

高温高压 CO₂—金属界面における物質移動に関する研究

Mass Transfer between the Carbon Dioxide and Metal Interface

*高橋 勇斗¹, 片山 一成¹, 大宅 諒¹, 一本杉 旭人¹

¹九大

ステンレス鋼高压容器内に金属試料を設置し、CO₂ を封入して 400℃に加熱し、気体状反応生成物や金属試料の酸化状態について調べた。CO₂ 中には、CO, H₂, CH₄ が検出され、金属試料表面には酸化物が形成されていることがわかった。

キーワード: トリチウム、CO₂、発電系

1. 緒言

コンパクトで高い発電効率を有する超臨界二酸化炭素(sCO₂)ガスタービンが注目されている。このシステムはヘリカル型核融合炉 FFHR-d1 において一次冷却材である Flinabe とともに使用が検討されている。しかし、一次冷却系から二次冷却系へのトリチウムの透過が懸念されている。そのため、sCO₂ 中における透過トリチウムの挙動を把握し、その対策を検討すること重要である。本研究では、高温高压 CO₂ と金属界面における物質移動現象の把握を目的とした。そのために、高温高压 CO₂ のガス状生成物の測定及び、CO₂ 曝露後の金属試料の表面観察を行った。

2. 実験方法

実験装置の概略図を図 1 に示す。真空置換型グローブボックス内に設置したステンレス鋼 (SS304) 製の直管 (外径 42.7 mm, 厚み 3.6 mm, 長さ 350 mm, 内容積約 346 cm³) に CO₂ ガスを導入して密封し、電気炉を用いて昇温することで sCO₂ (超臨界条件: 温度 31.1℃ 以上, 圧力 7.38 MPa 以上) を生成するしくみである。設計温度は 500℃、設計圧力は 11 MPa である。温度は高压容器内部の中央に挿入した熱電対で制御する。そして、ガス状生成物はガスクロマトグラフィー (GC) を用いて測定した。本実験では、試料作製のため、3 種類の金属試料 (SUS316, SUS430, モネル) を高压容器に設置した。高压容器内部に CO₂ を充填させ、400℃ まで加熱し、温度・CO₂ の圧力ともに一定となった状態において、水素 1.1 MPa を水素透過管に封入した。その後、30 分ごとに CO₂ の一部を GC に送り、ガス状生成物を分析した。測定終了時、容器中の CO₂ を外に放出して、再度同じ手順で 2 回目の実験を実施した。その後高压容器内部に設置した金属試料の表面を SEM 観察した。

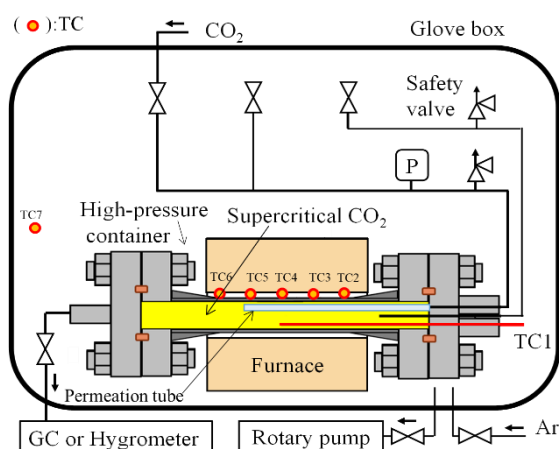


図 1 超臨界 CO₂ 曝露実験装置の概略図

3. 結果・考察

ガス状成分として H₂, CO, CH₄ の 3 つが確認された。H₂ においては実験を重ねるごとに濃度が上昇しており、それは直前の実験で実験装置の水素透過管内壁に溶解した H₂ の透過によるものであると考えられる。CO は金属表面での CO₂ による酸化反応に伴い生じていると考えている。CO₂ による金属表面の酸化反応が進行する (後述) と炭素が析出する。CH₄ は析出した炭素と H₂ との反応により生成されたと考えられる。CH₄ 濃度は、H₂ 濃度の増加に伴って増加する傾向が見られた。また、先行研究[1]で測定された結果と比較して 3 成分とも濃度が減少していることが確認された。この結果から金属表面での酸化層の形成が物質移動速度及び反応速度を低下させていると考えられる。また、総加熱時間が数十時間ほどの金属試料表面を観察した結果を図 2 に示す。SUS316, SUS430 の表面には黒色になっており、表面が一様に酸化されていることが確認された。そして、元素分析をした結果、先行研究[2]と同様に主に鉄が酸化されていることが確認された。また、モネルの場合には曝露前の試料からの大きな表面の変化は見られず、金属光沢が見られた。

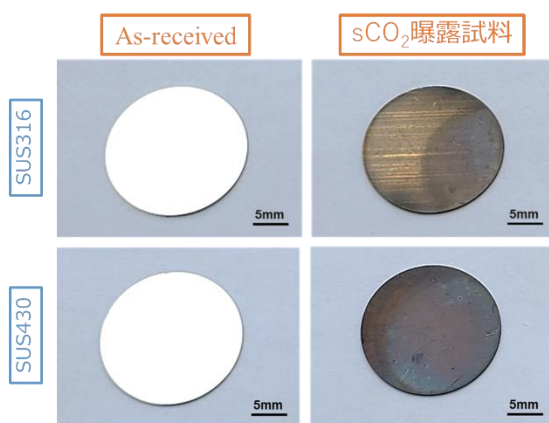


図 2 CO₂ 中で曝露した金属試料表面画像

参考文献

[1] Dhungana Sujana Master's Thesis; "Tritium behavior in supercritical CO₂ used as coolant in secondary loop system of fusion reactors" (2019)

[2] L. Tan et al., Corrosion Science 53 (2011) 3273–3280

*Yuto Takahashi¹, Kazunari Katayama¹, Makoto Oya¹ and Akito Ipponsugi¹

¹Kyushu Univ.