

令和元年5月9日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18339

研究課題名(和文) リチウムナトリウム合金を用いた液体ブランケットシステム構築のための材料基礎研究

研究課題名(英文) Basic Properties of Lithium-Sodium Liquid Alloy for Fusion Blanket System

研究代表者

八木 重郎 (Yagi, Juro)

京都大学・エネルギー理工学研究所・講師

研究者番号：70629021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：リチウムナトリウム合金のトリチウム生産性、材料腐食性、水素溶解度について基礎的な計算及び実験を行い、ブランケットシステムの成立性について検討した。

Li-Na合金のブランケットシステムは、トリチウム生産性の面では問題がないものの、絶縁材料との良好な両立性は実現が難しいことから、磁場閉じ込め型核融合炉のブランケットにおいてはMHD圧力損失の問題とならない低流速での流動が望ましいといえる。生成トリチウムの回収については純Liに比較すると50%Li-Na合金でも平衡水素圧にして2桁程度の向上があるため、純Liでは難しいとされてきた透過窓を通した真空回収が可能になる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合炉用の液体トリチウム増殖材料としてリチウムナトリウム合金に着目し、その基礎的な特性試験を実施した。リチウムとナトリウムは同族でありながら水素に対する挙動など、大きく異なる特性があり、合金化により純リチウムの課題を克服する新たな候補材料となることが期待できた。結果としてはセラミックスとの共存性など、従来からの課題を克服できない点もあったものの、核融合燃料となるトリチウムの取り出しが容易になるという向上は認められた。核融合炉の液体増殖材料は、従来からの候補材にも一長一短があるため、従来候補に縛られない、新しい視点での材料探索の余地があることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：Liquid Li-Na alloy, a new candidate tritium breeding material, is focused and its fundamental behaviors -Tritium breeding ratio calculation, material compatibility, and hydrogen solubility- were investigated.

The tritium breeding ration of Li-Na was relatively good, however the compatibility with insulating ceramic materials was not good. Thus, the MHD drag in the blanket of the magnetic confinement reactor is unavoidable. In such blanket system, low speed flow of Li-Na alloy is required using another liquid as a coolant. With regard to the tritium recovery, there is an improvement of about 2 orders in equilibrium hydrogen pressure even with 50% Li-Na alloy compared to pure Li, so vacuum recovery through the permeation window, which has been considered difficult with pure Li, is available.

研究分野：核融合学

キーワード：リチウムナトリウム合金 核融合ブランケット 液体金属

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

DT 型核融合炉では燃料となるトリチウムの生産と熱の取り出しのため、リチウムを含む流体による冷却とトリチウム生産が考えられている。この流体が液体トリチウム増殖材であり、その一つである純リチウムは熱流動性・中性子の利用効率に優れている一方で、絶縁材料との共存性や、トリチウム溶解度が高いことによりトリチウムの回収手法が限定されてしまうことが課題である。

ナトリウムとの合金化はこのリチウム本来の利点を損ないにくく、またナトリウム由来の特性によりトリチウム回収性の向上や絶縁材料との共存性の向上が見込まれるため、本材料の基礎特性を明らかにすることが重要と考えられた。

2. 研究の目的

リチウムナトリウム合金は液体トリチウム増殖材料として、液体リチウムの弱点を克服した画期的材料と期待できる。本液体合金と材料との共存性などを明らかにすることにより、リチウムナトリウム合金の基礎的データを収集し、ブランケットシステムの成立性について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

- ・水素溶解度についてはリチウムナトリウム合金を封入した純鉄製キャプセルを用い、壁面を通じた水素・重水素の吸収及び放出挙動から水素同位体の溶解度を算出した。
- ・絶縁材料との共存性については、静置環境の小型キャプセル内試験にて実施した。材料としては液体リチウム用として期待されている Er203 に加えて、SiC、安定化ジルコニア、AlN 等を用い、共存性の評価は試験前後の重量変化や元素分析などで行なった。
- ・トリチウム生成率の計算については、リチウムナトリウム合金の組成ごとにトリチウム増殖率 TBR を算出した。データライブラリとしては JENDL4.0、計算コードは MCNP を使用した。

4. 研究成果

・リチウムナトリウムブランケットを仮定したトリチウム生成計算の結果を図 1 に示す。体系は単純なドーナツ型形状(大半径 14m、Li-Na 部小半径 1.82~2.10m)、構造材:低放射化鋼 JLF-1、金属 Be 増倍とし、Li-Na 合金については合金濃度および ${}^6\text{Li}$ 濃縮率の 2 つをパラメータとした。Li-Na 合金の各原子密度については正確な文献値がなかったため、純 Li および純 Na の濃度に応じた単純平均とした。

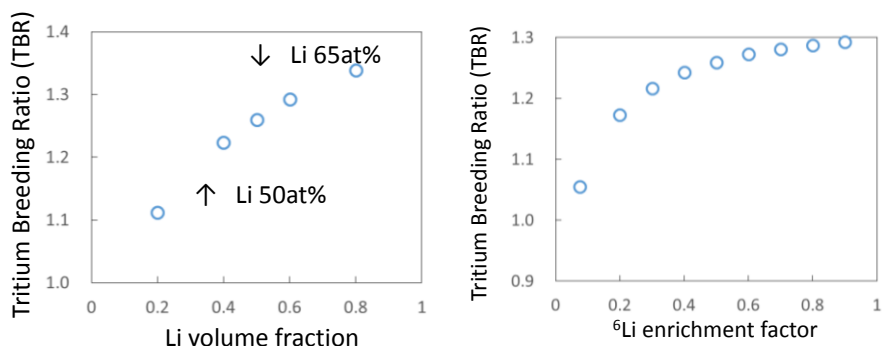


図 1 : Li-Na ブランケットにおけるトリチウム生成量

左 : ${}^6\text{Li}$ 濃縮率 50%での Li 体積率依存性 右 : Li 体積率 50%での ${}^6\text{Li}$ 濃縮率依存性

これにより、Li-Na 合金は従来ブランケットに劣らないトリチウム生産性を実現できることが分かった。一般的にトリチウム生成率 (TBR) が 1.2 程度確保できると、単純ドーナツ形状と実機の差異 (測定ポートやダイバータなど、効果的なブランケット設置ができない部分の中性子のロスなど) を加味しても燃料サイクルが成立するとされている。

・絶縁材料の共存性について、316L ステンレス鋼製の小型キャプセル (純 Li, 純 Na もしくは 50at%Li-Na 合金, 液量約 10 mL) 内にセラミックスタブレット (焼結体 $\phi 10 \times 5$ mm) を浸漬し、 600°C で 5 日間および 550°C で 28 日間の保持を行った。 600°C での試験後のセラミック試料の外観は表 1 のとおりであり、純 Li と比較して極端な悪化はないものの、当初の期待ほどの共存性の向上は認められなかった。この中で比較的良好な結果であった Er_2O_3 および CaZrO_3 に AlN, SiC を加えて 550°C 28 日間の浸漬試験を行った。液体金属への溶出元素を ICP により分析した結果を 600°C での試験と合わせて表 2 に示す。Er など溶出の認められないものもあったものの、試験後タブレットは溶解処理により図 2 のようなはく離や崩壊があったことから、絶縁材料としての機能維持については難しいとの結論に至った。

表 1 : 600°Cにおける Li-Na と絶縁材料の共存性

	TiO ₂	CaTiO ₃	CaZrO ₃	Y ₂ O ₃	Er ₂ O ₃
Li	× 黒粉化	× 黒粉化	○~△ 灰色化 部分破碎	× 白粉化	○~△ 灰色化
Li-Na 50%	× 黒粉化	× 黒粉化	○~△ 黒色化	× 粉碎	○~△ 灰色化
Na	× 黒粉化	○~△ クラック	× 粉碎	× 粉碎	○~△ 灰色化

表 2 : Li-Na 中での絶縁材料の元素溶出(mg)
黒字は 550°C28 日、赤字は 600°C4 日での値。ND は未検出

sample /ICP	Li	Li-Na	Na
Er ₂ O ₃ /Er	ND (835)	ND (12)	ND (2)
CaZrO ₃ /Ca	5 (2)	4 (21)	未実施
AlN /Al	130 (32)	ND (5)	ND (8)
SiC /Si	28 (33)	1.8 (4)	0.32 (12)



図 2 : 浸漬試験後・水洗後の Er₂O₃ タブレット 550°C28 日間
左 : 純 Li 中 中 : Li-Na 中 右 : 純 Na 中

・構造材料の共存性について、絶縁材料と同様のキャプセルを用いた溶出試験を実施した。結果を表 3 に示す。こちらでは概ね純 Li に比較して良好もしくは同程度、という結果が得られた。

・総括的評価

以上の結果より Li-Na 合金のブランケットシステムは、トリチウム生産性の面では問題がないものの、絶縁材料との良好な両立性は実現が難しいことから、磁場閉じ込め型核融合炉のブランケットにおいては MHD 圧力損失の問題とならない低流速での流動が望ましいといえる。この場合熱の取り出しは別種の流体により担保する必要があるが、アルカリ金属としての化学反応性は変わらないため、高温高圧水や超臨界二酸化炭素といった Li, Na に対する酸化性の媒体を使用する際は配慮が必要となる。生成トリチウムの回収については純 Li に比較すると 50%Li-Na 合金でも平衡水素圧にして 2 桁程度の向上があるため、純 Li では難しいとされてきた透過窓を通した真空回収が可能になる条件でありながら、管壁を通した透過漏洩に関しては懸念する必要がない増殖材となる。

表 3 : Li-Na 中での鋼材からの元素溶出(mg)
黒字は 550°C28 日、赤字は 600°C4 日での値。
ND は未検出

sample /ICP	Li	Li-Na	Na
316L /Fe	2.6 (3.7)	ND (1.8)	1.2 (1.1)
316L/Cr	ND (1.3)	ND (0.6)	ND (ND)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕（計 2 件）

①Juro Yagi, T. Tanaka, A. Sagara, T. Muroga, “COMPATIBILITY OF OXIDE CERAMICS WITH LITHIUM-SODIUM LIQUID ALLOY”, 18th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-18), 2017. 11. 5-10, Aomori, Japan

②八木重郎, 熊谷公紀, 田中照也, 室賀健夫, “リチウムナトリウム合金中における材料共存試験”, 第12回核融合エネルギー連合講演会, 2018. 6. 28-29, 大津市

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：熊谷 公紀

ローマ字氏名：(KUMAGAI, Kohki)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。