

令和元年6月13日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14526

研究課題名(和文) 動的な合金化プロセスによる高温溶融アルカリ金属の瞬時不活性化に関する研究

研究課題名(英文) Study on method for instantaneous inactivation of liquid alkali metals

研究代表者

近藤 正聡 (Kondo, Masatoshi)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：70435519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：核融合炉の液体燃料増殖材やIFMIFの液体ターゲット、高速炉の冷却材として、溶融アルカリ金属(リチウムやナトリウム)の応用が期待されている。しかし、溶融アルカリ金属は酸素や水と反応して燃焼するため、漏洩事故時に安全上の課題がある。本研究では、アルカリ金属燃焼時の斬新な消火手法の開発に挑戦した。溶融アルカリ金属に対して、金属鉛片(もしくは錫片)を直接投与する事により、瞬時に高融点且つ化学的に安定な合金を形成させる手法について研究を実施し、アルカリ金属の化学的活性度を制御する画期的な手法確立に繋がる様々な研究成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

優れた伝熱特性を有する液体アルカリ金属の課題の一つとして、大気や水と反応して燃焼する事が挙げられる。しかし、漏洩事故時等において、適切に処理する方法が確立できれば、そのリスクを大きく低減する事が可能である。従来は、燃焼したアルカリ金属に対して窒息消火が行われてきたが、本研究で提案した方法は化学的活性度の高い溶融アルカリ金属に対して金属片を投入して不活性な合金を形成する事により反応性を制御するという画期的な手法である。今後、更に応用が期待されるアルカリ金属技術(リチウムイオンバッテリーやBNCTターゲット)の安全面に大きく寄与する研究であると言える。

研究成果の概要(英文)：Liquid alkali metals are promising coolants for innovative nuclear reactors such as fusion reactors and fast reactors. However, they react with air and water violently. The alkali metal fire has been extinguished by covering with dried powders according to the suffocation effect. However, this is not reasonable method, since alkali metals keep their chemical activity and react with air and water without the cover. The large fire according to the accidental leakage of liquid alkali metal coolant in the nuclear reactors should be extinguished by reasonable methods. In the present study, revolutionary method to extinguish alkali metal fire based on the formation of Li alloys. The behaviors of Li and inert metals (i.e., Pb and Sn) in their alloying process were experimentally investigated. Various experiments were performed to make clear the thermophysical and chemical characteristics of the Li alloys.

研究分野：液体金属工学

キーワード：アルカリ金属 合金 消火 活性度 核融合 高速炉

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核融合炉の液体燃料増殖材や IFMIF の液体ターゲット、高速炉の冷却材として、熔融アルカリ金属(リチウム(Li)やナトリウム(Na))の応用が期待されている。しかし、熔融アルカリ金属は酸素や水と反応して燃焼するため、事故時に安全上の課題がある。従来、アルカリ金属燃焼時の消火方法として、乾燥砂等を燃焼したアルカリ金属に対して噴霧し、酸素を遮断する事により消火する“窒息消火”という方法が取られてきた。しかし、この場合、アルカリ金属自体の化学的活性度は高い状態を維持しているため、噴霧した乾燥砂等が何らかの理由により取り除かれた場合、再度発火する恐れがあり、本質的な化学的活性度制御には至っていない。今後、更に応用が期待されるアルカリ金属技術の安全面を改善するためにも、新しい活性度制御方法が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、熔融アルカリ金属漏洩事故に対して、従来の処理法とは全く異なり、申請者の過去の実験の失敗から着想を得た独創的且つ斬新なメソッドに挑戦する。熔融アルカリ金属に対して、金属鉛(Pb)片(もしくは錫(Sn)片)を直接投与する事により、瞬時に高融点且つ化学的に安定な合金(Li リッチ Pb-Li 合金や Li リッチ Sn-Li 合金)を形成させる。これにより、漏洩したアルカリ金属そのものの化学的活性度を合金化というプロセスにより制御する画期的な手法を開発する。アルカリ金属特有の反応性を抑制できることに加え、融点の上昇による液体の固化も期待できるため飛散防止にもつながる。

3. 研究の方法

3.1 Li リッチ合金の形成機構に関する研究

Li の化学的活性度を抑制可能な合金を形成するプロセスを機構論的に明らかにするために、粒状原料を用いた合成実験を実施する。合金形成プロセスにおける Li と Pb(もしくは Sn)の反応挙動を機構論的に明らかにする。

3.2 Li リッチ合金の諸特性の解明

前項のプロセスで合成した Li 合金の伝熱特性をレーザーフラッシュ法により明らかにする。不純物ガスとの反応性を昇温脱離ガス分析法により評価する事で、合金内に固溶する Li の化学的特性を明らかにする。更に、Li リッチ合金の材料共存性について、静的な条件における腐食試験を実施する事により明らかにする。

4. 研究成果

2016 年度は、Li に対して Pb を投入した際の合金化・安定化プロセスについて研究を実施した。核融合炉の液体燃料増殖材として期待され、既に様々な物性研究が実施されている Pb-15Li 合金(Li 濃度 15mol%)に対して、約 2 倍の Li 濃度の Pb-28Li、更に 3 倍のリチウム濃度の Pb-45Li の合成を行い、これらの合金の化学的安定性、材料共存性、不純物の吸放出挙動、大気環境下反応性を明らかにした。Li と Pb が反応する際には溶解熱が発生し、反応系全体の温度が上昇する事を明らかにした。また、Pb に含まれる酸化鉛の成分が Li と反応する事により、反応熱が発生する事も明らかにした。

2017 年度は、合金化プロセスにおける酸素や水、二酸化炭素等の環境非金属不純物の影響や合金物性に対する純度の影響について調べた。環境非金属不純物の少ない減圧条件下で合成した合金の熱拡散率を計測したところ後者のものに比べて 28%程度大きい事が分かった。これは、リチウムが非金属不純物等により酸化する事なく、合金構成元素として優れた伝熱性能を発揮したためであると思われる。これにより、リチウム漏洩時における合金化プロセスを考えると、純度の高い鉛を散布して合金化させる事により、余計な化学反応による発熱を抑えながら、漏洩液体金属の効率的な放熱と温度低下を期待できる事が分かった。

2018 年度は、動的な合金化試験を完了すると共に、大気環境下や不活性雰囲気下における本手法の適用性について体系的に纏め、その成果を発表した。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 4 件, 査読有)

1. Masatoshi KONDO, Nariaki OKUBO, Eriko IRISAWA, Atsushi KOMATSU, Norito ISHIKAWA, Teruya TANAKA, Oxidation characteristics of lead-alloy coolants in air ingress accident, Energy Procedia, 131C, pp. 386-394 (2017).
2. Masatoshi KONDO, Masaomi ISHII, Yoshimitsu HISHINUMA, Teruya TANAKA, Takashi NOZAWA, Takeo MUROGA, Metallurgical study on corrosion of RAFM steel JLF-1 in Pb-Li

alloys with various Li concentrations, Fusion Engineering and Design, Vol. 125, pp. 316-325 (2017).

3. Teruya TANAKA, Daiji KATO, Takashi NOZAWA, Bun TSUCHIYA, Masatoshi KONDO, Takeo MUROGA, Characterization of functional materials for liquid blanket systems by cathodoluminescence measurement, Fusion Engineering and Design, Vol. 125, pp. 573-576 (2017).
4. Masatoshi Kondo, Yuu Nakajima, Teruya Tanaka, Takayoshi Norimatsu, Effect of isotope enrichment on performance of lead-lithium blanket of inertial fusion reactor, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, Vol. 1090, pp. 1-7 (2018).

[学会発表] (計 7 件)

1. Masatoshi Kondo, Masaomi Ishii, Yoshimitsu Hishinuma, Teruya, Tanaka, Takashi Nozawa, Takeo Muroga, Metallurgical study on corrosion of RAFM steel in Pb-Li alloys at various Li concentrations, 13th China-Japan Symposium on Materials for Advanced Energy Systems and Fission & Fusion Engineering, *Invited presentation*, September 26-29, Hefei, China (2016).
2. Masatoshi Kondo, Nariaki Okubo, Eriko Irisawa, Atsushi, Komatsu, Norito Ishikawa, Teruya Tanaka, Oxidation characteristics of lead-alloy coolants in air ingress accident, The 5th international symposium on innovative nuclear energy systems, October 31- November 2, Tokyo, Japan (2016).
3. Masatoshi Kondo, Park ChanHo, Teruya Tanaka, Takashi Nozawa, Fabrication of high-purity lead lithium alloy and its excellent thermophysical and chemical characteristics, The 18th International Conference on Fusion Reactor Materials, November 5-10, Aomori, Japan (2017).
4. Masatoshi Kondo, Yuu Nakajima, Teruya Tanaka, Takayoshi Norimatsu, Study on neutron transport and material activation for development of inertial fusion reactor, International conference on computation in science and engineering, *keynote lecture*, July 10-12, Bandung, Indonesia, (2017).
5. Masatoshi Kondo, Changho park, Takashi Nozawa, Yoshimitsu Hishinuma, Teruya Tanaka, Kazuya Sasaki, Yoshihito Matsumura, Minoru Takahashi, Takayoshi Norimatsu, Takeo Muroga, Thermodynamic considerations on chemical interactions between liquid metals and steels, First IAEA workshop on challenges for coolants in fast spectrum system: chemistry and materials, July 5-7, Vienna, Austria (2017).
6. 朴 昶虎, 近藤 正聡, 野澤 貴史, 谷川 博康, 鉛リチウム燃料増殖材の純度制御及び大量合成手法に関する研究, 1B18, 日本原子力学会 2017 年春の年会 (2017).
7. Masatoshi KONDO, EXPERIMENTAL STUDY OF MATERIALS COMPATIBILITY OF HEAVY LIQUID METAL COOLANTS, ISTC NIKIET-2018, October 2-5, Russia, Moscow (2018).

[図書] (計 1 件)

1. 近藤正聡, 田中照也, 核融合トリチウム研究最前線 —原型炉実現に向けて— 第 5 回液体増殖材開発の最前線, 日本原子力学会, Vol.60, No.11, 64 ページ (2018).

[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〕

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※ 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。