

短時間で再利用可能な核融合炉用バナジウム合金の重水素透過特性 Deuterium permeation in low-activation vanadium alloy possible for reuse in a short time in nuclear fusion reactors

吉澤碧維¹⁾、山内有二¹⁾、長坂琢也²⁾、富岡智¹⁾、松本裕¹⁾、東直樹¹⁾
YOSHIZAWA Aoi¹⁾, YAMAUCHI Yuji¹⁾, NAGASAKA Takuya²⁾, TOMIOKA Satoshi¹⁾, MATSUMOTO Yutaka¹⁾, HIGASHI Naoki¹⁾

1)北大、2)核融合研

1)Hokkaido Univ., 2)NIFS

【背景と目的】 バナジウム(V)合金は核融合炉の第一壁やブランケット構造材の有力な候補と考えられている[1]。この度、短時間で再利用を可能とするために、不純物量や組成の変更を施した、新型 V 合金が核融合科学研究所において開発された。しかしこの新型化によって、水素同位体透過挙動が変化し、炉の安全性に影響を与える可能性がある。本研究では不純物濃度や組成の異なる試料に対し、炉での使用環境に近い条件での調査を行うために、高温領域でデータ取得が可能な実験装置を新たに製作した。当該装置を用いて、温度変化や試料表面状態の違いが新型 V 合金の重水素(D)透過挙動に与える影響を調査した。

【実験】 製作した実験装置(Fig. 1)は、真空チャンバー内に設置した試料を加熱し、透過ガスを定量する機構を有する。VCR®メタル・ガスケット式面シール継手(Swagelok社)を用いて試料を配管内に

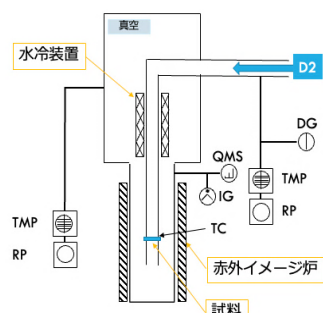


Fig. 1 透過装置全体図

固定し所定の実験温度まで加熱した。透過実験時の温度を 673 K、773 K、873 K、973 K とした。その後、上流側に重水素ガスを定常圧力(5000 Pa を想定)まで導入し、下流部に透過した D 透過速度を四重極質量分析計により求めた。

試料として、旧来型および不純物が少ない新型 V 合金(厚さ 0.25 mm、直径 11.5 mm、Table1 参照)を用いた。前処理として硫酸-メタノール溶液を用いた電解研磨、真空中脱ガス(1273 K、1 h)を行った。前処理の後、重水素透過実験を行った。試料表面状態および内部状態変化の影響を調べるため、昇温時(673 K→973 K)と降温時(973 K→673 K)の D 透過速度を測定した。

【結果】 旧来型および不純物濃度が異なる 3 つの試料を使用した実験により、NH2、H44、L44 の順で拡散係数が小さくなることが分かり(Fig. 2)、それぞれの見かけの透過の活性化エネルギー、見かけの拡散の活性化エネルギーおよび溶解熱は、Table2 のようになった。また、V 合金中の D 透過にはバルク中のチタン(Ti)酸化物のトラップ効果を考慮する必要があることが指摘されている[3]。これに加えて、本研究の昇温時と降温時における挙動の違いから、不純物濃度変化の影響として、V 合金における透過特性は 973 K 付近での Ti 酸化物の還元[4,5]および表面状態の影響も考慮すべきであることがわかった。

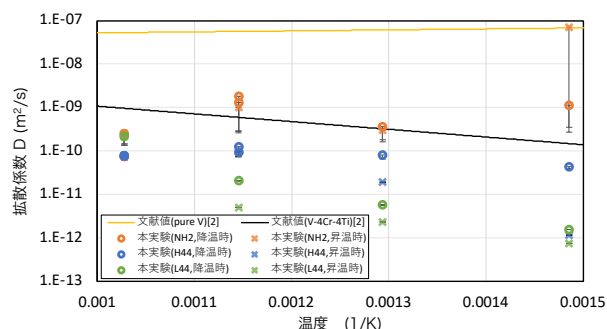


Fig. 2 見かけの拡散係数(本実験と文献値)

Table2 透過・拡散の活性化エネルギーと溶解熱

透過の活性化エネルギー(Ep)			
	NH2	L44	H44
昇温時(kJ/mol)	156	98	194
降温時(kJ/mol)	-25	75	43
拡散の活性化エネルギー(Ed)			
	NH2	L44	H44
昇温時(kJ/mol)	-97	93	71
降温時(kJ/mol)	-28	86	11
溶解熱(ΔHs)			
	NH2	L44	H44
昇温時(kJ/mol)	253	6	123
降温時(kJ/mol)	3	-11	32

【参考文献】

- [1] T.Muroga, *Comp. Nucl. Mater.*, 4,(2012), 391-406
- [2] A. Kh. Klepikov, *et al.*, *Fusion Eng. and Design*, 51.(2000), 127-133
- [3] R.A. Anderl, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, 145.(1987), 344-347
- [4] R. Hayakawa, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, 307.(2002), 580-584
- [5] R. Hayakawa, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, 329.(2004), 411-415

Table1 各種試料組成

Ref.ID	Composition	Cr(at%)	Ti(at%)	C(at%)	N(at%)	O(at%)	Mo(at%)	Al(at%)	Si(at%)
NH2	V-4Cr-4Ti	4.02	3.98	0.0069	0.0122	0.0148	0.0024	0.0059	0.027
L44	V-4Cr-4Ti	3.93	3.91	0.006	0.006	0.036	<0.001	0.009	0.016
H44	V-4Cr-4Ti	4.11	3.89	0.008	0.003	0.018	(<0.001)	0.018	0.02