

連成解析による気液二相流中構造物の振動・腐食評価手法の開発- 3

流動解析と腐食解析の連成による単相および二相流中での 配管減肉速度評価

Development of Evaluation Method on Flow-induced Vibration and Corrosion of
Components in Two-phase Flow by Coupled Analysis -3

Evaluation of Wall Thinning Rate in Single and Two Phase Flow with the Coupled Model of
Flow Dynamics Analysis and Corrosion Analysis

エネルギー総合工学研究所	内藤正則	Masanori NAITOH	Non-member
エネルギー総合工学研究所	内田俊介	Shunsuke UCHIDA	Non-member
エネルギー総合工学研究所	岡田英俊	Hidetoshi OKADA	Non-member
エネルギー総合工学研究所	上原 靖	Yasushi UEHARA	Non-member
東京大学	越塚誠一	Seiichi KOSIZUKA	Non-member

In order to establish safe and reliable plant operation, it is required to forecast future troubles on structural materials based on combined analyses of flow dynamics and corrosion and to mitigate them before they become serious on plant operation. In the presentation, discussion is focused on wall thinning of major pipes due to single and two phase flow. FAC (flow accelerated corrosion) is considered for wall thinning in single phase flow, while LDI (liquid droplet impingement) is evaluated for that in two phase flow.

Keywords: Single phase flow, Two phase flow, Flow accelerated corrosion, Liquid droplet impingement, Structural material integrity, Evaluation method

1. 緒言

原子力発電所では、時折、不測のトラブルが発生している。トラブルの主たる要因として、機器・構造物に加わる流動励起振動による繰り返し荷重、あるいは材料の腐食、ないしは両者の重畳によるものが挙げられる。電力の安定的・計画的供給のためには、このようなトラブルの発生を未然に防止して稼働率の向上を目指すこと、及び既存施設の活用による供用期間延長（長寿命化）や出力増大（高流速化）を図ることが緊急かつ重要である。これらの方策を実現させるための課題として、それに伴うトラブル発生の可能性を予測し、未然に排除する必要がある。

本技術開発の目的は、流体に接する構造物の流動励起振動と腐食現象を対象とした三次元解析技術を開発し、実際のプラントにおける流動励起振動あるいは腐

連絡先：内藤正則〒105-0003 東京都港区西新橋
1-14-2 新橋SYビル8F, (財)エネルギー総合工学研
究所, 電話 03-6367-0291, mnaito@iae.or.jp

食、ないしは両者の重畳による機器・構造物の疲労損傷を評価できる実用的なソフトウェアシステムを確立することにある。これまでに、開発全体の目標[1]とプラント全体の腐食環境評価手法[2]について発表した。今回は、対象を単相および二相流体中での配管減肉速度の評価に絞って、本報以下4件について発表する。

第3報：流動解析と腐食解析の連成による単相および二相流中での配管減肉速度評価

第4報：配管内での単相および二相流速度分布解析

第5報：電気化学モデルと二層酸化皮膜モデルを連成させた配管減肉速度評価

第6報：液滴エロージョンによる配管減肉速度評価

2. 評価対象と主要減肉機構

2.1 減肉機構

PWR 二次冷却系他での流れ加速型腐食 (FAC) および BWR 給水加熱器ドレン系他での液滴エロージョンによる配管健全性評価を、流体解析と化学反応解析と

を連成することにより、予測・評価する手法を確立する。減肉の主要機構を Figure 1 に示す。

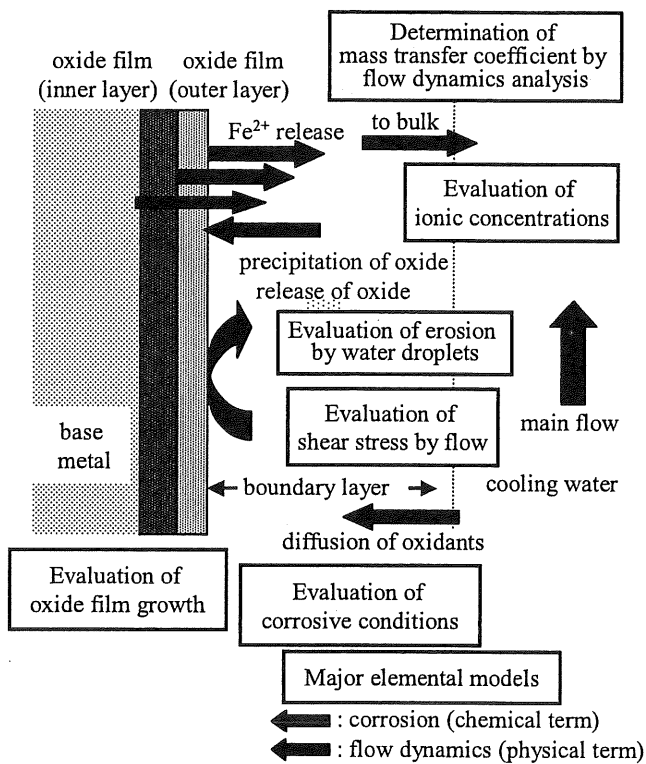


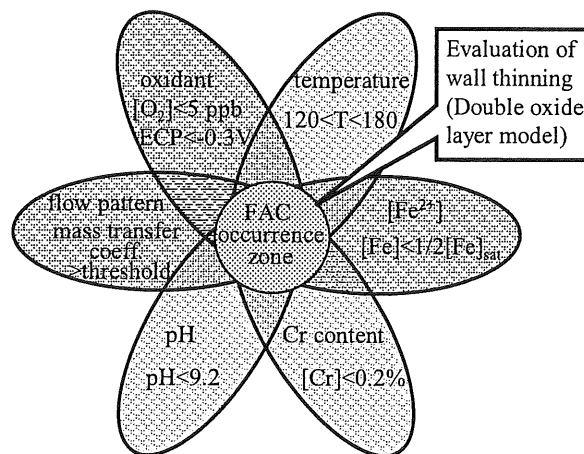
Figure 1 Elemental models to evaluate FAC

2.2 主要パラメータ

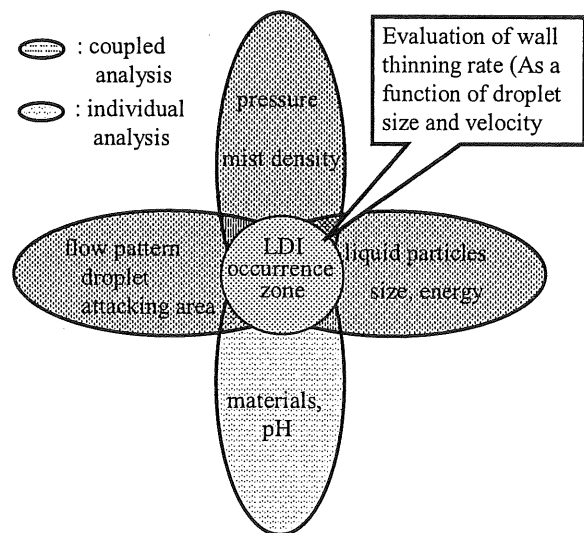
単相流中での流れ加速型腐食を支配する主要パラメータおよび液滴を含む二相流中での液滴エロージョンを支配する主要パラメータを、Figure 2 に示す。材質、温度など流動解析とはほぼ独立に評価できるパラメータを除くと、大半は流動解析によって、まずは流れパターンを求め、その結果をもとに諸パラメータを求めて、問題発生箇所を予測する。次いで、問題発生箇所を中心に減肉速度を計算して、配管の交換のための余寿命を算出、あるいは主として水化学制御による寿命延長策の有効性を評価する。

2.3 評価ステップ手法

FACは2つのプロセスに分けることができる、すなわち、腐食（化学）プロセスと流動（物理）プロセスである。腐食プロセスはFACを引き起こす基本的なプロセスで、流動プロセスは、FACを加速するプロセスである。金属イオン、主として第1鉄イオン、境界層に溶出し、そこで過飽和のイオンが酸化物として析出し、酸化皮膜外層として付着する[3]。酸化皮膜外層は第1鉄イオンの溶出（腐食反応）を抑制するために重



a) FAC occurrence



b) LDI occurrence

Figure 2 FAC and LDI occurrence zone indicated by major parameters

要な役割を果たす。境界層の厚さは流動に影響される。高速であれば境界層は薄くなり、低流速では逆となる[1]。厚い境界層は第1鉄イオンが過飽和となることを加速し、保護皮膜形成を加速して、腐食を抑制する。このプロセスでは、境界層の酸素濃度も第1鉄イオンの酸化に重要な役割を担う。境界層での酸素濃度自体もその厚さの影響を受ける。

温度は問題箇所でも容易に測定可能である。pHも安定で、サンプリングでの測定で容易に測定可能である。酸素そのものは高温でも安定であるが、酸素濃度抑制のために注入したヒドラジンあるいはその他の化学剤と共存するために、酸素・ヒドラジン反応によりその濃度が場所によって異なる。流れの乱れによる境界層厚さ、それによる質量移行係数の変化は3次元流動計

算コード PLACHY で評価した。こういったさまざまなパラメータを **Figure 3** に示す 5 段階のステップで計算して、最終的に問題発生の確率の高い箇所を抽出し、その減肉速度を予測する。

各パラメータの FAC 発生のための危険領域が抽出されている。FAC 発生の必要条件は各危険領域が重畳した条件 (**Figure 2**) と考えることができる。

FAC を支配する主要パラメータの評価に基づき、危険部位 (dangerous zone) にあると認められた部位について、次ステップの減肉速度評価を行う。

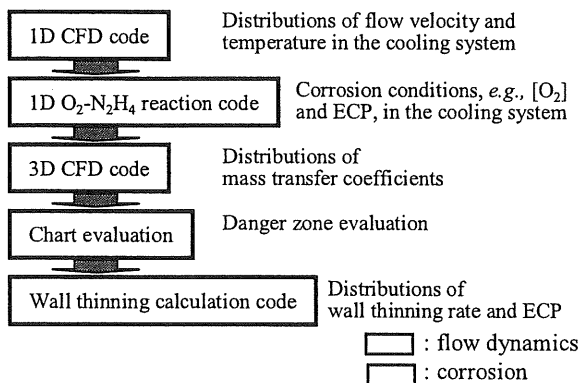


Figure 3 Evaluation steps for FAC

3. 評価結果

流動解析、FAC および LDI による減肉速度解析の結果は、次報告において詳述するが、本報告では、PWR2 次冷却系での腐食環境評価の結果について紹介する。2 次系を主要加熱器の集合として示し、流動と温度分布をプラントシステムコード RELAP5 で計算し、その結果を用いてヒドラジン酸素反応解析[3]により酸素濃度 [O₂] および腐食電位 ECP を求めた。流れに沿っての [O₂] および ECP を **Figure 4** に示す。

酸素・ヒドラジン反応解析により、PWR の二次冷却系の流路に沿った酸素濃度分布を求める。本評価手法により、FAC の観点から、ECP 分布を求め、危険部位を見出すことが可能で、タイムリーな予防保全のためのポイントを絞ることが可能となる。また、減肉速度を推定し、余寿命を評価すると共に、減肉抑制策としての pH 制御、FAC を抑制しつつ、蒸気発生器への酸素持込を最小に制御可能な酸素注入、ヒドラジン濃度制御などの感度解析が可能で、配管の寿命予測に限らず、適切な予防保全計画立案に資することができる。

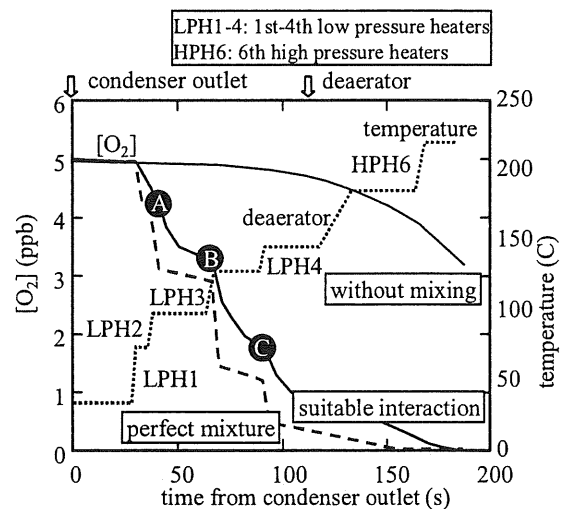


Figure 4 Corrosive condition calculation

4. 結言

FAC や LDI などの構造材の腐食に係わるトラブルを評価するために流動・熱伝達解析モデルと化学・腐食解析モデルを組み合わせた解析に基づく計算機プログラムを提案した。

FAC の観点から危険部位を見出すと共に、減肉速度を推定可能で、各種環境緩和法、材料の変更、流動効果緩和策など、さまざまな保全策の有効性の定量的評価が可能で、予防保全計画立案のツールとしての活用が期待される。

謝辞

本発表は経済産業省の提案公募事業「革新的実用原子力技術開発費補助事業」“連成解析による気液二相流中構造部品の振動・腐食評価手法の開発”において開発した平成 19 年度成果の一部である。

参考文献

- [1] 内藤正則ほか、連成解析による気液二相流中構造物の振動・腐食評価手法の開発- 1 流動励起振動による構造材の健全性評価、日本保全学会第 4 回学術講演会要旨集 S7-03 (2007)
- [2] 内田俊介ほか、連成解析による気液二相流中構造物の振動・腐食評価手法の開発-2 原子力発電プラント冷却系の腐食環境評価、同上 S7-04(2007)
- [3] S. Uchida, *et al.*, Power Plant Chemistry, 9, 143 (2007)