

炭素鋼配管の流れ加速型腐食に及ぼす酸素注入と白金付着の影響

Effects of Oxygen Injection and Pt Deposition on Flow Accelerated Corrosion of Carbon Steel Piping

(株)日立製作所

大橋 利正, 室谷 光, 和田 陽一

日立 GE ニュークリア・エネルギー(株)

清水 亮介, 長瀬 誠, 大城戸 忍

背景と目的

米国 BWR プラントで近年、原子炉冷却材浄化系 (CUW) の炭素鋼配管における流れ加速型腐食 (FAC) の報告が増加している[1]。BWR における炭素鋼の FAC は高流速条件と低酸化剤濃度水質、および温度条件が重畳することで発生するとされている[2]。米国 BWR プラントの多くでは、炉内構造物や再循環系配管のステンレス鋼やニッケル基合金を応力腐食割れから守るため、炉水中の酸化剤を低減する技術、水素注入とオンライン貴金属注入 (OLNC) が長年適用されてきた。これらの技術が CUW の水質に影響し、炭素鋼の FAC が生じたと考える。しかし、これまで OLNC による Pt の付着が炭素鋼の腐食にどのように影響するかは明確になっていない。

そこで我々は、Pt が炭素鋼の FAC へおよぼす影響、および酸素注入による炭素鋼 FAC の抑制効果の定量化を目的に研究を行っている。本発表では、CUW を模擬した流動・水質条件で炭素鋼の腐食試験を行い、FAC 速度への Pt の付着、および溶存酸素 (DO) の影響を評価した結果を報告した。

実施内容

腐食試験に用いた試験片は、FAC 速度を評価するため、FAC が発生しやすいように不純物 Cr を低濃度に調整 (<0.04%[3]) した STPT480 相当の炭素鋼を板状に加工して作製した。一部の試験片は OLNC 適用時の Pt の付着を模擬するため、280 °C で $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ 水溶液を通水して試験片表面に Pt を付着させた。得られた Pt の付着量は $\geq 10 \mu\text{g cm}^{-2}$ であった。

CUW の流動条件を模擬するため小口径の PTFE 製セル内に試験片を設置し、試験片表面の線流速が $1.0 \sim 3.5 \text{ m s}^{-1}$ 、物質移動係数が $0.9 \times 10^{-3} \sim 2.1 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ となるようにセル内に送水した。

水質については解析を行い、OLNC 適用時のモデルプラントにおける Pt が付着した CUW 配管内の DO 分布を評価した (図 1)。解析結果から、再生熱交換器 (RHx) 1 段目より下流

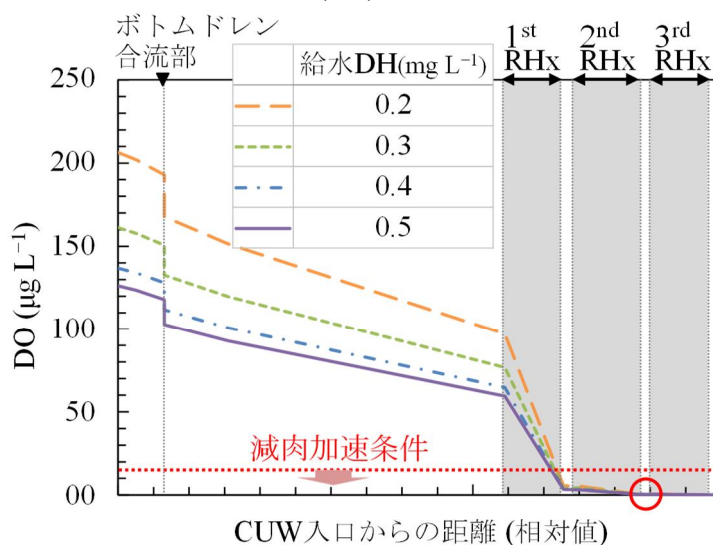


図 1 モデルプラントにおける Pt 付着 CUW 配管内の DO 分布の解析結果

では DO が $15 \mu\text{g L}^{-1}$ 以下に低下し FAC が加速する条件となることが示された。腐食試験の水質は、米国 BWR で FAC が報告されている再生熱交換器 2 段目下流 (図 1 の○) の解析結果を基に低 DO ($<10 \mu\text{g L}^{-1}$) 条件を基準とした。また、酸素注入の効果を知るため DO を $40, 400 \mu\text{g L}^{-1}$ と変化させた。溶存水素濃度は $40 \mu\text{g L}^{-1}$ で共通とした。

試験温度は FAC 速度が最大となる 150°C [2]とした。腐食試験の試験時間は 100 h とし、試験中に試験片の腐食電位 (ECP) を測定した。試験前後の試験片重量変化 (Δw) を試験時間 (t) で除して FAC 速度 ($\Delta w/t$) を求めた。

結果と考察

腐食試験の結果を図 2 に示す。図 2 では各試験条件における FAC 速度を、試験中に測定した ECP に対してプロットした。Pt の付着がない炭素鋼は、DO $<10 \mu\text{g L}^{-1}$ (○,○,○) では FAC が発生し、FAC 速度は $0.6\sim 1.1 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ であった。物質移動係数が大きいほど、FAC 速度は大きい傾向がみられた。DO が存在する条件では、DO $40 \mu\text{g L}^{-1}$ (◇,◇,◇) および $400 \mu\text{g L}^{-1}$ (△,△,△)のいずれの場合も FAC は抑制され、FAC 速度は $0.05 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 以下に低下した。FAC が生じた DO $<10 \mu\text{g L}^{-1}$ において、炭素鋼に Pt が付着した場合 (●,●,●)、FAC 速度が 2~4 割低下した。

上記の FAC 速度を ECP で整理すると、同じ物質移動係数の条件下では、ECP 上昇に伴い FAC 速度は低下し、 $\text{ECP} > -0.3 \text{ V vs. SHE}$ になると FAC が抑制される傾向が明らかになった。DO $<10 \mu\text{g L}^{-1}$ では炭素鋼への Pt 付着は、FAC を加速せず、むしろ ECP を上昇させることで FAC 速度を低下させた。酸素注入により $\text{ECP} > -0.3 \text{ V vs. SHE}$ とすると炭素鋼の FAC が効果的に抑制できることが分かった。

参考文献

- [1] Garcia S et al., NPC 2018, 2018 Sep 10–14; San Francisco, California (USA). No. 694620.
- [2] 日本機械学会, “発電用設備規格 配管減肉管理に関する規格 (2016 年版),” 丸善, 2017.
- [3] Ishida K et al., J. Nucl. Sci. Technol., 2022; 59: 709–724.

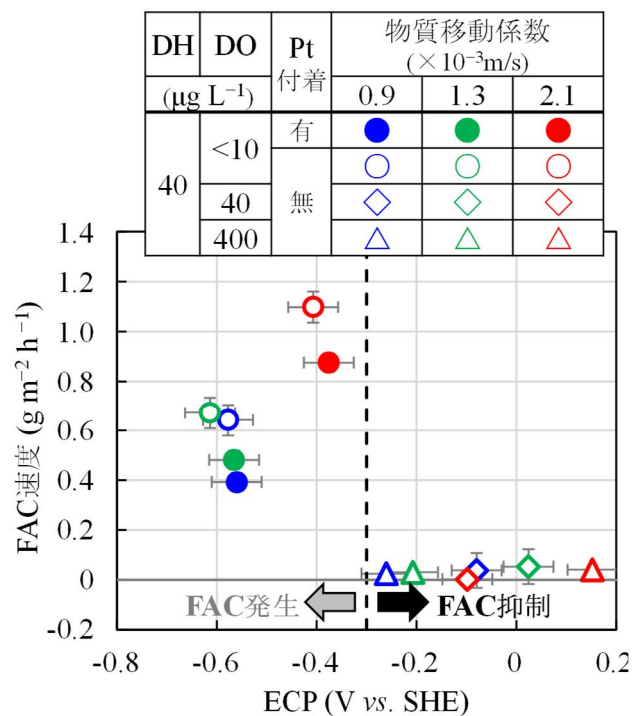


図 2 FAC 速度と ECP および物質移動係数の関係