

平成 21 年 5 月 8 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760599

研究課題名（和文） 液体ブランケット用オンライン水素センサーの開発

研究課題名（英文） Development of on-line hydrogen sensor for liquid blanket system

研究代表者

近藤 正聡 (KONDO MASATOSHI)

核融合科学研究所・炉工学研究センター・助教

研究者番号：70435519

研究成果の概要：核融合炉の液体ブランケットシステム内のような強還元雰囲気中で安定な固体電解質を用いた液体ブランケット用オンライン水素センサーを開発した。開発したセンサーの基礎的特性を、水素混合ガス雰囲気及び液体金属雰囲気条件で明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

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、トリチウム濃度測定

1. 研究開始当初の背景

人類の持続的発展を支えることのできる革新的なエネルギー供給システムのひとつとして核融合炉が挙げられる。核融合炉には、固体ブランケットタイプと液体ブランケットタイプがあるが、後者は燃料であるトリチウムの増殖と回収、及び増殖材の成分調整を運転しながら連続的に実施する事ができる為、長期間の連続運転が可能であるという長所がある。また、放射性廃棄物の量も少なく抑えることが可能である。

液体ブランケットとして溶融塩 LiF-BeF₂(Flibe) と液体金属 Li が有力視されているが、燃料となるトリチウムの回収を効率よく実施する事が重要な課題である。トリチウムの回収方法に関しては様々な方法が検討されているが、その回収性能を評価する為に必要な溶融 Flibe 及び Li 中のトリチウム測定技術は未だ確立されておらず、オンラインで測定可能なトリチウムセンサーの開発が待たれている。

2. 研究の目的

核融合炉の液体ブランケットシステムのトリチウム増殖材の候補である溶融 Flibe 及び Li 中において使用可能な液体ブランケット用オンライン水素センサーの材料開発を行う。溶融 Flibe 及び Li 中におけるセンサー材料の耐久性向上を目的とし、センサーのドーパント候補を酸化物の熱力学的安定性の観点から絞り込みを行う。自由生成エネルギーが低く安定な Sc 酸化物をプロトン導電性個体電解質のドーパントとして使用する。この水素センサーの基礎的特性を水素混合ガス雰囲気試験及び液体金属浸漬試験で明らかにし、将来のブランケットへの適用の見通しを明らかにする。

3. 研究の方法

液体ブランケットのような還元性の強い高温融体において使用測定が可能なセンサーを製作した。図 1 に構造を示す。測定部が高温融体と直接触れないようにガス室を持つ構造とした。これは、アルミニウム用に開発された水素センサーの構造を参考にした。

ガス室中の水素分圧 P_{H1} は、液体中の水素濃度 S と次のジーベルト則に則って平衡になる。

$$S = k\sqrt{P_{H1}} \dots\dots\dots(1)$$

(k はジーベルト係数) その為、ガス室中の水素分圧 P_{H1} と参照極側の水素分圧 P_{H2} の差による起電力を得ることができれば、次のネルンストの式により液体中の水素濃度を測定する事ができる。

$$E = \frac{RT}{2F} \ln \frac{P_{H1}}{P_{H2}} \dots\dots\dots(2)$$

又、ガス室の体積が小さいことから液体中の水素濃度の変化に対して、短い時間で平衡に達し応答の速い測定が可能である。

また、電極の Pt は、図 2 に表面 SEM 像を示すように、ポーラスな構造をしており、酸素ポテンシャルの低い高温融体と接した気相によりセンサー材料が還元される。これを防ぐ為に、熱力学的な安定性の観点から絞り込みを行い、従来型の In_2O_3 ドープ型の $CaZr_{0.9}In_{0.1}O_{3-\alpha}$ 自由エネルギーも低く安定な酸化物である。Sc₂O₃ をドープした $CaZr_{0.95}Sc_{0.05}O_{3-\alpha}$ のセンサーも準備した。

センサーの性能評価試験を実施するガス雰囲気測定装置を図 3 に示す。測定極ガスとして水素アルゴン混合ガスを吹き込む。測定極側に吹き込む混合ガスは、実際の Flibe 中水素分圧 (0.1atm 程度) を模擬するガス雰囲気として、Ar+0.5%水素混合ガス(水素分圧 0.005atm)、Ar+1%水素混合ガス (水素分圧 0.01atm) Ar+10%水素混合ガス (水素分圧 0.1atm) を使用し、実際の Li 中水素分圧 (1×10^{-10} atm 程度) を模擬するガス雰囲気として、空気 (4.9×10^{-14} atm)、Ar、酸素 (2.2×10^{-14} atm) を用いた。空気、酸素、アルゴンは、水素分圧を既定するために 15°C の水の中をくぐらせた。Ar+1%水素混合ガス (水素分圧 0.01atm) を用いた。

高温溶融体への浸漬試験は、図 4 に示す装置を用いて実施した。本研究では、還元性雰囲気を持つ高温融体としてアルミニウム(Al)を用いた。Al 中の酸素分圧は、Li 中の酸素分圧 10^{-80} atm よりは高いものの 10^{-50} atm 程度と非常に低い。溶融 Al 中には、センサーの他、熱電対と脱ガス用のアルゴン吹き込み管を設置した。Al 中にセンサーを浸漬し、Pt,

H in liquid Al/CaZr_{0.95}Sc_{0.05}O_{3-a}/ Ar-1% H₂, Pt の電池が構成され、電極反応が起ころうとして起電力が発生する。700°C に Al 温度を保持した状態で、水分を含んだ生木を直接 Al 中に浸漬し、発生する水蒸気と Al を反応させて水素分圧を変動させ、センサーの応答性を調べた。

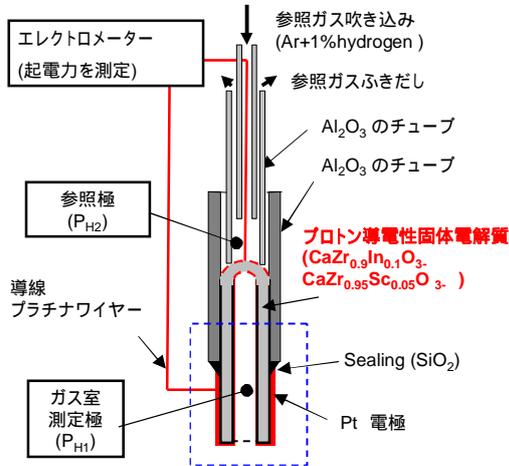


図 1 センサーの構造



図 2 Pt 電極の SEM 像

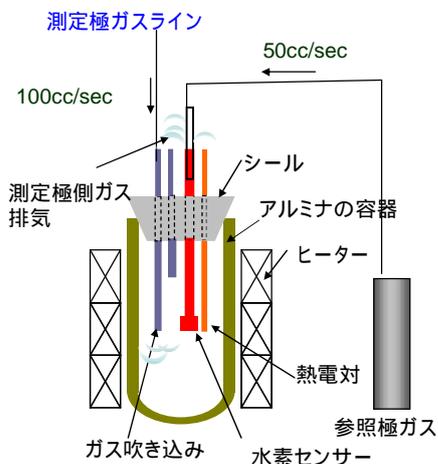


図 3 ガス雰囲気試験装置

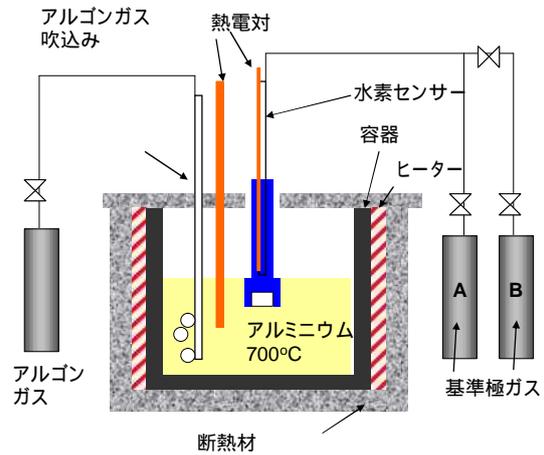


図 4 アルミニウム中浸漬試験装置

4. 研究成果

図 5 に Flibe 中の水素分圧を模擬した水素混合ガス雰囲気 (600°C) 中で実施した水素分圧測定試験の結果を示す。実験値 (図中、青点) は、測定極側ガス中の水素分圧から、算出した理論起電力 (図中、赤点線) と非常によく合致する事がわかった。測定極側のガス中の水素分圧を変更した際の応答性も十分に速い事がわかった。また、図 6 に示すように Li 中の水素分圧を模擬したガス中での測定実験でも同様の結果が得られた。

ガス雰囲気中で実施した試験では 550 から 700 までは、起電力と理論値の間の誤差は非常に小さかったが、500 以下では大きな誤差が得られた。これは 500 では十分なプロトン輸率が得られなかった事が原因と考えられる。Al 浸漬試験では、生木浸漬による水素濃度の変化に対し、センサーが高い応答性を示す事がわかった (図 7)。

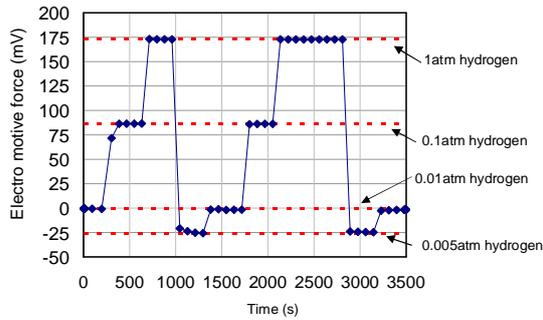


図 5 ガス雰囲気試験の結果(高水素分圧)

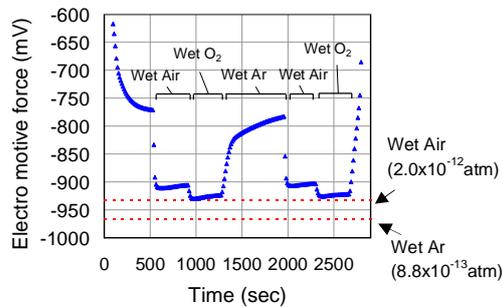


図 6 ガス雰囲気試験の結果(低水素分圧)

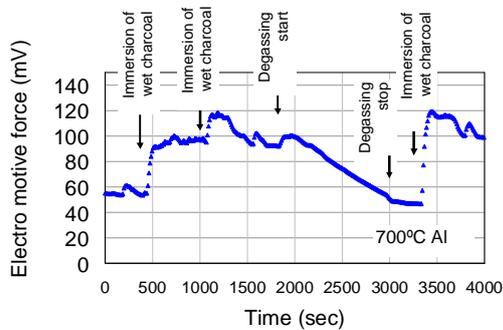


図 7 アルミニウム中浸漬測定試験の結果

このように、還元環境に強い固体電解質を用いた水素センサーの水素混合ガス雰囲気及びアルミニウム中の基礎特性を明らかにした。これより、液体ブランケットに適用可能なオンライン水素センサーの開発に見通しを得た。

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2件)

- (1) Masatoshi Kondo, Takeo Muroga, Koji Katahira, Tomoko Oshima, *Application of proton conductors to hydrogen monitoring for liquid metal and molten salt systems*, Journal of power and energy systems, vol2, No.2, (2008), pp.590-597.
- (2) Masatoshi Kondo, Takeo Muroga, Koji Katahira, Tomoko Oshima, *Sc-doped CaZrO₃ hydrogen sensor for liquid blanket system*, Fusion Engineering and Design, 83, (2008), pp.1277-1281.

[学会発表](計4件)

1. 大島智子、近藤正聡、室賀健夫、片平幸司、“液体ブランケット用水素センサーに関する研究(3)”2008年日本原子力学会春の年会、2008年3月26日、大阪大学吹田キャンパス
2. 近藤正聡、室賀健夫、片平幸司、大島智子、“プロトン導電性セラミクスを用いた液体ブランケット用水素センサーに関する研究(2)”2007年プラズマ核融合学会、11月30日、イーグレ姫路
3. 近藤正聡、室賀健夫、片平幸司、大島智子、“液体ブランケット用水素センサーに関する研究”2007年日本原子力学会秋の大会、2007年9月27日、北九州国際会議場
4. 近藤正聡、室賀健夫、片平幸司、大島智子、“液体ブランケット用水素センサーに関する研究(2)”2007年日本原子力学会春の大会、2007年3月29日、名古屋大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

近藤 正聡 (KONDO MASATOSHI)

研究者番号 : 70435519