

# 炭素鋼の流動下腐食挙動と律速過程の評価

Corrosion behavior of carbon steels under flow and its rate-determining processes

東北大学 工学研究科

原子炉廃止措置基盤 渡邊 豊 Yutaka WATANABE Member  
研究センター (兼)

東北大学 工学研究科

原子炉廃止措置基盤 阿部 博志 Hiroshi ABE Member  
研究センター (兼)

東北大学 工学研究科

佐藤 祥平 Shohei SATO Non-member

## Abstract

In order to proceed the decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant safely, it is important to maintain integrity of cooling system for fuel debris and spent fuels. Most part of the piping systems are made of carbon steel. This study has been done to understand rate-determining processes of carbon steel corrosion under current and future Fukushima Daiichi NPP conditions as functions of flow conditions and dissolved oxygen level by using electrochemical tests with rotating cylindrical electrodes. Transition in the rate-determining processes of the corrosion due to the combined conditions of flow rate and dissolved oxygen level was clearly demonstrated by the polarization curves.

**Keywords:** corrosion, low carbon steel, pipe wall thinning, polarization curve, rotating electrode, dissolved oxygen

## 1. はじめに

福島第一原子力発電所(1F)の廃止措置において、使用済燃料および燃料デブリの安定冷却維持が不可欠である。格納容器等のバウンダリ機能が完全でない状況にあって、水冷却は放射性物質の拡散抑制という観点からも重要な機能を受け持っている。現在の1F冷却配管系は、本体既設の配管と事故後に附設した配管によって構成されているが、放射線によりアクセスの難しい部位もあることから、的確な劣化予測と状態監視に基づいて十分な時間的裕度をもって信頼性を維持することが肝要である。

これらの冷却系には炭素鋼配管の使用されている部分が少なくない。一般に、大気に接している常温の中性水環境において、炭素鋼の腐食速度は酸素の拡散律速となることが知られており、流動下では腐食が加速する可能性がある。Fig.1は、種々の濃度の塩化ナトリウムを含む30°C水道水中で流速を変数としての炭素鋼の腐食速度を測定した結果[1]である。静止水中での腐食速度はおおよそ

0.2mm/yであるが、これは溶存酸素の拡散限界電流に見合った鋼の溶解速度にほぼ一致している。流速増加とともに腐食速度は顕著に上昇するが、3m/s以上の流速域ではほぼ頭打ちとなる。この領域では塩化物イオン濃度の低い方が腐食速度が高くなっているが、これは希薄溶液の方が酸素の溶解度が高いためと解釈される。すなわち、鋼表面への酸素の供給速度が腐食を律速していることを示唆する結果であり、流動条件次第では常温の中性水であっても1mm/yを超える腐食減肉が生じ得ることに注意して長期健全性を評価する必要があることを示している。

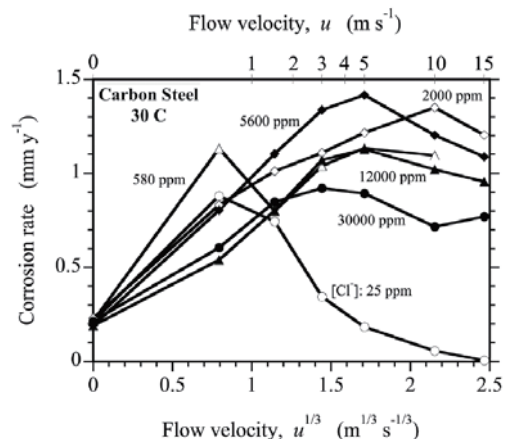


Fig.1 Flow effect on corrosion rate of a carbon steel in aerated tap water with various level of chloride.[1]

渡邊 豊 〒980-8577 仙台市青葉区字青葉 6-6

東北大学大学院工学研究科

E-mail : yutaka.watanabe@qse.tohoku.ac.jp

また、格納容器内でも注水や対流などによって部位に応じて様々な流動条件になっていると推察され、その意味でも流動下での炭素鋼の腐食速度を的確に予測する技術が必要である。

本報では、物質移動係数を実験変数として制御しながら炭素鋼の腐食律速過程を実験的に評価した結果について報告する。

## 2. 回転円筒電極を用いた流動下での炭素鋼の分極挙動

流動下での腐食律速過程を評価する手法として、回転円筒電極を用いた分極測定を選択した。まず、Sydbergerら[2]の電気化学的手法により、回転速度と物質移動係数の検量線を求めた。Fig.3に示されるとおり、物質移動係数は回転速度の0.7乗に比例する結果となり、これはPoulson[3]による実験式と一致するものであった。

次に、電極の回転速度（物質移動係数）と溶存酸素濃度を組み合わせ変数として、炭素鋼 SS400 の分極曲線を測定した。水質は[Cl<sup>-</sup>]200ppm 水溶液で、溶存酸素濃度は<10ppb, 100ppb, 1ppm, 7.3ppm の4種類である。

Fig.4に回転速度2000rpmにおける種々のDO濃度での分極曲線を示す。DOあるいは流速が増大するに従って、次の4種類の分極曲線が現れた。

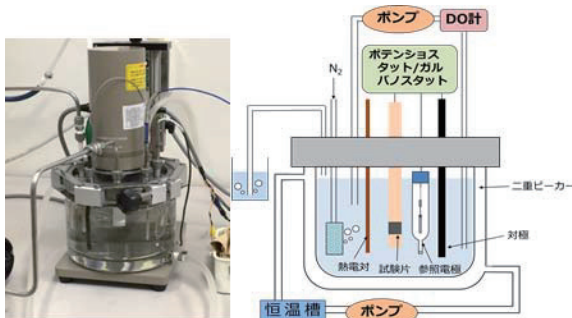


Fig.2 Rotating cylinder electrode system

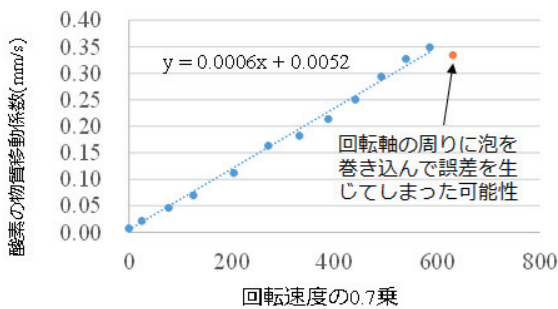


Fig.3 Measured mass transfer coefficient of oxygen as a function of rotation velocity

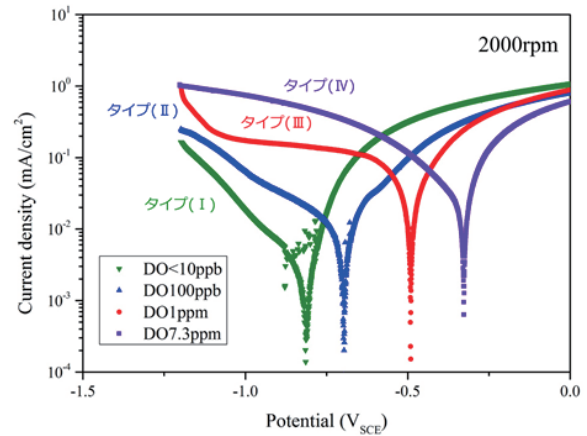


Fig.4 Polarization curves of a carbon steel measured at 2000rpm with various DO conditions

タイプ(I)：酸素供給が無いために水の還元反応が主たるカソード反応であり、電荷移動律速であるためカソード分極曲線に流動の影響がなく、直線勾配の部分で構成される。

タイプ(II)：酸素の還元電流の寄与がまだ小さいために水の還元電流に隠れて酸素の拡散限界電流は現れないものの、流動によりカソード電流が増加する。

タイプ(III)：カソード分極曲線に酸素の拡散限界電流が現れる。酸素の還元反応が支配的と理解される。

タイプ(IV)：鋼表面への酸素の供給が十分に速いため、電荷移動過程と拡散過程が競合的に反応速度を決定している。

## 3. まとめ

回転円筒電極を用いて酸素の物質移動流束制御下での炭素鋼の分極曲線を測定し、4種類の腐食律速のタイプがあることを示した。

## 謝辞

本研究の一部は、「文部科学省英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」による「廃止措置のための格納容器・建屋等信頼性維持と廃棄物処理・処分に関する基盤研究および中核人材育成プログラム」の成果である。

## 参考文献

- [1] 木下和夫, 市川克弘, 北嶋宣光, 防食技術, 32 (1983), 31-36.
- [2] T. Sydberger, U. Lotz, Electrochemical Science and Technology, 129 (1982), 276-283.
- [3] Bryan Poulson, Corrosion Science, 23 (1983), 391-430.