

プロトンポンプによる原型炉一次燃料系水素同位体ダイレクトリサイクルの効果

Effect of direct recycle of hydrogen isotopes by proton pump on the primary fuel cycle of DEMO

*小西哲之¹、宮垣寛之²、向井啓祐¹、日渡良爾³、磯部兼嗣³、増崎貴⁴、
田中将裕⁴、原正憲⁵、片山一成⁶

¹京都大学エネルギー理工学研究所、²京都大学エネルギー科学研究科、³量子科学技術研究機構、
⁴核融合科学研究所、⁵富山大水素同位体研究センター、⁶九州大学総合理工学研究院

核融合原型炉の一次燃料系において、プロトン導電体を用いた水素同位体移送によるダイレクトリサイクルを導入した場合の燃料系のインベントリーと応答への影響を評価した。ダイバータから水素同位体を選択的に気相で排気昇圧する結果、循環時定数が大幅に短縮され、インベントリー低減効果があることがわかった。

キーワード：トリチウム、原型炉、燃料系、プロトン導電体、ダイレクトリサイクル

1. はじめに

核融合燃料系はプラズマ排ガスを化学的に精製し、同位体分離してプラズマに再供給する必要があるが、低い燃焼率のために循環量とインベントリが過大になることが指摘され、排ガスをプラズマに再循環することが考えられる[1]。このために演者らはプロトン導電体を用いた電気化学ポンプで、図1に示すようにダイバータの排気から純水素同位体のみを供給系に戻すシステムを検討し、1次燃料系の特性に及ぼす影響を評価した。

2. プロトンポンプと燃料系への影響

ダイバータから燃料循環系に排ガスを移送するポンプは原型炉で数 100Pam³/s の水素同位体を、1Pa 以下から 100kPa に昇圧することが要求される。プロトン導電体酸化物を水素透過性金属で挟んだ板状のポンプは、図2左のように構成し、図2右のようにダイバータ直下の排気ダクトから選択的に水素同位体を気体で抽出する。

インピーダンス測定の結果、400℃以上で十分な電導度を持ち、時定数は 20 秒以下となることがわかった。要求される電流密度は 1mA/cm² 程度となる。図1に核融合プラントの一般化簡略化したトリチウムフローを示す。わずかな同位体効果が期待できるため、DT 混合ガスから重水素富化分とトリチウム富化分を分離回収し、プラズマの成分調整に利用可能である。燃料系では、リサイクルにかかる時定数が数時間から 20 秒程度に短縮され、またその部分のインベントリが 1/100 程度になるため、特にパルス運転においては dwell のあいだに次のショットのための燃料ガスを準備できることになる。

3. まとめ

DEMO 炉では運転初期は低濃度のパルス運転が想定され、ダイレクトリサイクルは特にこの低濃度トリチウム運転に適する。少量のトリチウムが短時定数で循環使用できるため、燃料自給の点で有利である。

参考文献 [1]日渡良爾 et al., 原子力誌 60(9),567-573(2018).

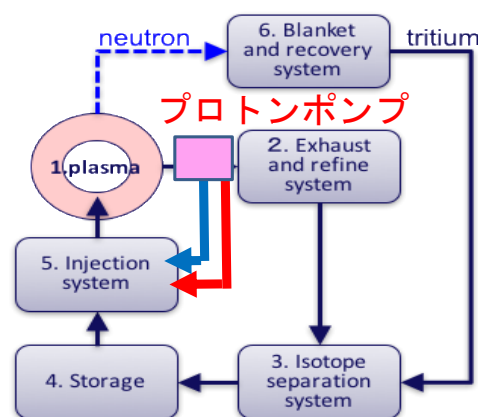


図1 プロトン導電体ポンプを用いたダイレクトリサイクル燃料系の構成。

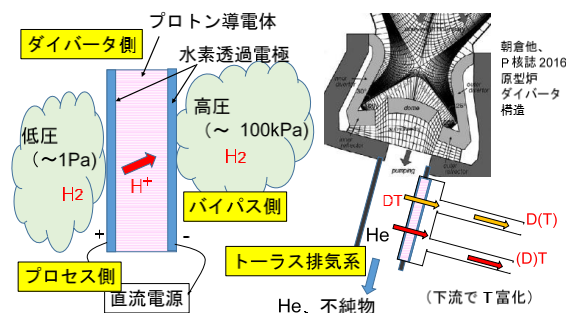


図2 プロトン導電体ポンプとダイバータ排気概念の概念図。

*Satoshi Konishi¹, Hiroyuki Miyagaki², Keisuke Mukai¹, Ryoji Hiwatari³, Kanetsugu Isobe³, Suguru Masuzaki⁴, Masahiro Tanaka⁴, Mawsanori Hara⁵, Kazunari Katayama⁶, ¹Institute of Advanced Energy, Kyoto Univ., ²Graduate School of Energy Science, Kyoto Univ., ³National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, ⁴National Institute for Fusion Science, ⁵Hydrogen Isotope Research Center, Univ. Toyama, ⁶Faculty of Engineering Science, Kyushu Univ.,