

2. ナトリウム技術開発 Gr.

2-1 液体ナトリウムによる金属メッキ試験体の反応性濡れ
 河口 宗道 (ナトリウム技術開発 Gr.)

要旨

ナトリウム冷却型高速炉 (SFR) の炉内は、液体ナトリウム (Na) で満たされているため光学的に目視することは困難である。そのため原子力機構は超音波信号で Na 中の目視・体積検査を行う Na 中目視検査装置 (USV: Under Sodium Viewer) を開発してきた。本研究は、USV の実用化のために Na と超音波受発信面の反応性濡れに関する実験的研究を行ったものである。実験では、SUS-304 鋼の表面に溶解度の異なる金属 (Ni, Pd, Au, In) でメッキ処理した試験体を用意し、試験体上の Na の面積、及び拡がり面積速度を測定した。

1. 研究背景

軽水炉の冷却材である水は光学的に目視が可能であるが、SFR の冷却材である Na は可視光を通すことができないため、炉内の光学的な目視は困難である。そこで原子力機構は USV 装置の研究開発を行ってきた。この USV 装置は Na 中を透過した超音波信号を開口合成処理により画像化するため、本装置の性能発揮には超音波受発信面と Na とが十分に濡れ、音響結合する必要がある。そのため、Na の濡れ性確保が実用化上重要となる。現在、USV 装置の受発信面に金メッキ処理を施して、濡れ性の向上を試みているが、濡れに時間を要したり、部分的な濡れが起こる等、超音波受信感度のバラツキの原因となっている。本研究は、実験的に濡れ性の定量評価を行い、メッキ条件の影響を把握するものである。

2. 実験及び評価

実験は、高純度アルゴンガス雰囲気 (酸素濃度 0.02ppm/vol, 露点-70°C以下) に置換したグローブボックス内で行った。メッキ元素の溶解度 (n) による影響を調べるため、SUS-304 の試験体に表 1 の条件で溶解度の異なる元素 Ni, Pd, Au, In をメッキ処理した。Na に対する溶解度は、それぞれ Ni が約 6×10^{-4} mol%, Pd が約 0.7mol%, In が約 10mol%, Au が約 25mol% である。メッキ処理では、表 1 の上から順番に "+" となっている金属を SUS-304 表面に積層させている。例えば、試験体 No.1 は SUS-304 の上に Pd(2.0 μ m), Au(0.05 μ m), Au(1.0 μ m), In(2.0 μ m) のメッキ層となる。実験は、試験体を約 250°C に加熱し約 20mg の Na を滴下し、滴下後の時刻 t における Na の面積 $S(t)$ 、及び拡がり面積 ($\Delta S(t) = S(t) - S(0)$) を測定した。濡れ性の評価には、 $\Delta S(t)$ を滴下 Na 量 (M) で規格化した $\Delta S(t)/M$ (以下、 $\Delta S/M$) を用いた。滴下した Na 量は誘導結合プラズマ発光分光分析装置を用いて測定した。また、濡れ性の時間依存性を求めるために、実験から得られた $\Delta S/M$ を近似曲線 γt^α (γ, α は定数) でフィッティングし、濡れ性の時間依存パラメータ α を求めた。

表 1. 試験体のメッキ条件 (+はメッキ処理を表す)

Material ^{a)}	Thickness (μ m)	Specimen												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ni	5.0	+	+	+	+	+								+
Pd	2.0	+	+	+	+		+	+	+	+				
Au	0.05	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Au	1.0	+	+		+		+	+			+	+	+	
In	2.0	+	+	+							+	+	+	

^{a)}Order from SUS304

3. 実験結果及び考察

図1のマーカ及び実線は、それぞれ表面メッキの種類で整理した $\Delta S/M$ 及び近似曲線である。 $\Delta S/M$ は両対数グラフ上でおおよそ直線的に振る舞い、近似曲線 γt^α でフィッティングすることができた。よって、 α は図1の傾きと等価である。図1によると、表面メッキの種類により $\Delta S/M$ はほぼ同じ傾きとなり、濡れ性の時間依存性は表面メッキに関する結果となった。また、試験体No.4, No.5, No.7については、約20秒で $\Delta S/M$ に折れ曲がりが見られた。これは、表面メッキが溶解した後、下層のメッキが溶解し始めたためであり、 α が表面のAuが溶解するときの値から下層のPdが溶解するときの値へと変化したためである。よって、No.4, No.5, No.7については折れ曲がり前(0秒~20秒)、折れ曲がり後(80秒以降)で近似曲線を描き、それぞれAu及びPdが溶解するときの α とした。これらフィッティングにより得られた α は、Auが1.62~2.29, Inが0.9~1.27, Pdが0.16~0.58となり、Niでは α の寄与は観測されなかった。

Naは表面メッキを溶解しながら拡がり、かつ上述の通り表面メッキの種類により α が決まる。表面メッキの溶解は、表面メッキ粒子がNa中へ移動することであり、これはNa中の表面メッキ粒子のケミカルポテンシャルによって決定される。溶解した表面メッキ粒子のケミカルポテンシャルの変化は、単純には溶解量の対数で特徴づけられる。ここで図2に示すように、 α と溶解度 n の関係を整理すると、 $\alpha \propto \log n$ の関係が得られる。これより α を決定する重要な因子は、溶解した表面メッキ粒子のケミカルポテンシャルであることが分かる。

本研究により、反応性濡れは金属表面の溶解度により特徴づけられる現象であり、反応性濡れの時間依存性は、金属表面における溶解度といった基本的な性質に支配されることが示された。

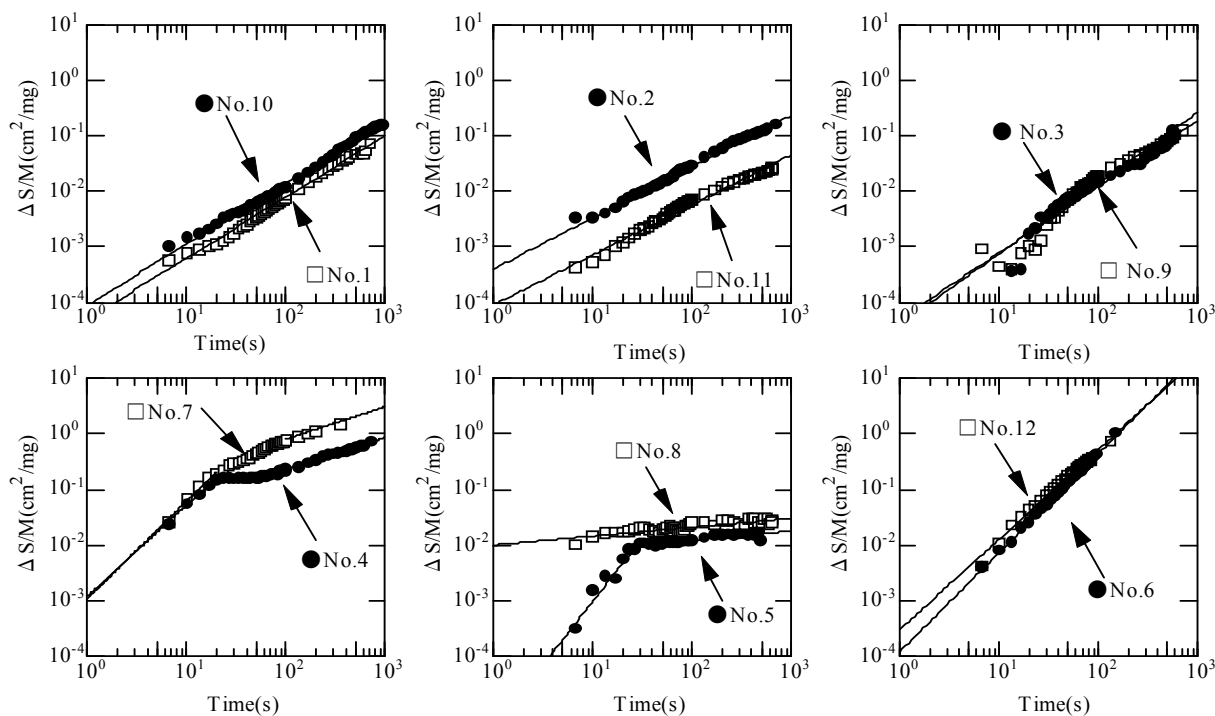


図1. $\Delta S/M$ の時間依存性

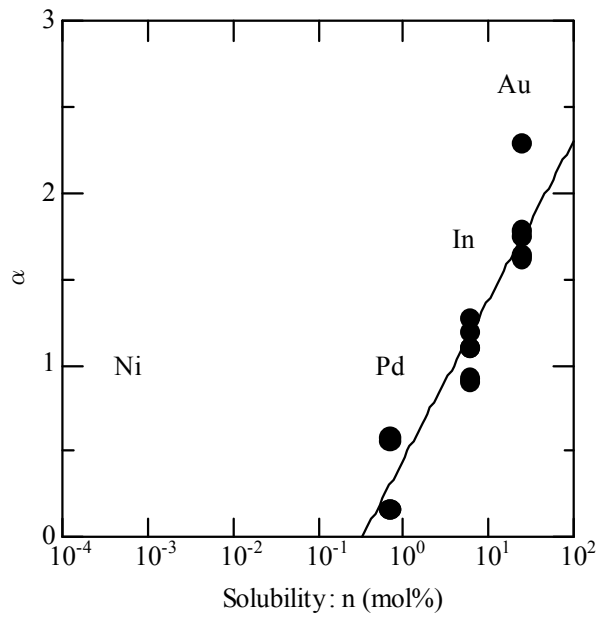


図 2. 時間依存パラメータ α と表面メッキの溶解度 n の関係

本稿に関する投稿論文

[0-1] M. Kawaguchi, A. Tagawa, S. Miyahara, S. Honda, H. Kiyokawa, "The experimental study on wetting behaviour between liquid sodium and various plated stainless steel under low temperature condition", proceedings of International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles -Challenges and Opportunities- (2010)

[0-2] M. Kawaguchi, A. Tagawa, S. Miyahara, "Reactive Wetting of Metallic Plated Steels by Liquid Sodium", Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 48, No. 4, p. 499-503 (2011)