

特殊環境下の腐食現象の解明に関する研究

Study for mechanism of corrosion under specific environments

佐藤智徳¹⁾ 端邦樹¹⁾ 石島暖大¹⁾ 上野文義¹⁾ 加治芳行¹⁾

Tomonori Sato Kuniki Hata Yasuhiro Ishijima Fumiyoshi Ueno Yoshiyuki Kaji

井上博之²⁾ 多田英司³⁾ 阿部博志⁴⁾ 秋山英二⁴⁾

Hiroyuki Inoue Eiji Tada Hiroshi Abe Eiji Akiyama

田口光正⁵⁾ 清藤一⁵⁾

Mitsumasa Taguchi Hajime Seito

¹⁾JAEA ²⁾阪府大 ³⁾東工大 ⁴⁾東北大 ⁵⁾量研

(概要)

福島第一原発の廃炉の安定的な実施において重要な知見である、放射線照射下腐食データベース構築のため、放射線照射下腐食試験および試験後の各種分析が可能な試験環境を整備した。また、鉄イオンが存在する条件下では、ガンマ線照射により溶液の pH が低下すること、過酸化水素濃度や水素濃度が線量の増加に伴い増加することを確認した。ホウ酸塩及び NaCl を含む溶液でのガンマ線照射下腐食試験から、ホウ酸塩が増加するにしたがって、腐食形態が全面腐食から局部腐食、不動態に変化すること、塩化物イオンが増加するにしたがって、脱不動態化することがわかった。また、希釈人工海水に炭素鋼試験片を全浸漬、および半浸漬させた条件下でガンマ線照射下腐食試験を実施し、半浸漬、特に喫水部での腐食速度が全浸漬条件よりも大きく、液滴落下条件も含めて、ガンマ線照射下では非照射下よりもさらに腐食速度が大きくなることがわかった。

キーワード：福島第一原発、腐食、放射線、ラジオリシス、データベース構築

1. 目的¹⁾

福島第一原子力発電所(1F)においては、①重要な構造物を倒壊させない、②冷却系配管の流量を維持する、③放射性物質のバウンダリ機能を有している原子炉格納容器(PCV)等からの漏えいを防止する、ことが重要である。これらに対して影響する現象の1つは、腐食であるが、腐食反応を律速する環境要因に関しては、現状十分にデータが得られている訳ではなく、また、作業の進展に伴い時々刻々と変化し得る。そこで、1F 廃炉で必要となるラジオリシスデータと構造材料の腐食データを取得することを主要な目的とする。本研究でターゲットとする腐食環境領域を図1に示す。

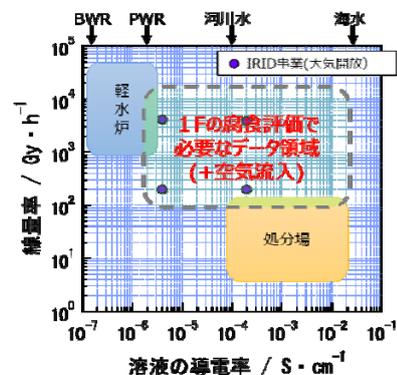


図1 1Fで想定される腐食環境領域

2. 実施内容

2.1 ガンマ線照射下腐食試験環境の整備²⁾

照射下腐食に関するデータベース構築のためには、照射下試験によるデータ取得が不可欠である。そこで、量研と JAEA が連携し、量研高崎量子応用研究所において、照射下腐食試験を実施できる環境の整備を実施した。整備した腐食試験用照射容器概要を図2に示す。また、溶液の pH、導電率などを測定可能な分析機器を整備した。さらに液体クロマトグラフ法による過酸化水素分析法を確立し、試験後の過酸化水素濃度分析を可能にした。これらにより、ガンマ線照射下腐食試験および試験後各種分析が可能な試験環境を整備した。

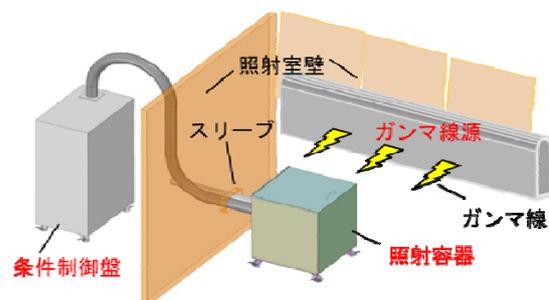


図2 腐食試験用照射容器概要図

2.2 ラジオリシスデータセット整備及びデータベース化³⁾

ラジオリシス等に関する文献調査を行い追加の情報収集から、Fe イオンを含む水溶液ではラジオリシスによる生成物濃度に影響することが予測された。そこでガンマ線照射下試験を実施し、文献調査から得られたラジオリシス反応より推測される水質変化と比較した。具体的には、硫酸鉄 (FeSO₄) を 0.5 mM 含む中性の水溶液を 30 ml の硬質ガラス製バイアル瓶に 20 ml 入れ、Ar 置換後にブチルゴムセプタムで密栓した試料に対して、ガンマ線 (吸収線量率約 1.2 kGy/h) を照射した。照射後試料のヘッドスペースに存在する O₂ 及び H₂ をガスクロマトグラフにより測定するとともに、H₂O₂ を測定した。また、腐食現象に大きく寄与するパラメータである、pH の測定も実施した。その結果、pH が低下すること、過酸化水素濃度や水素濃度が線量の増加に伴い増加することを確認した。pH の実測結果および解析結果の比較例を図 3 に示す。実験結果と解析結果はよく一致している。一方で、水素、酸素、過酸化水素濃度の実測と解析には、まだ乖離が見られたことから、今後、さらにラジオリシス計算を行い実験結果との比較検討、解析モデルの高精度化を行う予定である。

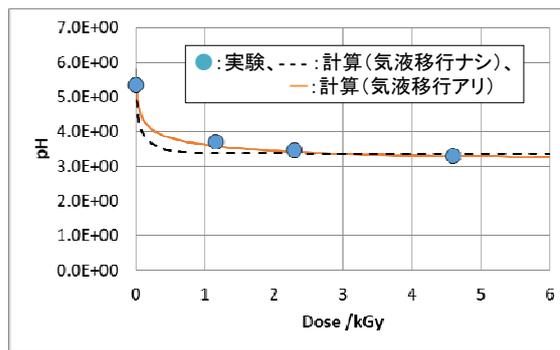


図3 Feイオン共存条件下におけるガンマ線照射後の溶液pHの変化

2.3 炭素鋼の脱不動態化におよぼすガンマ線照射の影響評価²⁾

再臨界防止として利用が検討されているホウ酸塩は、水中に高濃度で添加すると、炭素鋼の不動態化を引き起こし、それにより炭素鋼の全面腐食を抑制するが、一方で、脱不動態化による局部腐食発生のリスクがある。この脱不動態化におけるガンマ線照射の影響を明らかにするために、ガンマ線照射下でのホウ酸塩と塩化物イオン共存条件下での炭素鋼の腐食試験を実施した。腐食試験セル外観図を図 4 に示す。ホウ酸塩濃度、塩化物イオン濃度とガンマ線照射強度をパラメータとして、炭素鋼の不動態化挙動を評価し、さらに、ホウ酸塩濃度、塩化物イオン濃度、照射強度を評価軸とした局部腐食発生特性を評価した。取得された結果をもとに、図 5 に示す腐食特性マップを作成した。ホウ酸塩が増加にしたがって、腐食形態が全面腐食から局部腐食、不動態に変化すること、塩化物イオンが増加にしたがって、脱不動態化することがわかった。



図4 腐食試験セル

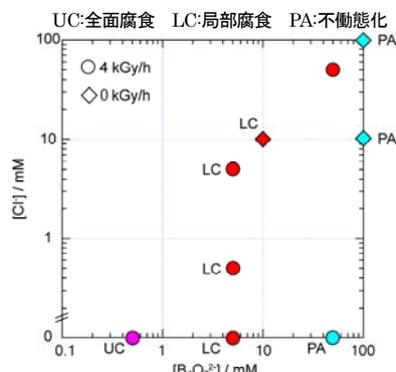


図5 腐食特性マップ

2.4 湿潤・乾燥環境でのガンマ線照射による腐食影響評価⁴⁾

格納容器周辺を想定した腐食環境では、湿潤で水滴がしたり落ちる部位、水蒸気結露による水膜や喫水面近傍における濡れ乾き条件等に、ガンマ線照射が重畳することが考えられるが、当該環境における腐食データは極めて限られている。そこで、湿潤・乾燥環境でのガンマ線照射による腐食影響を評価するために、全浸漬、半浸漬、気中、上部からの液滴落下条件における腐食速度に及ぼすガンマ線の影響に関するデータを取得した。実験に使用した腐食試験セル概要を図 6 に示す。試験片は炭素鋼とし、50°C、20000 倍希釈人工海水を用いて試験

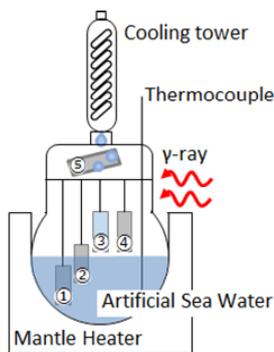


図6 腐食試験セル概要図

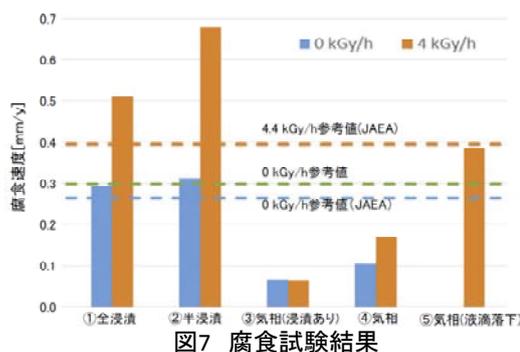


図7 腐食試験結果

を実施した。腐食速度評価結果を図7に示す。半浸漬、特に喫水部での腐食速度が全浸漬条件よりも大きく、液滴落下条件も含めて、ガンマ線照射下では非照射下よりもさらに腐食速度が大きくなることがわかった。

3. まとめと今後の展開

1Fの廃炉の安定的な実施において重要な知見である、放射線照射下腐食データベース構築のため、放射線照射下腐食試験および試験後の各種分析が可能な試験環境を整備した。また、鉄イオンが存在する条件下では、ガンマ線照射により溶液のpHが低下すること、過酸化水素濃度や水素濃度が線量の増加に伴い増加することを確認した。ホウ酸塩及びNaClを含む溶液でのガンマ線照射下腐食試験から、ホウ酸塩が増加するに当たって、腐食形態が全面腐食から局部腐食、不動態に変化すること、塩化物イオンが増加するに当たって、脱不動態化することがわかった。さらに、希釈人工海水に炭素鋼試験片を全浸漬および半浸漬させた条件下でガンマ線照射下腐食試験を実施し、半浸漬、特に喫水部での腐食速度が全浸漬条件よりも大きく、液滴落下条件も含めて、ガンマ線照射下では非照射下よりもさらに腐食速度が大きくなることがわかった。今後は、放射線照射下腐食挙動に関する知見をさらに拡充していき、1Fの腐食評価に利用可能なデータベースを構築する。

4. 引用(参照)文献等

- 1) 加治ほか、「放射線環境下での腐食データベースの構築 (1) 全体概要」 原子力学会 2019年春の年会予稿集 2D03
- 2) 佐藤ほか、「放射線環境下での腐食データベースの構築 (3) ガンマ線照射下腐食試験環境の整備と炭素鋼の脱不動態化におよぼすガンマ線照射の影響評価」 原子力学会 2019年春の年会予稿集 2D05
- 3) 端ほか、「放射線環境下での腐食データベースの構築 (2) ラジオリシスデータセット整備およびデータベース化」 原子力学会 2019年春の年会予稿集 2D04
- 4) 阿部ほか、「放射線環境下での腐食データベースの構築 (4) 湿潤・乾燥環境でのガンマ線照射による腐食影響評価」 原子力学会 2019年春の年会予稿集 2D06