



Title	ダイバータ配位とリミター配位におけるヘリウム選択排気金属の排気効率の比較
Author(s)	柳原, 英人; Yanagihara, Hideto; 久保, 和也 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 175, 59-65
Issue Date	1995-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42463
Type	departmental bulletin paper
File Information	175_59-66.pdf



ダイバータ配位とリミター配位における ヘリウム選択排気金属の排気効率の比較

柳原英人 久保和也 中村知博
広畑優子 日野友明 山科俊郎

(平成7年6月5日受理)

Comparison of pumping efficiency of He selective pumping metal between divertor and limiter configurations

Hideto YANAGIHARA, Kazuya KUBO, Tomohiro NAKAMURA,
Yuko HIROHATA, Tomoaki HINO, and Toshiro YAMASHINA

(Received June 5, 1995)

Abstract

We compared the helium pumping efficiency due to the selective pumping metal between divertor and limiter configurations. If the helium trapping efficiency of selective pumping metal is the same in both the configurations, the divertor configuration is superior to the limiter configuration for the reduction of helium ash. Thus, the helium selective pumping metal has to be used in the divertor region.

1. はじめに

核融合炉において核融合反応の結果生成するヘリウム灰の低減は最も重要な課題の一つである。ヘリウム灰除去の方法の一つとして、ヘリウムを選択的にトラップできる金属を使用することが考えられている。この試みはリミター配位の TEXTOR において試験された^{1,2)}。この実験では選択排気材料としてニッケルが用いられ、選択排気金属のヘリウム濃度を下げる有効性が確認されている。

以前の研究³⁾では、ダイバータ配位でのコア・プラズマのヘリウム灰の密度バランスの式から、ヘリウムのダイバータからのリサイクリング率に対してヘリウム灰濃度が求められている。リサイクリング率が0.8を越えると急激にヘリウム灰濃度が上昇することが分かっている。また、ダイバータ領域でのヘリウムの粒子バランスについても考察し、選択排気金属をダイバータ近傍に適用した場合、コア・プラズマ中のヘリウム灰濃度を大きく低減できることを示した。本論文では、リミター配位の核融合装置におけるヘリウム灰の密度バランスについて考察した。選択排気金属を用いた場合のヘリウム灰のリサイクリング率に対するヘリウム灰濃度を求めた。そして、ダイバータ配位とリミター配位の、選択排気金属の有効性を比較検討した。

2. 核融合プラズマのヘリウム灰濃度

核融合炉におけるコア・プラズマでのヘリウムイオンの密度バランスは、先の論文³⁾に示したように次式で表わされる。

$$\frac{dn_{He}}{dt} = \frac{n_p^2}{4} \langle \sigma v \rangle_f - \frac{n_{He}}{\tau_{He}} (1 - f_R^{He}) \quad (1)$$

ここで n_{He} はヘリウムの個数密度、 n_p は燃料イオンの個数密度 ($n_p = n_D + n_T$)、 $\langle \sigma v \rangle_f$ は核融合反応率、 τ_{He} はプラズマ中のヘリウムイオンの閉じ込め時間、 f_R^{He} はコア・プラズマヘリサイクリングするヘリウム割合を示している。定常状態では $\frac{dn_{He}}{dt} = 0$ であるから、ヘリウム濃度の割合は次式となる。

$$\frac{n_{He}}{n_t} = \frac{\frac{1}{4} \tau_{He} n_p \langle \sigma v \rangle_f}{\left(\frac{1}{4} \tau_{He} n_p \langle \sigma v \rangle_f - 1 \right) - f_R^{He}} \quad (2)$$

核融合出力を1.8GW、 $n_p = 2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 、 $\tau_{He} = 4 \text{ s}$ 、 $\langle \sigma v \rangle_f = 10^{-22} \text{ m}^3/\text{s}$ とし、ヘリウムイオンのコア・プラズマへのリサイクリング率 f_R^{He} に対してヘリウム濃度 $g (= \frac{n_{He}}{n_t})$ を求めたものが Fig.1³⁾ である。リサイクリング率が0.8を越えると、ヘリウム灰濃度が急激に増加する。

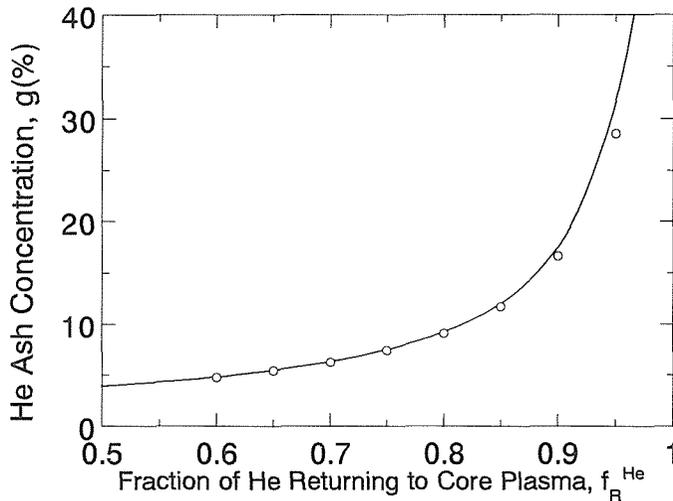


Fig. 1 Ratio of helium ash concentration, g, versus recycling ratio of helium, f_R^{He} .

(1)式のヘリウムイオンの密度バランスは、コア・プラズマについてのヘリウムイオンのバランスであるため、核融合炉がダイバータ配位およびリミター配位に対して成り立つ。従って、Fig.1の関係を両配位に対しても適用することにする。

3. 選択排気材料によるヘリウム・リサイクリング率の低減

(1)ダイバータ配位の場合

ダイバータ配位の場合の核融合プラズマにおけるヘリウムイオンのバランスは、

$$f_R^{Div} + f_P^{Div} + f_M^{Div} = 1, \quad (3)$$

となる³⁾。ここで f_R^{Div} , f_P^{Div} , f_M^{Div} は、それぞれコア・プラズマへのリサイクリング率、ダイバータによってポンプで排気される割合、選択排気金属によりトラップされ排気される割合である。コア・プラズマの体積を V_C 、ダイバータ領域の体積を V_D とすると、ダイバータ領域でのヘリウム灰の個数バランスは、

$$V_D \frac{dn_{He}^D}{dt} = -V_D \left(\frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{\tau_M} + \frac{1}{\tau_P} \right) n_{He}^D + V_C \frac{n_{He}}{\tau_{He}} = 0, \quad (4)$$

で表わされる³⁾。ここで n_{He}^D はダイバータ領域でのヘリウム密度、 τ_R , τ_M , τ_P はそれぞれコア・プラズマへリサイクリングする時定数、選択排気材料にトラップされる時定数、ポンピングポートから炉外に排気される時定数である。(3)および(4)式から次式を得る³⁾。

$$f_R^{Div} = \frac{\tau_{He}}{\tau_R} \frac{V_D}{V_C} \frac{n_{He}^D}{n_{He}}, \quad (5)$$

$$f_M^{Div} = \frac{\tau_{He}}{\tau_M} \frac{V_D}{V_C} \frac{n_{He}^D}{n_{He}}, \quad (6)$$

$$f_P^{Div} = \frac{\tau_{He}}{\tau_P} \frac{V_D}{V_C} \frac{n_{He}^D}{n_{He}}, \quad (7)$$

(2)リミター配位の場合

リミター配位では選択排気金属を TEXTOR の実験で行われたようにリミターヘッドの裏側に設置するものとする。ヘリウム灰は、リミターヘッドのスロート部分からリミター内部に入射し、選択排気金属と衝突しトラップされる構造になっている。このため、生成されたヘリウム灰の全ては選択排気金属を設置している領域に入射しない。そのため、選択排気金属が設置されている領域でのヘリウムの密度バランスを考慮するには、ダイバータ配位の場合の式を修正する必要がある。リミター配位の場合のヘリウムイオンの挙動を Fig.2(a), (b) に示す。この場合の核融合プラズマにおけるヘリウムイオンのバランスは、

$$f_{in}^{Lim} + f_{out}^{Lim} = 1, \quad (8)$$

$$f_{in}^{Lim} = f_R^{Lim} + f_P^{Lim} + f_M^{Lim}, \quad (9)$$

となる。ここで f_{in}^{Lim} , f_{out}^{Lim} は、各々リミター内部の選択排気金属の設置している領域に入射してくるヘリウム、リミター内部に入射しないヘリウムの割合である。 f_R^{Lim} , f_P^{Lim} , f_M^{Lim} は、各々コア・プラズマへリサイクリングする割合、ポンプにより炉外に排気される割合、選択排気金属によりトラップされる割合である。リミター内部の体積を V_L とすると、リミター内部の領域でのヘリウム灰の個数バランスは、

$$V_L \frac{dn_{He}^L}{dt} = -V_L \left(\frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{\tau_M} + \frac{1}{\tau_P} \right) n_{He}^L + f_{in}^{Lim} V_L \frac{n_{He}}{\tau_{He}} = 0, \quad (10)$$

となる。但し、 τ_R , τ_M , τ_P は各々リサイクリングの時定数、トラップの時定数、排気の時定数である。(9)および(10)式から、次式を得る。

$$f_R^{Lim} = \frac{\tau_{He}}{\tau_R} \frac{V_L}{V_C} \frac{n_{He}^L}{n_{He}}, \tag{11}$$

$$f_M^{Lim} = \frac{\tau_{He}}{\tau_M} \frac{V_L}{V_C} \frac{n_{He}^L}{n_{He}}, \tag{12}$$

$$f_P^{Lim} = \frac{\tau_{He}}{\tau_P} \frac{V_L}{V_C} \frac{n_{He}^L}{n_{He}}, \tag{13}$$

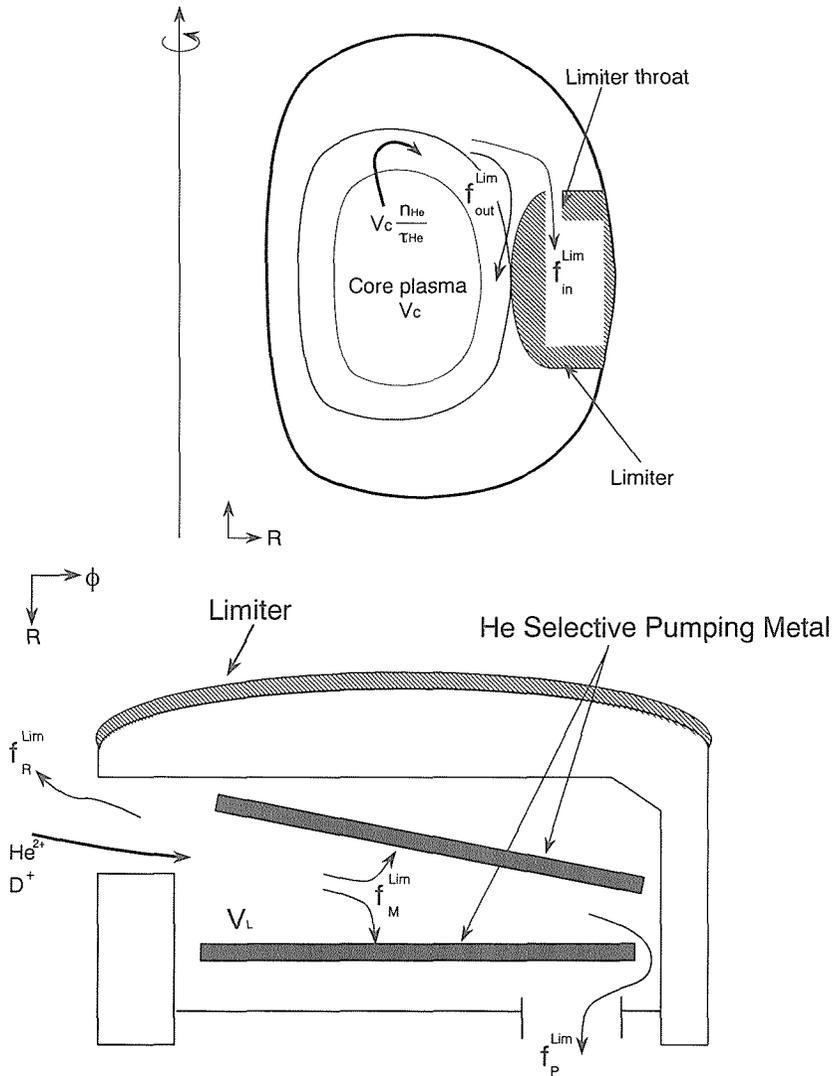


Fig. 2 Particle balance of helium ions in a fusion reactor with limiter configuration.
 (a) Core plasma
 (b) Inside of limiter

(3)ダイバータ配位とリミター配位のヘリウム灰濃度の比較

先述のように、リミター配位の場合は生成されたヘリウム灰が全てはリミター内部に入射してくることはない。そのため $f_{in}^{Lim}=0.1^{4,5)}$ としてダイバータ配位とリミター配位との比較を行う。

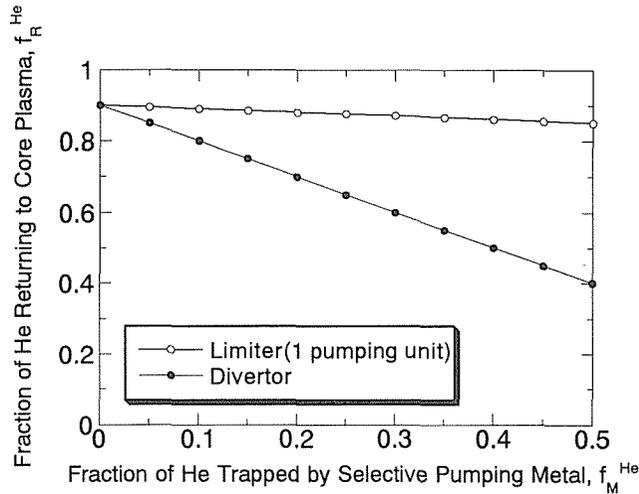


Fig. 3 Recycling ratio of helium, f_R^{He} , versus trapping ratio of helium, f_M^{He} , in divertor and limiter configurations.

Fig.3に両配位で選択排気金属にトラップされる割合 (f_M^{He}) に対するコア・プラズマへのリサイクリング率 (f_R^{He}) を示す。但し、リミター配位の場合は、選択排気金属を設置しているポンピングユニットが1つの場合についてである。ダイバータ配位の場合は、リミター配位の場合と比較して、選択排気金属のトラップ確率の上昇とともに大きくヘリウムのリサイクリング率が低下する。

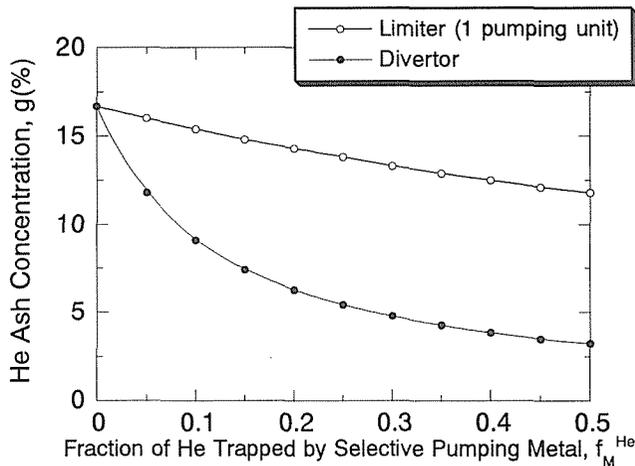


Fig. 4 Ratio of helium ash concentration, g, versus trapping ratio of helium, f_M^{He} , in divertor and limiter configurations.

Fig.4は、選択排気金属にトラップされる割合 (f_M^{He}) に対するコア・プラズマ中のヘリウム灰濃度 g を示したものである。ダイバータ配位の場合は、リミター配位の場合と比較して、選択排気

金属のトラップ確率が少し増加しただけで大きくヘリウム灰濃度が減少する。この結果は、生成されたヘリウム灰の選択排気金属への入射割合がリミター配位の場合、ダイバータ配位より小さいことに起因する。このため、リミター配位の場合は、ポンピングユニットの数を増加させねば、選択排気金属によるヘリウム灰除去の効果は余り期待できない。そこでこのポンピングユニットの数を変化させた場合の f_M^{He} と f_R^{He} の関係および f_M^{He} と g の関係をそれぞれ Fig.5, Fig.6 に示す。同じ確率で選択排気金属がヘリウムをトラップする場合、リミター配位ではポンピングユニットの数を5つにしても、ダイバータ配位よりヘリウム濃度を低減させることはできない。

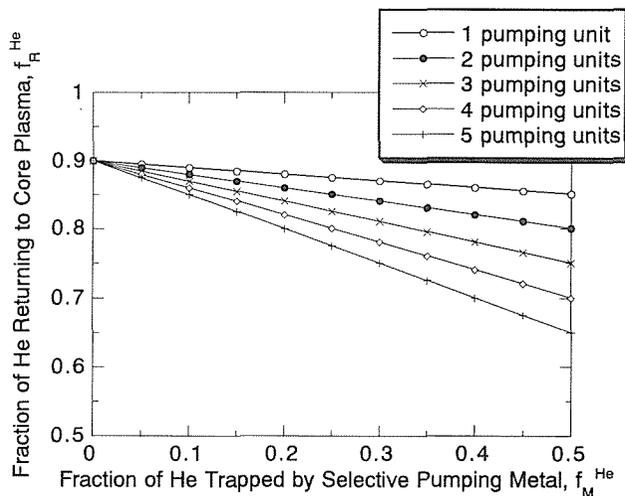


Fig. 5 Recycling ratio of helium, f_R^{He} , versus trapping ratio of helium, f_M^{He} , for number of pumping units in limiter configuration.

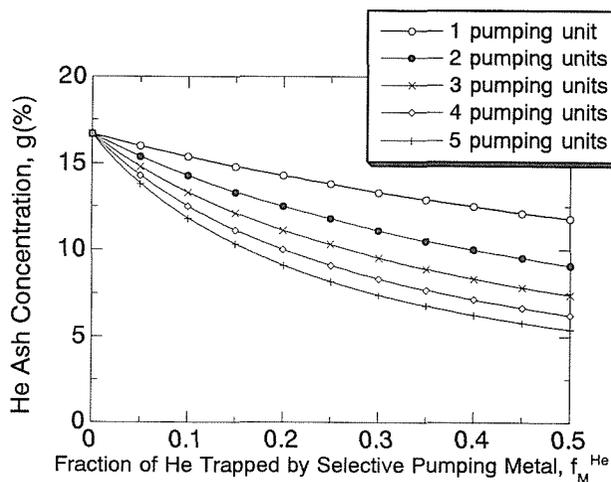


Fig. 6 Ratio of helium ash concentration, g , versus trapping ratio of helium, f_M^{He} , for number of pumping unit in limiter configuration.

これらの計算では、両配位の各パラメータが同様の値を持つと仮定したが、ダイバータ配位とリミター配位ではその構造の違いからパラメータに若干の違いが生じると考えられる。しかし、

ヘリウム灰の除去のために選択排気金属を補助ポンプとして用いる場合、リミター配位よりダイバータ配位での使用の方が効果的であることは変わらない。

4. ま と め

本論文では、ヘリウム灰除去の補助的排気法として選択排気金属を使用した場合の効果をダイバータ配位とリミター配位について比較検討した。ダイバータ配位の方が選択排気金属のヘリウムトラップ確率の上昇とともにヘリウム濃度は大きく減少すること、リミター配位の場合にポンピングユニットを5つまで増加させてもダイバータ配位の方がより大きくコア・プラズマ中のヘリウム灰濃度を低減できることがわかった。これらの結果から選択排気金属によるヘリウム灰の除去には、ダイバータ配位の方がより効果的であることが分かった。

参 考 文 献

- 1) R. E. Nygren et al, J. Nucl. Mater., 196-198(1992)558.
- 2) J. N. Brooks et al, J. Nucl. Mater., 196-198(1992)664.
- 3) T. Hino et al, Fus. Eng. & Design, 24(1994)437-440.
- 4) J. N. Brooks et al, J. Nucl. Mater., 121(1984)392-397.
- 5) J. N. Brooks et al., J. Nucl. Mater., 176&177(1990)635-639.