

T-53 液体金属腐食

1. 概要

原子力発電において熱媒体として Na などの液体金属が使用されている。そのためステンレス管のナトリウムによる液体金属腐食が問題となる。また、液化天然ガスや液化石油ガス中の微量の水銀によるアルミニウムの腐食が実際に問題となった例がある。

2. 損傷機構と損傷事例

液体金属による実設備の代表的な腐食事例として、微量の水銀によるアルミニウムの腐食と液体ナトリウムによるステンレス鋼の腐食に関して説明する。なお、液体金属腐食と関連する金属材料の液体金属脆化は「D-08 液体金属脆化」で説明してあるので、参照にされたい。

2.1 水銀によるアルミニウムの腐食

液化石油ガス（LPG）あるいは液化天然ガス（LNG）設備で、液化ガス中の微量の水銀によるアルミニウムの腐食事例が報告されている^{1, 2)}。LPG 設備の事例は、日本国内の事例であり、ガス供給設備であるアルミニウム製のベーパーライザー（気化器）が腐食しガスが漏洩した事例である²⁾。調査報告書によると、0.032mg/Nm³ 以上の濃度の水銀を含む LPG を、空温式ベーパーライザーに使用すると、装置内で水銀の濃縮が起こり、やがて水銀粒が析出し、これに LPG 中の水分や硫酸イオン、塩化物イオンが加わると、構造部材であるアルミニウム合金が腐食されたとしている。本文では水銀によるアルミニウムの腐食メカニズムに関する基礎的挙動について説明する。

図 1 に示すように、水銀はアルミニウムとアマルガムを形成し、水分が存在するとアマルガム中の

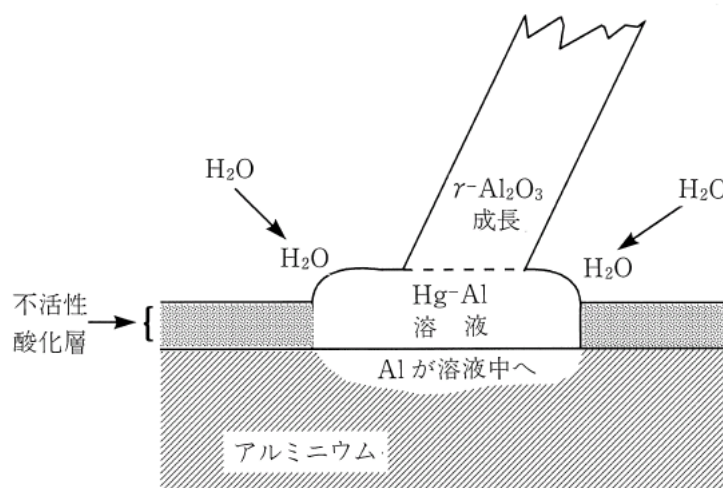
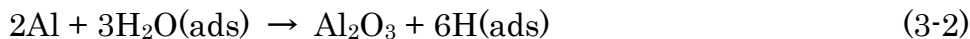
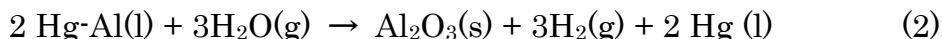


図 1. 水銀によるアルミニウムの酸化メカニズムの模式図¹⁾

アルミニウムが酸化され、水銀はさらにアマルガムを形成して腐食が進む。反応式は以下のように考えられている。



(1)式はアルミニウムが水銀とアマルガムを形成し、液化していく反応である。

(2)式はアマルガム中のアルミニウムが水蒸気と反応して、酸化されていく反応である。(3-1)～(3-3)式は、水分が触媒の作用をして、アマルガム中のアルミニウムが酸素により酸化される反応である。この腐食はアマルガム中のアルミニウムが酸化して、これが水銀中から系外に排出され、水銀は新たにアルミニウムとアマルガムをつくり、腐食反応が継続する¹⁾。

2.1 液体ナトリウムによる腐食

高速増殖炉では液体ナトリウムが使用されており、ステンレス鋼管が実装置に使用されている。表 1 に、ステンレス鋼の主要成分の各種金属液体金属中の溶解度を示すが、ナトリウム中への溶解度は、極めて小さい。しかし、液体金属中では、温度差質量移行現象（後述）による肉厚減少や合金成分の選択的溶解、異種金属の使用による等温質量移行現象（後述）が生じる。温度差質量移行現象とは、溶解度が ppm レベル以下と小さい場合であっても、同一系内に温度勾配があると、高温部と低温部で溶解度に差があるために、一般に高温部で金属の溶解が進み、低温部で析出し溶解が継続する。このような質量移行は、温度が一定の場合であっても、異種金属が使用されていると、異種金属の共通成分元素の活量に差があり質量移行が生じる。この移行現象は等温質量移行現象と呼んでいる。

表 1. ステンレス鋼成分の液体金属への溶解度（700℃）¹⁾

溶媒	溶 質 (at%)		
	Cr	Fe	Ni
Li	<0.01	<0.01	0.019
Na	<0.01	<0.01	<0.01
K	不明	0.01	<0.01
Mg	不明	0.04 (?)	20
Al	0.35	2	4
Zn	3~5 (?)	4	5
Cd	<0.01	<0.01	30
Hg	<0.01	<0.01	0.05 (?)
Sn	2	1.5	14
Pb	0.5 (?)	0.001	3
Sb	13	5	7
Bi	0.15	0.012	63

ステンレス鋼のナトリウム液体中への腐食には、温度、酸素、流速が大きく

影響する。図2は酸素 1ppm のときの腐食速度であり、温度依存性はアレニウス式で表される。図3は腐食速度の酸素濃度依存性であり、酸素濃度 (ppm) の増大とともに腐食速度は増大する。流速は溶出した金属の物質移動を活発にするので、腐食を促進する。

液体ナトリウム中で、異種金属を用いた系では、上述のように化学的な質量移行が問題となる。ステンレス鋼と低合金を用いた系では、ステンレス鋼は浸炭し、クリープ強度は増加、伸びは減少する。低合金鋼は脱炭し、引張り強とクリープ強度は減少する。

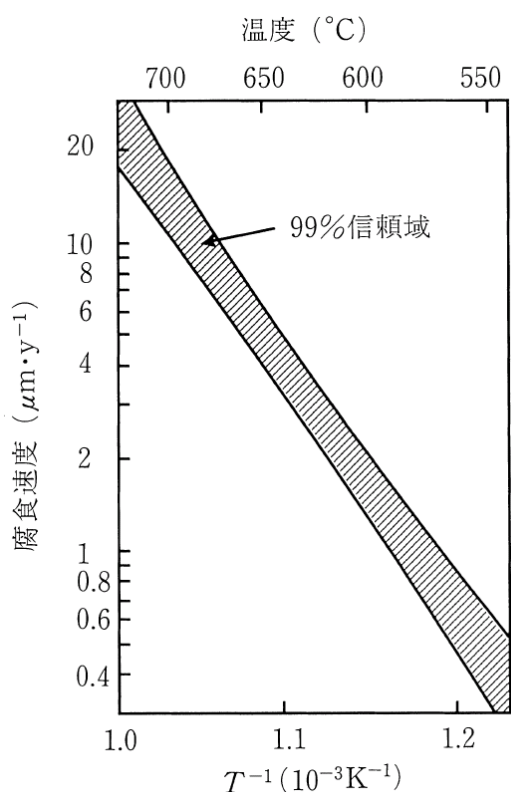


図2. 酸素 1ppm の液体ナトリウム中での 316 鋼の腐食速度の温度依存性図¹⁾

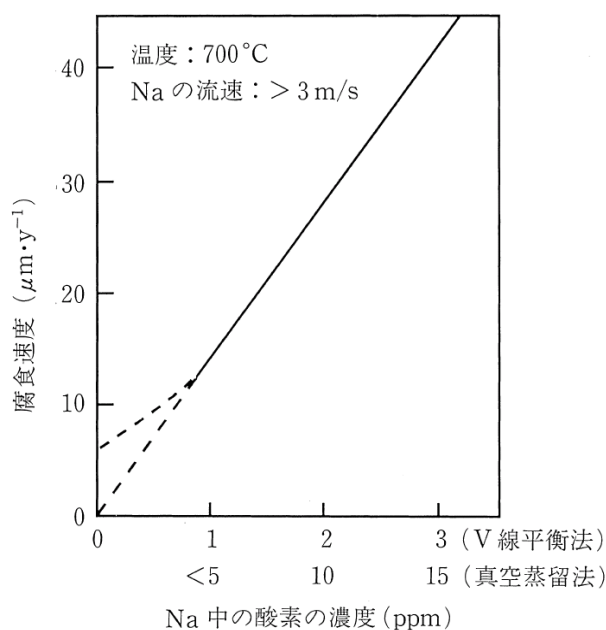


図3. 316 鋼の液体ナトリウム中の腐食速度に及ぼす酸素の影響¹⁾

3. 参考文献

- 1) 腐食・防食ハンドブック：編集（社）腐食防食協会、発行丸善株式会社（平成12年）
- 2) 腐食センターニュース No.35 （2005年9月）