

## ペブルダイバータとブランケットの協調運転設計 A consistent design of blanket and pebble flow diverter

浜地 志憲, 後藤 拓也, 宮澤 順一  
Yukinori HAMAJI, Takuya GOTO, Jyunichi MIYAZAWA

核融合研  
NIFS

### 緒言

連続的に落下するペブルによってプラズマ流を遮蔽するペブルダイバータ概念は、ダイバータ部の高熱負荷遮蔽に有効であるとして、種々の研究がなされている。FFHRシリーズの核融合炉設計でもペブルダイバータの利用が検討されているが、この場合、ダイバータ部を通過したペブルは、ブランケット流体プールに落下させることで落下時の破損を防ぐことが提案されている。その場合、ペブルとブランケット流体との間で熱交換があるため、ペブルの投入温度によってはブランケット流体の温度を冷却、もしくは加熱することになる。このダイバータペブルとブランケット流体の熱交換は核融合炉全体の効率に影響を与えるため、ブランケットとの統合的な検討が必要である。本研究では、FFHR-b3条件[1]での、易融金属、もしくは高熱伝導セラミックス製のダイバータペブルについて、最大の熱負荷を受けるペブルの到達温度（材質と初期温度を制限）や温度分布を数値計算コードANSYSを用いて検討し、ペブル利用がブランケット効率を劣化させないペブルダイバータの実現性について議論する。

### 計算条件

数値計算については、易融金属の場合とセラミックペブルの場合で異なるソルバーを用いた。熔融とマランゴニ対流を考慮する場合は、推定した各種熱物性値を熱流体計算コードANSYS Fluent(2020 R1, 10114)に適用して計算した。一方セラミックペブルについては、ANSYS Mechanical(Machanical APDL 2020 R1, 20.1)を用いて計算を行った。

熱負荷については FFHR-b3 での条件を対象とした。FFHR-b3 は核融合出力約 343 MW、外部加熱入力約 30 MW であり、過去の検討と同様の熱負荷面積[2]と、周辺領域での LHD と同程度の輻射での熱散逸(30 %)を仮定する。この場合ダイバータペブルの中で最も大きな熱負

荷を受けるペブルの熱負荷と熱負荷領域の通過に必要な時間はそれぞれ、約 81.5 MW/m<sup>2</sup>、0.058 s となる。また、落下中のペブルの回転はないものとする。

### 結果

図1にLiSn合金(25%, 75%)の易融金属ペブルと、ZrB<sub>2</sub>セラミックペブル場合の、最大到達温度を示す。LiSn合金ではマランゴニ対流による高温部から裏面に回り込むような対流が誘起されており、到達温度の緩和が見られているものの、ペブル温度は最高約 2300 °Cに到達している。LiSnは熔融を許容するものの、蒸気圧の観点から許容温度は700 °C程度であるため、熱負荷大きさや投入高さの改善を見込んだ場合でもこの合金は適用が難しいことが明らかとなった。一方、ZrB<sub>2</sub>では昇華点(3246 °C)より十分低い約 1730 °Cに到達温度を抑えられた。

発表では上記の計算に加えて、種々のペブルを利用した場合でのブランケット設計との整合性に関する議論を行う。

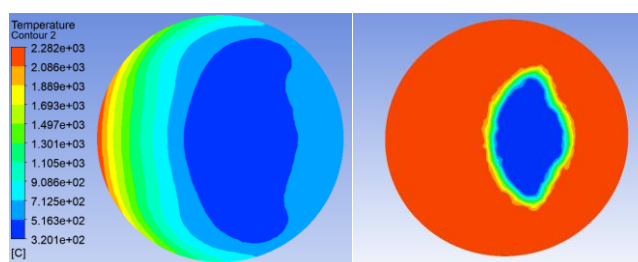


図1 LiSn合金ペブルの到達温度(左)と熔融部(右)を断面図として示したもの。対流によって熔融部が裏側に回り込んでいる。

[Reference]

[1] J. Miyazawa, et al. "Coordinated design of the cartridge-type blanket and the ceramic pebble divertor for the helical reactor FFHR-b3." Nuclear Fusion (2021).

[2] T. Ohgo, et al. "A New Divertor System Using Fusible Metal Pebbles", Plasma Fusion Res. 14 (2019)