

審査の結果の要旨

氏 名

ラートナイサット パンティラー

軽水炉では冷却材、減速材としての水が 300°C 近傍の高温・高圧下、強放射線場で使用され、炉内では水の放射線分解を生じ、生成物する O_2 や H_2O_2 が冷却水の化学環境を支配する大きな因子となる。極限環境下であり、炉心での水の化学環境の直接測定は困難で、炉心から離れた場所でのサンプリングのみに制約されることから、放射線分解の計算機シミュレーションで炉内環境評価が行われてきた。BWR (沸騰水型原子炉) では水素注入の適用とも関わり、このシミュレーションが広く適用されてきた。それに対し、PWR (加圧水型原子炉) では、1kg の水に標準状態で 30cc 程度の H_2 ガスを添加した条件下で通常運転することになっており、 O_2 や H_2O_2 濃度は十分低く維持されることから、冷却水の放射線分解についての検討は余り必要とされなかった。近年になり、構造材料の応力腐食割れの回避に添加水素量を低減すべきとの提案がなされ、その際にどの程度の低減が可能かとの問題も生じ、PWR の一次系冷却水の放射線分解評価が必要と認識されるようになった。本研究は、PWR 一次系冷却水の放射線分解シミュレーションに関わる問題のうち、(1)PWR に添加する $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ 反応による水分解、(2)高 LET 放射線照射時の水素発生抑制に H_2 添加が有効である抑制機構、(3)シミュレーションに必要な G 値、反応セットとその反応速度定数のデータセット選定の影響、(4)PWR 炉心での放射線分解生成物濃度の添加 H_2 依存性評価、などの課題を取り上げ検討したものである。

提出論文は七章からなっており、第一章は序論で、上に述べた背景を紹介するとともに、本研究の目的を提示している。

第二章は、本研究で用いたシミュレーション法についてまとめている。一つは、カナダのシャープブルック大学の開発したモンテカルロ計算コードによる水分解計算で、断面積等のデータに基づいてイオン化、励起の空間分布の計算：物理過程、電子の熱化、溶媒和、イオン分子反応を経た 10^{-12} 秒時点での水分解生成物の分布評価：物理化学過程、引き続き化学反応：化学過程、を計算する三つのサブコードから構成されている。これにより、水分解のプライマリー収量を評価する。もう一つは FACSIMILE コードで、プライマリー収量と反応セットを用いて、均一系での計算を実行している。

第三章は、 $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ 反応による水分解のシミュレーションについての報告である。この核反応による水分解については通常、原子炉を用いる実験となるため困難が伴う。60 年ほど前に酸性系でのフリッケ線量計、セリウム線量計用いての G 値の報告はあるものの、中性領域での実験報告はこれまで殆どなされていない。第二章で述べたモンテカルロ法を適用し、平均 LET を用いて単純化、多重イオン化を考慮して計算した。算出した G 値は Hart の報告した室温実験を比較的良好に再現できる。さらに、高温での G 値も計算し、低 LET 放射線による水分解収量の温度変化と比較すると大きな差異があることを示した。

第四章では、高 LET 放射線照射時の水素発生抑制に事前の H₂ 添加が有効であることが知られ、その抑制機構を検討した。(1) OH ラジカルと H₂ あるいは H₂O₂、(2) H ラジカルと H₂O₂ あるいは O₂、さらには(3) 水と電子と H₂O₂ あるいは O₂、の三競争反応で説明できる。水素添加効果は高温ほど効果的であることも明らかにしている。

これまで計算機シミュレーションに必要な G 値、反応セットとその反応速度定数については、異なる複数の種類が報告され用いられてきた。第五章は、これらの異なるデータの選択が計算結果にどのように影響するかについて比較・検討を進めたものである。ガンマ線による水分解 G 値はどれを用いても大きな差異を示さないのに対して、高速中性子では大きく差が現れることから、精度の高い G 値の決定が必要であることが判明した。さらに、反応セットの中で $H + H_2O \rightarrow H_2 + OH$ なる反応がキーとなることが示され、この反応の速度定数は、これまで熱力学的な考察からの推定値であり、実験的に決定されていないことから、実測が今後の最重要課題であるとしている。

第六章は、実用の PWR を対象にしたモデル計算の結果について述べている。PWR の放射線として高速中性子、ガンマ線、以外に $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ 反応を考慮する必要がある。シミュレーションからホウ素濃度 1200 ppm と 0 ppm では全体の放射線分解挙動に著しい差は生じないことから、 $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ 反応の寄与は小さく、無視することも可能としている。さらに、添加 H₂ 量を変化させ、現状の添加量に比してどこまで低減することができるかを検討し、先に述べた $H + H_2O \rightarrow H_2 + OH$ の反応速度定数を $2 \times 10^3 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ とする場合の H₂ の必要添加量は 3 cc、 $10^4 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ では 10 cc 程度に増大することを示し、再度、本反応の重要性が示された。

第七章は本研究で得られた成果のまとめと今後の課題を示したものである。

以上、PWR 水化学における水の放射線分解シミュレーションに関して、 $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ 反応による G 値の算出、シミュレーションでの使用データの相互比較や、その特徴を明確にするとともに、キーになる反応の指摘をしており、原子炉水化学の分野に大きな寄与をしたと判断できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。