

第1回材料-水化学部会合同「構造材-水相互作用」勉強会 報告

日本原子力研究開発機構 塚田 隆

2010年8月に開催された第9回「材料」夏期セミナーでは、セッション2-2「水化学と材料研究」において水化学部会と材料部会の協調について議論され、平成22年度内に両部会合同の勉強会を立ち上げる方向で意見がまとめられた。これに従い、2011年1月27日に標記の第1回合同勉強会を開催し（場所：日本原子力学会事務局会議室）20名の参加者を得て4件の講演と活発な討論が行われた。以下、まず本勉強会の目的と背景を説明する。

本勉強会の目的は、各種原子力プラント及び他の工業プラントでの「構造材と水の相互作用」に関わる損傷現象とその機構及び対策に関する研究・技術の現状に関する調査、議論を行い、「構造材料と水の相互作用」について理解を深めるとともに、今後発生する可能性のある各種の材料損傷を未然に防止することにつなげることである。軽水炉プラントにおいて冷却水と接する各種の金属材料は、軽水炉開発の初期から腐食や応力腐食割れによる多様な損傷を経験して来た。近年、軽水炉プラントの高経年化に伴い構造材の健全性確保が一層重要な課題となっており、「構造材と水の相互作用」について基礎から理解し、材料損傷のメカニズムに基づく対策を検討する必要がある。一方、核融合炉などの原子力システムにおいても、その相互作用に起因する材料損傷に関する検討が必要である。この材料と水の境界領域で発生する諸現象には、材料と水化学の両分野の研究者、技術者が協力して初めて実質的な対応が可能となる。このため本合同勉強会では、部会間の垣根を越えて両部会が協力し、その境界領域の問題についての毎回テーマを設定して議論、最新情報の交換、調査等を行うことを目標としている。

今回の勉強会では、テーマを「流れ加速型腐食（FAC）による配管減肉現象」に設定し以下の講演と質疑討論を行った。近年も火力プラントや原子力プラントにおいて冷却水配管の減肉現象が事故原因となっているが（例えば、美浜発電所3号機の2次系復水配管の破損事故）、配管減肉現象をメカニズムの観点から分類すると、腐食による化学的作用が支配的なFACと流体の壁面への衝突による衝撃力の機械的作用が支配的なエロージョンに大別される。講演では各種プラントにおけるFACに関する研究の現状が報告された。

- 1) 「流れ加速型腐食(FAC)の基礎知見と中性純水中での腐食速度評価」
講演者： 佐藤智徳 氏（原子力機構 原子力基礎工学研究部門）
- 2) 「火力プラントにおける流れ加速型腐食(FAC)および減肉速度評価法について」
講演者： 内田俊介 氏（原子力機構 原子力基礎工学研究部門）
- 3) 「軽水炉におけるFAC抑制の水化学の現状と課題」
講演者： 杉野亘 氏（日本原子力発電(株) 発電管理室）
- 4) 「核融合炉ブランケット設計におけるFACの予測と課題」
講演者： 関洋治 氏（原子力機構 核融合研究開発部門）

佐藤智徳氏による講演では、FAC現象の概要、実機トラブル事例、FACメカニズム、影響因子に関する実験結果などが紹介された。FACは、炭素鋼や低合金鋼などの表面の保護皮膜が、流動水や水・蒸気混合物中へ溶出することによって、腐食が促進される現象であり、温度、pH、溶存酸素濃度、金属イオン濃度、流速、材料組成に影響される。温度依存性に関しては、150℃近傍に腐食速度のピークがあり、pHが9.5以上で腐食速度が大きく低減することが知られている。これらの傾向は、表面に形成される保護皮膜を構成するマグネタイトの溶解度の温度およびpH依存性に起因するものである。

内田俊介氏による講演では、まず火力プラントにおけるFACの事例、関係の国際会議の状況、FACの影響因子、火力プラントおよび原子力プラントでのFAC対応策などが紹介され、次に電気化学手法に基づくFAC減肉速度の評価手法が紹介された。FACは、火力プラントでは重大事故を引き起こす可能性の高い事象と理解されており、科学的には主な影響因子は把握されているが、現在も火力プラントでの損傷発生が継続している。原子力プラントを対象としFAC評価モデルでは、FACを流動と腐食の連成現象ととらえ、減肉速度を電気化学モデルと酸化皮膜成長モデルの結合モデルとして解析することにより、減肉速度の定量化を進めた。流動解析と腐食解析を組み合わせ、まずFACの発生リスクの多い箇所を摘出し、次に当該箇所の減肉速度、減肉量を定量的に評価して、最終的に当該部の安全裕度を含めての余寿命を評価すると共に、必要な減肉抑制策の有効性を定量的に評価可能であることを示した。

杉野亘氏による講演では、軽水炉の炉型（PWRとBWR）による材料・水化学の違い、配管減肉事例、両炉型でのFAC抑制のための水化学、今後取り組むべき課題などが紹介された。配管減肉事象は、頻繁かつ広範囲の配管肉厚管理や配管取替えに伴う発電所の運用コストの増大のみならず、FACによって生じる腐食生成物は、BWRでは被ばく線量の上昇要因となり、PWRでは伝熱管などにスケールとして付着し腐食環境を形成する他、プラント熱効率の低下等の不利益をもたらしている。FAC抑制策としては、配管を耐食性の高いステンレス鋼等に取り替える材料対策があるが費用が大きく実施可能な部位が限定的であるため、広い範囲の部位で効果が得られる水化学による環境対策を組み合わせることが重要である。また、減肉発生部位を予測できる配管減肉予測モデルを用いた合理的な減肉管理を早期に導入する必要がある。

関洋治氏による講演では、核融合炉の開発状況、ITER用テストブランケットモジュール(TBM)の構造と候補材料(低放射化フェライト鋼)、同材料の侵食腐食課題、TBM内の冷却材流動現象の数値計算手法、侵食腐食量の予測課題などが紹介された。ITER-TBMブランケットでは、PWRと同程度の冷却水条件(280~330℃、15MPa)とするため、フェライト鋼の乱流場による酸化膜の剥離および溶出の加速(FAC)が危惧され、腐食減肉量の評価手法を確立することが重要である。このため、TBM内の並列多流路の冷却材流動の予測手法および侵食腐食量に関する物理量の予測手法の確立が急務である。実証試験に裏付けられた予測手段の確立を目的として実施した数値流体計算では、乱流モデル、Large Eddy Simulation(LES)、Direct Numerical Simulation(DNS)の3つを組み合わせ多流路内の冷却材流動条件およびFACに影響を与える壁面せん断応力の評価を可能とした。

今回は第1回目であるため、講演の後、今後の勉強会の進め方、テーマの選定および開催の方法、勉強会の成果のまとめ方などの方針について議論を行った。出された意見は、両部会では「構造物-水相互作用」に対する視点や問題意識が異なるため勉強会は試行錯誤しながら進める方が良い、議論の時間を長く取るようにすべき、他の部会や関連学協会との連携も考えるべき、毎回の講演を資料として残し勉強会の成果とすべき、などの意見が出された。また、原則として勉強会は両部会が交互に開催設定をすることになった。本勉強会は、今後年3回程度のペースで継続し開催したいと考えているため、活発かつ有益な会合となるよう部会員各位のご協力とご指導を宜しくお願いします。

以上