

流れ加速型腐食（FAC）による配管の減肉予測モデルの構築

背景

原子力・火力発電プラントの運用・管理において、配管の減肉現象は重要な問題であり、特に流れ加速型腐食（FAC）*¹は最も注意を要する現象である。配管減肉を合理的に管理する為には、定期的な肉厚検査と共に、現象メカニズムに基づく定量的な予測の併用が望まれる。FACは流動・水化学・材料の各因子が複合した現象である為、減肉量の予測にはこれらの因子を全て考慮したモデル式の構築が必要である。定量的な予測モデルが確立されれば、例えば肉厚検査が困難あるいは検査回数が少ない部位の減肉傾向や、水質改善あるいは出力向上等の運転条件変更による余寿命、等の評価が可能となり、減肉現象に対する実機配管の保守管理の合理化に大きく貢献することができる。

目的

FACの各影響因子に対する評価手法を確立すると共に、各因子を考慮した減肉率予測モデル式を構築する。

主な成果

1. FACに関与する流動因子（物質移動係数）の評価

配管内でFACが発生し得る偏流条件に対応する流動因子（物質移動係数）の評価手法として、壁面近傍における平均流速の増大分と、流速の変動成分（乱流速度*²）とを加味した物質移動モデルを構築した（図1）。このモデルをFAC試験の減肉率データに適用し、乱流速度を考慮することの妥当性を確認した（図2）。

2. FACに関与する水化学因子（鉄の溶解度、溶存酸素濃度）の評価

主に水化学・材料因子の影響を考慮したFACモデルを、以下の仮定を基に構築した（図3）。

- (1) 仮定①：材料表面と溶液の間に鉄の飽和溶解層、鉄の拡散層が存在し、飽和溶解層から溶液への鉄の拡散がFAC速度を律する。
- (2) 仮定②：溶液から飽和溶解層への酸素の拡散と鉄の腐食による酸素消費のバランスが酸化皮膜性状を決定する。

このモデルに基づき、FACの主要な水化学因子である鉄の熱力学溶解度を算出した（図4）。また溶存酸素濃度による影響の評価式を構築し、pHをパラメータとした場合のFAC速度の急激な低下を伴う、FAC試験結果*³を定性的に説明し得ることを示した（図5）。

3. FACによる減肉率予測モデル式の構築

上記FACモデルに基づき、減肉率の予測モデル式を構築した。このモデル式を用いることによりFAC速度が温度140℃近辺で極大を示す、従来の知見を理論的に示した（図6）。

今後の展開

本モデルに、環境条件に依る酸化皮膜厚さの評価を加えると共に、減肉実験や実機配管のデータによりモデルの妥当性を検証する。

主担当者 PLM総括プロジェクト配管減肉研究ユニット
材料科学研究所 原子力材料領域 主任研究員 藤原 和俊
原子力技術研究所 発電基盤技術領域 主任研究員 米田 公俊

関連報告書 「水化学条件と流動状態が配管減肉挙動へ及ぼす影響に関する研究（その1）」、電中研報告：Q08016
「流れ加速型腐食に対する影響因子の定量的な評価（その2）」、電中研報告：L07015

*1：炭素鋼・低合金鋼配管の酸化皮膜の腐食が、管内の流れによって促進される減肉現象（Flow Accelerated Corrosion）。過度に進展した場合には、大規模な配管破損事故を生じる可能性があるため、十分な注意を要する。
*2：局所流速の変動成分の時間平均値に対する用語“turbulent velocity”への対訳として便宜的に使用
*3：FAC試験は電中研、日本原子力発電（株）およびUniversity of New Brunswick（カナダ）との共同研究により実施

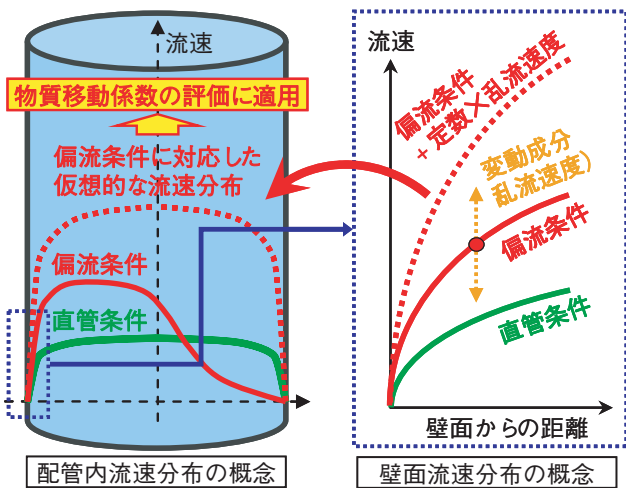


図1 偏流条件に対する物質移動係数評価の概念

偏流条件における壁面での平均流速の増大と乱流速度とを考慮した、仮想的な流速分布を物質移動係数に適用して評価

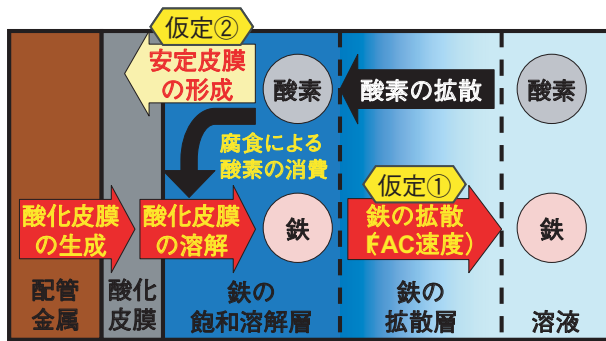


図3 FACモデルの概念図

定常状態のFACに対して鉄の飽和溶解層の存在を仮定し、鉄の溶解・拡散と酸素の拡散・消費のバランスを考慮してモデル化

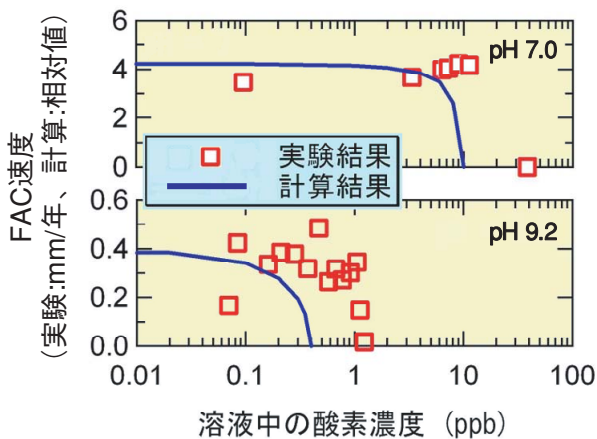


図5 FAC速度に及ぼす酸素濃度の影響

溶存酸素濃度の増大に伴い減肉速度が急減する傾向及びそのpH条件による違いを、本モデルを用いた計算により定性的に再現

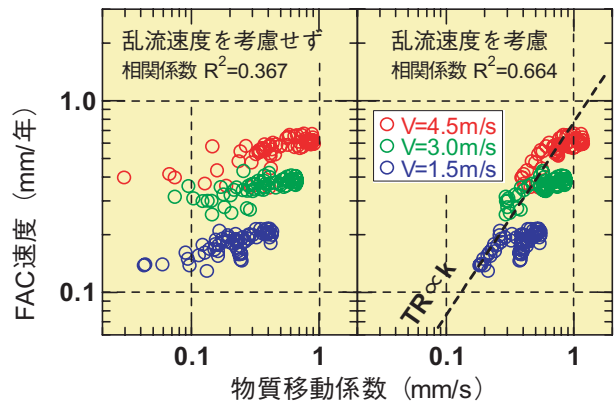


図2 実験による減肉速度と物質移動係数の相関

実験体系における偏流に伴う乱流速度を考慮することにより、減肉速度と物質移動係数の相関が大幅に改善

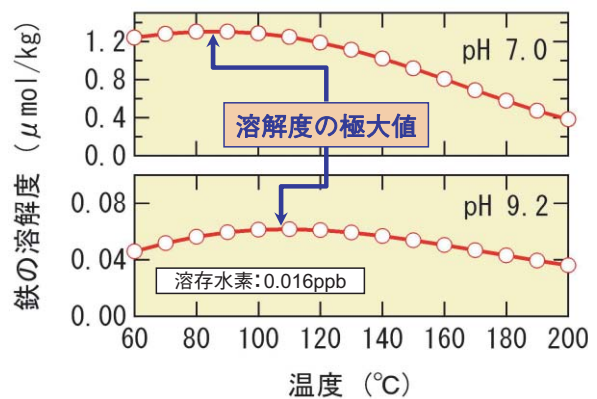


図4 鉄の溶解度の評価（温度依存性）

溶解度は100℃前後でピークを有する分布となり、その極大値は中性条件（pH=7.0）で弱アルカリ条件（pH=9.2）の約20倍となる。

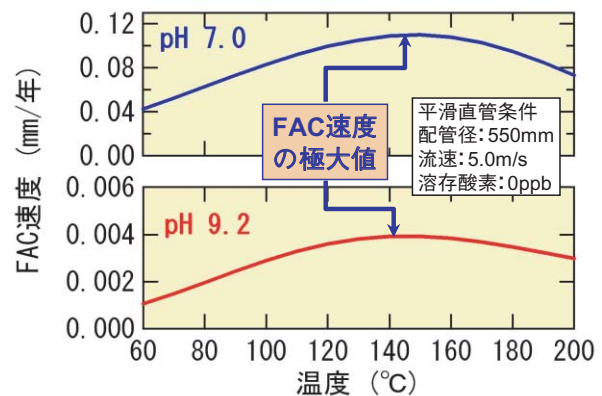


図6 FAC速度の評価（温度依存性）

減肉速度が150℃付近で最大となる、従来からのFACの特徴的知見を、本モデルを用いた計算により定性的に再現