22P-4F-12

熱伝導方程式の解析解を用いたダイバータタイル熱流束の検討
Consideration on divertor tile heat flux with analytic solution of heat conduction equation

松浦寛人 [1], ブイスアンニャットソン [1]
Hiroto Matsuura[1], Bui Xuan Nhat Son[1],

大阪府大 [1]
Osaka Pref. Univ.[1]

1 緒言

プラズマ対向面への熱流束を推定するためには、時間依存の熱伝導方程式を適切な境界条件の元で解いて得られた温度変化が、実測された温度変化を完全に再現できるようにしなければならない。そのため、大規模な有限要素法のパッケージを用いても、非定常性をきちんと扱えない場合、求められた熱流束が現実の熱流束履歴を反映していないと言わざるを得ない。

我々は、この逆問題を効率よく扱うため、ステップ状熱流束が大きさ L_z の物体に入射した時の温度上昇を与える温度応答関数 $S(z,t)$ を導入した。[1] 図 1 に示すように、プラズマ入射面を $z=0$ とし、時刻 $t=0$ から一定、一様の熱流束密度でプラズマ照射されるという初期条件、境界条件の元で、熱伝導方程式の解析解を導いた。これが S の定義で、パルス長 t_1 の矩形状熱流束が照射されたターゲットの任意の点 z での温度変化は $S(z,t)-S(z,t-t_1)$ で簡単に評価できる。

多数の異なる時刻でのステップ状熱流束を考え、実験で得られた温度変化のデータを再現するように、正負を含めたステップの大きさを逐次最適化し、実験における熱流束の時間変化を決定するのが、文献 [2] で提案されているパルス分解法である。この方法は、LHD の複合プローブや GAMMA 10/PDX のカロリーメーターの熱電対信号の解析にすでに用いられている。[3]

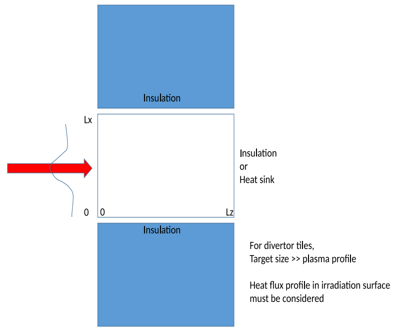

Fig. 1: 温度応答関数を定義するモデル体型。

2 2次元系への拡張

熱流束センサーの受熱面のサイズは、ダイバータプラズマの分布より小さいため、応答関数の導出では、入射面にそった熱流束の分布や境界条件を考慮せず、空間 1 次元の応答関数で精度良い解析が可能であった。しかし、ダイバータタイルが受ける熱流束を求める際には、少なくともダイバータトレースに垂直方向 (x 方向) の熱流束の分布を考慮しないと、熱流束のピーク値を過小評価する恐れがある。

ダイバータタイル間にはギャップがあることを考慮し (x 方向境界で $\frac{\partial S}{\partial x}=0$)、今回導出した 2 次元温度応答関数 $S=S_{asym}+S_{tran}$ の漸近項のみを記載すると以下の通りになる。ただし、冷却側 ($z=L_z$) の境界条件は最も簡単な完全熱シンク ($S=0$) を仮定しているため、S_{asym} は t に依存しない。

$$S_{asym}(x,z)=\Delta T(1-\frac{z}{L_z}) +\Delta T\sum_{n=0}^{\infty}\beta_n\cos(B_n\frac{x}{L_x})\sinh(C_n(1-\frac{z}{L_z}))$$

ここで $B_n=n\pi$、$C_n=B_n\frac{L_z}{L_x}$ で、ΔT と β_n は熱流束のピーク値と x 分布から決定される。後者の計算法、熱拡散に依存する遷移項 S_{tran}、及び熱絶縁境界条件を満たす応答関数については、学会で報告する。

本研究は NIFS 一般共同研究 (NIFS20KLPR051) および双方向型共同研究 (NIFS20KUHL099/NIFS20KUGM153) の援助を受けている。

References

[1] H.Matsuura *et al.*, Fusion Science and Technology 63, (2013) 180-183.

[2] H.Matsuura *et al.*, Contrib. Plasma Phys. 54(2014)285-290.

[3] H.Matsuura *et al.*, IEEE Trans. Plasma Sci. 47 (2019) 3026-3030.