない = 1 " 求める	
MZT	i 5	Z方向分割数	



iTP (1) = 1 又は iTP (3) = 1 とした時次のカードを入力する。

XH	F 10.0	1面および3面における等高線を描く時の Y方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	PTD
YH	F 10.0	" Z方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	
H(1)	F 10.0	等高値 初期値	
H(2)	F 10.0	" 増分値	
H(3)	F 10.0	" 終値	

(注) 等高線の値が分からない時, H(1)=H(2)=H(3)=0.0を入力すると,
無条件に10本の等高線を描く。

iTP (2) = 1 又は iTP (4) = 1 とした時次のカードを入力する。

XH	F 10.0	2面および4面における等高線を描く時の X方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	PTD
YH	F 10.0	" Z方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	
H(1)	F 10.0	等高値 初期値	
H(2)	F 10.0	" 増分値	
H(3)	F 10.0	" 終値	

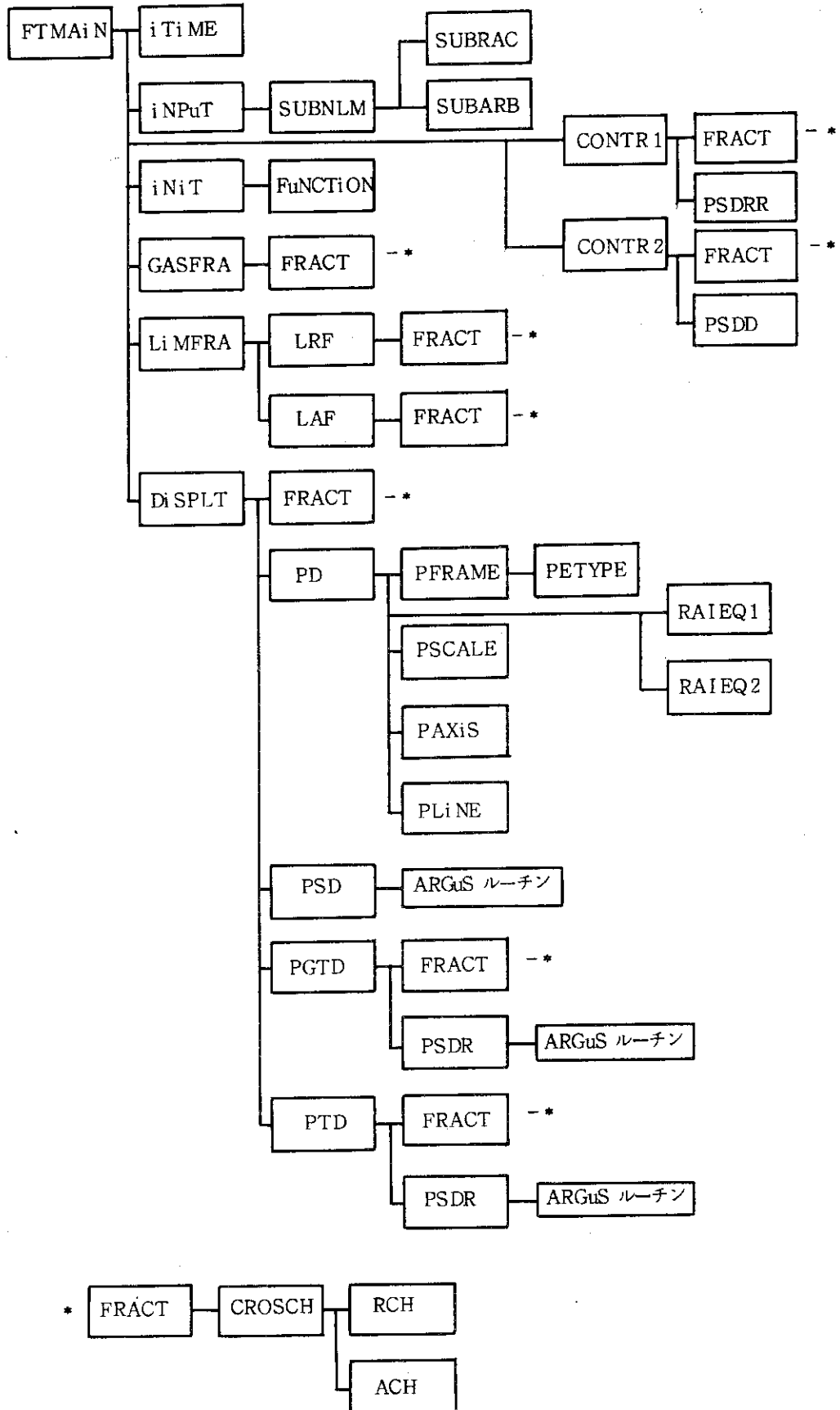
(注) 等高線の値が分からない時, H(1)=H(2)=H(3)=0.0を入力すると,
無条件に10本の等高線を描く。

iTP (5) = 1 又は iTP (6) = 1 又は iTP (7) = 1 又は iTP (8) = 1 とした時
次のカードを入力する。

XH	F 10.0	5面~8面における等高線を描く時の X方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	PTD
YH	F 10.0	" Y方向展開長 (mm) (≤ 150.0)	
H(1)	F 10.0	等高値 初期値	
H(2)	F 10.0	" 増分値	
H(3)	F 10.0	" 終値	

(注) 等高線の値が分からない時, H(1)=H(2)=H(3)=0.0を入力すると,
無条件に10本の等高線を描く。

3.2 プログラムの構造



3.3 COMMON

1) /CALC/

i) 使用サブルーチン

- FTMAIN • I N I T • L A F • L R F
- FRACT • C R O S C H

ii) 変数

変数名	DIMENSION		SET ルーチン
XE	(40, 20)	イオン源電極孔X座標	i N I T
YE	(40, 20)	" Y座標	
DENSE	(40, 20, 10)	密度相対値 n_i (XE, YE)	
TANDIX	(40, 20, 10)	X方向発散 $\tan (W_{ix} (XE, YE))$	
TANDIY	(40, 20, 10)	Y方向発散 $\tan (W_{iy} (XE, YE))$	
FOPXE	(40, 20, 10)	X方向焦点 $z_{fx} (XE, YE)$	
FOPYE	(40, 20, 10)	Y方向焦点 $z_{fy} (XE, YE)$	
GAMMAA		$(2/\alpha) \Gamma (2/\alpha)$	
GAMMAS		$(1/\alpha) \Gamma (1/\alpha)$	
PAI		π	
LMSORT	(25)	Z座標で sort したリミター番号	
NBLA	(5)		
IYBLA	(100, 5)		
IXBLA	(2, 100, 5)		
TDENSE	(10)	$\sum n_i$	

2) /GASCEL/

i) 使用サブルーチン

- FTMAIN • I N P U T • G A S F R A
- C R O S C H • P G T D

ii) 変数

変数名	DIMENSION		SET ルーチン
IG	(10)	過通量計算フラグ	i N P U T
GXC	(10)	ガスセルの中心X座標	
GYC	(10)	" Y座標	
GZC	(10)	" Z座標	
GXH	(10)	ガスセルの大きさを表わす長さ	
GYH	(10)	"	
GRH	(10)	"	
MGX	(10)	GXH分割数	
MGY	(10)	GYH分割数	
MGR	(10)	GRH分割数	
MGT	(10)	1/4円の分割数	

3) / ION /

i) 使用サブルーチン

- FTMAIN • INPUT • INIT • GASFRA
- LAF • LRF • FRACT • PGTD

ii) 変数

変数名	DIMENSION		SET ルーチン
NE		イオン源個数	iINPUT
iAS		イオン源形状フラグ	
iN		イオン源電極孔ライン数	
jN	(40)	各ラインのY方向電極孔数	
ALPHA		α	
DELX		電極孔X方向間隔	
DELY		" Y方向間隔	
XA	(10)	イオン源中心のX座標	
YA	(10)	" Y座標	
XSP	(10)	イオン源中心軸X座標	
YSP	(10)	" Y座標	
ZSP	(10)	" Z座標	
DENS	(10)	イオン源中心での密度相対値	
FOPX	(10)	" X方向焦点	
FOPY	(10)	" Y方向焦点	
DiVX	(10)	" X方向発散	
DiVY	(10)	" Y方向発散	

4) / LiMiTA /

i) 使用サブルーチン

- FTMAIN • iINPUT • iNiT • LAF • CROSC

ii) 変数

変数名	DIMENSION		SET ルーチン
NAL		任意形状リミター数	iINPUT
iAL	(5)	通過量計算フラグ	
ALXC	(5)	リミターの中心X座標	
ALYC	(5)	" Y座標	
ALZC	(5)	" Z座標	
ALDX	(5)	X方向メッシュ幅	
ALDY	(5)	Y方向メッシュ幅	
ALB	(5)	形状を表わす座標点数	
MALAX	(100,5)	形状を表わすX座標番号	
MALAY	(100,5)	" Y座標番号	

5) /LiMiTR/

i) 使用サブルーチン

- FTMAIN • INIT • INPUT • LRF
- CROSCH • PTD

ii) 変数

変数名	DIMENSION		SET ルーチン
NRL		Racetrack 型リミター数	iINPUT
IRL	(20)	通過量計算フラグ	
RLXC	(20)	リミターの中心 X 座標	
RLYC	(20)	” Y 座標	
RLZC	(20)	” Z 座標	
RLXH	(20)	リミターの大きさを表わす長さ	
RLYH	(20)	”	
RLRH	(20)	”	
MRLX	(20)	RLXH 分割数	
MRLY	(20)	RLYH 分割数	
MRLR	(20)	RLRH 分割数	
MRLT	(20)	¼ 円の分割数	
INT	(20)	トンネル入口フラグ	

6) /TITLE/

i) 使用サブルーチン

- FTMAIN • PFRAME

ii) 変数

変数名	DIMENSION		SET ルーチン
ITITLE	(18)	タイトル	FTMAIN
ID	(2)	日付	
IT	(2)	時刻	

7) / INPLLF /

i) 使用サブルーチン

◦ INPUT, MAIN, CONTR 1

ii) 変数名

LLF	◦ 回転面上の熱負荷計算をするための変数
X 1	} ◦ 平行四辺形を決定する点Aの (X, Y, Z) 座標
Y 1	
Z 1	
X 2	} ◦ " 点Bの (X, Y, Z) 座標
Y 2	
Z 2	
X 3	} ◦ " 点Cの (X, Y, Z) 座標
Y 3	
Z 3	
M	◦ 辺 AB の分割数
N	◦ 辺 BC の分割数
H(300)	◦ 等高値の初期値, 増分値, 終値
XH	◦ 等高線を描くときの X 方向展開長
YH	◦ " Y 方向展開長

8) / INPLLT /

i) 使用サブルーチン

◦ INPUT, MAIN, CONTR 2

ii) 変数名

LLT	◦ トーラス内面上の熱負荷分布計算をするための変数
NT	◦ ビームラインの数 (≤20)
TXO (20)	} ◦ トーラス座標で見た NBI 座標の原点
TYO (20)	
TZO (20)	
TX 1 (20)	} ◦ トーラス座標で見た NBI 座標の Z 軸上の 1 点
TY 1 (20)	
TZ 1 (20)	
ROL	} ◦ 本報告書の12ページ説明と同様
ROS	
PAI 1	
PAI 2	
NFP AI	
CIT 1	
CIT 2	} ◦ 等高値の初期値, 増分値, 終値
NTCIT	
HH (300)	
XHH	◦ 等高線を描くときの X 方向展開長
YHH	◦ " Y 方向展開長

9) /COMRAC /

i) 使用サブルーチン

◦ SUBRAC , PSD , RAIEQ 1 , RAIEQ 2

ii) 変数名

MM	◦ 指定された race track リミターの番号
MA	◦ XRAC , YRAC の配列の数
XRAC (44)	} ◦ race track リミターの形状を決定する (X, Y) 座標
YRAC (44)	

10) /COMARB /

i) 使用サブルーチン

◦ SUBARB , PSD , PD

ii) 変数名

NN	◦ 指定された任意形状リミターの番号
NA	◦ XARB , YARB の配列の数
XARB (101)	} ◦ 任意形状リミターの形状を決定する (X, Y) 座標
YARB (101)	

3.4 サブルーチンの機能

FTMAIN	— 1)	RCH	— 21)
INPUT	— 2)	CONTR 1	— 22)
INIT	— 3)	PSDRR	— 23)
GASFRA	— 4)	CONTR 2	— 24)
LIMFRA	— 5)	PSDD	— 25)
LRF	— 6)	SUBNLM	— 26)
LAF	— 7)	SUBARB	— 27)
DISPLT	— 8)	SUBRAC	— 28)
PD	— 9)	RAIEQ 1	— 29)
PFRAME	— 10)	RAIEQ 2	— 30)
PSCALE	— 11)		
PAXIS	— 12)		
PLINE	— 13)		
PSD	— 14)		
PGTD	— 15)		
PTD	— 16)		
PSDR	— 17)		
FRACT	— 18)		
CROSCHE	— 19)		
ACH	— 20)		

1)

FTMAIN

①機能

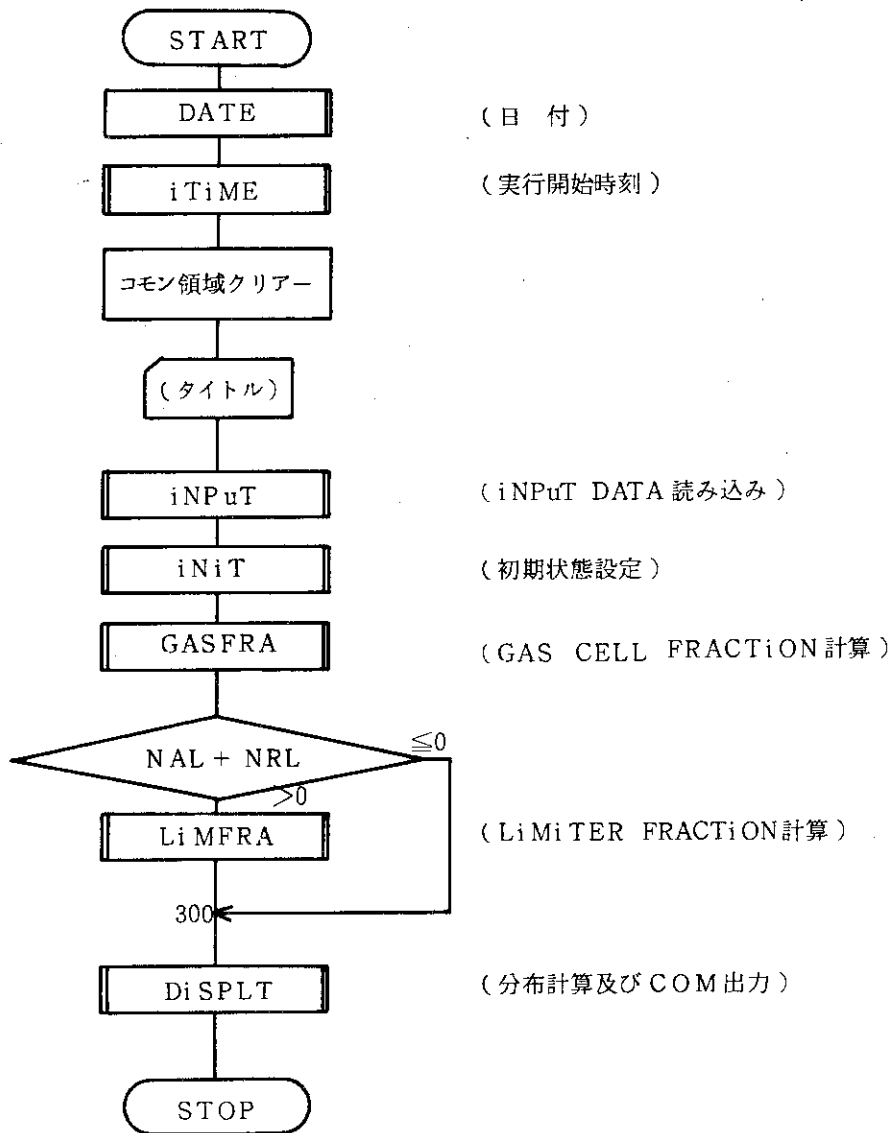
i) COMMON領域のゼロクリアー

ii) サブルーチン call

②CALL subroutine

- ITIME (IT)
- INPUT
- INIT
- GASFRA
- LIMFRA (LMSORT, NRL, NAL)
- DISPLT (NE)

③ Flow



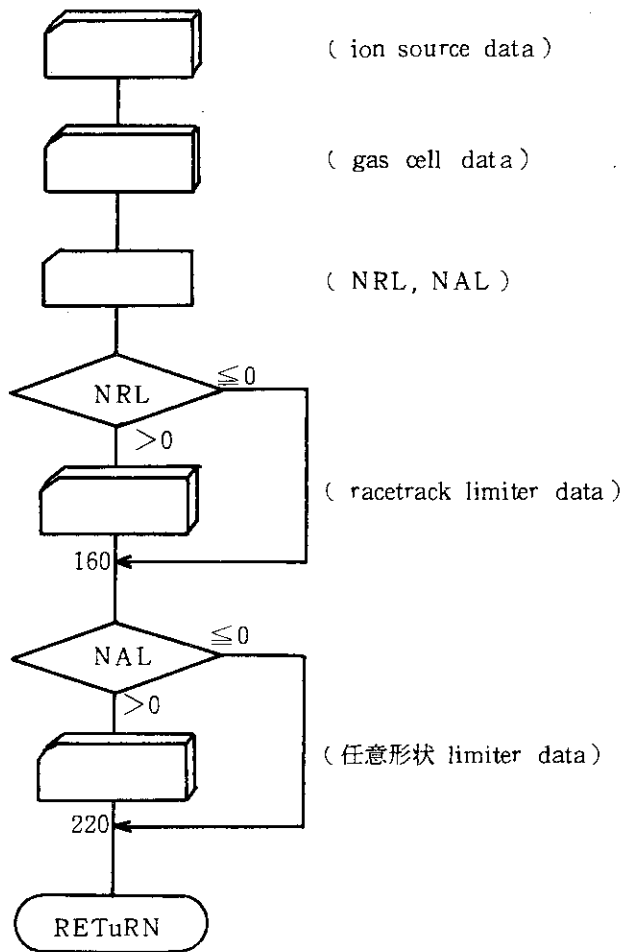
2)

INPUT

①機能

- i) イオン源データの読み込み
- ii) ガスセルデータの読み込み
- iii) リミターデータの読み込み

②Flow



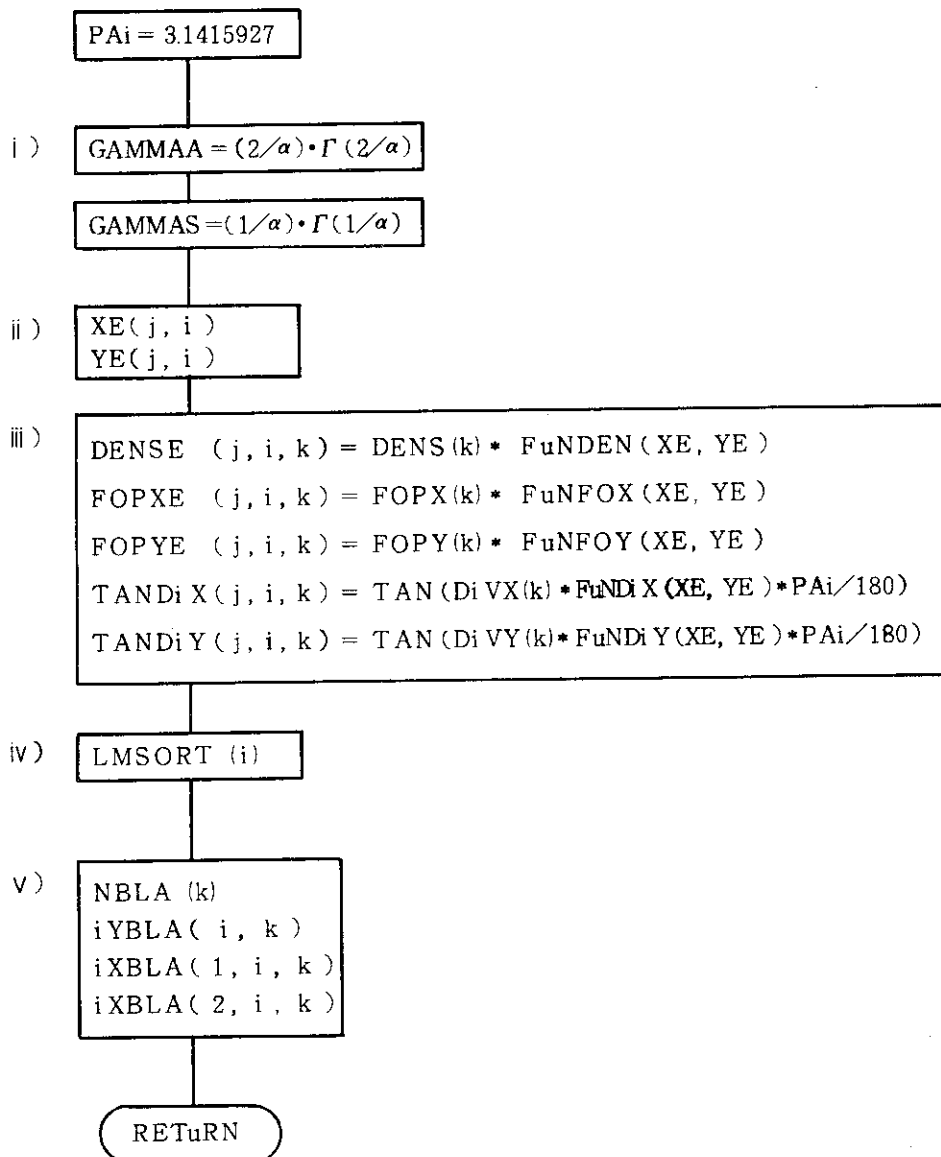
3)

INIT

①機能

- i) ガンマ関数の計算
- ii) イオン源中心からの電極孔の相対的座標を求める
- iii) 密度相対値, 焦点, tan (発散) の計算
- iv) 各リミターをZ座標の値によってsort する
- v) 任意形状リミターの境界の座標を求める

②Flow



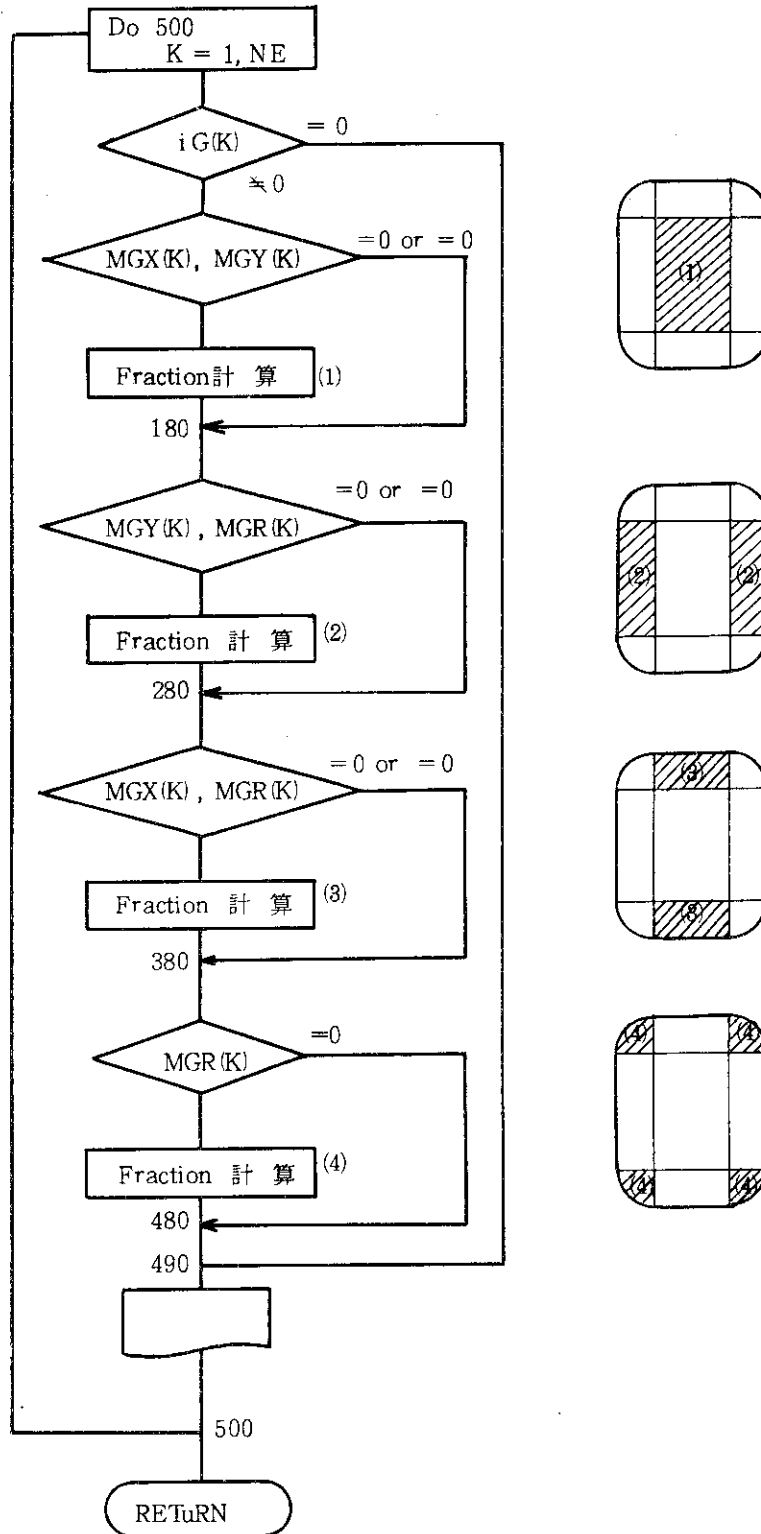
4)

GASFRA

①機能

ガスセルにおける Fraction 計算

② Flow



5)

LIMFRA

①機能

リミターにおけるFraction 計算ルーチンを call する。

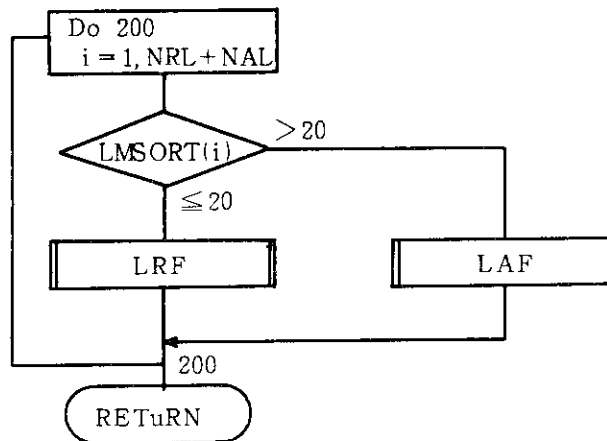
i) racetrack 型リミターの時 call LRF

ii) 任意形状リミターの時 call LAF

②引数

変数名	DIMENSION	
LMSORT	(1)	リミター中心のZ座標の小さい順に、リミター番号がストアされている
NRL		racetrack 型リミターの数
NAL		任意形状リミターの数

③Flow



6)

LRF

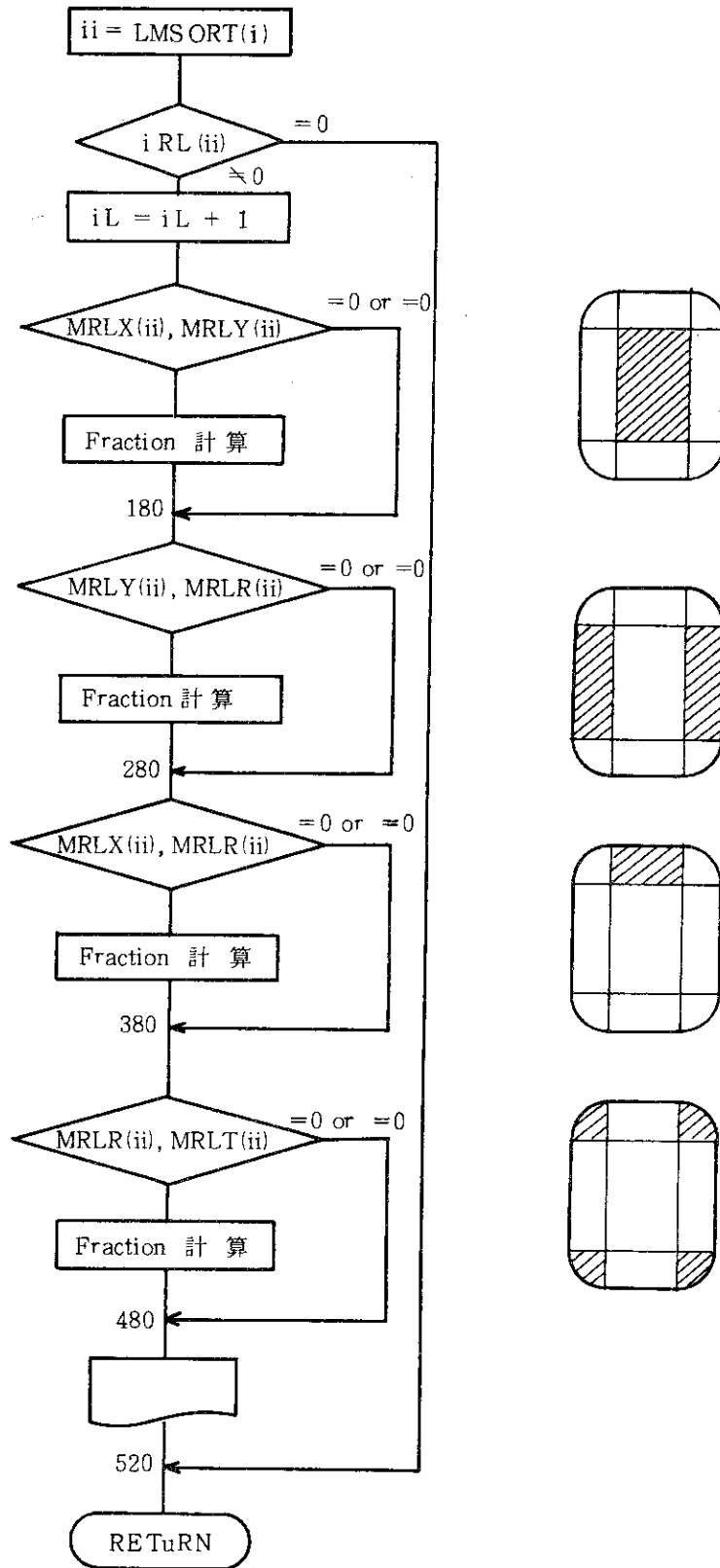
①機能

racetrack 型リミターにおけるFraction の計算

②引数

変数名	DIMENSION	
I		計算するリミターの順序番号
FRAC	(1)	各リミターの通過量計算値
IL		通過量計算リミターのカウンター

③ Flow



7)

L A F

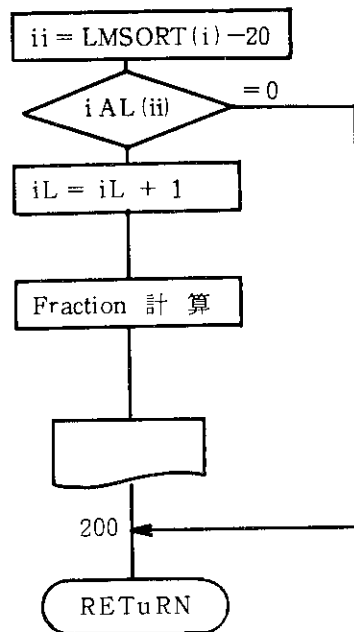
①機能

任意形状リミターにおける Fraction の計算

②引数

変 数 名	DIMENSION	
I		計算するリミターの順序番号
FRAC	(1)	各リミターの通過量計算値
IL		通過量計算リミターのカウンター

③ Flow



8)

DISPLT

①機能

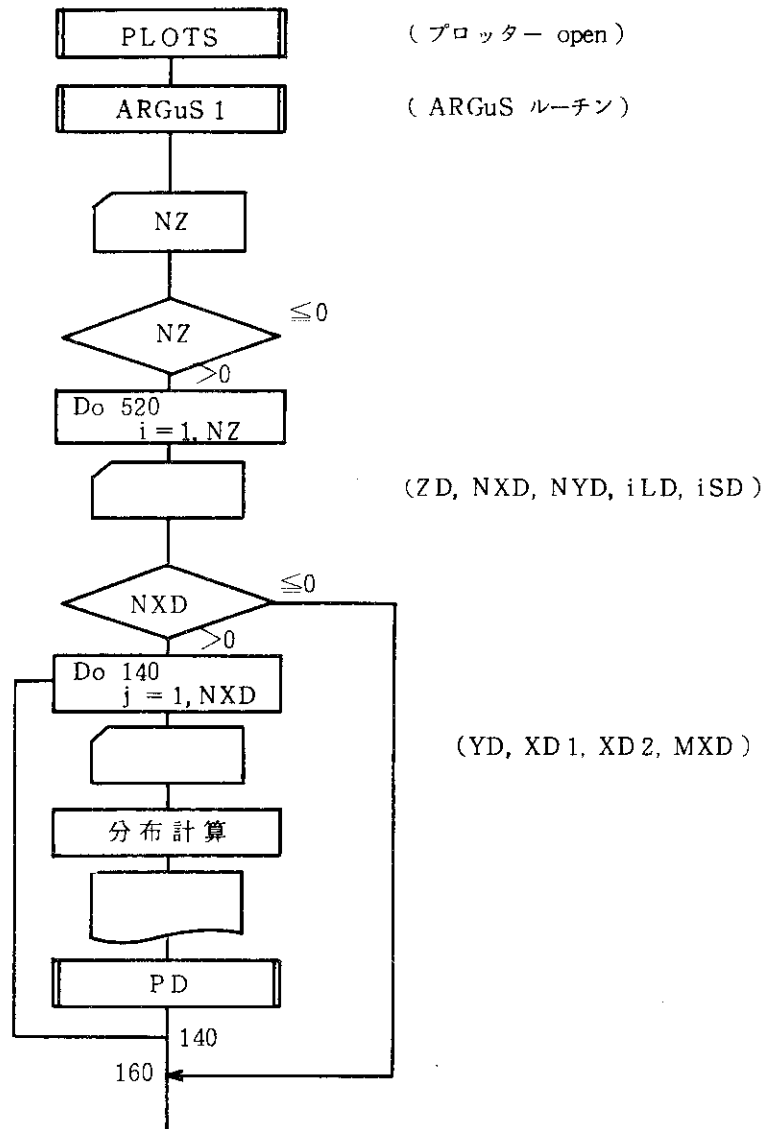
- i) 一次元分布, 一次元線密度分布, 二次元等高線分布の計算及びCOM出力
- ii) ガスセル内面熱負荷分布計算及びCOM出力
- iii) トンネル型リミター内面熱負荷分布計算及びCOM出力

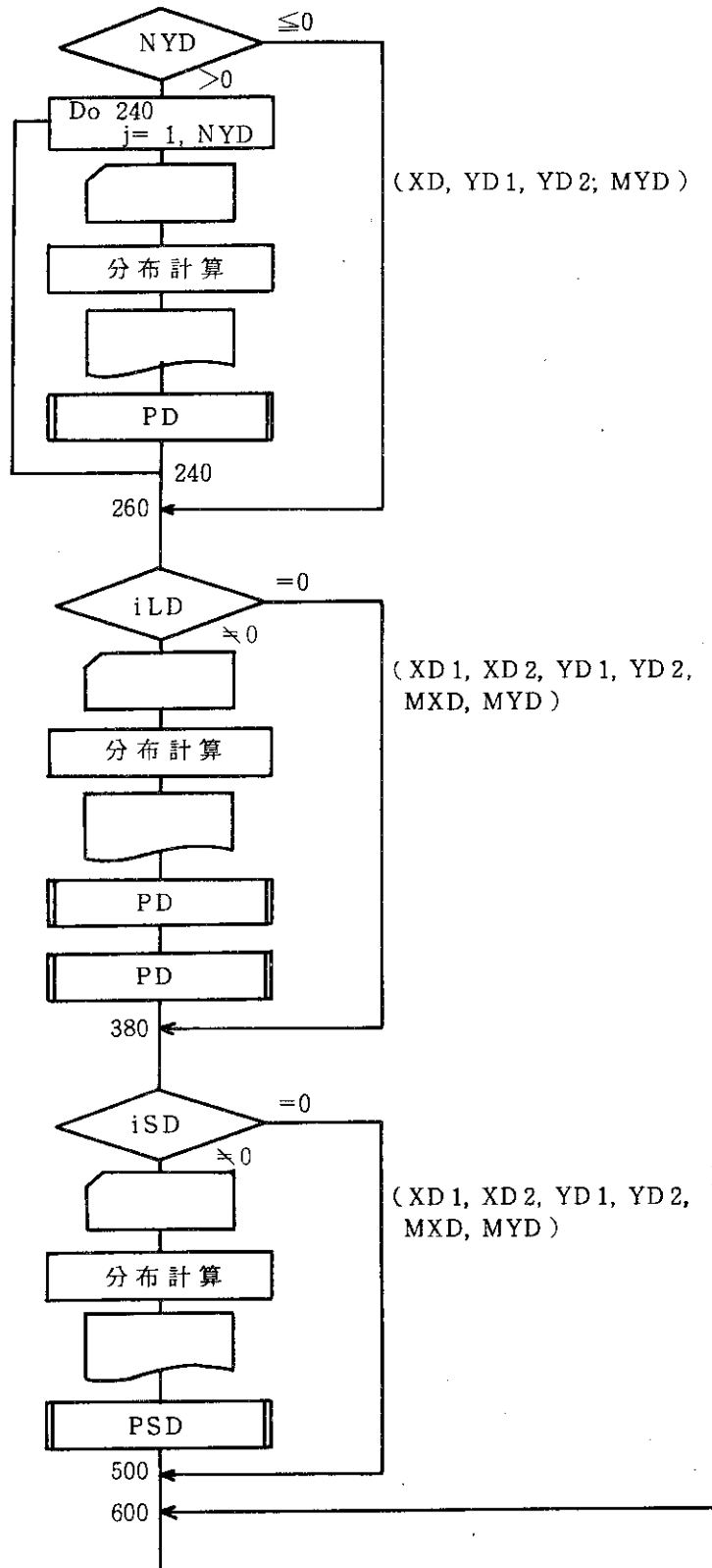
②引数

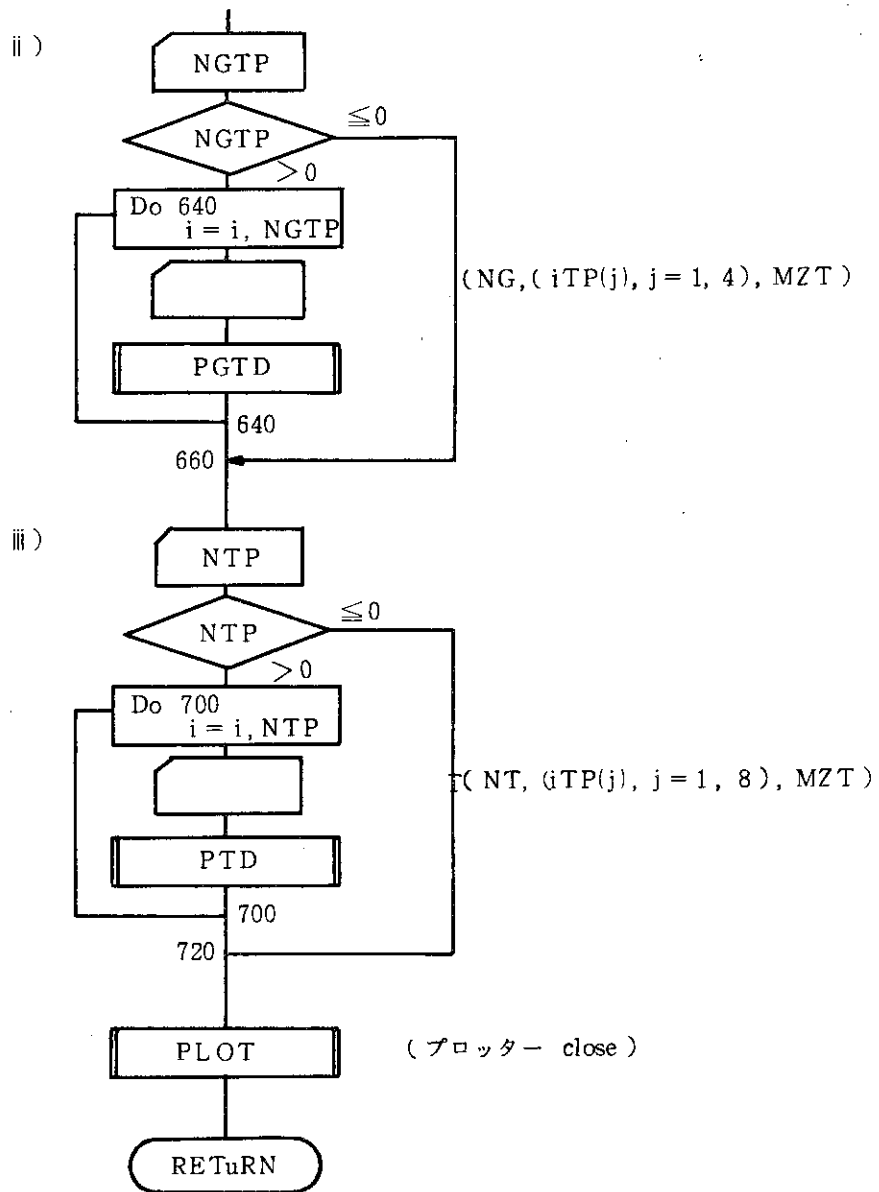
変数名	DIMENSION	
NE		イオン源の個数

③Flow

i)







9)

P D

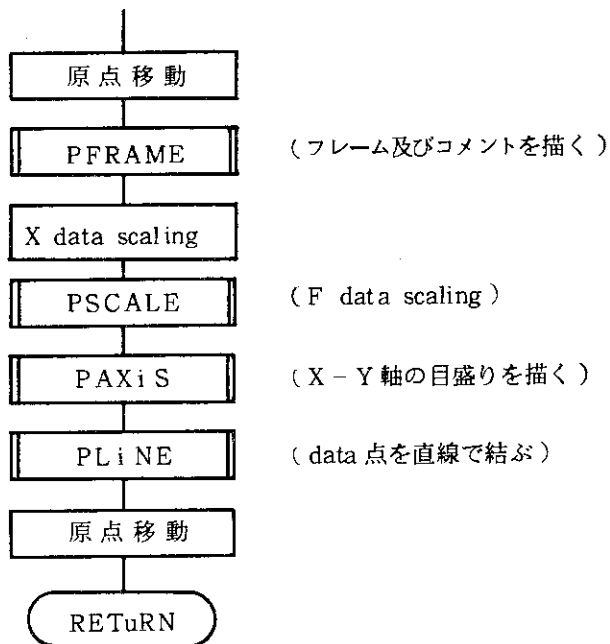
①機能

一次元分布のCOMへの出力

②引数

変数名	DIMENSION	
Y		分布計算 Y 座標値
Z		" Z 座標値
X	(MM)	" X 座標
F	(MM)	分布計算値
X 1		DATA 点 X の最小値
X 2		" 最大値
MM		DATA 点数
I		図の type を識別するフラグ
WIDTH		X 軸展開長
HIGHT		Y 軸展開長

③ Flow



10)

PFRAME

①機能

- i) フレームを描く
- ii) タイトル, 日付, 時刻を描く
- iii) 分布計算を行った X 又は Y 及び Z 座標の値を描く
- iv) 軸のコメントを描く

②引数

変数名	DIMENSION	
VALuE 1		図上に描く X 又は Y の値
VALuE 2		” Z の値
I		図の type を識別するフラグ = 1, 一次元 X 方向分布 = 2, 一次元 Y 方向分布 = 3, 線密度分布 Y 方向に積分 = 4, ” X 方向に積分
WIDTH		X 軸展開長
HIGHT		Y 軸展開長

11)

PSCALE

①機能

プロットする DATA の最大値, 最小値を求めてその値が軸の展開長の中にうまく入るようにスケーリングする。

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
V	(NV)	スケーリングする DATA	IN
NV		DATA の個数	IN
H		軸展開長	IN
VMN	(2)	VMN(1): 最小値, VMN(2): 最大値	OUT
DV		H / (最大値 - 最小値)	OUT
DS		軸の目盛の増分	OUT

12)

PAXIS

①機能

X軸及びY軸の目盛りを描く

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
XMN	(2)	X方向 DATA 最大値, 最小値	IN
DX		X軸展開長 / (X最大値 - X最小値)	IN
DSX		X軸目盛増分	IN
YMN	(2)	Y方向 DATA 最大値, 最小値	IN
DY		Y軸展開長 / (Y最大値 - Y最小値)	IN
DSY		Y軸目盛増分	IN
WIDTH		X軸展開長	IN
HIGHT		Y軸展開長	IN

13)

PLINE

①機能

DATA点を直線で結ぶ

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
X	(MM)	X方向 DATA	IN
Y	(MM)	Y方向 DATA	IN
MM		X-Y DATA 個数	IN
XMN	(2)	X-DATA 最大値, 最小値	IN
YMN	(2)	Y-DATA 最大値, 最小値	IN
DX		X軸展開長 / (X最大値 - X最小値)	IN
DY		Y軸展開長 / (Y最大値 - Y最小値)	IN

14)

PSD

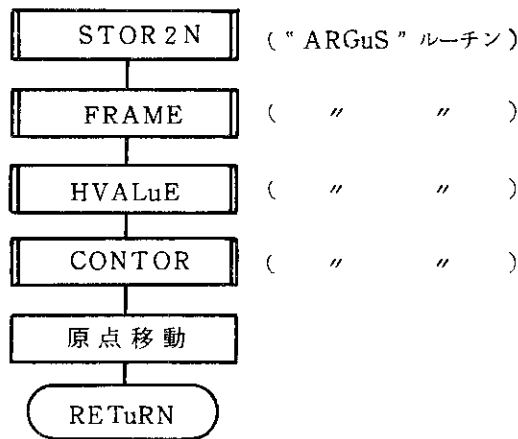
①機能

ARGUS の等高線ルーチンを呼んで、二次元等高線分布図を描く

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
ZD		分布計算を行ったZ座標	IN
X	(MXD)	X座標 DATA	IN
Y	(MYD)	Y座標 DATA	IN
F	(100, 1)	等高値 DATA	IN
XD 1		X方向左端 (最小値) 座標	IN
XD 2		X方向右端 (最大値) 座標	IN
YD 1		Y方向下端 (最小値) 座標	IN
YD 2		Y方向上端 (最大値) 座標	IN
MXD		X-DATA の個数	IN
MYD		Y-DATA の個数	IN
NLM		リミター番号	IN

③Flow



15)

PGTD

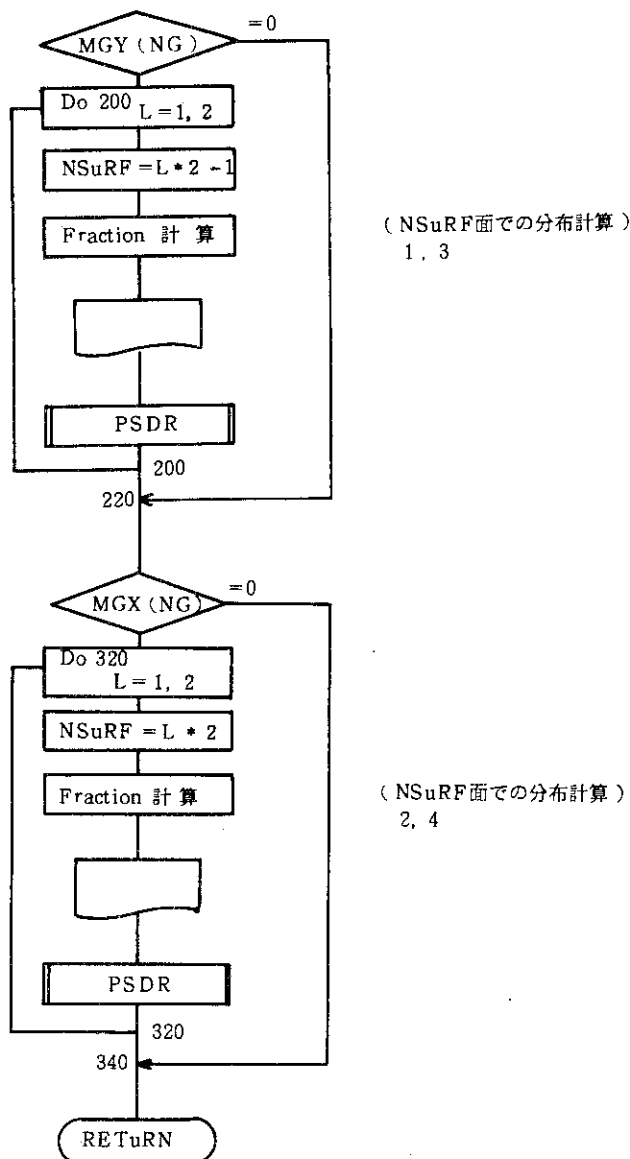
①機能

ガスセルにおける内面熱負荷分布を求める。

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
II		上位ルーチン(DISPLT)でのループ変数	IN
NG		ガスセル番号	IN
ITP	(4)	各面での分布計算フラグ	IN
MZT		Z方向分割数	IN
FF	(3300)	等高値をストアするワーク領域	
XX	(3300)	X座標をストアするワーク領域	
ZZ	(3300)	Z座標をストアするワーク領域	

③Flow



16)

PTD

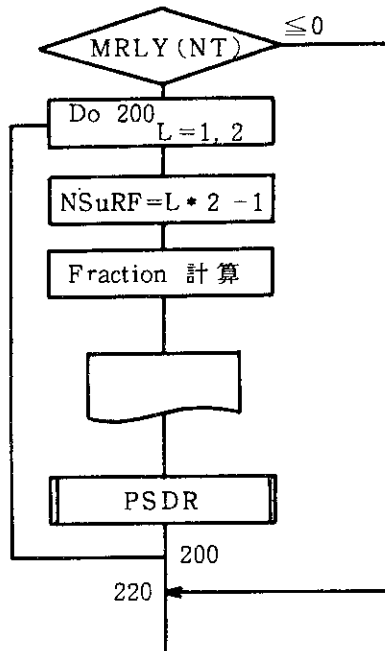
①機能

トンネル型リミターの内面熱負荷分布を求める。

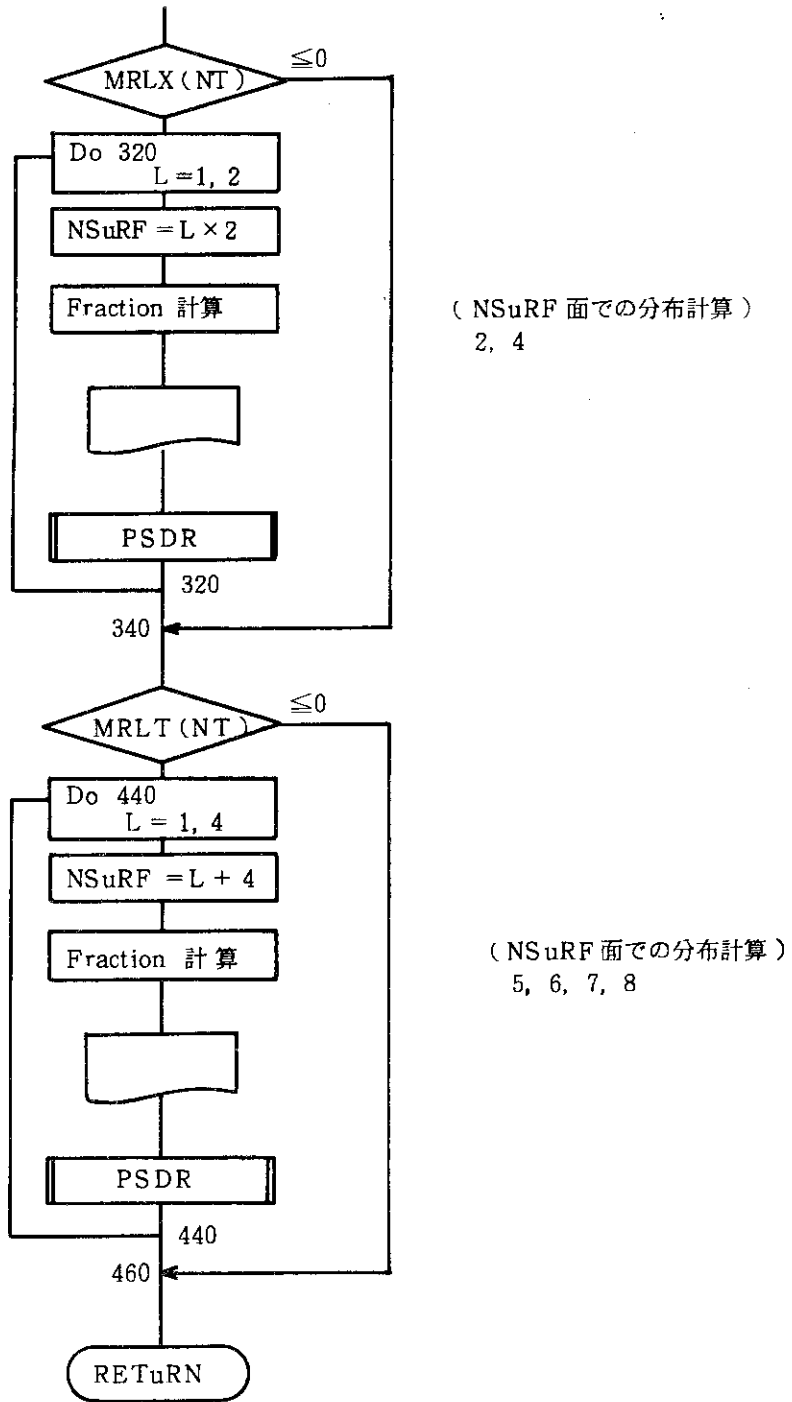
②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
NE		イオン源の個数	IN
II		上位ルーチン(DISPLT)でのループ変数	IN
NT		トンネル入口のリミター番号	IN
ITP	(8)	各面での分布計算フラグ	IN
MZT		Z方向分割数	IN
FF	(3300)	等高値をストアするワーク領域	
XX	(3300)	X座標をストアするワーク領域	
ZZ	(3300)	Z座標をストアするワーク領域	

③ Flow



(NSuRF面での分布計算)
1, 3



17)

PSDR

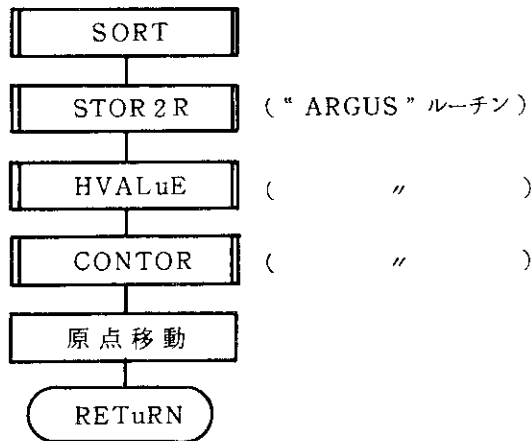
①機能

ARGUS の等高線ルーチンを呼んで内面熱負荷等高線図を描く。

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
N		等高線を描く面の番号	IN
J		DATAの個数	IN
X	(j)	X座標DATA	IN
Z	(j)	Y座標DATA	IN
F	(j)	等高値DATA	IN

③Flow



18)

FRACT

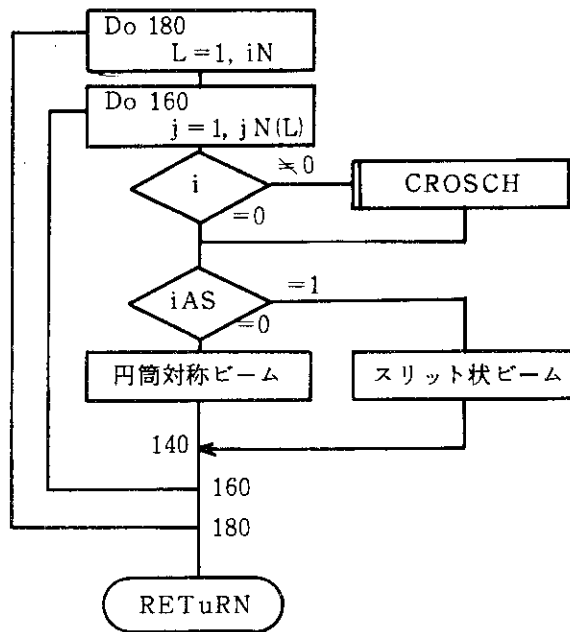
①機能

点 (X, Y, Z) でのビーム強度を求める。

②引数

変 数 名	DIMENSION		IN/OUT
X		ビーム強度を求める X 座標	IN
Y		" Y 座標	IN
Z		" Z 座標	IN
K		計算対象イオン源番号	IN
F		点 (X, Y, Z) でのビーム強度	OUT
I		> 0 の時, リミターとの交差をチェックする	IN
VX		点 (X, Y, Z) での法線単位ベクトル	IN
VY		"	IN
VZ		"	IN

③Flow



19)

CROSCH

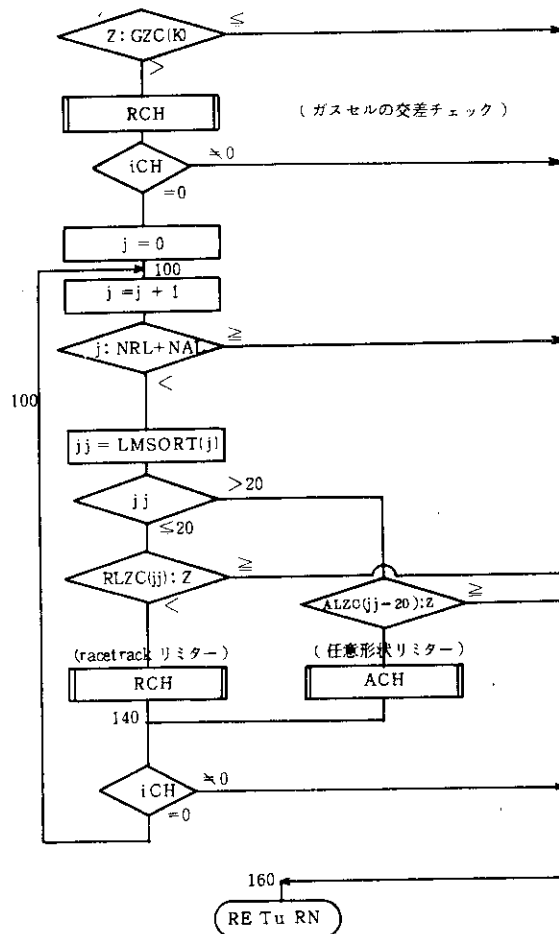
①機能

ビーム強度計算点(X, Y, Z)と電極孔(XX, YY, O)とを結ぶ直線がリミターと交差しているかどうかチェックする。交差している時 ICH=1 としてreturnする。

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
X		ビーム強度計算点X座標	IN
Y		” Y座標	IN
Z		” Z座標	IN
XX		電極孔X座標	IN
YY		” Y座標	IN
K		イオン源番号	IN
I			IN
ICH		交差チェックフラグ	OUT

③Flow



20)

ACH

①機能

点(X, Y, Z)と点(XX, YY, 0)とを結ぶ直線が任意形状リミターと交差しているかどうかチェックする。

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
X		ビーム強度計算点X座標	IN
Y		＂ Y座標	IN
Z		＂ Z座標	IN
XX		電極孔X座標	IN
YY		＂ Y座標	IN
ALXC		任意形状リミターの中心X座標	IN
ALYC		＂ Y座標	IN
ALZC		＂ Z座標	IN
ALDX		X方向メッシュ幅	IN
ALDY		Y方向メッシュ幅	IN
NBLA		境界を表わす点の個数	IN
IYBLA	(100)	境界を表わす点のY座標	IN
IXBLA	(2, 100)	＂ X座標	IN
ICH		交差チェックフラグ	OUT

21)

RCH

①機能

点(X, Y, Z)と点(XX, YY)とを結ぶ直線がracetrack型リミターと交差しているかどうかチェックする。

②引数

変数名	DIMENSION		IN/OUT
X		ビーム強度計算点X座標	IN
Y		＂ Y座標	IN
Z		＂ Z座標	IN
XX		電極孔X座標	IN
YY		＂ Y座標	IN
XC		racetrack型リミターの中心X座標	IN
YC		＂ Y座標	IN
ZC		＂ Z座標	IN
XH		リミターの大きさを表わす長さ	IN
YH		＂	IN
RH		＂	IN
ICH		交差チェックフラグ	OUT

サブルーチン説明表

22)

ルーチン名	CONTOR 2		ソース名	
コーディングス	CONTOR 2			
機能	<p>・トーラス内面上の熱負荷を計算し結果を点の座標と共に出力する。</p> <p>入力データはCOMMON/INPLLT/, COMMON/ION/</p> <p>計算点はX方向, Y方向に最大100点とした。</p>			
配列	DIMENSION X(2), Y(2), Z(2), XX(100), YY(100), ZZ(100, 100)			
引数	変数名	型	I/O	意味
	なし			
CALL ON	FRACT, PSDD			
CALLED BY	MAIN0001			

サブルーチン説明表

24)

ルーチン名		CONTOR 1		ソース名	
コ ン リ ケ ン グ ス	CONTOR 1				
機 能	<p>◦回転面上の熱負荷を計算し結果を点の座標と共に出力する。</p> <p>入力データは COMMON/INPLLF/, COMMON/ION/ 計算点の最大は 2,500 点とした。</p>				
配 列	DIMENSION XX (2,500), YY (2,500), ZZ (2,500), FF (2,500)				
引 数	変 数 名	型	I/O	意 味	
	なし				
CALL ON		FRACT, PSDRR			
CALLED BY		MAINOOO 1			

サブルーチン説明表

25)

ルーチン名	PSDD	ソース名		
コシ リケ ン グス	PSDD (ZD, X, Y, F, XD 1, XD 2, YD 1, YD 2, MXD, MYD, H, XH, YH)			
機 能	。トーラス内面上の熱負荷を ARGUS-V 3 (格子データ処理) を用いて 2次元等高線出力			
配 列	DIMENSION X (MXD), Y (MYD), F (100, 100), IC (2), H (1)			
引 数	変 数 名	型	I/O	意 味
	ZD	R 4	I	0.0 を入力している。
	X	"	"	X座標データ
	Y	"	"	Y座標データ
	F	"	"	等高値データ
	XD 1			} 使用してない
	XD 2			
	YD 1			
	YD 2			
	MXD	I	I	X座標データ点数 (≤ 100)
	MYD	"	"	Y座標データ点数 (≤ 100)
	H	R 4	"	} サブルーチンPSDRR と同様
XH	"	"		
YH	"	"		
CALL ON	ARGUS ルーチン (STOR 2N, FRAME, XWYWGH, SCALE 2, CVKIND, HVALUE, GRID, COMMENT, CONTOR)			
CALLED BY	CONTOR 2			

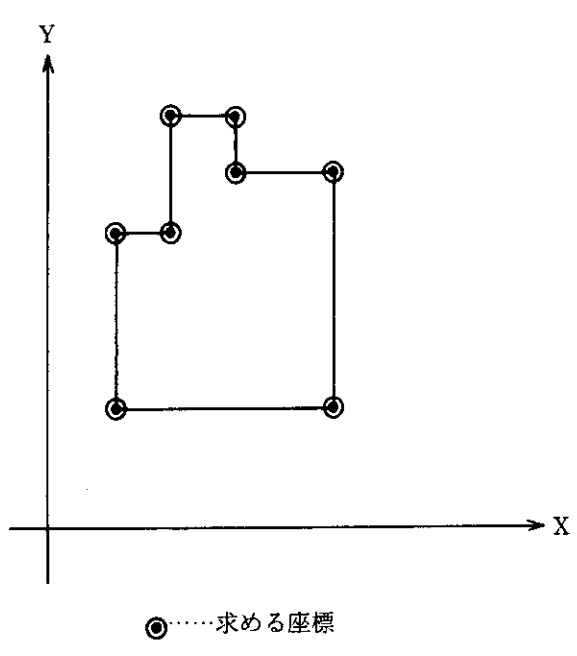
26)

サブルーチン説明表

ルーチン名		SUBNLM		ソース名	
コン ソ リ ケ ン グ ス	SUBNLM (NLM, NRL, NAL)				
機 能	<p>。リミター形状出力番号 (NLM) が race track リミター or 任意形状リミターの何番目を指示しているかを求める。</p> <p>M ≠ 0 → race track リミターの番号</p> <p>N ≠ 0 → 任意形状リミターの番号</p>				
配 列	なし				
引 数	変数名	型	I/O	意味	
	NLM	I	I	指定リミターの番号	
	NRL	"	"	race track リミターの数	
	NAL	"	"	任意形状リミターの数	
	<p>(例) NRL = 3, NAL = 2</p> <p>NLM = 4</p>				
	<p>NLM = 4 で指定されたりミター M = 0 N = 1</p>				
CALL ON	SUBRAC, SUBARB				
CALLED BY	INPUT				

27)

サブルーチン説明表

ルーチン名	SUBARB			ソース名	
コピー リケン グス	SUBARB (N)				
機能	<p>・ N 番目の任意形状リミターを出力するための X-Y 座標点を COMMON/LIMITA/ の入力データより計算し COMMON/COMARB/ に出力する。</p>				
配列	なし				
引数	変数名	型	I/O	意味	
	N	I	I	<p>形状出力の任意形状リミターの番号</p>  <p>●.....求める座標</p>	
CALL ON	なし				
CALLED BY	SUBNLM				

サブルーチン説明表

28)

ルーチン名	SUBRAC			ソース名	
コーディングス	SUBRAC (M)				
機能	<p>・M番目のrace track リミターを出力するためのX-Y座標をCOMMON/LIMITR /の入力データより計算しCOMMON/COMRAC /に出力する。</p>				
配列	DIMENSION X (41), Y (41)				
引数	変数名	型	I/O	意味	
	M	I	I	<p>形状出力のrace track リミター番号</p>	
CALL ON		なし			
CALLED BY		SUBNLM			

サブルーチン説明表

29)

ルーチン名	RAIEQ 1			ソース名	
コン ロー リケ ン グ ス	RAIEQ 1 (YD, XX 1, XX 2, WIDTH, HIGHT)				
機 能	<p>◦ X方向一次元分布上に race track リミター形状の境界線をプロットする。</p> <p>COMMON/COMRAC/ COMMON/LIMITR/</p>				
配 列	DIMENSION XARY 1(4), YARY 1(4), XARY 2(4), YARY 2(4)				
引 数	変 数 名	型	I/O	意 味	
	YD	R 4	I	分布を求めるY座標の値	
	XX 1	"	"	分布を求めるX座標の最小値	
	XX 2	"	"	" 最大値	
	WIDTH	"	"	一次元分布出力のX方向展開長	
	HIGHT	"	"	" Z方向展開長	
CALL ON	CALCOMP ルーチン (PLOT, RECT, NUMBER, SHADE)				
CALLED BY	PD				

サブルーチン説明表

30)

ルーチン名	RAIEQ 2			ソース名	
コン リ ケ ン グ ス	RAIEQ 2 (XD, YY 1, YY 2, WIDTH, HIGHT)				
機 能	<p>◦ Y方向一次元分布上に race trackリミター形状の境界線をプロットする。</p> <p>COMMON/COMRAC/ COMMON/LIMITR/</p>				
配 列	DIMENSION XARY 1(4), YARY 1(4), XARY 2(4), YARY 2(4)				
引 数	変 数 名	型	I/O	意 味	
	XD	R4	I	分布を求めるX座標の値	
	YY 1	"	"	分布を求めるY座標の最小値	
	YY 2	"	"	" 最大値	
	WIDTH	"	"	} サブルーチンRAIEQ 1と同様	
	HIGHT	"	"		
CALL ON	CALCOMP ルーチン (PLOT, RECT, NUMBER, SHADE)				
CALLED BY	PD				

3.5 JCL

① 図形出力がなく、倍精度で計算を行う場合の JCL を下に示す。

```

0100 //JCLG JOB
0200 // EXEC JCLG
0300 //SYSIN DD DATA, DLM='++'
0400 // JUSER 72243009, YO.OHARA, 0025.100
0500 T.7, I.4, C.4, W.4, CLS, SPB
0600 OPTP PASSWORD=30000009, NOTIFY=J3009
0700 //***** JCL OF BEMPROF CODE-2(BEAM FRACTION) *****
0800 // EXEC FORTHE, SO='J3267.BEMPROF', A='ELM(*)', NOS',
0900 // B='AUTODBL(DBL), ALC'
1000 // EXEC LKED, PRVLIB='J2636.ALIB02', GRLIB=PNL
1100 // EXEC GO
1200 //*** EXPAND DISKTO, DDN=SYSIN, DSN='J3009.OHARA1', Q='.FORT(BBDATA)'
1300 //FT97F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TRK, (50,10))
1500 //FT07F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TRK, (50,10))
1700 //FT98F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TRK, (200,10))
1900 //FT99F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TEK, (200,10))
2100 // EXPAND DUMMYNLP
2110 //SYSIN DD *
```

② 図形出力を NLP, リストを CLS に出力する場合の JCL を下に示す

```

0100 //JCLG JOB
0200 // EXEC JCLG
0300 //SYSIN DD DATA, DLM='++'
0400 // JUSER 72243009, YO.OHARA, 0025.100
0500 T.7, I.4, C.4, W.4, CLS, GRP, SPB
0600 OPTP PASSWPRD=30000009, NOTIFY=J3009
0700 //***** JCL OF BEMPROF CODE-2(BEAM FRACTION) *****
0800 // EXEC FORTHE, SO='J3267.BEMPROF', A='ELM(*)', NOS'
1000 // EXEC LKED, PRVLIB='J2636.ALIB02', GRLIB=PNL
1100 // EXEC GO
1200 //*** EXPAND DISKTO, DDN=SYSIN, DSN='J3009.OHARA1', Q='.FORT(BBDATA)'
1300 //FT97F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TRK, (50,10))
1400 //FT97F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TRK, (50,10))
1500 //FT98F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TRK, (200,10))
1600 //FT99F001 DD DISP=(NEW,DELETE), UNIT=WK10, SPACE=(TRK, (200,10))
1700 // EXPAND GRNLP, SYSOOT=K
1800 //SYSIN DD *
```

4. 使 用 法

4.1 メッシュの分割法

本コードにおいて、ビーム強度は単精度計算で解析解と比較して十分な精度が得られるため、一次元分布、二次元分布の計算は倍精度にする必要はない。しかし、ビーム強度分布関数を積分して得られるビーム透過量、ターゲット等へのビーム入射量の計算では、メッシュの分割数によってその精度は大きな影響を受ける。そこで、ビーム入射面のメッシュ分割数をどのように選ぶべきかについて以下に述べる。

第3, 4, 5図は、メッシュ分割数と計算精度（解析解 T_a と数値解 T_c との比較 $T_c - T_a / T_a$ ）との関係を、単精度及び倍精度計算の場合について比較したものである。電極孔は4ケ（本コードでは入力形式上最低4ケの電極孔を入力することになる）、ビーム発散角 ($1/e$) $\omega = 1$ 度、ビームレットの分布関数はガウス分布 ($\alpha = 2$)、ビーム入射面のイオン源からの距離 $Z = 4$ m、焦点距離 $Z_f = 4$ m である。従って、ビーム入射面でのビーム強度分布は、ガウス分布となり解析解と容易に比較できる。第3図は、ビーム入射面の半径 R が 50 mm ($= 0.716 R_e$, $R_e = 4000 \cdot \tan 1^\circ$ [mm])、第4図は、 $R = 100$ mm ($= 1.43 R_e$)、第5図は $R = 200$ mm ($= 2.86 R_e$) の場合である。横軸は R_e を1メッシュの径方向長さ $4R$ で割った値 N で示されている。これらの結果から、単精度計算においては、 $N = 20 \sim 40$ 程度に選べば約 $\pm 0.1\%$ の精度が得られることがわかる。メッシュの分割数が少なすぎたり多すぎたりすると、 $\pm 0.5\%$ 以上の誤差が生じることに注意する必要がある。一方、倍精度計算であれば、 $N \geq 30$ となるようにメッシュを作れば、おおよそ $\pm 0.02\%$ 以下の精度が得られる。単精度計算のように、メッシュ分割数が多くなりすぎてもかえって精度が悪くなるようなことはない。

結局、計算時間も考慮して、

$$N = \frac{Z \tan \omega}{4R} \quad (\text{又は} \frac{Z \tan \omega}{4X}, \text{ 又は} \frac{Z \tan \omega}{4Y}) = 20 \sim 30$$

となるように、最適なメッシュの大きさ $4R$, $4X$, $4Y$ を決めればよいと思われる。第6図は、イオン源から Z の距離にある受熱機器の熱負荷を計算する場合に必要なメッシュの大きさの目安を与えるものであり、ビーム発散角 ($1/e$) がパラメータとして示されている。もっとも、積分計算を行わない、一次元、二次元分布を求める時は、上記のことを考慮する必要はなく、任意にメッシュを決めることができる。

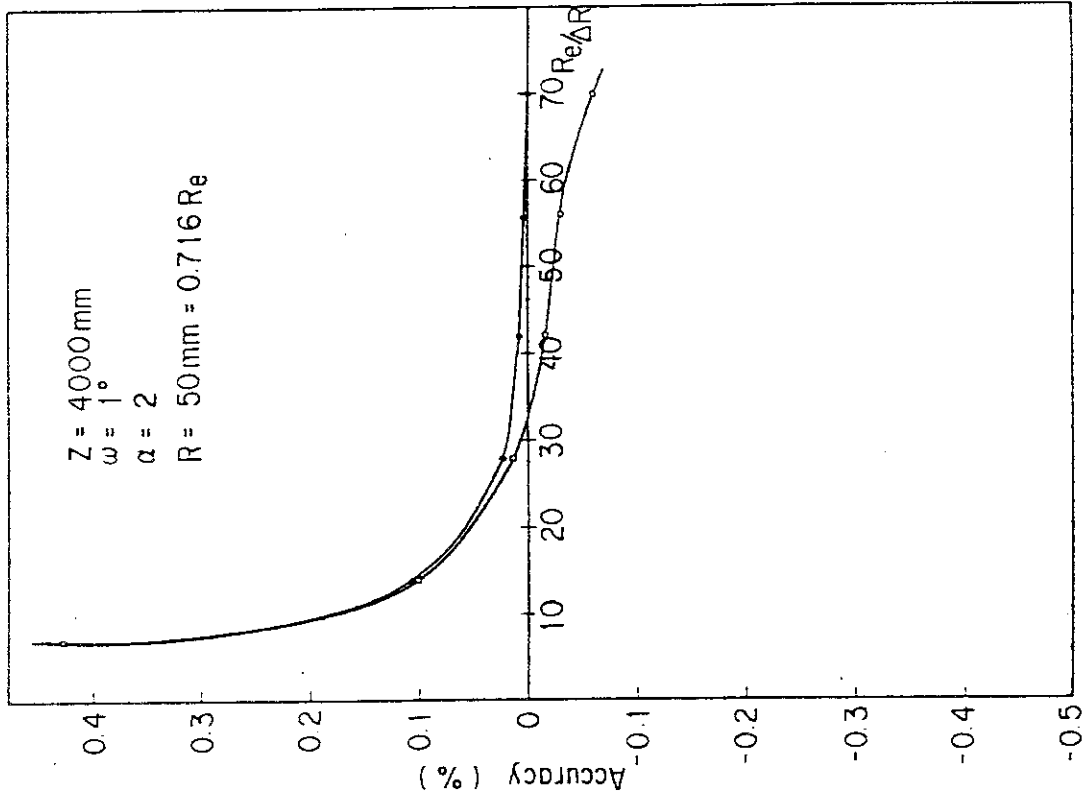
FACOM M200での計算時間は、ビーム入射面とイオン源の間におかれているリミターの数にも依存するが、電極孔の全数 N_S とメッシュの全数 N_M の積にほぼ比例する。電極孔4ケ（本コードの最小入力単位） \times メッシュ点4ケ（レーストラック型リミターの場合の最小入力単位）当りのCPU時間は、単精度で約1.4msec、倍精度で約2.5msecである。ビーム入射面とイオン源の間にリミターが多数ある場合は、計算時間は30~50%増大する。

JT-60 NBI用イオン源では、電極孔は1020ヶである。しかしながら、このように多数の電極孔を入力すれば、長い計算時間を要してしまう。リミター近傍をすれすれに通過してくるようなビームの強度分布を問題とするような場合、又は、ビーム強度分布の裾の部分の問題とするような場合以外は、電極孔の数は大幅に減らしてもさしつかえない。

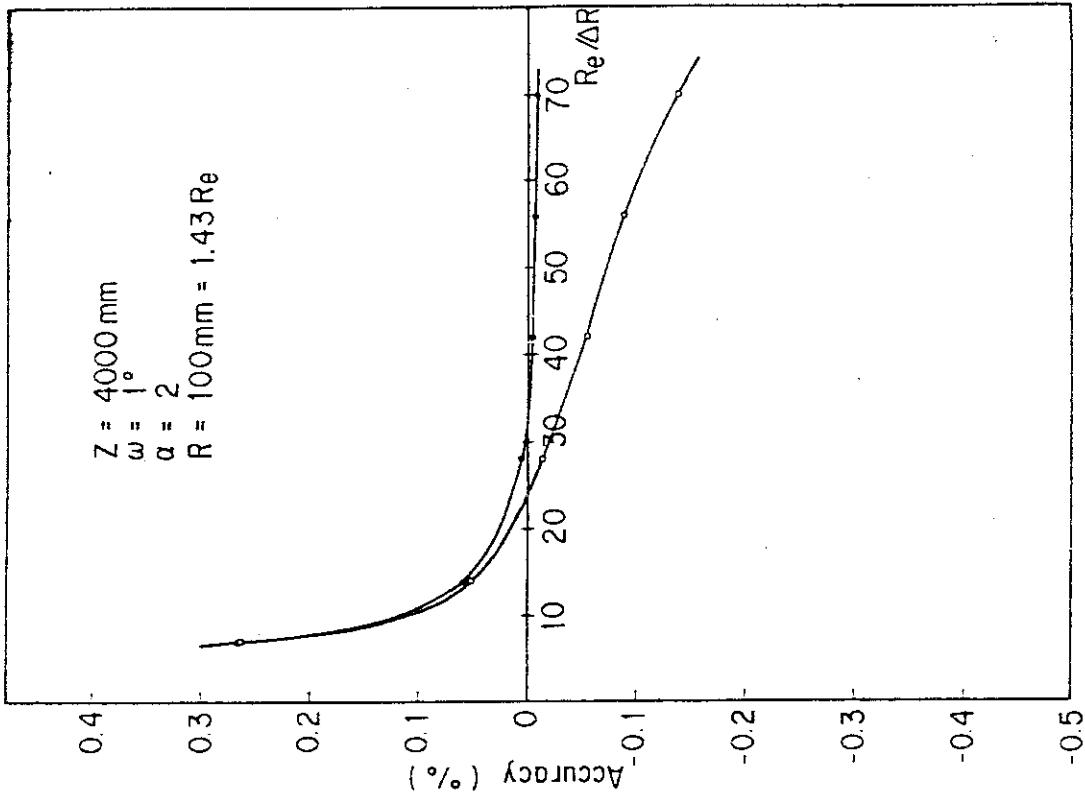
4.2 計算例

JT-60 中性粒子入射加熱装置のビームラインでの各リミターを通過するビームの割合やビーム強度分布を計算する場合の、入力データ、リスト出力、図形出力の一例を60頁以下に示す。ビームの割合は、複数のイオン源があっても1台のイオン源出力を1とした場合の割合で示される。又、中性化しなかったイオンビームを偏向させるための偏向磁石より下流側では、中性粒子ビームのみが入射してくるので計算の出力結果に中性化効率を掛ける必要がある。一方、ビーム強度分布は、1台のイオン源出力を1とした場合の 1 cm^2 の領域に入るビームの割合で出力される。

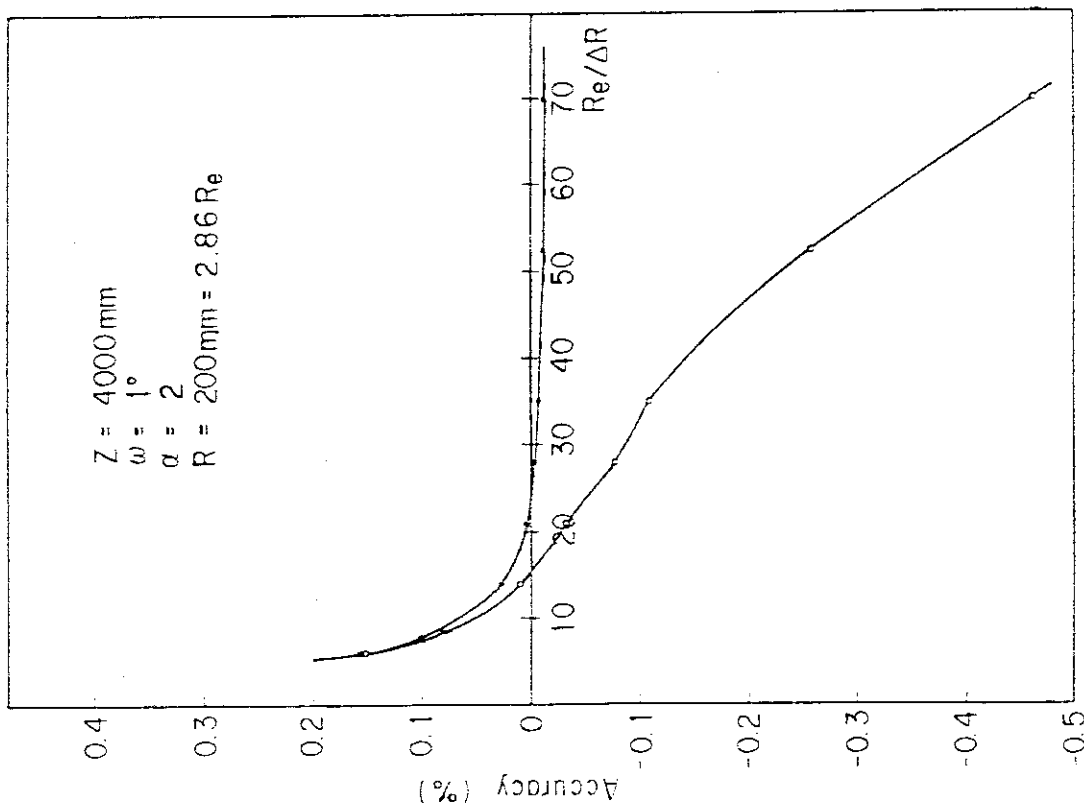
第7図は、一次元分布の図形出力例である。リミターの位置も出力させることができ、リミター面でのビーム強度も知ることができる。第8図は、二次元分布の出力例である。以上は、Z軸に垂直な面での分布であるが、Z軸と任意の角度をもった面上の熱負荷分布も求めることができる。第9図は3点A(0, -400, 3800), B(150, -400, 3300), C(0, 400, 4450)で決まる平行四辺形の面上での熱負荷分布のX-Y平面への投影図を示したものである。又、第10図はJT-60 トーラスの中性粒子ビーム入射ポートの対向面の熱負荷分布を示したものである。THETAはポロイダル方向の角度であり、PHAIはトロイダル方向の角度である。FOCOM M-200を用いた本計算例のCPU時間は25分45秒33, I/O回数2625, 記憶領域/304KBである。



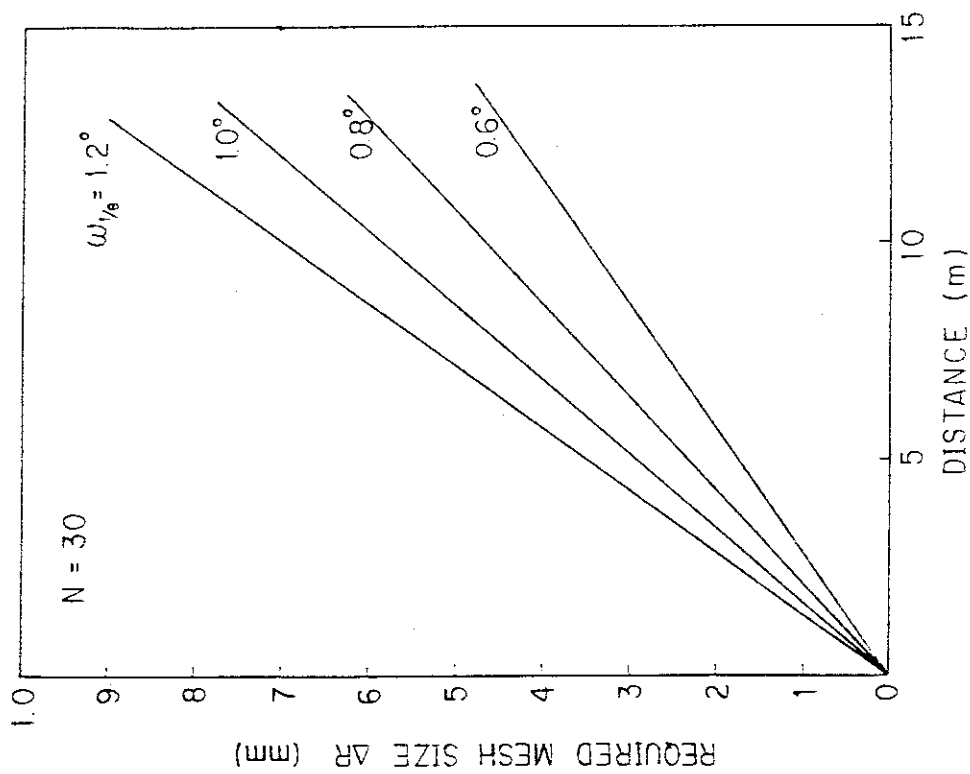
第3図 メッシュ分割数と計算精度の関係を示したものである。計算精度は $Z = 4000 \text{ mm}$ の位置に置かれた直径 100 mm ($R = 0.716 \text{ Re}$) の円形孔を通過するビームの割合の解析解との差の程度を示すものである。○印は単精度の場合であり、●印は倍精度の場合である。



第4図 円形孔の内径が 200 mm の場合 ($R = 1.43 \text{ Re}$) のメッシュ分割数と計算精度との関係。



第5図 円形孔の内径が400 mmの場合 ($R = 2.86 R_e$) のメッシュ分割数と計算精度との関係。



第6図 熱負荷を求める受熱部のイオン源からの距離と受熱部のメッシュの望ましい大きさの関係。



INPUT DATA SHEET

PAGE 1 OF

氏名	口付 / /		プログラム名										JOB NO.		カード色指定		PUNCH																						
	電話		研究子マ番号										IBJOB DECKNAME		備考		YES <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		73-80																				
所属	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2																																							
	0.0	275.0									0.0								0.0										8300.0										
	1.0	8300.0									8300.0								1.0										1.0										
	0.0	-275.0									0.0								0.0										8300.0										
	1.0	8300.0									8300.0								1.0										1.0										
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0																													
	10.0																		13.5																				
1											0.0	200.4518																	70.0										
35	7.0										0.0								0.0										145.0										
0											0.0	-200.4518																	70.0										
35	7.0										0.0								0.0										145.0										
9	0																		1																				
1											0.0								0.0										0.0										
0	2.0										0.0	36							36										100.0										
1											0.0								0.0										0.0										
0	1.3										0.0	37							37										65.0										
0											0.0								0.0										0.0										
20	2										0.0								0.0										100.0										
0											0.0	30							30										30.0										
											0.0								0.0										100.0										

* 73-75: DATAID / 76-R 0: SEQUENTIAL NUMBER

INPUT DATA SHEET



氏名	日付		プログラム名		JOB NO.		カード色指定		PUNCH										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0									
所属	電話		研究テーマ番号		IBJOB DECKNAME		備考		73-80										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
2765.0	800.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3030.0	1000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	30.0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90.0	270.0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1																			
4339.0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0	-250.0	250.0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-250.0	250.0	350.0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0																			
0																			

共通E173 * 73-75:DATAID/76-80:SEQUENTIAL NUMBER

リスト出力 (一部)

```

*** INPUT FOR ION SOURCE ***
NUMBER OF ION SOURCE      2
BEAM TYPE                  0      (=0 APERTURE , =1 SLUT)
ALPHA                      2.00000E+00

ION SOURCE NO. 1
CENTER OF ION SOURCE      ( MM)      XA= 0.0
STEERING POINT           ( MM)      XSP= 0.0
DENSITY                   ( )        UENS= 1.00000E+00
FOCAL LENGTH IN THE CENTER OF ION SOURCE ( MM) FOPX= 8.30000E+03
DIVERGENCE IN THE CENTER OF ION SOURCE ( DEG) DIVX= 1.00000E+00
                                                    FOPY= 8.30000E+03
                                                    DIVY= 1.00000E+00
                                                    ZSP= 8.30000E+03

ION SOURCE NO. 2
CENTER OF ION SOURCE      ( MM)      XA= 0.0
STEERING POINT           ( MM)      XSP= 0.0
DENSITY                   ( )        UENS= 1.00000E+00
FOCAL LENGTH IN THE CENTER OF ION SOURCE ( MM) FOPX= 8.30000E+03
DIVERGENCE IN THE CENTER OF ION SOURCE ( DEG) DIVX= 1.00000E+00
                                                    FOPY= 8.30000E+03
                                                    DIVY= 1.00000E+00
                                                    ZSP= 8.30000E+03

JN(1),I=1, 6
10 10 10 10 10 10
DELX= 1.00000E+01 (MM) DELY= 1.35000E+01 (MM)
    
```

*** INPUT FOR GAS CELL ***

NU.	IG	GXC	GYC	GZC	GXH	GYH	GKH	MGX	MGY	MGK	MGT
1	1	0.0	2.00452E+02	2.25000E+03	7.00000E+01	1.45000E+02	0.0	35	70	0	0
2	0	0.0	-2.00452E+02	2.25000E+03	7.00000E+01	1.45000E+02	0.0	35	70	0	0

*** INPUT FOR LIMITER ***

NUMBER OF LIMITER (DOUBLE KACETRACK) 9

NO.	IKL	KLXC	KLYC	KLZC	KLXH	KLYH	KLKH	MKLX	MKLY	MRLK	MRLI	INT
1	1	0.0	0.0	4.34000E+03	0.0	1.00000E+02	1.80000E+02	0	20	36	25	0
2	1	0.0	0.0	4.88000E+03	0.0	6.50000E+01	1.85000E+02	0	13	37	25	0
3	0	0.0	0.0	5.94000E+03	1.00000E+02	1.50000E+01	2.50000E+02	20	2	30	25	0
4	0	0.0	0.0	6.54500E+03	1.00000E+02	3.00000E+01	2.50000E+02	20	6	30	25	0
5	0	0.0	0.0	6.95000E+03	4.00000E+01	3.00000E+01	2.50000E+02	8	6	30	25	0
6	0	0.0	0.0	7.33000E+03	6.00000E+01	1.50000E+01	2.50000E+02	12	2	30	25	0
7	0	0.0	0.0	7.66000E+03	8.00000E+01	0.0	2.50000E+02	16	0	30	25	0
8	1	0.0	0.0	7.93400E+03	6.95000E+01	0.0	2.50000E+02	9	0	30	25	0
9	0	0.0	0.0	8.10400E+03	6.95000E+01	0.0	2.50000E+02	9	0	30	25	0

NUMBER OF LIMITER (ARBITRARY FORM) 0

LLF# 1

LLF INPUT DATA

0.0	-0.40000E+03	0.38000E+04
0.15000E+03	-0.40000E+03	0.33000E+04
0.0	0.40000E+03	0.44500E+04
0.15000E+03	0.15000E+03	0.0

LLT# 1

LLT INPUT DATA

0.105456E+05	0.935620E+03	0.555072E+04
0.276500E+04	0.800000E+03	0.0
0.105456E+05	0.935620E+03	-0.555072E+04
0.276500E+04	0.800000E+03	0.0
0.303000E+04	0.100000E+04	
0.0	0.300000E+02	50
0.900000E+02	0.270000E+03	70
0.150000E+03	0.150000E+03	0.0

.....
 ... FRACTION ...

... GAS CELL ...

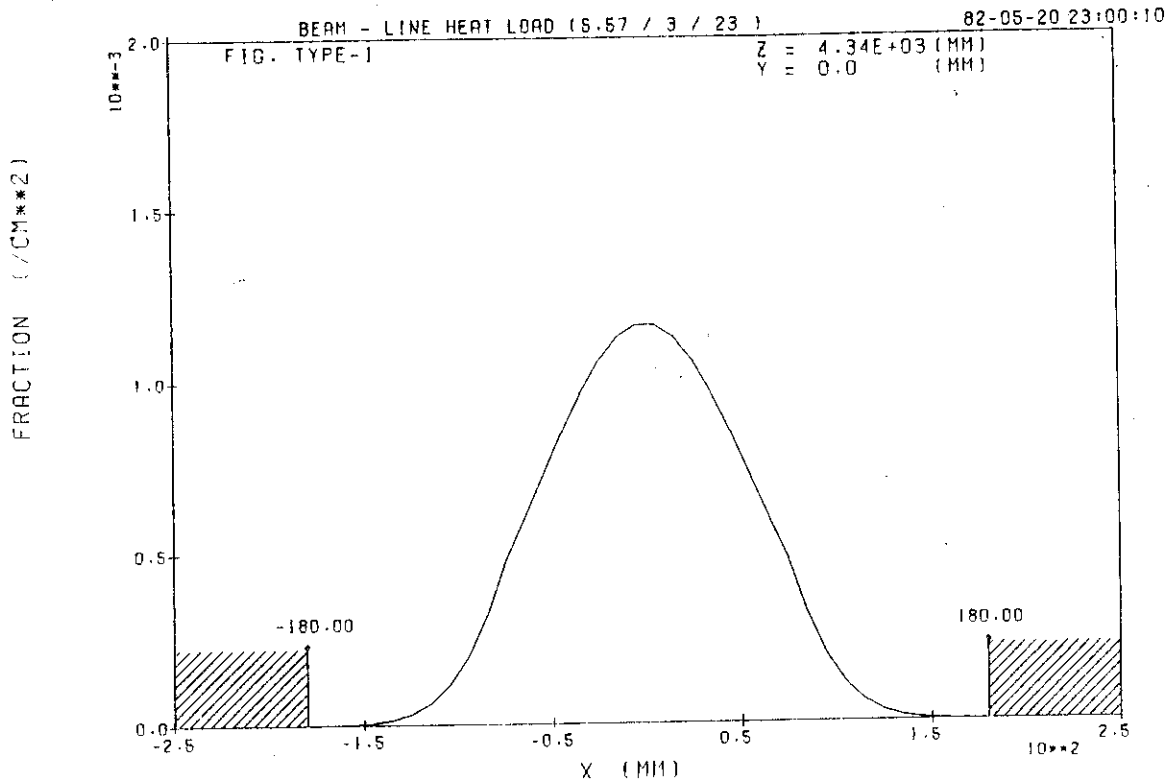
NO.	Z-COORDINATE	FRACTION
1	2.25000E+03	9.35918E-01
2	2.25000E+03	/NUJ CALCULATE/

... LIMITER ...

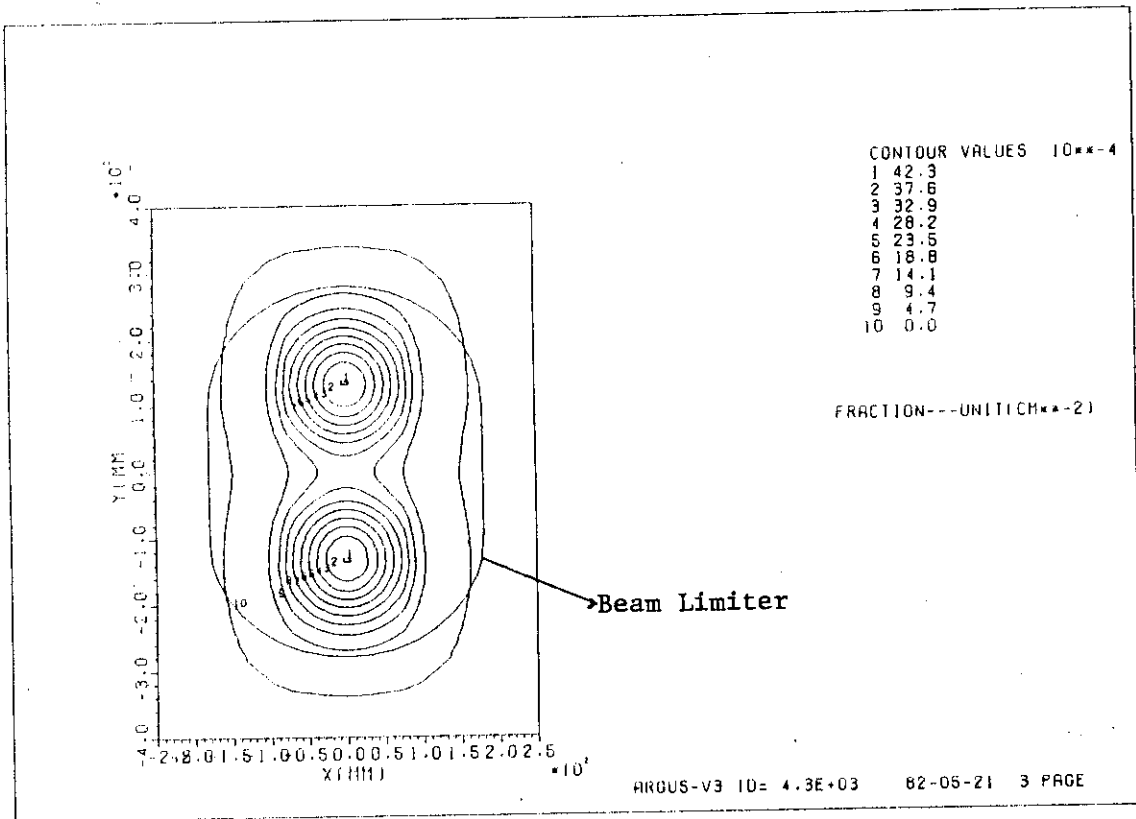
NO.	FORM	Z-COORDINATE	FRACTION(I)	FRACTION(I) -FRACTION(I+1)
1	KACE I RACK	4.34000E+03	1.84915E+00	
2	KACE I RACK	4.88000E+03	1.81550E+00	
*	KACE I RACK	5.94000E+03	/NUJ CALCULATE/	
*	KACE I RACK	6.54500E+03	/NUJ CALCULATE/	
*	KACE I RACK	6.95000E+03	/NUJ CALCULATE/	
*	KACE I RACK	7.33000E+03	/NUJ CALCULATE/	
*	KACE I RACK	7.86000E+03	/NUJ CALCULATE/	
3	KACE I RACK	7.93400E+03	1.80491E+00	
*	KACE I RACK	8.10400E+03	/NUJ CALCULATE/	

3.36523E-02 ← RACETRACK 2 に対応するビームリミッターに入る
 ビームの割合を表わしている。

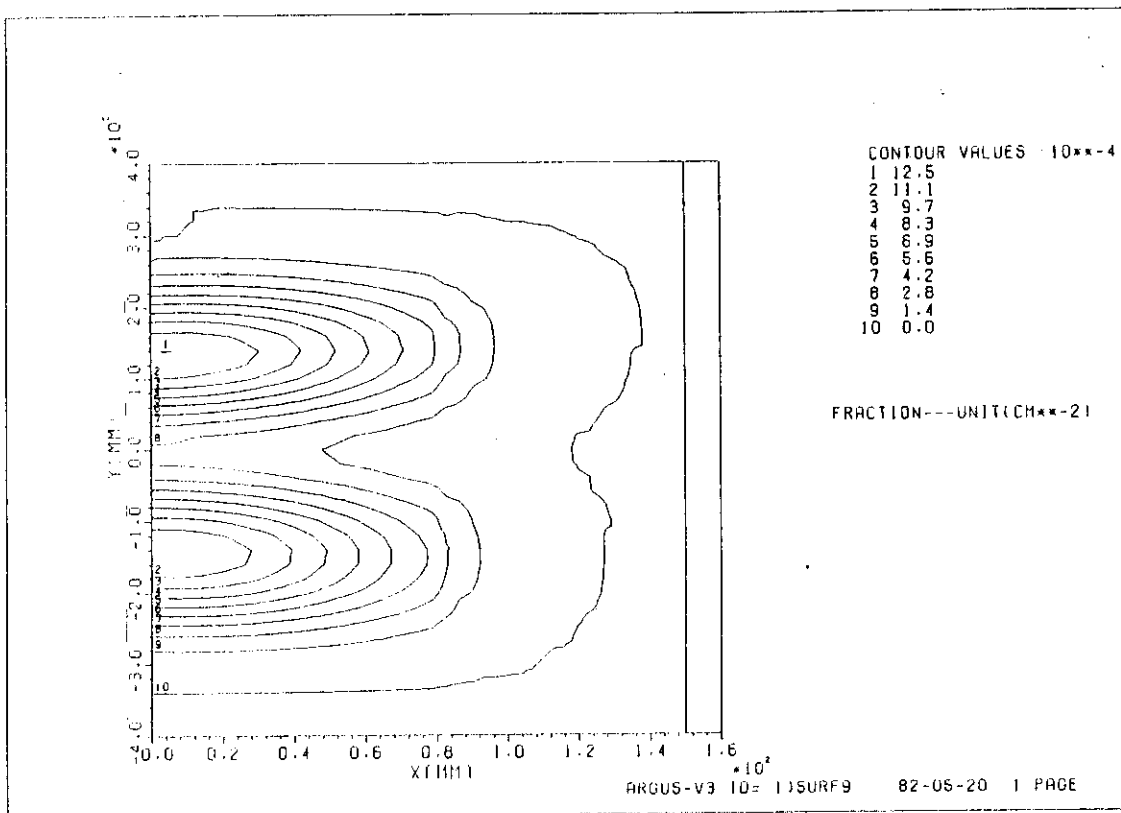
1.05906E-02



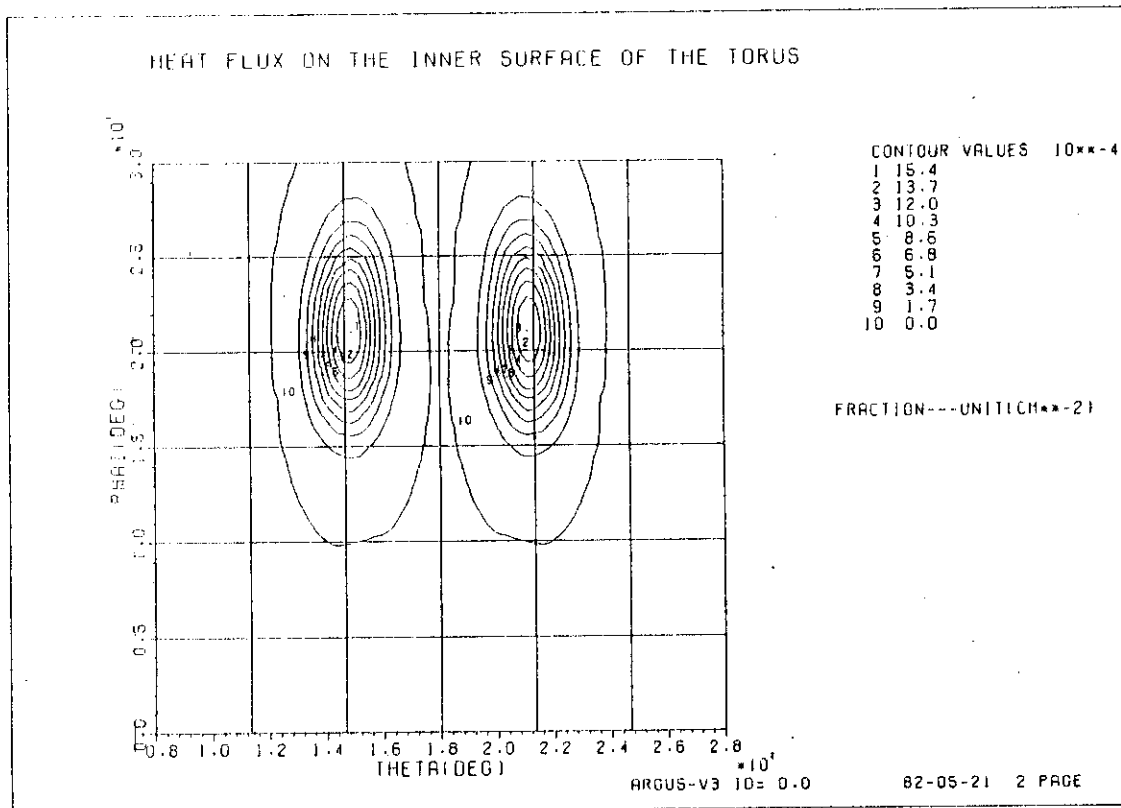
第7図 一次元ビーム強度分布



第8図 二次元ビーム強度分布



第9図 傾斜面上の二次元ビーム強度分布



第10図 トーラス内面熱負荷分布。THETAはポロイダル方向の角度、PHAIはトロイダル方向の角度である。

謝 辞

本計算コードの原プログラムは、筆者によって開発されたものであるが、その後、コードの汎用化、図形出力の改良等の必要が生じたため、2年にわたってコードの拡張及び改良作業が行なわれた。本作業は、富士通株式会社への業務委託により行なわれたものであり、作業を担当された室伏 昭、原口 誠及び佐藤真一の諸氏に対して感謝致します。又、計算機利用に関して適切な助言をいただいた荒木政則氏に感謝致します。

又、本稿をまとめるに当り、終始激励して頂いた加熱工学第一研究室の松田慎三郎氏、大型トカマク開発部第4開発室長の白形弘文氏、加熱工学第一研究室長の田中正俊氏及び核融合研究部部長の小幡行雄氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Jinchoon Kim & J.H. Whealton : Nuclear Instruments & Methods 141 (1977) 187
- 2) L.C. Pittenger, R.R. Stone, L.E. Valby, and L.R. Pedrotti : Proceedings of the 7-th Symp. on Engineering Problems of Fusion Research, (1977) 555
- 3) S. Matsuda : Jpn. J. Appl. Phys. 13 (1974) 1630
- 4) J.H. Whealton : ORNL/TM-6421 (1979)
- 5) A. Maekawa, T. Sato and T. Uede : Jpn. J. Appl. Phys. 21 (1982) 337
- 6) A.C. Paul : UCID-3827 (1976)
- 7) 伊藤孝雄, 堀池寛, 松岡守, 松田慎三郎, 小原祥裕, 田中茂 : JAERI - M 9226
- 8) Y. Ohara : Jpn. J. Appl. Phys. 18 (1979) 351

謝 辞

本計算コードの原プログラムは、筆者によって開発されたものであるが、その後、コードの汎用化、図形出力の改良等の必要が生じたため、2年にわたってコードの拡張及び改良作業が行なわれた。本作業は、富士通株式会社への業務委託により行なわれたものであり、作業を担当された室伏 昭、原口 誠及び佐藤真一の諸氏に対して感謝致します。又、計算機利用に関して適切な助言をいただいた荒木政則氏に感謝致します。

又、本稿をまとめるに当り、終始激励して頂いた加熱工学第一研究室の松田慎三郎氏、大型トカマク開発部第4開発室長の白形弘文氏、加熱工学第一研究室長の田中正俊氏及び核融合研究部部長の小幡行雄氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Jinchoon Kim & J.H. Whealton : Nuclear Instruments & Methods 141 (1977) 187
- 2) L.C. Pittenger, R.R. Stone, L.E. Valby, and L.R. Pedrotti : Proceedings of the 7-th Symp. on Engineering Problems of Fusion Research, (1977) 555
- 3) S. Matsuda : Jpn. J. Appl. Phys. 13 (1974) 1630
- 4) J.H. Whealton : ORNL/TM-6421 (1979)
- 5) A. Maekawa, T. Sato and T. Uede : Jpn. J. Appl. Phys. 21 (1982) 337
- 6) A.C. Paul : UCID-3827 (1976)
- 7) 伊藤孝雄, 堀池寛, 松岡守, 松田慎三郎, 小原祥裕, 田中茂 : JAERI - M 9226
- 8) Y. Ohara : Jpn. J. Appl. Phys. 18 (1979) 351