

JAERI-Research

95-055



簡易矩形モデルを用いたダイバータ部
中性粒子挙動の評価

1995年8月

永島圭介

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

本レポートは、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、お申し越してください。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。

This report is 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, 1994

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 ㈱原子力資料サービス

簡易矩形モデルを用いたダイバータ部中性粒子挙動の評価

日本原子力研究所那珂研究所炉心プラズマ研究部

永島 圭介

(1995年7月20日受理)

ダイバータ領域の中性粒子挙動を評価するための簡易モデルを開発した。このモデルは、矩形のダイバータ領域における中性粒子挙動をモンテカルロ法で解析するものであり、トカマク型装置のダイバータ基本特性を評価する上では極めて有効なものである。このモデルを定常炉心試験装置(JT-60SU)のダイバータ設計に適用して、ガイドラインとなる設計値を決定した。さらに、ダイバータ板の傾斜角、排気口の設置位置等を最適化することによって、主プラズマへの逆流を抑制しつつ高効率の排気が可能であることを示した。

Evaluation of Neutral Particle Behavior in Divertor Region
Using Simple Rectangular Model

Keisuke NAGASHIMA

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

(Received July 20, 1995)

A simple model was developed in order to evaluate neutral particle behavior in divertor region. In this model, neutral particle behavior in a rectangular region is analyzed using Monte-Carlo calculation. This model is effective for evaluating the neutral particle characteristics in the divertor region of tokamak devices. This model was applied to the divertor design of JT-60 Super Upgrade and several guide-line values were determined. It was shown that neutral particles are efficiently exhausted and back-flow neutrals are suppressed enough, by optimizing the inclination of the divertor plate and the location of the pumping throat.

Keywords: Divertor, Neutral Particle, Monte-carlo Calculation, Tokamak, JT-60
Super Upgrade

目 次

1. 序 論	1
2. 簡易矩形モデル	1
3. 定常炉心試験装置 (JT-60SU) への適用	5
4. 結 論	7
謝 辞	8
参考文献	8

Contents

1. Introduction	1
2. Simple Rectangular Model	1
3. Application to JT-60 Super Upgrade	5
4. Conclusion	7
Acknowledgements	8
References	8

1. 序 論

トカマク型装置のダイバータは、熱除去と粒子排出を主な目的としている。トカマク型核融合炉におけるダイバータ領域への熱流束は、 $30\text{-}60\text{MW/m}^2$ 以上と極めて高い値になることが予想され、現時点でこれを満足する材料はない。従って、ダイバータプラズマを調整して、直接ダイバータ板へ来る熱量を減らす必要がある。現在までに、高密度かつ低温のダイバータプラズマを生成して不純物による輻射熱放出を大きくする [1]、或いは、中性粒子密度を大きくしてダイバータ板へのプラズマ流束を無くしてしまう（ガスターゲットダイバータ [2]）等が提案されている。一方、粒子排出に関しては、核融合生成物であるヘリウム灰、及び、不純物濃度を低く抑えなければならないため、ダイバータ領域から主プラズマ領域への逆流を少なくした効率的な粒子排出を行なう必要がある。

トカマク型装置のダイバータを設計する場合には、その基本形状が中性粒子の挙動に大きな影響を与え、排気性能を決定するため、詳細な数値計算を必要とする場合が多い。しかし、実際のプラズマ平衡配位と真空容器及びダイバータ形状に対して中性粒子束等を計算するには、かなりの労力と計算時間を必要とする。このため、装置設計において基本的なダイバータ形状等を評価、決定するためには、より簡便な計算手法を用いる方が効率的である。

以上のことから、ダイバータ領域での中性粒子挙動を評価するための簡易的な計算モデルを開発した。このモデルでは、ダイバータ部を矩形領域で考え、中性粒子の挙動をモンテカルロ法で計算する。次章では、この簡易矩形モデルの詳細を述べる。さらに、3章では、定常炉心試験装置（JT-60SU） [3] のダイバータ基本設計にこのモデルを適用した結果について述べる。

2. 簡易矩形モデル

本モデルでは、ダイバータ部を矩形領域で考え、中性粒子の挙動をモンテカルロ法で計算する。図1には、バッフル板等により閉じたダイバータ（closed divertor）の概要図を示した。ダイバータ部の主な構造物は、内側及び外側ダイバータ板、内側及び外側バッフル板とプライベート部バッフル板である。一般に、閉じたダイバータ構造を実現するためには、

- ・ X点からダイバータ板までの距離を長くする、
- ・ ダイバータ板で発生する中性粒子が主プラズマ側へ逆流するのを抑えるため、凹形状にバッフル板を配置する、
- ・ ダイバータ領域でのセパトリックス磁気面に沿ってプライベート部バッフル板を配置し、その間隔を小さくする、

1. 序 論

トカマク型装置のダイバータは、熱除去と粒子排出を主な目的としている。トカマク型核融合炉におけるダイバータ領域への熱流束は、 $30\text{-}60\text{MW/m}^2$ 以上と極めて高い値になることが予想され、現時点でこれを満足する材料はない。従って、ダイバータプラズマを調整して、直接ダイバータ板へ来る熱量を減らす必要がある。現在までに、高密度かつ低温のダイバータプラズマを生成して不純物による輻射熱放出を大きくする [1]、或いは、中性粒子密度を大きくしてダイバータ板へのプラズマ流束を無くしてしまう（ガスターゲットダイバータ [2]）等が提案されている。一方、粒子排出に関しては、核融合生成物であるヘリウム灰、及び、不純物濃度を低く抑えなければならないため、ダイバータ領域から主プラズマ領域への逆流を少なくした効率的な粒子排出を行なう必要がある。

トカマク型装置のダイバータを設計する場合には、その基本形状が中性粒子の挙動に大きな影響を与え、排気性能を決定するため、詳細な数値計算を必要とする場合が多い。しかし、実際のプラズマ平衡配位と真空容器及びダイバータ形状に対して中性粒子束等を計算するには、かなりの労力と計算時間を必要とする。このため、装置設計において基本的なダイバータ形状等を評価、決定するためには、より簡便な計算手法を用いる方が効率的である。

以上のことから、ダイバータ領域での中性粒子挙動を評価するための簡易的な計算モデルを開発した。このモデルでは、ダイバータ部を矩形領域で考え、中性粒子の挙動をモンテカルロ法で計算する。次章では、この簡易矩形モデルの詳細を述べる。さらに、3章では、定常炉心試験装置（JT-60SU） [3] のダイバータ基本設計にこのモデルを適用した結果について述べる。

2. 簡易矩形モデル

本モデルでは、ダイバータ部を矩形領域で考え、中性粒子の挙動をモンテカルロ法で計算する。図1には、バッフル板等により閉じたダイバータ（closed divertor）の概要図を示した。ダイバータ部の主な構造物は、内側及び外側ダイバータ板、内側及び外側バッフル板とプライベート部バッフル板である。一般に、閉じたダイバータ構造を実現するためには、

- ・ X点からダイバータ板までの距離を長くする、
- ・ ダイバータ板で発生する中性粒子が主プラズマ側へ逆流するのを抑えるため、凹形状にバッフル板を配置する、
- ・ ダイバータ領域でのセパトリックス磁気面に沿ってプライベート部バッフル板を配置し、その間隔を小さくする、

等が必要となる。以上の配置等を考慮すると、ダイバータ部の形状は図2に示すような矩形の領域で模擬することが出来る。実際のダイバータ部形状は、様々な構造的制約等のため理想的な閉じたダイバータ配置を実現することは困難であるが、基本的な中性粒子の挙動を評価する上では、図2の矩形領域で閉じたダイバータ構造をモデル化するのは妥当であると考えられる。

次に、ダイバータ部の中性粒子に関して評価すべきパラメータを考える。ダイバータ領域でのプラズマ流は、磁力線に沿ってダイバータ板方向へ流れて来て、ダイバータ板上で中性化される。この内の一部は高いエネルギーを持って反射されるが、残りの部分は分子として放出され、プラズマ中で解離、再イオン化される。一部の中性粒子は、真空領域に達し、壁での反射、吸収、再放出を繰り返しながら進んでいく。また、別の中性粒子は、プラズマ中を荷電交換しながらイオン化されるまで進んでいくことになる。こうした中性粒子挙動は最終的に、プラズマ中でイオン化されるか、中性粒子のまま領域外に逃げていくことになる（定常状態では、壁での吸収、放出量はつり合っていると考える）。従って、評価すべき中性粒子パラメータとしては、

- ・ダイバータ部のプラズマ領域でのイオン化分布、
- ・ダイバータ部の境界領域からのエスケープ分布、

が主要なものと考えられる。特に、後者は、ダイバータ部からの中性粒子排気量、及び、主プラズマ側への逆流量を決定するのでもあり、ダイバータ形状の基本設計にとって極めて重要なパラメータとなる。

本モデルでは、ダイバータ部を図2に示す矩形領域で考え、ダイバータ板上から発生させた中性粒子の運動をモンテカルロ法により計算する。このモデルでは、中性粒子について以下に示す仮定、及び、単純化を行なっている。

- ・ダイバータ板及び壁から放出される粒子は原子状の中性粒子とし、分子過程は考えない。また、放出される中性粒子の方向は、壁面に対して法線方向にcosine関数の重みを持った分布とする。放出される中性粒子のエネルギーは一定とする（標準値は5eVとする）。

- ・プラズマ中での荷電交換反応により、中性粒子のエネルギーはその位置でのイオン温度に置き換わる。反応後の運動方向は等方的とする。

- ・プラズマ中及び真空中において、中性粒子同士の衝突は考えない。従って、中性粒子圧は分子流領域にあるとする。

プラズマ中でのイオン化については、電子によるイオン化のみを考え（温度1keV以下ではイオンによるイオン化は無視出来る）、イオン化及び荷電交換の断面積は参考文献[4]より得た。

ダイバータ領域のプラズマパラメータを計算するには、参考文献[5]と同様の方法を用いた。この方法では、ダイバータ板上でのプラズマ密度と温度を与え、磁気面に垂直方向の輸送は無視して、磁力線方向のみの分布を計算する。参考文献[5]では、プラズマ流体方程式（電子とイオンの2流体として）を数値計算で解いているが、ここでは計算時間を省力化するために、電子温度とイオン温度が等しい1流体として、次の

ような解析的手法を用いた。まず、定常時の粒子保存則は、

$$\nabla_z \Gamma_z = S_p(z) \quad (1)$$

上式で、 z はダイバータ板上を $z=0$ とする磁力線方向の位置変数、 Γ_z は磁力線方向の粒子束、 S_p は中性粒子のイオン化による粒子源である。 S_p はダイバータ板から離れていくとほぼ指数関数的に減少していくため、その近似的な分布は

$$S_p(z) = S_0 \exp\left(-\frac{z}{\lambda_z}\right) \quad (2)$$

で表される。ここで、 S_0 は粒子源の絶対値に対応する定数、 λ_z は z 方向の減衰長である。磁力線方向の粒子束は、

$$\Gamma_z(z) = n(z)c_s(z)M(z) \quad (3)$$

であり (n 、 c_s 、 M は、密度、音速、マッハ数である)、ダイバータ領域での粒子増倍率が十分大きい場合 (>10) には、上式 (1) - (3) から、以下の関係が得られる。

$$n(z)c_s(z)M(z) = n_d c_{sd} \exp\left(-\frac{z}{\lambda_z}\right) \quad (4)$$

上式で、 n_d 及び c_{sd} はダイバータ板上での値であり、ダイバータ板上でのマッハ数を1とした。

一方、磁力線方向の運動量保存から

$$\{1+M(z)^2\}n(z)T(z) = 2n_d T_d \quad (5)$$

が得られる。ここで、 n_d 及び T_d はダイバータ板上での密度及び温度である。式 (4) と (5) から

$$\frac{1+M(z)^2}{M(z)} = 2\sqrt{\frac{T_d}{T(z)}} \exp\left(\frac{z}{\lambda_z}\right) \quad (6)$$

が得られ、これを M に関する2次方程式と見なせば、その解は

$$M(z) = \sqrt{\frac{T_d}{T(z)}} \exp\left(\frac{z}{\lambda_z}\right) \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{T(z)}{T_d} \exp\left(-\frac{2z}{\lambda_z}\right)} \right\} \quad (7)$$

となる。

最後に、エネルギー保存則を考える。磁力線方向のエネルギー流束を q_z とし、輻射及びイオン化による単位体積当りのエネルギー損失を S_h とすると、エネルギー保存則は

$$\nabla_z q_z = -S_h(z) \quad (8)$$

である。エネルギー流束 q_z は、

$$q_z(z) = -\kappa_0 T(z)^{5/2} \frac{\partial T(z)}{\partial z} - 5n(z)T(z)c_s(z)M(z) \quad (9)$$

で与えられる（参考文献 [5]、 κ_0 は定数である）。式 (8) と (9) から、

$$T(z)^{7/2} = T_d^{7/2} + \frac{7q_d}{2\kappa_0} z + \frac{7}{2\kappa_0} \int_0^z 5n(z)T(z)c_s(z)M(z)dz \\ + \frac{7q_d}{2\kappa_0} \frac{f_{rad}}{1-f_{rad}} \int_0^z \left(\int_0^{z'} S_h(z') dz' \right) \left(\int_0^L S_h(z') dz' \right) dz \quad (10)$$

が求まる。上式で、 q_d はダイバータ板上でのエネルギー流束で $q_d = \gamma T_d n_d c_{sd}$ である（ γ は熱伝達係数で7程度の値である [6, 7]）。 f_{rad} はダイバータ領域での全エネルギー損失割合であり、 L はダイバータ領域の磁力線方向の長さである。

従って、式 (5)、(7)、(10) から、密度、温度、及び、マッハ数について磁力線方向の分布が計算できる。エネルギー損失の分布 S_h については、参考文献 [5] と同様に仮定し、式 (2) の指数関数分布で与えた。

以上の方法を用いて計算した中性粒子のイオン化分布の例を図3に示す。また、この計算で用いたダイバータ板上でのプラズマ密度、温度分布を図4に示す。ダイバータ板上での粒子の発生分布は、式 (3) を用いて密度と温度の平方根の積に比例するとした。図3で、プライベート部バッフル板とプラズマ領域との幅（真空領域）は0.05mとし、左右の排気口の幅は0.05mとした。図中の矢印で示した数字は、ダイバータ板上から発生した全粒子数に対するそれぞれの領域から域外に逃げた粒子数の割合である（但し、左右の排気口、及び、矩形領域上方へ達した粒子はすべて域外に逃げるとした）。また、イオン化分布の等高線上に示した数値は相対値である。多くの粒子が真空領域を通過して磁力線上方へ到達していることが分かる。従って、中性粒子の主プラズマ側への逆流を抑制するには真空領域の幅を小さくすることが重要である。

3. 定常炉心試験装置 (JT-60SU) への適用

定常炉心試験装置のダイバータ基本パラメータを評価するために、本モデルを用いて中性粒子分布を計算した。図5に矩形領域のパラメータを示す。定常炉心試験装置ダイバータ部の概略寸法は

$$\begin{aligned} L_x &= 0.30 \sim 0.60 \text{ m (0.40 m)} \\ L_y &= 0.30 \sim 0.60 \text{ m (0.50 m)} \\ L_v &= 0.05 \sim 0.15 \text{ m (0.05 m)} \\ L_1, L_2 &= 0.025 \sim 0.15 \text{ m (0.05 m)} \\ q &= -40 \sim +40^\circ \quad (0) \end{aligned}$$

である (括弧内は標準設計値である)。また、計算で用いたプラズマパラメータは

プラズマ大半径	4.8 m
プラズマ小半径	1.4 m
表面での安全係数	7.4
ダイバータ上でのピーク密度	$1.0 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$
ダイバータ上でのピーク温度	10 eV
ダイバータ上での密度 e^{-1} 長さ	0.16 m
ダイバータ上での温度 e^{-1} 長さ	0.32 m
ダイバータ領域での輻射熱損失割合	0.75

とした。

図6から図10に、ダイバータ部の各寸法を変化させた場合の計算結果を示す。図中で横軸にとったパラメータ以外の寸法は、上記の標準設計値を用いた。計算結果は、図2及び図5に示した排気口と矩形領域の上部から領域外に逃げる粒子の割合を示している。図中の表示は

- R1: プライベート部側排気口から逃げる粒子の割合
- R2: バッフル側排気口から逃げる粒子の割合
- Rp: ダイバータプラズマ領域上部から逃げる粒子の割合
- Rv: 真空領域上部から逃げる粒子の割合

である。

図6では、 L_x を増やしていくと急激にRpが大きくなっている。これは磁気面垂直方向のプラズマの厚み (ダイバータ上での密度 e^{-1} 長) より L_p を大きくしたため、バッフル板側の低密度領域から逃げる中性粒子数が急増したためである。効率的なヘリウム排気のためには、主プラズマ側への逆流量を2%以下にする必要がある [8]、これを実現するには L_p を密度 e^{-1} 長の2倍程度以下にする必要がある。また、バッフル側に排気口を設ける場合、排気粒子数 (R2) は L_p に強く依存することが分かる。

図7では、 L_y を増やすにしたがって、Rpが減少していく度合いが分かる。逆流量を2%以下にするためには、 L_y は0.4 m以上必要である。

図8では、 L_v を増やすにしたがって、 R_1 が減少し、 R_v が増加する度合いが分かる。 R_2 及び R_p の変化は図6で示したものと同一である。逆流抑制と排気の面からは、可能な限り L_v を小さくしたいが、製作精度（ ~ 1 cm）及びプラズマの広がり（ \sim 数 cm）を考慮すると5 cm以下にすることは難しい。

図9では、 L_1 及び L_2 に対する R_1 及び R_2 の依存性を示した。 L_1 及び L_2 が ~ 0.1 m以上では、 R_1 及び R_2 の値が飽和する様子が分かる。排気口から領域外へ出た粒子がダイバータ領域へ逆流してくる割合は L_1 及び L_2 にほぼ比例すると考えられるため、 ~ 0.1 m以上では全体としての排気効率が低下することになる。

図10では、ダイバータ板の傾斜角に対する依存性を示した。排気口をプライベート部側にするかバッフル側にするかによって、望ましいダイバータ板の傾斜角は反対になる。傾斜角を正側へ大きくする場合、排気口をプライベート部側にするのが望ましいが、バッフル側（矩形領域の右側）でのダイバータ板から主プラズマ側への磁力線方向距離が短くなるため R_p が急増する。また、この場合、傾斜角を大きくするとかえって R_1 が減少する場合がある。これは、プラズマ領域から見た排気口の開口面積（立体角）が減少するためである。従って、排気口をプライベート部側にして傾斜角を大きくする場合は、排気口の位置を上方にずらして最適化する必要がある。

次に、図11及び図12では、プラズマパラメータを変えた時の計算結果を示す。ダイバータ部の各寸法は標準設計値とした。図11は、ダイバータ上での密度 e^{-1} 長さを変えた時の結果である。温度の e^{-1} 長は密度 e^{-1} 長の2倍とした。図6で示したのと同様に、密度 e^{-1} 長が L_p より短くなると R_p が急増することが分かる。図12では、ダイバータ上でのピーク温度及び密度を変えて計算した結果を示す。図12の上図はダイバータ上での密度は一定にして、温度と共にダイバータ領域での輻射熱損失割合を変化させた場合である（温度が10、20、30、40 eVの時、輻射熱損失割合は0.75、0.5、0.25、0.0とした）。図12の下図は輻射熱損失割合は0.75として、密度と温度を変えた場合である。密度が変わっても R_1 及び R_2 の値がほとんど同じになっているが、これは密度及び温度の増加による R_1 及び R_2 の減少の度合いが同程度だったためである。

以上の結果から、定常炉心試験装置のダイバータ部基本寸法を決定していく上で重要な点は、

- ・ 中性粒子の主プラズマ側への逆流抑制のため L_p を密度 e^{-1} 長の2倍以下とする、
 - ・ ダイバータ領域の磁力線方向の長さは0.4 m以上にする、
 - ・ 排気口の長さは、0.1 m以下にする、
 - ・ ダイバータ板の傾斜角は、排気口の位置に応じて最適化する必要がある、
 - ・ 特に、プライベート部側排気口の場合、排気口の位置を上方へずらして最適化する必要がある、
- 等である。

これらの指針に従って最適化したダイバータ基本形状の1例を図13に示す。排気口の上部に設置した突起物は、中性粒子を排気口側に導き、排気効率を上げるためのものである。実際には、こうした突起物を設置するか否かは、プライベート部バッフル板

の冷却構造等を考慮して決めていくことになる。このダイバータ形状での計算結果を次表に示す。

突起物の有無	無し	有り
R p	0. 5 9 %	0. 6 0 %
R v	0. 6 8 %	0. 8 8 %
R l	3. 3 5 %	4. 1 6 %

RpとRvの合計は、突起物の有無いずれの場合も2%以下になっている。また、突起物の設置によって排気効率は約24%増加している。定常炉心試験装置では、ダイバータ部排気口から出た中性粒子が排気ポートの開口面まで到達する割合は、排気口の開口長を5 cmにした場合2割程度と評価されている。従って、排気ポートまで到達する全体の割合は、0.7%程度（突起物無しの場合）となる。

4. 結 論

ダイバータ領域の中性粒子挙動を評価するための簡易モデルを開発した。このモデルは、矩形のダイバータ領域における中性粒子挙動をモンテカルロ法で解析するものであり、ダイバータ部のプラズマ領域でのイオン化分布、及び、境界領域からのエスケープ分布を計算する。従って、ダイバータ部からの中性粒子排気量、及び、主プラズマ側への逆流量を評価することが出来る。このモデルでは、中性粒子について分子過程を取り入れていないこと、中性粒子同士の衝突を無視していること、などの簡略化を行なっているため、実際の中性粒子挙動からのずれがあると考えられる。中性粒子に関するより詳細な計算結果との比較から、中性粒子排気量の絶対値についての誤差はファクター2以内であった。

このモデルを定常炉心試験装置（JT-60SU）のダイバータ設計に適用して、ガイドラインとなる設計値を決定した。ダイバータ部の基本形状に関しては、ダイバータプラズマ領域の磁気面垂直方向の厚みを密度 e^{-1} 長の2倍以下とする、ダイバータ領域の磁力線方向の長さは0.4 m以上にする、排気口の長さは0.1 m以下にする、ダイバータ板の傾斜角は排気口の位置に応じて最適化する、等である。さらに、最適化したダイバータ形状の1例を示し、主プラズマ側への逆流量を2%以下に、排気口からの排気量を4%以上に出ることが分かった。

の冷却構造等を考慮して決めていくことになる。このダイバータ形状での計算結果を次表に示す。

突起物の有無	無し	有り
R p	0. 5 9%	0. 6 0%
R v	0. 6 8%	0. 8 8%
R 1	3. 3 5%	4. 1 6%

RpとRvの合計は、突起物の有無いずれの場合も2%以下になっている。また、突起物の設置によって排気効率は約24%増加している。定常炉心試験装置では、ダイバータ部排気口から出た中性粒子が排気ポートの開口面まで到達する割合は、排気口の開口長を5 cmにした場合2割程度と評価されている。従って、排気ポートまで到達する全体の割合は、0.7%程度（突起物無しの場合）となる。

4. 結 論

ダイバータ領域の中性粒子挙動を評価するための簡易モデルを開発した。このモデルは、矩形のダイバータ領域における中性粒子挙動をモンテカルロ法で解析するものであり、ダイバータ部のプラズマ領域でのイオン化分布、及び、境界領域からのエスケープ分布を計算する。従って、ダイバータ部からの中性粒子排気量、及び、主プラズマ側への逆流量を評価することが出来る。このモデルでは、中性粒子について分子過程を取り入れていないこと、中性粒子同士の衝突を無視していること、などの簡略化を行なっているため、実際の中性粒子挙動からのずれがあると考えられる。中性粒子に関するより詳細な計算結果との比較から、中性粒子排気量の絶対値についての誤差はファクター2以内であった。

このモデルを定常炉心試験装置（JT-60SU）のダイバータ設計に適用して、ガイドラインとなる設計値を決定した。ダイバータ部の基本形状に関しては、ダイバータプラズマ領域の磁気面垂直方向の厚みを密度 e^{-1} 長の2倍以下とする、ダイバータ領域の磁力線方向の長さは0.4 m以上にする、排気口の長さは0.1 m以下にする、ダイバータ板の傾斜角は排気口の位置に応じて最適化する、等である。さらに、最適化したダイバータ形状の1例を示し、主プラズマ側への逆流量を2%以下に、排気口からの排気量を4%以上に出来ることが分かった。

謝 辞

本研究を実施するにあたり有益な議論と助言を頂いた、炉心プラズマ第二実験室の清水勝宏氏、炉心プラズマ計画室の菊池満グループリーダー、及び、永見正幸室長に深く感謝致します。

参 考 文 献

- [1] M. Shimada, et al., J. Nucl. Mater. 176-177 (1990) 122
- [2] M. L. Watkins, P. H. Rebut, 19th EPS Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics (Innsbruck 1992), Part II, 4-3
- [3] H. Ninomiya, et al., in Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1994 (Proc. 15th Int. Conf. Seville, 1994), to be published.
- [4] 清水勝宏、安積正史、JAERI-M 87-028 (Japan Atomic Energy Research Institute)
- [5] K. Shimizu, et al., JAERI-M 91-161 (Japan Atomic Energy Research Institute)
- [6] P. C. Stangeby, G. M. McCracken, Nucl. Fusion 30 (1990) 1225
- [7] B. Lee, J. D. Callen, Phys. Fluids B 5 (1993) 1647
- [8] K. Nagashima, JAERI-M, to be published.

謝 辞

本研究を実施するにあたり有益な議論と助言を頂いた、炉心プラズマ第二実験室の清水勝宏氏、炉心プラズマ計画室の菊池満グループリーダー、及び、永見正幸室長に深く感謝致します。

参 考 文 献

- [1] M. Shimada, et al., J. Nucl. Mater. 176-177 (1990) 122
- [2] M. L. Watkins, P. H. Rebut, 19th EPS Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics (Innsbruck 1992), Part II, 4-3
- [3] H. Ninomiya, et al., in Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1994 (Proc. 15th Int. Conf. Seville, 1994), to be published.
- [4] 清水勝宏、安積正史、JAERI-M 87-028 (Japan Atomic Energy Research Institute)
- [5] K. Shimizu, et al., JAERI-M 91-161 (Japan Atomic Energy Research Institute)
- [6] P. C. Stangeby, G. M. McCracken, Nucl. Fusion 30 (1990) 1225
- [7] B. Lee, J. D. Callen, Phys. Fluids B 5 (1993) 1647
- [8] K. Nagashima, JAERI-M, to be published.

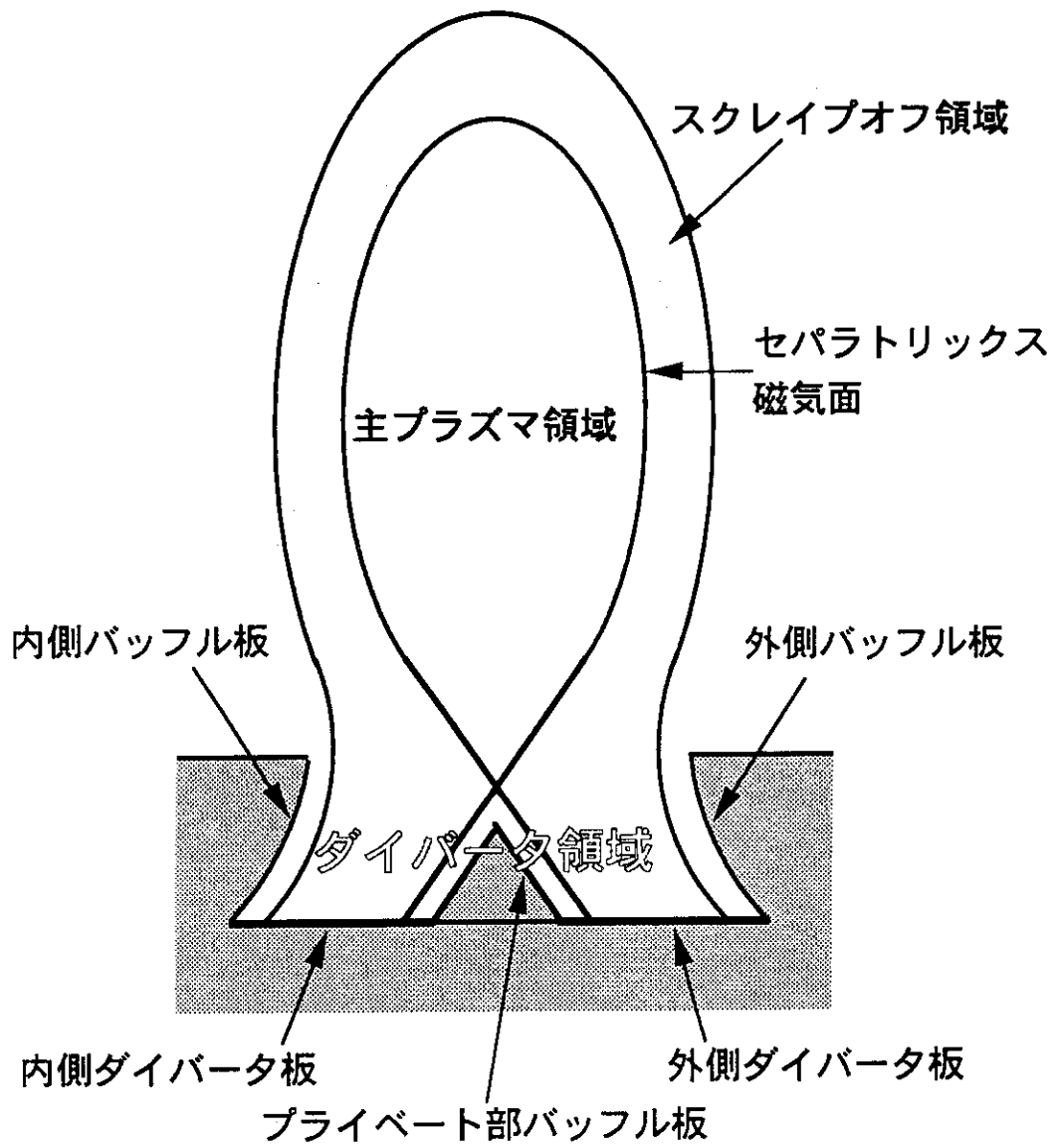


図1 閉じたダイバータの概要図

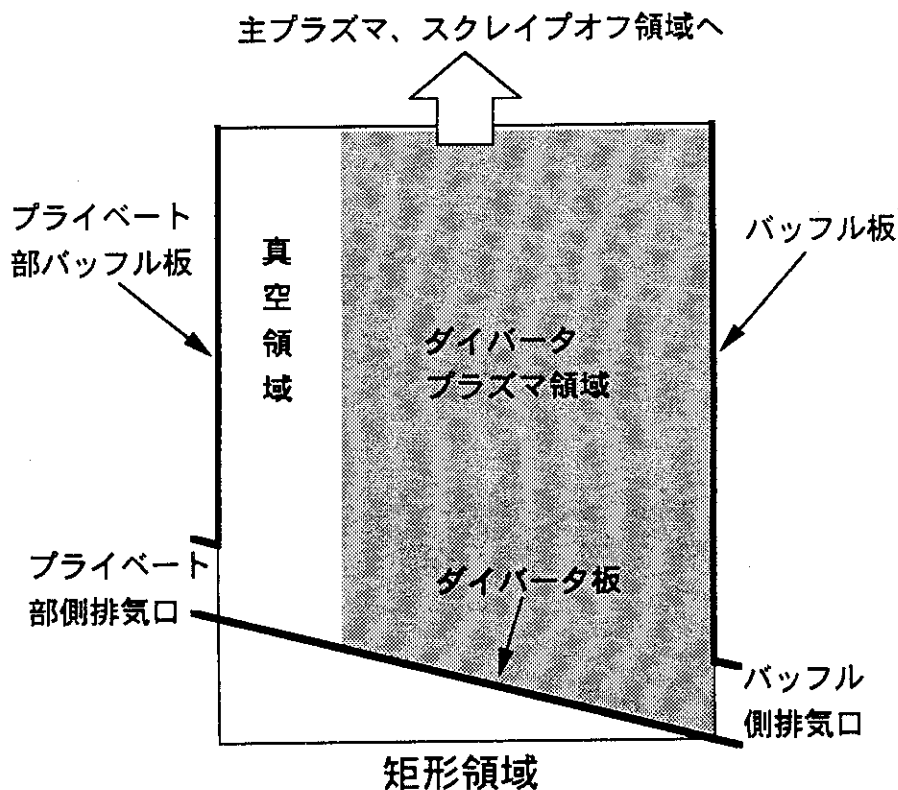


図2 矩形領域によるダイバータ部のモデル化

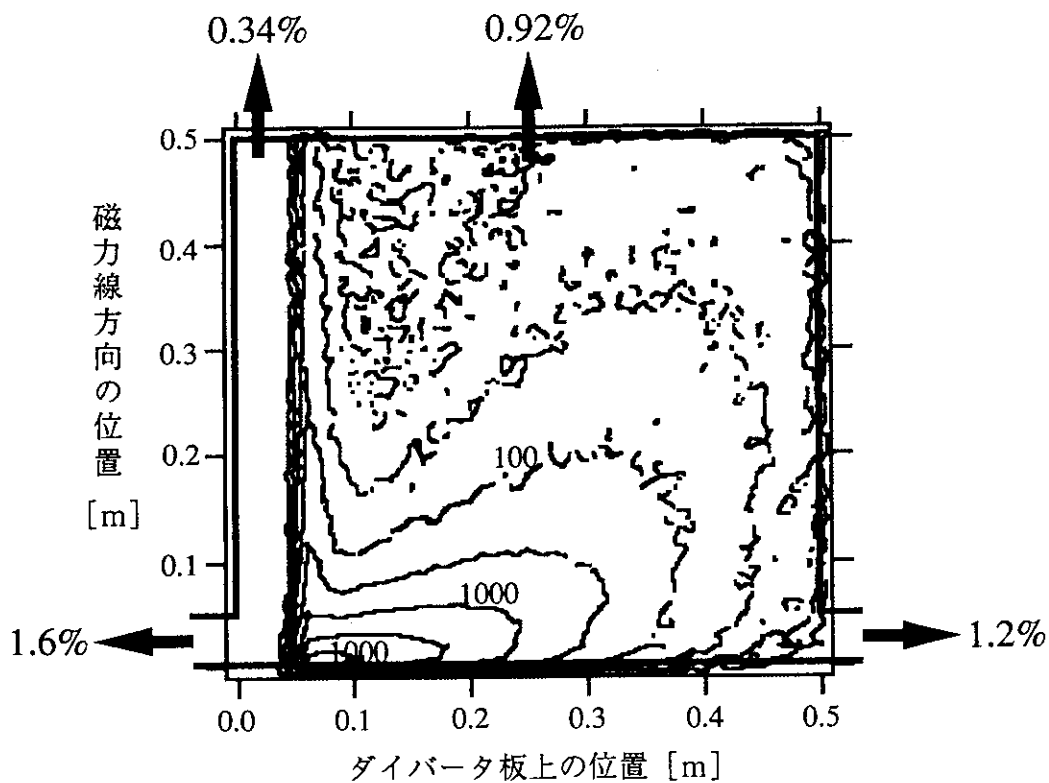


図3 中性粒子のイオン化分布計算例

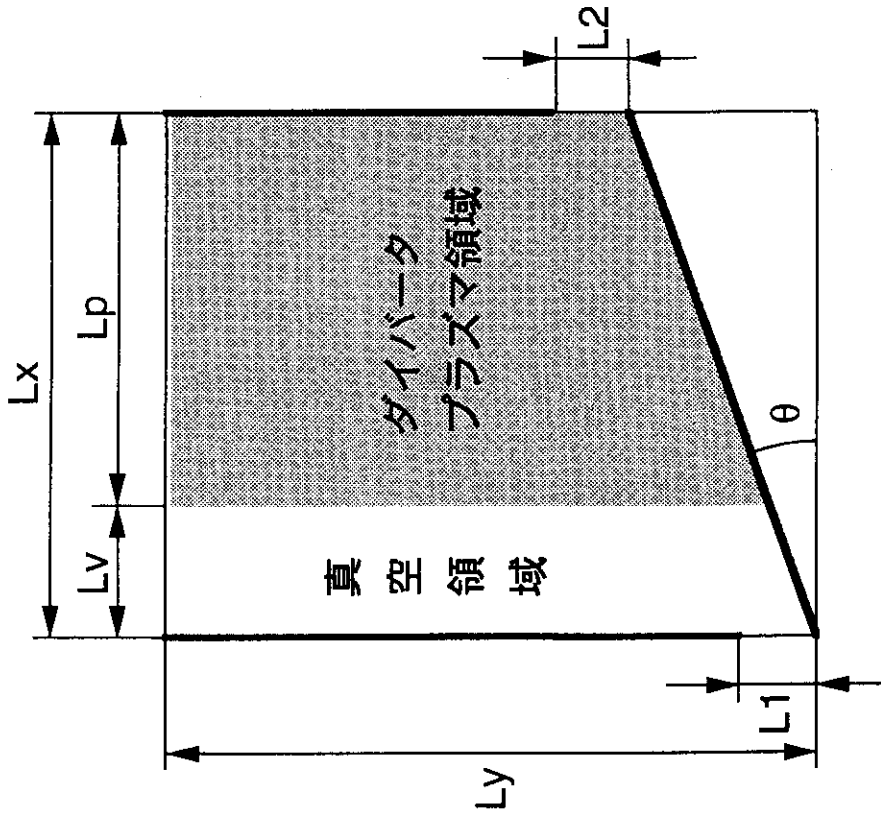


図5 矩形領域の各寸法

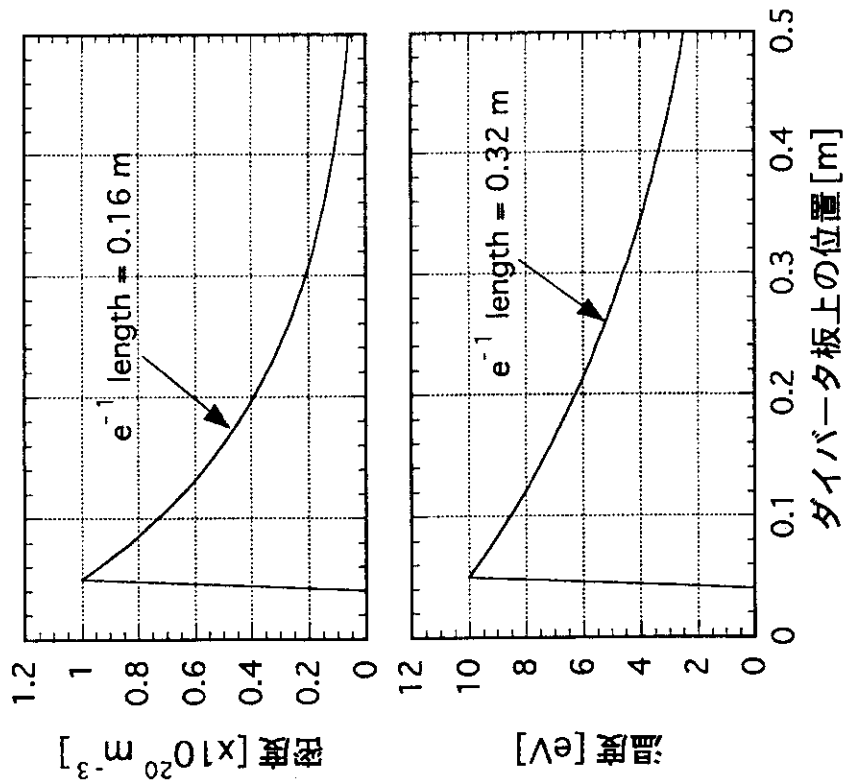


図4 図3の計算で用いたダイバータ板上でのプラズマ密度、温度分布

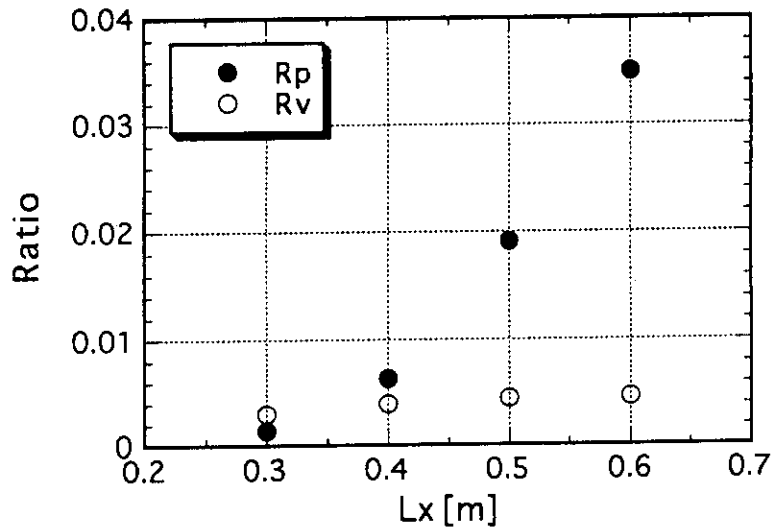
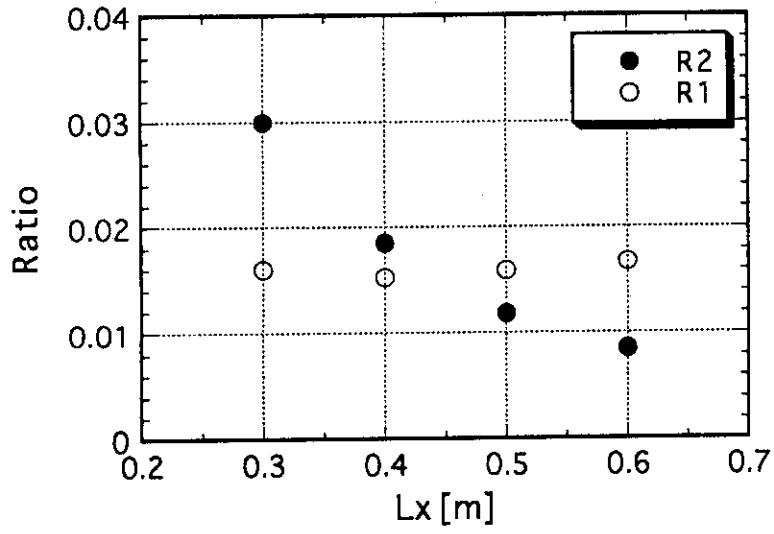


図6 Lxを変化させた場合の計算結果

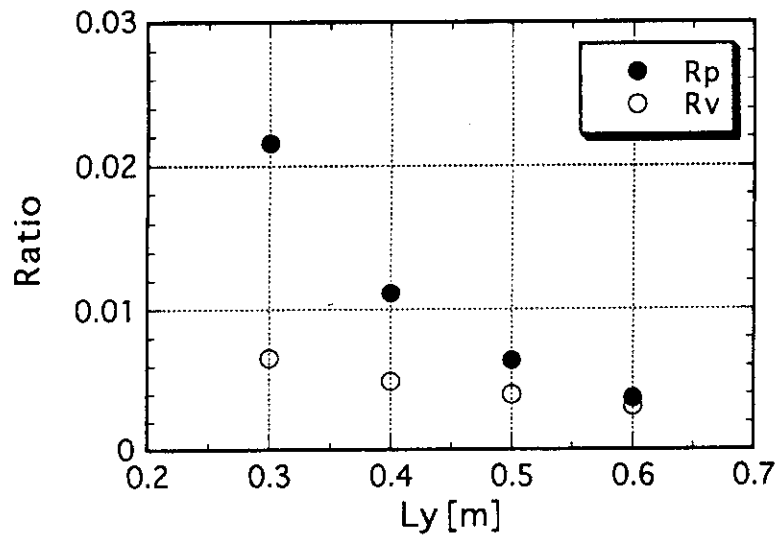
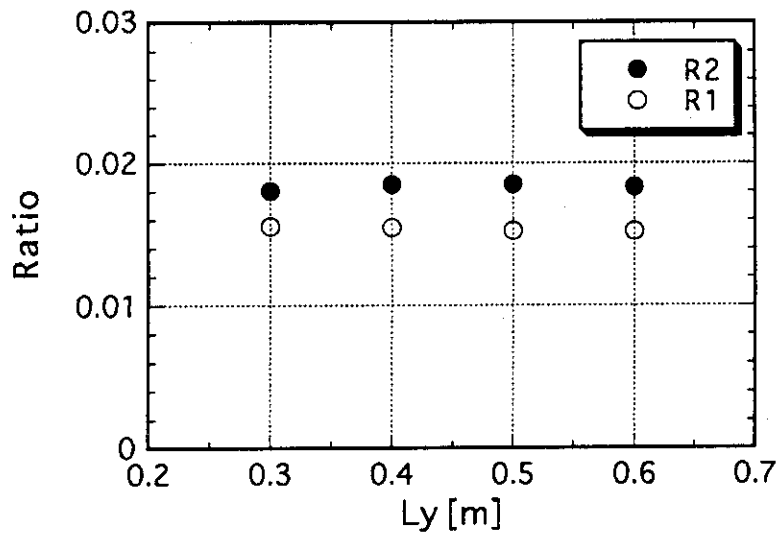


図7 Lyを変化させた場合の計算結果

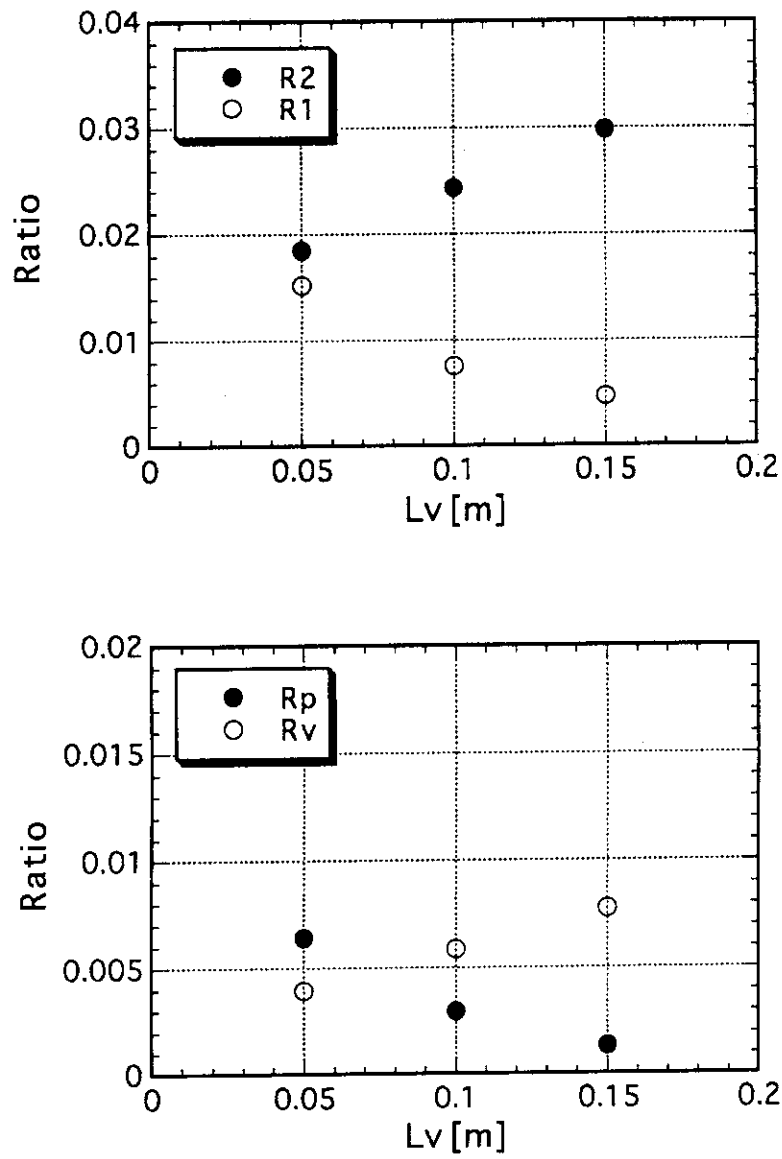


図8 L_v を変化させた場合の計算結果

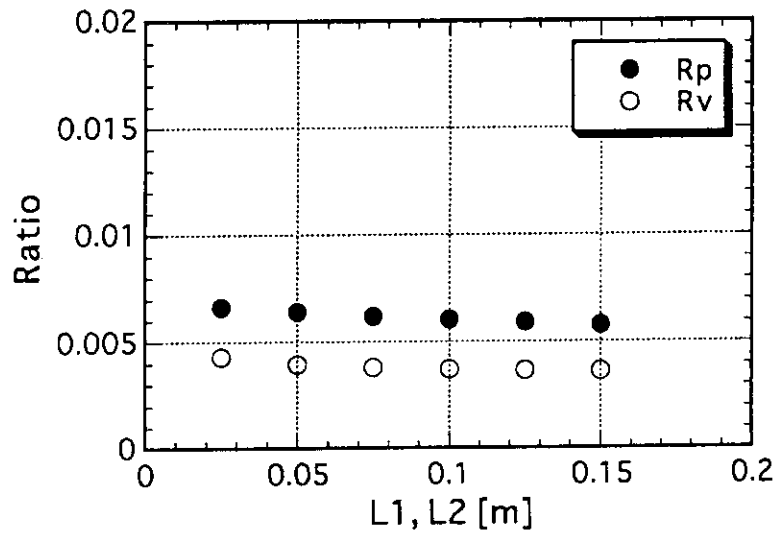
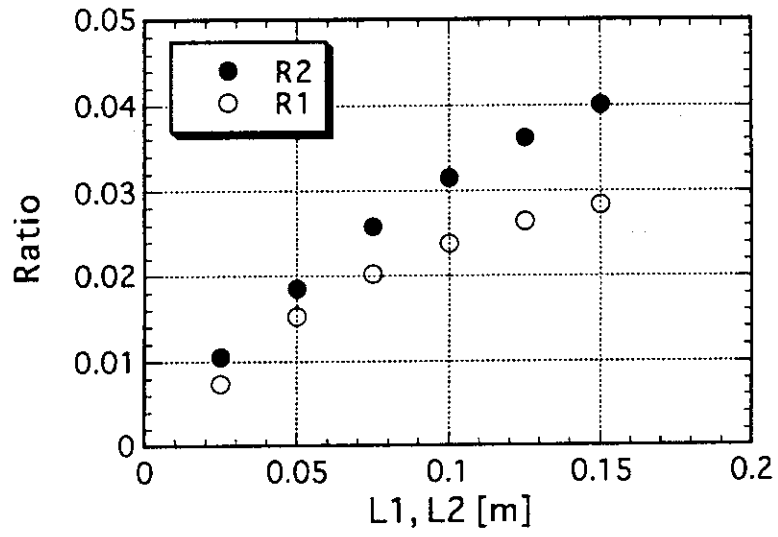


図9 L1及びL2を変化させた場合の計算結果

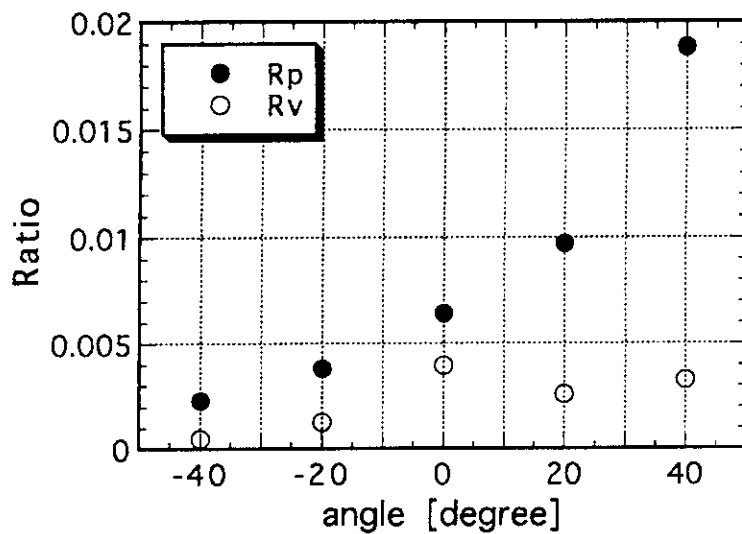
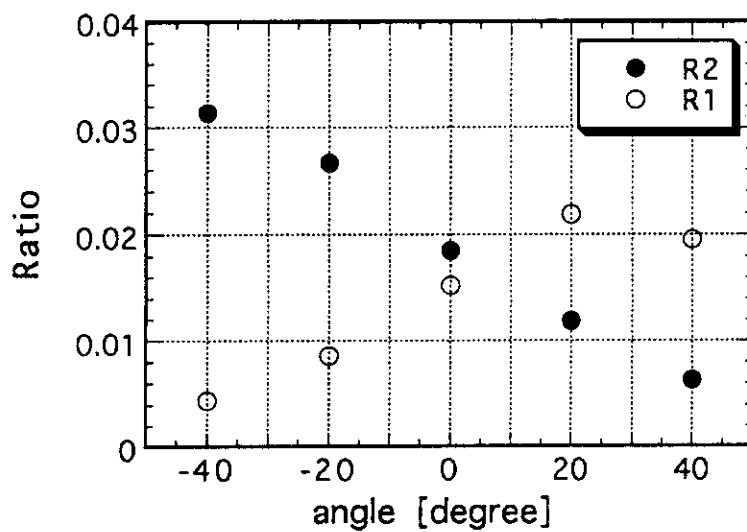


図10 ダイバータ板の傾斜角を変化させた場合の計算結果

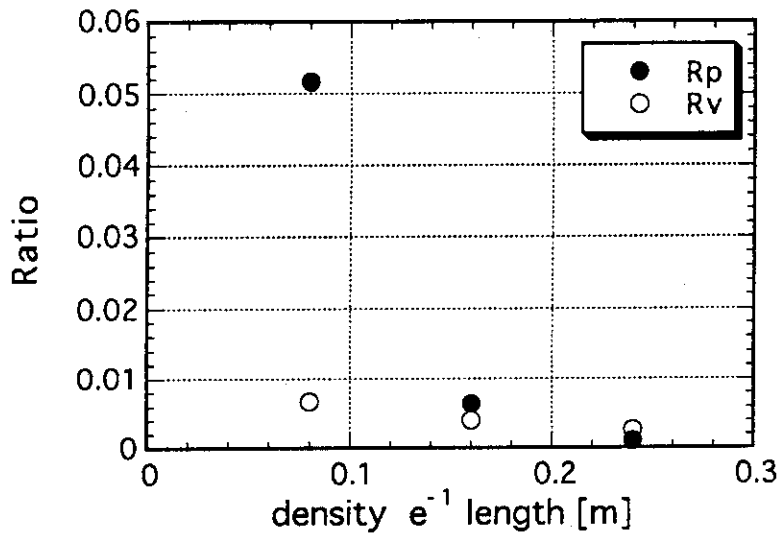
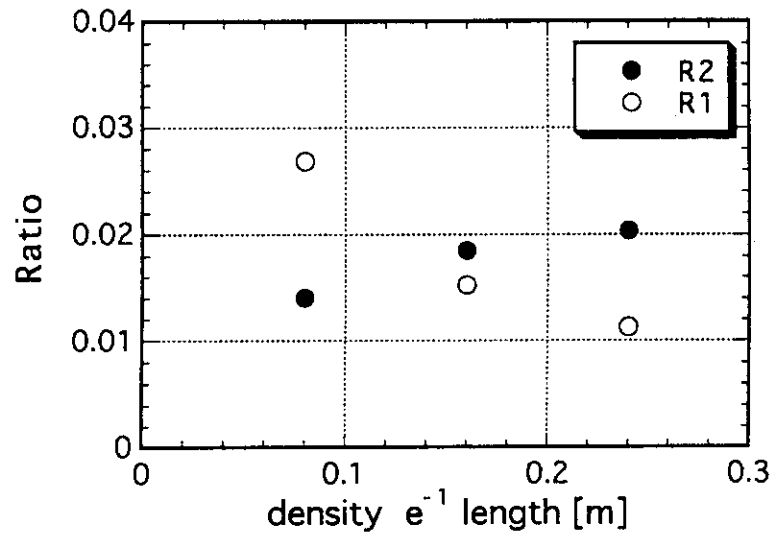


図11 ダイバータ上での密度e⁻¹長さを変化させた場合の計算結果

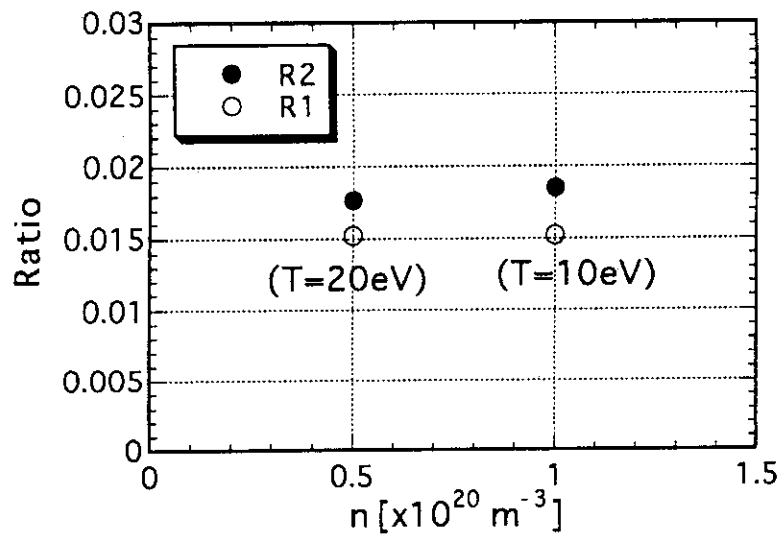
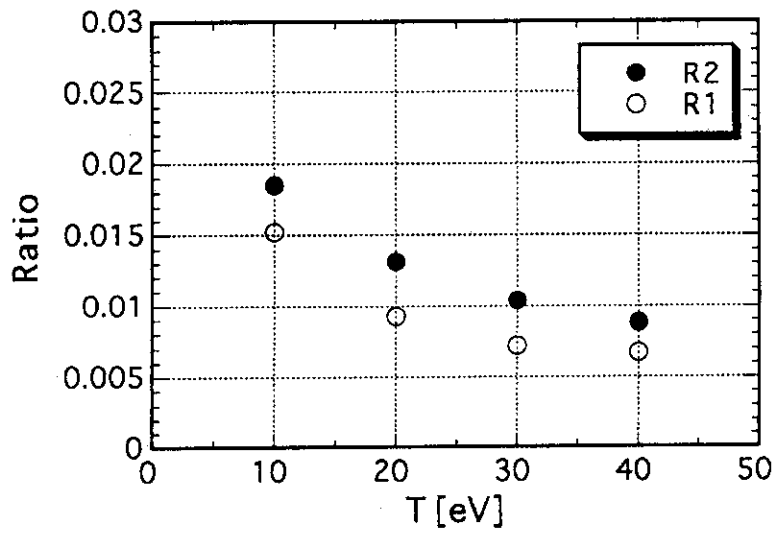


図12 ダイバータ上での密度及び温度を変化させた場合の計算結果

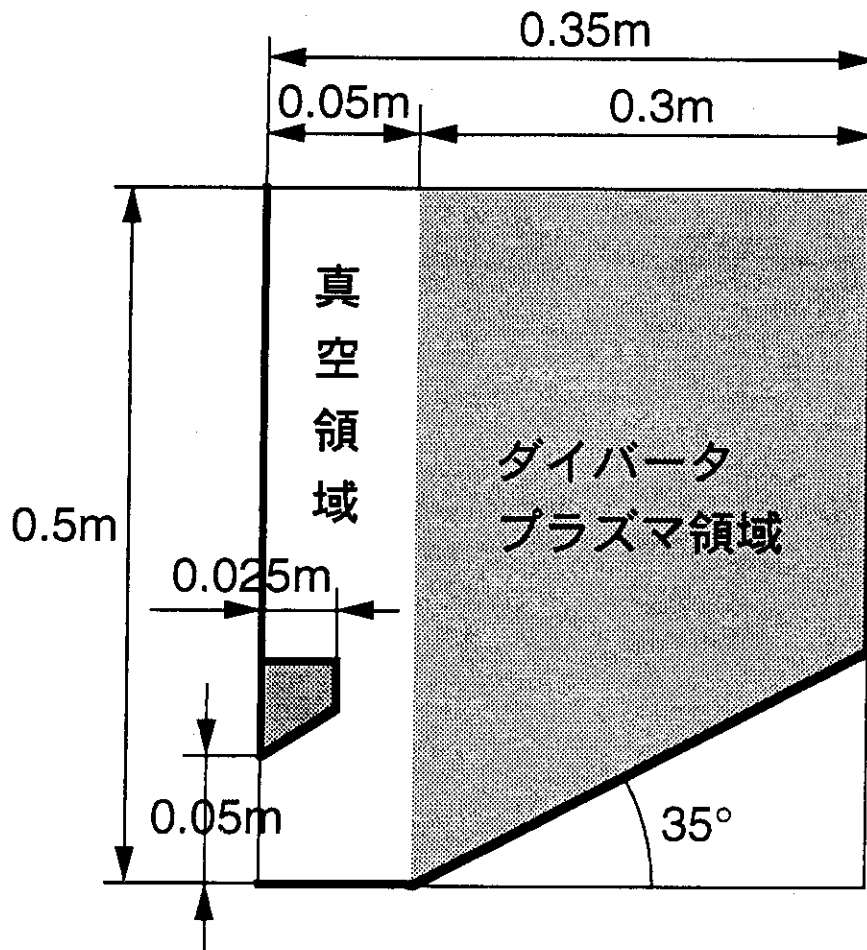


図13 ダイバータ板の傾斜角、排気口の設置位置等を最適化した場合の矩形領域の各寸法