

研究種目：特定領域研究
研究期間：2007～2011
課題番号：19055001
研究課題名（和文）核融合炉ブランケット材料中のトリチウム—材料相互作用に関する研究
研究課題名（英文）The behavior of Tritium in high temperature melted blanket liquid;
invisible leak prevention and recovery
研究代表者
寺井 隆幸 (TERAI TAKAYUKI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：90175472

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：ブランケット、トリチウム、増殖材料、中性子照射、コーティング

1. 研究計画の概要

現在、各種増殖材料候補を取り上げたさまざまなブランケット概念が提唱されているが、そのトリチウム漏洩防止及び回収能について緻密設計を可能とする基礎データ及び学術的バックボーンは十分整備されていない。ブランケット環境下におけるトリチウムの生成・溶解・拡散・放出・構造材料壁透過挙動は、中性子照射や流動の影響を受けることが明らかになっており、ブランケット構擬環境下におけるこれらの素過程に関する基礎データの整備とメカニズムの解明が急務となっている。本研究の目的は、各種増殖材料中及びその近傍におけるトリチウム挙動に関する学術的基盤を構築することである。本計画研究では、リチウムタイタネート、液体リチウム、液体リチウム鉛、フッ化リチウム—フッ化ベリリウム混合熔融塩（以下 Flibe）という4つの有力なトリチウム増殖材料について取り上げ、使用温度に加熱して東京大学弥生炉に装荷し、中性子照射下でトリチウムを生成させながらのトリチウム挙動のその場観察研究を進めてきたほか、トリチウム挙動に大きな影響を及ぼすリチウムタイタネート中のリチウム成分比と酸化還元雰囲気に応じた酸素欠損の解明、液体リチウム中のトリチウム濃度のその場測定法の開発と、イットリウムによる回収の基礎試験、原子炉ポートに装填可能な小型熱流動ループの開発などを進めてきた。これらの増殖材料と接する配管からのトリチウム漏洩を防止するために、耐食性に優れ、増殖材料使用温度で機能するトリチウム透過防止コーティングの開発を進め、わずかな漏洩のメカニズムを明らかにしてきた。なお、弥生炉は平

成 22 年度末で共同利用を終了する予定となったため、照射試験を一部前倒して実施して対応している。これらの成果は、総括班の評価委員からもその成果が高く評価されているだけでなく、領域の中間評価結果でも A 評価がなされている

2. 研究の進捗状況

ブランケットにおける増殖材料候補は現在比較検討がなされており、設計に資するためには各種候補材に対するトリチウム挙動を明らかにする必要がある、本計画研究では以下の5つのサブテーマについて密接な協力のもと平行して研究を実施した。

(1) 熔融金属リチウム (Li) 中のトリチウム挙動；液体リチウム中へ導入した水素または重水素、または、東大弥生炉における液体リチウムへの中性子照射により発生させたトリチウムについて、純鉄壁を通しての透過メカニズムを明らかにした。

(2) 熔融リチウム鉛 (Li17-Pb83) 合金中のトリチウム挙動；熱流動ループを弥生炉の照射孔内に設置し、トリチウムの生成・放出をオンラインで測定するため、現在までに照射体系の設計と製作及び炉外流動試験、試行照射を実施した。

(3) Flibe 熔融塩中のトリチウム挙動の解明とトリチウム化学形の制御；熔融 Flibe に対し弥生炉で照射し、生成したトリチウムを回収してその場観察し、放出漏えいメカニズムを明らかにした。

(4) 固体トリチウム増殖材料中の酸素欠損とトリチウムの相互作用の解明；弥生炉に Li₂TiO₃ ペレットを設置しトリチウム生成・放出実験を行い、酸素欠損が大きく影響

する事を示した。還元されにくく大量合成可能な、水酸化リチウムとメタチタン酸を用いた固相法による合成法による Li 添加型 Li_2TiO_3 の作成とそれらの酸素欠損を調べた。(5) 増殖材料と接するブランケット構造材料のトリチウム透過防止コーティングの研究; アーク蒸着法とゾル-ゲル法による Er203 薄膜試料の作製、薄膜試料の分析、重水素透過試験を行った。温度上昇による薄膜内結晶粒の成長によって水素透過係数が変化する事から粒界が主な拡散経路である事等を突き止めた。

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) 平成 21 年度に行われた領域としての中間評価は A であったこと、また総括班の評価委員からもこれまでの研究は十分成果をあげていることを認めていただいている。また、弥生炉の運転終了に伴う計画の前倒しも順調に実施しており、当初計画を上回るペースで研究が進行している。

4. 今後の研究の推進方策

当初計画からの大幅な変更は行わない。東大弥生炉の共同利用終了に伴い、平成 23 年度に行う予定であった試験を平成 21, 22 年度に前倒して実施する必要が生じているが、順調に実施中である。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(19 件)

- ① Juro YAGI, Akihiro SUZUKI, Takayuki Terai, Takeo MUROGA, Satoru Tanaka, “In-situ observation of hydrogen hot trapping from molten lithium with yttrium”, *Fusion Engineering and Design*, vol.84, pp.1993-1996, 2009
- ② Takumi Chikada, Akihiro Suzuki, Zhenyu Yao, Denis Levchuk, Hans Maier, Takayuki Terai, Takeo Muroga, “Deuterium Permeation Behavior of Erbium Oxide Coating on Austenitic, Ferritic, and Ferritic/Martensitic Steels”, *Fusion Engineering and Design*, vol.84, pp.590-592
- ③ Masaru Nagura, Akihiro Suzuki, Takeo Muroga, Takayuki Terai, “ LiErO_2 formation on Er_2O_3 in static and natural convection lithium”, *Fusion Engineering and Design*, vol.84, pp.841-845, 2009
- ④ T. Hoshino, K. Sasaki, K. Tsuchiya, K. Hayashi, A. Suzuki, T. Hashimoto, T. Terai, “Crystal Structure of Advanced Lithium Titanate with Lithium Oxide Additives”, *Journal of Nuclear*

Materials, Vol.386-388, pp.1098-1101, 2009

- ⑤ K. Shimura, K. Yamaguchi, M. Yamawaki, T. Terai, “Modelling of Hydrogen Release from Functional Materials via Cellular Automaton”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol.449, pp.357-361, 2008
- ⑥ T. Tanaka, R. Nagayasu, A. Sawada, T. Ikeda, F. Sato, A. Suzuki, T. Muroga, T. Iida, “Electrical insulating property of ceramic coating materials in radiation and high-temperature environment”, *Journal of Nuclear Materials*, vol.367-370, pp.1155-1159, 2007
〔学会発表〕(計 53 件)
- ① Takumi Chikada, Akihiro Suzuki, Teruya Tanaka, Norikun Kin, Takayuki Terai, Takeo Muroga, “Microstructure Control and Deuterium Permeability of Erbium Oxide Coating on Ferritic/Martensitic Steels by Metal Organic Decomposition Method”, 9th International Symposium on Fusion Nuclear Technology, 2009, Dalian, China
- ② Masaru Nagura, Akihiro Suzuki, Takayuki Terai, “Chemical stability of LiYO_2 as an insulating material”, 9th International Symposium on Fusion Nuclear Technology, 2009, Dalian, China
- ③ J. Yagi, A. Suzuki, T. Terai, T. Muroga, S. Tanaka, “In-situ observation of hydrogen hot trapping from molten lithium with yttrium” 25th Symposium On Fusion Technology, 2008, Rostock
- ④ 星野毅, 林君夫, 佐々木一哉, 鈴木晶大, 寺井隆幸, “ $\text{Li}_4\text{TiO}_4 + \text{Li}_2\text{TiO}_3$ 二相混合先進固体トリチウム増殖材料”, 日本原子力学会春の年会, 2008, 大阪
- ⑤ A. Suzuki, B. Pint, T. Chikada, D. Levchuk, F. Koch, T. Muroga, T. Terai, “Compatibility of MHD coating candidate materials with liquid lithium under neutron irradiation”, ICFRM-13, 2007, Nice, France

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕(計 0 件)

〔その他〕特になし。