

研究種目：特定領域研究

研究期間：FY2007～FY2011

課題番号：19055006

研究課題名（和文）

核融合炉ブランケット材中のトリチウム移動解明と新規回収プロセス開発の研究

研究課題名（英文）：Research on clarification of tritium transfer in fusion reactor blankets and development of new tritium recovery process

研究代表者

深田 智 (FUKADA SATOSHI)

九州大学・大学院総合理工学研究院・教授

研究者番号：50117230

研究代表者の専門分野：原子力化学工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：プラズマ・核融合、原子力エネルギー、トリチウム、ブランケット

### 1. 研究計画の概要

(1) 本研究は、定常核融合炉を将来のエネルギー源として成立させるため、プラズマコア内で燃料トリチウムを消費しつつ同量以上のトリチウムをブランケットで製造回収するとともに、トリチウム漏洩を規則に定められた量以下に抑制し、核融合炉安全性と経済性を両立させたトリチウム増殖ブランケットトリチウム回収システム構築のため組織された。

(2) 固体や液体トリチウム増殖材の  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ 、 $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ 、 $\text{Li}$ 、 $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ 、 $\text{Flibe}$  等の熱物性、機械物性等過去のデータはあるものの、増殖材中の生成トリチウム放出挙動の統合的説明は不十分であり、トリチウム増殖が経済的に成立する見通しは未だ得られていない。それ故、上記材料を使った先進ブランケットからのトリチウム製造回収システムの合理的かつ経済性構築に集約し研究を実行する。

(3) 上記目的達成のため、原子力と核融合分野の化学、熱、物理、プロセス工学分野で研究実績がある九大、原子力研究開発機構、核融合科学研究所の研究者が集い、先進ブランケット設計に必要なトリチウム移動現象の解明およびそのためのデータ取得、先進トリチウム回収装置のための要素研究、熱交換器性能向上のための実験的研究をおこなう。

### 2. 研究の進捗状況

(1) 中性子照射下の上記各種酸化物ブランケット材や液体金属ブランケット材のトリチウム輸送データベースを求め、成果を論文に報告した。特に  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  は日本の水冷却ブランケット第一候補材であり、トリチウム拡散、反応、交換等のプロセスを含めた解析に成功した。液体  $\text{Li}$  でも Y 板による核融合炉設計目

標の 1ppm 以下回収を成功させた。 $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$  や  $\text{Flibe}$  でも  $\text{H}_2$ 、 $\text{D}_2$  の吸収、拡散速度と同位体効果を求め、 $\text{T}_2$  回収評価に成功した。マクロ的視野からの研究では、ブランケット流動可視化装置でマイクロとマクロ移動を解明した。

(2) 新規電気化学的回収方法を使ったトリチウム回収実証をおこない、高濃度トリチウム回収に成功した。安全面でも F82H フェライト管や Pd-Ag 管等、核融合炉で実際に用いられる壁材料のトリチウム透過を研究し、核融合関連国際学会で多数発表し、論文を公表した。

### 3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

(理由)

固体ブランケット材では、同伴する水蒸気の回収率への影響、同位体交換反応、トリチウム輸送プロセスの定量的解明と合理的トリチウム回収システム構築の当初研究計画を達成した。現在は、透過まで含めた総合システムからの移行過程解明に進んでいる。特に核融合中性子源施設で DT 反応から発生する中性子を使ったトリチウム製造と回収に成功し、製造から回収までの一連のプロセス実証に最近成功した。液体ブランケットでは、 $\text{Li}$  や  $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$  増殖材等のトリチウム回収と挙動把握に成功するとともに、同位体効果を最初に解明し、トリチウム適用可能性を明らかにした。一連の成果を欧文学術誌に発表した。

### 4. 今後の研究の推進方策

特定領域研究に残された今後2年間は、より現実的かつ経済性を満足する  $\text{He}$  冷却材からの熱とトリチウム同時回収法およびトリチウムを配管外へ漏洩させないシステム構築について研究し、現実的ブランケットシステム構築を成し遂げたいと考えている。

### 5. 代表的な研究成果（研究代表者、研究分

担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計20件)

- (1) Y. Edao, S. Fukada, H. Noguchi, Y. Maeda, K. Katayama, “Isotope effects of hydrogen absorption and diffusion in  $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$  eutectic alloy”, Fusion Science and Technology, 56, 831-835 (2009) 査読有.
- (2) K. Katayama, Y. Uchida, T. Fujiki, M. Nishikawa, S. Fukada, N. Ashikawa, T. Uda, “Hydrogen release from deposition layers formed from 316 stainless steel by hydrogen plasma sputtering”, Journal of Nuclear Materials, 390-391, 689-692 (2009) 査読有.
- (3) Y. Edao, S. Fukada, S. Yamaguchi, H. Nakamura, “Tritium removal by Y hot trap for purification of IFMIF Li target”, Fusion Engineering and Design, 85, 53-57 (2009) 査読有.
- (4) D. Masuyama, T. Oda, S. Fukada, S. Tanaka, “Chemical state and diffusion behavior of hydrogen isotopes in liquid lithium-lead”, Chemical Physics Letters, 483, 214-218 (2009) 査読有.
- (5) S. Fukada, M. Terashita, “Behavior of desorption of hydrogen, helium and impurities from cryosorption pump”, Fusion Science and Technology, 57, 112-119 (2009) 査読有.
- (6) Y. Kawamura, K. Isobe, Y. Iwai, K. Kobayashi, H. Nakamura, T. Hayashi, T. Yamanishi, “Research and development of the tritium recovery system for the blanket of the fusion reactor in JAEA”, Nuclear Fusion, 49, 055019 (2009) 査読有.
- (7) Y. Kawamura, Y. Iwai, T. Hayashi, T. Yamanishi, K. Munakata, “Adsorption capacity of tritium on mordenite at low temperature”, Fusion Science and Technology, 56, 168-172 (2009) 査読有.
- (8) H. Tanigawa, T. Hoshino, Y. Kawamura, M. Nakamichi, K. Ochiai, M. Akiba, M. Ando, M. Enoeda, K. Ezato, K. Hayashi, T. Hirose, C. Konno, H. Nakamura, T. Nozawa, H. Ogiwara, Y. Seki, H. Tanigawa, K. Tsuchiya, D. Tsuru, T. Yamanishi, “R&D of a  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  pebble bed for a test blanket module in JAEA, Nuclear Fusion, 49, 055021 (2009) 査読有.
- (9) 関洋治、江里幸一郎、榎枝幹男、小特集核融合炉の除熱技術-実用から先進技術まで-2.2 ブランケットの伝熱流動、プラズマ・核融合学会誌, 85, 543-547 (2009) 査読有.
- (10) Y. Kawamura, T. Arita, K. Isobe, T. Yamanishi, “Enhancement of pumping performance of electrochemical hydrogen pump by modified electrode”, Fusion Engineering and Design, 83, 625-633 (2008) 査読有.
- (11) Y. Kawamura, Y. Onishi, K. Okuno, T. Yamanishi, “Adsorption capacity of hydrogen

isotopes on mordenite”, Fusion Engineering and Design, 83, 655-660 (2008) 査読有.

- (12) Y. Kawamura, Y. Onishi, K. Okuno, T. Yamanishi, “Hydrogen isotope separation capability of low temperature mordenite column for gas chromatograph”, Fusion Engineering and Design, 83, 1384-1387 (2008) 査読有.
  - (13) T. Kinjo, M. Nishikawa, M. Enoeda, S. Fukada, “Tritium diffusivity in crystal grain of  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  and tritium release behavior under several purge gas condition”, Fusion Engineering and Design, 83, 580-587 (2008) 査読有.
  - (14) K. Suematsu, M. Nishikawa, S. Fukada, T. Kinjo, T. Koyama, N. Yamashita, “The effect of water on tritium release behavior from solid breeder candidates”, Fusion Science and Technology, 83, 561-564 (2008) 査読有.
  - (15) T. Kinjo, M. Nishikawa, N. Yamashita, T. Koyama, K. Suematsu, S. Fukada, M. Enoeda, “Characteristics of tritium release behavior from solid breeder materials”, Fusion Science and Technology, 54, 557-560 (2008) 査読有.
  - (16) S. Fukada, M. Kinoshita, Y. Maeda, T. Muroga, “Verification to recover tritium in neutron-irradiated Li by Y plate”, Fusion Engineering and Design, 82, 2152-2157 (2007) 査読有.
  - (17) T. Kinjo, M. Nishikawa, M. Enoeda, “Estimation of tritium release behavior from solid breeder materials under the condition of ITER test blanket module”, Journal of Nuclear Materials, 367-370, 1361-1365 (2007) 査読有.
  - (18) S. Fukada, K. Katayama, T. Terai, A. Sagara, “Recovery of tritium from Flibe blanket in fusion reactor”, Fusion Science and Technology, 52, 677-681 (2007) 査読有.
  - (19) T. Okamura, K. Katayama, K. Imaoka, Y. Uchida, M. Nishikawa, S. Fukada, “Erosion behavior of carbon deposition layers formed by hydrogen plasma sputtering”, Fusion Science and Technology, 52, 645-648 (2007) 査読有.
  - (20) K. Katayama, T. Okamura, K. Imaoka, M. Sasaki, Y. Uchida, M. Nishikawa, S. Fukada, “Incorporation of hydrogen in carbon-tungsten co-deposition layer formed by hydrogen plasma sputtering”, Fusion Science and Technology, 52, 640-644 (2007) 査読有.
- 〔学会発表〕(計0件)  
省略。発表内容は下記アドレスにあります。
- 〔図書〕(計0件)  
該当無し
- 〔産業財産権〕  
○出願状況 (計0件)  
○取得状況 (計0件)  
〔その他〕  
ホームページ  
<http://tritium.nifs.ac.jp/results/index.html>