

原型炉における熱負荷を許容する保護リミタの設計検討

The design study of the poloidal horseshoe limiter for thermal load in JA DEMO

陳 偉熙1)、染谷 洋二1)、杉山 翔太1)、宇藤 裕康1)、梅田 尚孝 1)、坂本 宜照1)
 CHEN Weixi 1)、SOMEYA Youji 1)、SUGIYAMA Shota 1)、UTOH Hiroyasu 1)、UMEDA
 Naotaka 1)、SAKAMOTO Yoshiteru 1)

(1)量研機構
 (1) QST

核融合原型炉において、磁力線に沿ってブランケット表面に入射する荷電粒子がもたらす過大な熱負荷を低減するために図1に示す保護リミタの導入が提案されている[1]。保護リミタはブランケット表面の最高点で構成される第一壁基準面よりもプラズマ側に突出することでブランケット表面に入射する荷電粒子を遮蔽し、保護リミタのプラズマ対向面にF82H配管を内蔵したタングステンモノブロック(W-MB)を適用することで高い熱負荷を許容する設計を採用している。特に保護リミタはプラズマ立ち上げ時にプラズマと接するリミタ配位となるため、この時の過渡的な高熱負荷を許容する設計が必要である。リミタを含む第一壁に入射する熱流束 q の大きさは(1)式に示すように磁力線に平行な熱流束成分 $q_{||}$ と $q_{||}$ の第一壁への入射角度 θ に依存する。

$$q = q_{||} \sin(\theta) \quad (1)$$

この $q_{||}$ はプラズマ表面からの径方向の距離 r と減衰長 λ に従って減衰し、プラズマ表面における $q_{||0}$ とすると(2)式のように変化する。

$$q_{||} = q_{||0} \exp\left(-\frac{r}{\lambda}\right) \quad (2)$$

先行研究において λ と θ の関係を用い、第一壁における熱負荷分布を最適化する設計検討がなされてきた[2,3]。一方、これまでの保護リミタは単一曲率半径表面であり、局所的な高熱流束の入射が課題であった。そこで本研究は最適化設計を適用した保護リミタに対してプラズマ立ち上げ時から定常運転に至るまでに保護リミタに入射する熱流束を評価し、構造的健全性を有する保護リミタを設計した。

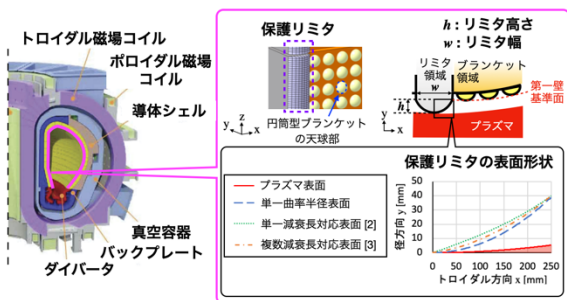


図1 保護リミタの概念図

プラズマ立ち上げの過渡時の評価を行うにあたり、W-MBの伝熱解析より最大で 5.5 MW/m^2 の熱流束の除熱を許容できたため、これを保護リミタの設計条件とした。プラズマ立ち上げ時に保護リミタ表面に負荷される熱流束は磁力線追跡に基づく第一壁表面熱負荷解析コード[4]を用いて算出し、粒子の拡散の違いを考慮して磁力線が第一壁によって区切られた接続長 l に依存する減衰長 λ を(3)式のように導入した。

$$\lambda' = \sqrt{\frac{l'}{l}} \lambda \quad (3)$$

l' と λ' はそれぞれ該当磁力線の接続長とその区間における減衰長である。

本解析で用いたリミタ配位時の磁場平衡と取得した保護リミタ表面の熱負荷分布の1例を図2に示す。最適化形状の適用により保護リミタのトロイダル方向に幅広く熱流束が分布しており、またその最大値は 5.5 MW/m^2 で設計条件を満たしていることが確認できた。

講演では定常運転時に保護リミタに負荷される熱流束分布の評価結果に加え、立ち上げから定常運転に至るまでに保護リミタに印加される熱負荷履歴がもたらす熱応力を許容できる保護リミタおよびW-MBの設計を報告する。

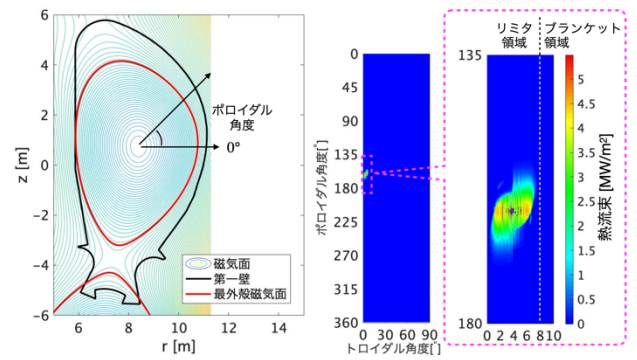


図2 第一壁表面熱負荷解析に用いた磁場平衡と取得した熱流束分布

[1] W. Chen, et al., *IEEE Trans. Plasma Sci. in press*
 [2] P.C. Stangeby, R. Mitteau, *J. Nucl. Mat.* 390-391 (2009) 963-996
 [3] M. Kocan et al., *Nucl. Fusion* 55 (2015) 033019
 [4] Y. Miyoshi, et al., *Fusion Eng. Des.* 151 (2020) 111394