

核融合原型炉ダイバータ熱負荷低減に対する不純物注入と ダイバータ形状の評価

Effects of impurity seeding and divertor geometry on reducing the divertor heat load in nuclear fusion demonstration reactor

佐藤航¹, 矢本昌平¹, 藤間光徳¹, 石田真彦¹, 日渡良爾², 星野一生³, 朝倉伸幸³, 飛田健次³
慶大理工¹, 電力中央研究所², 日本原子力研究開発機構³

W. SATO¹, S. YAMOTO¹, M. TOMA¹, M. ISHIDA¹, R. HIWATARI²,
K. HOSHINO³, N. ASAKURA³, K. TOBITA³
Keio Univ.¹, CRIEPI², JAEA³

1. 背景・目的

核融合炉開発のために、現在、国際熱核融合実験炉(ITER)が建設されている。ITERに続く核融合炉として、核融合原型炉Demo-CREST[1]の概念検討が行われている。Demo-CRESTの熱出力は、ITERに比べ約6倍程度であり、ダイバータ板がより高熱負荷にさらされることが懸念される。一方で、Demo-CRESTの設計条件として、ダイバータ板熱負荷を10MW/m²以下にすることが要求されている。そのため、ダイバータ板への熱負荷を低減することは重要な課題である。そこで、本研究では熱負荷低減法として、従来提案されてきた、以下三つの方法：A.SOL上流での密度増大、B.ダイバータ幾何形状、C.不純物入射による放射冷却増大について系統的にその効果を検討することを目的とする。

2. 方法

検討にあたって、境界層プラズマ輸送解析コードSOLPS5.1[2]を用いてダイバータ板の熱負荷を評価した。上記A.B.C.の具体的な方策として、以下を考える：A.SOL上流におけるD2ガスパフ、B.V字形ダイバータ部の採用、C.Ne不純物のダイバータ部への入射。以上を考慮しダイバータ板への対流、熱伝導による熱負荷を計算し[3]、A.B.Cを同時に行うことによって10MW/m²以下になった。特にV字形が熱負荷低減に有効であった。

しかしながら、上記熱負荷はプラズマによる対流熱伝導のみによる負荷であり、プラズマからの放射パワーによる負荷が考慮されていない。そこで、SOL領域におけるLine radiationと、Bremsstrahlungの放射パワーを考慮し、ダイバータ板への熱負荷をさらに正確に評価する。放射による熱負荷 q (W/m²)は以下の式から計算する。

$$q = \int_V \frac{Q(\vec{r}') \vec{n} \cdot (\vec{r} - \vec{r}')}{4\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^3} d^3 \vec{r}' \quad (1)$$

ただし、 \vec{r} はダイバータ板上の熱負荷評価点の位置ベクトル、 \vec{n} はこの位置でのダイバータ板に対する法線ベクトルを表す。また、 $Q(\vec{r}')$ はプラズマ中の点 \vec{r}' における放射パワー密度を示す。ポロイダル断面の $Q(\vec{r}')$ はSOLPSの計算結果から、二次元分布として得ることができる。トロイダル方向については軸対称性を仮定し、ダイバータ板の熱負荷評価点から見た視線方向と、装置との干渉を考慮し \vec{r}' についての積分体積を決定する。

3. 結果

Fig.1にSOLPSによる放射パワー密度の計算結果を示す。境界条件として、炉心境界での熱入力を600MW、D⁺密度を $8.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ とした。D₂ガスを $2.0 \times 10^{23} \text{s}^{-1}$ で入射し、ダイバータ下部にV字の返しを設ける形状で、Neガス入射なしの場合を(a)、Neガスを $5.0 \times 10^{21} \text{s}^{-1}$ で入射した結果を(b)に示す。(b)では不純物によるプラズマ中での放射量が増え、粒子の対流・伝導によるダイバータ板への熱負荷が10MW/m²程度に減少した。これに加えて、(1)の放射によるダイバータへの熱負荷を現在評価中である。

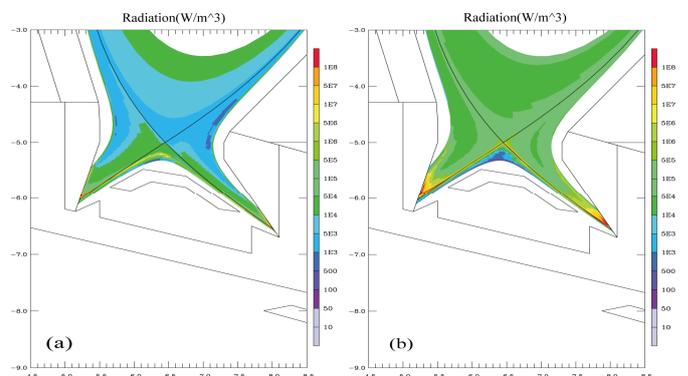


Fig.1 2Dprofile of radiation power density

(a) w/o Ne (b) w/ Ne

- [1] R. Hiwatari, *et al.*, Nucl. Fusion **45** (2005) 96-109.
[2] R. Schneider, *et al.*, Contrib. Plasma Phys. **46** (2006) 3-191.
[3] 石田真彦 慶應義塾大学大学院基礎理工学研究科修士論文 (2011).