

機関番号：63902

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760695

研究課題名（和文） 核融合炉液体ブランケットにおける金属蒸気の腐食化学

研究課題名（英文） Study on corrosion in metal vapor atmosphere in fusion blanket

研究代表者

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

近藤 正聡 (KONDO MASATOSHI)

研究者番号：70435519

研究成果の概要（和文）：

核融合炉のブランケットシステムにおいて液体金属や熔融塩を自己冷却型トリチウム増殖材として用いる事が検討されている。本研究の目的は、これらの高温融体から発生する蒸気の基礎特性を理解し、それによる材料腐食の機構を明らかにすることである。そこで、金属蒸気中で腐食試験を実施する事が可能な装置を設計し開発した。この装置は、金属蒸気場の条件として重要な蒸気圧を測定する機能も有している。腐食試験において材料表面に付着したリチウム等の金属元素の微量分析の手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

Liquid metals and molten salts are considered as a coolant and a tritium breeder for the blanket systems of fusion reactors. The purpose of the present study is to investigate the fundamental characteristics of metal vapor generated from the liquid breeders and the corrosion of materials in the vapor atmosphere. The experimental apparatus, which can apply to the corrosion tests, were developed. This apparatus equipped the function for the measurement of vapor pressure. For the corrosion analysis, the method for the measurement of metal elements adhered on a specimen surface due to the corrosion in the vapor atmosphere were established.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1800,000	540,000	2340,000
2010年度	800,000	240,000	1040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2600,000	780,000	3,380,000

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：燃料・ブランケット

1. 研究開始当初の背景

核融合炉のブランケットシステムにおいて熔融塩LiF-BeF₂(Flibe)や液体金属(Li,

Pb-Li)を自己冷却型トリチウム増殖材として用いる事が検討されている。課題は、構造材料との共存性である。

図1のような条件では、様々な形態で腐食が生じる事が考えられる。固液界面における腐食として、熔融塩中の電気化学腐食や HF による腐食、液体金属中では液体金属腐食などの機構が調べられている。気液界面では、不純物ガス成分の気液平衡を利用して Flibe や Li 中の不純物制御などが行われている。

気層では、気液界面において高温融体から発生した金属等の蒸気が混在する事が推測される。この蒸気の化学的特性や蒸気下における構造材料の共存性に関する情報は限られている。

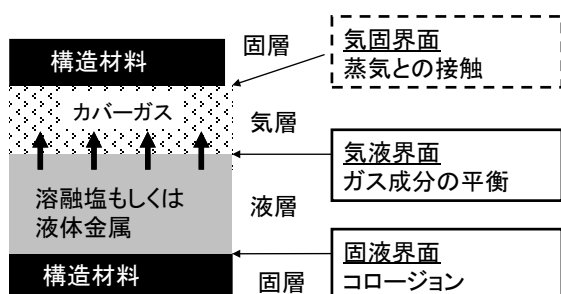


図1 液体ブランケットシステムにおける固層、気層、液層とこれらの界面

図2に示すように、高温のガス雰囲気では、鋼材は不純物として存在する酸素等と反応して酸化腐食を生じることがわかっている。しかし、高温の熔融塩や液体金属Liから生じるLiやBeの蒸気が加わる事により、Li-Fe(鋼材の合金元素) - O₂の3原系の酸化物を形成し、異なる酸化腐食特性を持つことが推測できる。これらの金属元素の活性度が蒸気の状態では液体の場合よりも大きいため、腐食速度が大きくなる可能性もある。

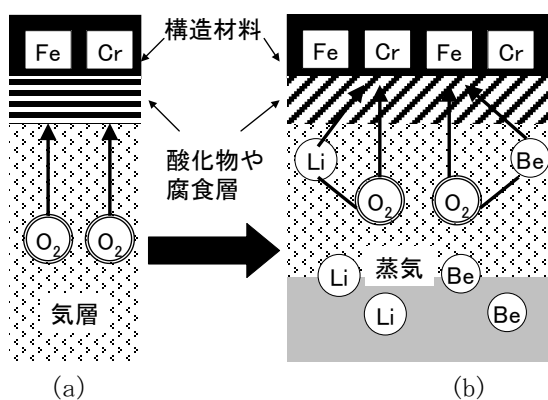


図2 (a) 高温のガス中における酸化
(b) 高温融体の蒸気が混在する場合の酸化

液体ブランケットシステムに加え、Li や Li-Pb の IFE 液体第一壁、MFE 液体ダイバーター、IFMIF の Li ターゲット部においても金

属蒸気による腐食が生じる可能性があり、本研究の成果はこれらのシステムにおいても貢献できる。

液体金属ナトリウムの蒸気場における酸化物の腐食は、B. Samuneva氏らにより調べられており、ナトリウムの蒸気によりSiO₂ や Al₂O₃が 500℃、50 時間程度のナトリウム飽和蒸気条件下曝露試験において 10-20μm程度腐食する事が報告されている。ナトリウムの酸化物中への拡散による腐食である。塩化ナトリウム系熔融塩の蒸気によるTi合金の腐食は、熔融塩成分を含む腐食生成物の発生により生じることがK. Zhang氏らによって報告されている。材料と金属・熔融塩の蒸気の腐食反応は限られた条件に関して報告されている。金属蒸気の反応の化学については情報が限られているため、本研究は新規性が強く、結果として液体ブランケットの安全性向上に有効な情報を得ることができる。



図3 腐食試験後に採取された容器内側に付着した粉末状のLi化合物

2. 研究の目的

核融合炉液体ブランケットシステムにおいて高温融体から発生する金属蒸気の腐食化学の解明を目指す。本研究の目的は、高温融体から発生する金属蒸気中の材料の腐食機構を解明する事である。

3. 研究の方法

金属の高温時の蒸気圧については、図4のように求められる。この図からわかるように、蒸気圧は、200 度から 600 度程度の温度の間で対数的に変化するため、温度を試験パラメーターにする事が可能な試験装置を製作する必要があった。

図5に示す熔融塩・液体金属蒸気場腐食試験装置を製作した。装置内に設置した熔融塩や液体金属のサンプルを過熱して蒸気を発生させ、キャリアガスの Ar により回収部ま

で輸送する。溶融塩は、LiF-NaF-KF (Flinak) を用いる。液体金属の蒸気の試験は、鉛やLiを用いて試験を行う。まずは溶融塩と液体金属により発生する蒸気分圧と特性を評価する為に、蒸気と反応させる試験片を設置せずに蒸気回収試験を実施する。

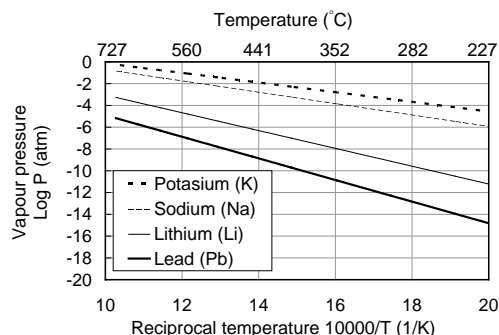


図4 純金属の蒸気圧

腐食試験は、試験片を内部に設置することにより実施する。試験材料は、ブランケットの候補構造材料である低放射化フェライト鋼 JLF-1 (Fe-9Cr-2W-0.1C) のほか、合金元素の特性を把握する為に Fe や Cr の純金属、セラミックス等を用いる。試験後の試験片の腐食分析は、SEM/EDX, XRD, XPS 等を用いて行う。

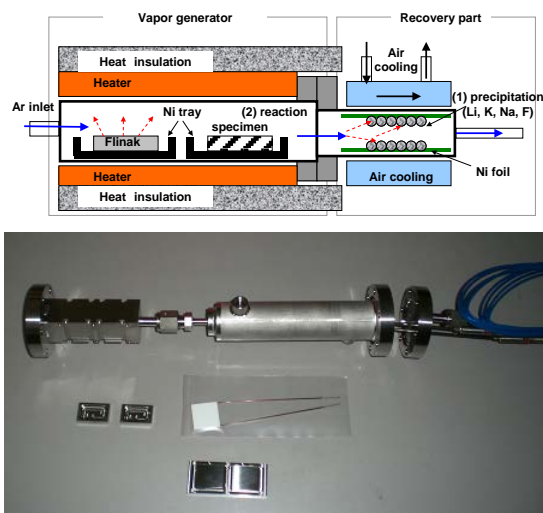


図1 溶融塩・液体金属蒸気場腐食試験装置

4. 研究成果

金属蒸気中で腐食試験を実施する事が可能な装置を設計し開発した。この装置は、金属蒸気場の条件として重要な蒸気圧を測定する機能も有している。この試験装置は、小型の高出力ヒーターを搭載しており、それにより試験装置の小型化に成功した。これにより、温度分布などの少ない装置にする事ができた。700度までの加熱性能と、蒸気回収

部のコンプレッサー空冷性能を確認した。

金属蒸気場における腐食挙動を明らかにするために、材料表面に付着した蒸気成分(リチウム等)の元素微量分析が重要であるため測定手法を開発した。試験片表面における蒸気成分の析出量を調べる方法として、薄膜試験片とイオンクロマトグラフ法もしくはICP発光分光法の組み合わせを見出した。蒸気場の析出量は、試験片体積に比べて微量であるため、試験片の体積をなるべく小さくして析出物が測定可能なように、試験片を薄膜上に加工した。その後、蒸気成分が付着した試料を全量分析するために硝酸に溶解させた。この時の蒸気成分の量は、硝酸溶液に対して0.05-0.1 μg/ml程度と仮定した。その後、溶解した硝酸溶液を希釈し分析を実施したところ、金属元素に限らず、溶融塩のフッ素成分も、十分に希釈することにより、イオンクロマトグラフ法により検出が可能である事がわかった。また、同様にICP発光分析法でも、析出量の微量な場合の金属元素が十分に分析可能である事がわかった。

5. 主な発表論文等

(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8件)

- (1) Valentyn Tsisar, Masatoshi Kondo, Takeo Muroga, Takuya Nagasaka, Olga Yeliseyeva, Phase-structural transformations in the RAF/M, F/M and model F/ODS steels exposed to lithium - corrosion-induced coarsening of substructure and effect of alloying elements, Corrosion Science, 査読有, 53, 2011, 441-447.
- (2) 近藤正聡, チザールバレンティン, 廣瀬貴規, 関洋治, プラズマ核融合学会誌小特集:核融合炉ブランケット燃料増殖材・冷却材中の材料の共存性, 3. 核融合炉ブランケットの共存性の評価手法, 査読無し, J. Plasma Fusion Res. 86, 2010, 393 - 397.
- (3) 近藤正聡, 鈴木晶大, 長坂琢也, 寺井隆幸, 相良明男, プラズマ核融合学会誌小特集:核融合炉ブランケット燃料増殖材・冷却材中の材料の共存性, 4. 共存性研究の最前線 4.2 フッ化物系溶融塩の中の酸化反応-溶融塩ブランケットの共存性-, J. Plasma Fusion Res. 86, 2010, 393 - 397.
- (4) 近藤正聡, チザールバレンティン, 寺井隆幸, 鈴木晶大, プラズマ核融合学会誌小特集:核融合炉ブランケット燃

- 料増殖材・冷却材中の材料の共存性、
4. 共存性研究の最前線 4. 3 純粋
なりチウムに恋する候補構造材料の
物語, J. Plasma Fusion Res. J.
Plasma Fusion Res. 86, 2010, 408
- 412.
- (5) 高橋実, 近藤正聡, プラズマ核融合学
会誌小特集: 核融合炉ブランケット
燃料増殖材・冷却材中の材料の共存性、
4. 共存性研究の最前線 4. 4 液
体金属鉛リチウム中の共存性につ
いて (構造材料と機能性材料) 4. 4.
1 液体金属鉛リチウム中の低放射化
フェライト鋼の共存性, J. Plasma
Fusion Res. J. Plasma Fusion Res. 86,
2010, 413 - 416.
- (6) Masatoshi Kondo, Takeo Muroga, Ak
io Sagara, et. al., Flow assisted
corrosion and Erosion corrosion
of RAFM steel in liquid breeders,
23 nd IAEA Fusion Energy Confere
nce, 査読無, FTP/P1-20.
- (7) Masatoshi Kondo, Takuya Nagasaka,
Valentyn Tsisar, Akio Sagara, Ta
keo Muroga, et. al., Corrosion of
reduced activation ferritic mart
ensitic steel JLF-1 in purified F
linak at static and flowing condi
tions, Fusion Engineering and Des
ign, 査読有り, 85, 2010, 1430-143
6.
- (8) Masatoshi Kondo, Takuya Nagasaka,
Takeo Muroga, Akio Sagara, Nobua
ki Noda, Qi Xu, Daisuke Ninomiya,
Nagura Masaru, Akihiro Suzuki, T
akayuki Terai, High performance c
orrosion resistance of Ni-based a
ustenitic alloy in molten salt Fl
ibe, Fusion Science and Technolog
y, 査読有り, 56, 2010, 190-194.

[学会発表] (計 3 件)

- (1) M. Kondo, T. Watanabe, T. Tanaka,
A. Sagara, Nitriding treatment o
f reduced activation ferritic ste
el as functional layer for liquid
breeder blanket, 20th Internatio
nal Toki Conference (ITC-20), Dec
ember 7 - 10 (2010), Toki, Japan.
- (2) 近藤正聡, Tsisar Valentyn, 長坂琢
也, 室賀健夫, 相良明男, 核融合炉液
体ブランケットの高温長寿命化を目
指した共存性改善に関する研究 (招
待講演), 2010年プラズマ核融合学会
年会, 2010年12月2日, 北海道、日本.

- (3) Masatoshi Kondo, Takeo Muroga, Akio
Sagara, et. al., Flow assisted
corrosion and Erosion corrosion of
RAFM steel in liquid breeders, 23 nd
IAEA Fusion Energy Conference,
FTP/P1-20, Oct.11- 16 (2010)
Daejeon, Korea.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤正聡 (KONDO MASATOSHI)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教
研究者番号 : 70435519