

# トカマクダイバータの簡易モデル化に関する研究

学生証番号 66215 氏名 寺井 徹

(指導教員 小川 雄一 教授)

Key Words : トカマク、SOL, ダイバータ, code, 簡易モデル

## 1. 研究の背景・目的

核融合発電実現のための課題の一つに材料の熱負荷がある。特にダイバータと呼ばれる部分には熱負荷が集中し、その低減のために実験・計算両面から積極的に研究されている。

計算分野では、コアプラズマやScrape Off Layer (SOL)、ダイバータ部分等に対して粒子や熱の輸送を詳細に計算する二次元コードが既に開発されているが[1]、それらは計算に多大な時間を要し広範なパラメータサーベイをするのには適していない。

そこで、それらの欠点を補うべく簡易計算コード作成されている。[2-3]ところが、それらの簡易コードは、計算の簡易さのために詳細な物理が切り捨てられ再現できていない物理現象が存在する。本論分ではBorassによるtwo-pointモデル[4]を詳細化することによって、これらの物理（特にプラズマのデタッチメント）を再現することを目的とする。

## 2. デタッチメントと荷電交換反応

ダイバータ板への熱フラックスは

$$q_{div} = C n_{div} T_{div} V_{div} \propto n_{div} T_{div}^{3/2} M_{div}$$

と表され、ダイバータ熱負荷を下げるためには

$n_{div} T_{div}$  を小さくすれば良いことが分かる。 $n_{div} T_{div}$

はプラズマの中性粒子との荷電交換反応を通じて失われるので、プラズマ温度を荷電交換反応が支配的になる数eV程度にまで下げることが必要となる。

(図1参照)

## 3. 研究内容

本研究ではBorassモデルにX点(磁力線が交わる点)、B点(プラズマ温度が5eVになり、荷電交換反応がイオン化反応に比べて支配的になる点)を付け加え、それぞれの領域でプラズマに対して「粒子」、「エネルギー」、「運動量」の保存則を解く。また、中性粒子に対しては粒子保存の式のみを解く。(図2参照)

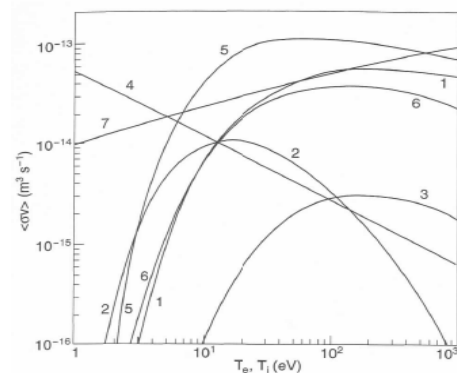


図1 荷電交換反応とイオン化反応の反応断面積[5]

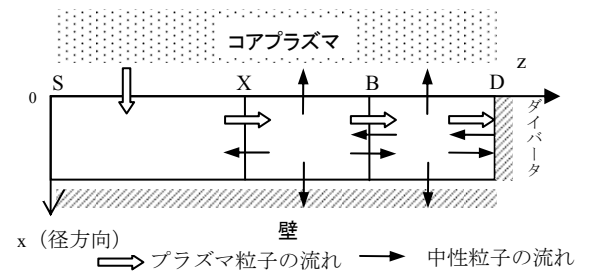


図2 モデルの概念図

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z}(n\vec{V}) &= S \\ \frac{\partial}{\partial z}(2nTV) - \kappa \frac{\partial^2}{\partial z^2}(T^{7/2}) &= Q \\ \frac{\partial}{\partial z}(1 + M^2)nT &= Sm \end{aligned}$$

各領域に対する境界条件は図3のように与える。

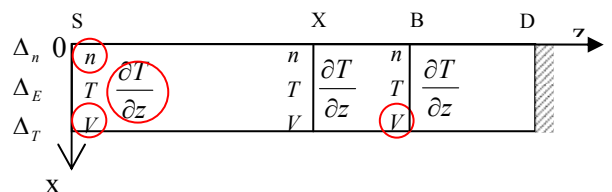


図3 境界条件

これらの式を各領域にあてはめる際には以下のような仮定を立てた。(式等は紙面の都合上割愛し発表に譲る)

・S-X領域

S-X領域ではプラズマは高温であると仮定しイオン化反応と不純物による放射を考慮に入れる。

- ・ X-B領域

X-B領域では荷電交換反応とイオン化反応、不純物による放射を考慮に入れる。

- ・ B-D領域

B-D領域には大量の中性粒子が存在するものとし、また、プラズマの温度も5eV以下に下がっているの、荷電交換反応と再結合を考える。

#### 4. 結果と考察

本研究の範疇ではS-X、X-B領域を計算するルーチンを作成し、その妥当性を検証（動作確認）し、ITERへの応用を試みた。

##### 4—1 動作確認

作成したコードの妥当性を確認するため、本コードによる計算結果を、[3]中で作成された簡易コード(C-S-Dコード)のJT-60に対する計算結果と比較した。

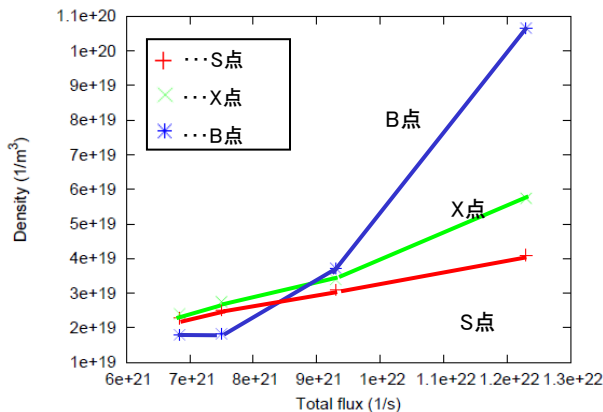


図4 全粒子束 vs 各点での密度

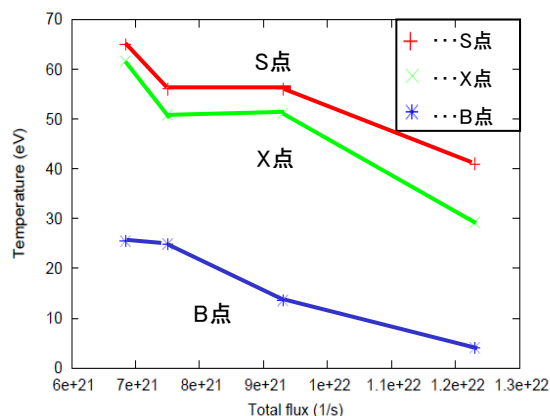


図5 全粒子束 vs 各点での温度

以上の結果はC-S-Dコードによる結果と定性的に一致しており、本コードの動作確認が定性的にはなされたと言える。ただ、密度の値等定量的には一致していない点もあり、更なる改良が望まれる。

##### 4—2 ITERへの応用

作成したコードにITERの運転パラメーターを代入した結果を示す。

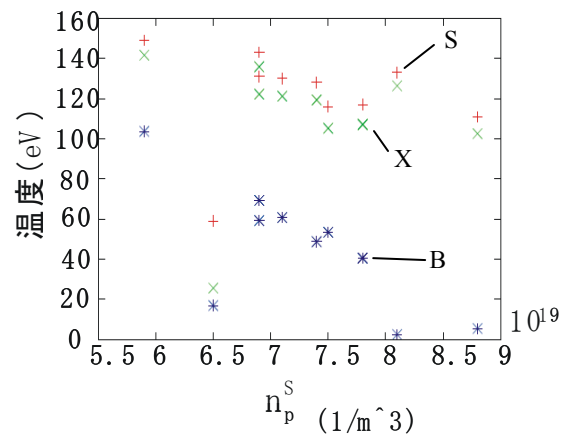


図6 ITER適用結果（不純物1%）

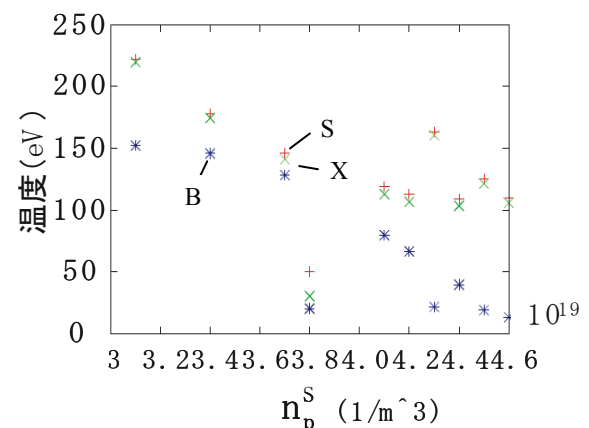


図7 ITER適用結果（不純物5%）

ITERの運転パラメーターでもデタッチ遷移が期待できることが分かる。また、不純物密度が増える程、コアプラズマとしては望ましい低密度領域での運転に期待が出来ることが分かる。

#### 5. 結論

- ・ 本研究で作成した、Borassらによるtwo-pointモデルにX点、B点を加えた計算コードの計算結果は、C-S-Dコードによる計算結果と定性的に一致することが示されたが、その詳細な解の挙動には違いが見られたため、さらなるモデルの改良が求められる。
- ・ 作成したコードを用いてITERの運転パラメーターでのダイバータ状態を計算した結果、プラズマ中の不純物による放射損失が大きい程、ダイバータ熱条件は緩和され、低コア密度領域での運転に期待できることが示された。

##### 参考文献

- [1] A. Loarte et al. J. Nucl. Mater. 266-269 (1996) 1123-1128
- [2] N. Hayashi et al. J. Nucl. Mater. 266-269 (1999) 526-531
- [3] R. Hiwatari et al. J. Nucl. Mater. 337-339 (2005) 386-390
- [4] K. Borass et al. Nucl. Fus. Vol. 31 (1991) 1035
- [5] Peter C Stangeby "The Plasma Boundary of Magnetic Fusion Devices"