

シビアアクシデント時のセシウム、ヨウ素の化学挙動に与えるホウ素の影響

Effects of boron on cesium and iodine chemistry in a severe accident

*三輪 周平¹、鈴木 恵理子¹、塩津 弘之¹、杉山 智之¹、逢坂 正彦¹¹原子力機構

シビアアクシデントにおける炉内移行時のセシウム、ヨウ素の化学挙動に与えるホウ素の影響を評価し、ホウ素は気相中のセシウムとの反応により揮発性ヨウ素化合物を生成させること、炉内高温領域に沈着してセシウムを捕集する可能性があること等、シビアアクシデント解析にて考慮すべき影響を明らかにした。

キーワード：シビアアクシデント、核分裂生成物、セシウム、ヨウ素、ホウ素

1. 緒言

セシウム (Cs)、ヨウ素 (I) の軽水炉シビアアクシデント (SA) 時の環境放出量や東京電力福島第一原子力発電所炉内の分布の評価精度向上に貢献するため、炉内移行挙動に大きな影響を与える化学挙動を解明し、データベースを構築・改良するための基盤研究を進めている[1]。BWR 制御材ホウ素 (B) は、Cs と化学反応を生じたり、原子炉冷却系 (RCS) 配管に堆積して移行を阻害したりする等、Cs と I の炉内移行挙動に影響を与える可能性が示されていたが[2]、詳細は不明であった。そこで、Cs、I の化学挙動に関して、SA 解析において考慮すべき B の影響を明らかにすることを目的に、今まで実施した化学挙動再現実験及び解析結果を取り纏め、B の影響を評価した。

2. セシウム及びヨウ素の化学挙動に与えるホウ素の影響評価・結言

図 1 に実験及び解析[3,4]より得られた Cs、I の化学挙動に与える B の影響を示す。SA 時に B は、被覆管破損に伴う B₄C の水蒸気酸化により HBO₂ 等の化学形態にて炉心から放出される[5]。この温度では揮発性の Cs、I も放出を開始しているため、圧力容器 (RPV) 内の高温領域において Cs、I 蒸気種と B 蒸気種の気相反応が生じ得る。Cs、I の代表的な化学形態の一つである CsI と B 放出時の水蒸気酸化時に生成される B₂O₃ (HBO₂ 等として蒸発) を用いた炉内移行時の気相反応再現実験及び SA 解析コードを用いた実験解析の結果より、CsI と HBO₂ の気相反応により CsBO₂ 等の蒸気圧の低い化合物や HI 等の揮発性 I 化合物が有意量生成することが分かった[3]。さらに、被覆管等の酸化により炉心にて生じ得る水素を含有する雰囲気においても、揮発性 I 化合物の生成反応が生じることが分かった[3]。一方、B は約 1000 K 以上で鋼材と反応し、安定な Fe-B-O 化合物を形成することが分かった[4]。B 放出開始後も Cs は継続して放出し得るため、多量のインベントリを有する B が RPV 内の鋼材と反応することで、Cs の鋼材への化学吸着に影響を与えることが考えられる。

Cs、I が RCS に移行すると、CsI 等は温度低下により凝縮して壁面に沈着する。一方、炉心では、B₄C と被覆管等との共晶反応により一部が低温領域に熔融崩落することで[5]、B は Cs、I よりも遅いタイミングでも放出される可能性があるため、CsI 沈着物と B 蒸気種との反応が生じ得る。この固気反応を再現した実験の結果より、上記の気相反応よりも量は少ないものの揮発性 I 化合物が生成されることが分かった[6]。

以上により、SA 解析においては、環境放出しやすい揮発性 I 化合物を多量に生成させるという観点から、Cs、I、B を含む反応体系での気相化学反応を考慮すべきことを明らかにした。さらに、Cs の炉内分布を変化させる可能性がある鋼材への Cs 化学吸着に与える B の影響や、SA 晩期においては沈着物からの揮発性 I 化合物を放出させる B との固気反応が重要となる可能性が示された。

参考文献

- [1] 例えば、S. Miwa, et al., Mech. Eng. J. 7(3) (2020) 19-00537, [2] 例えば、T. Haste, et al., Annals Nucl. Energy. 61 (2013) 102, [3] 例えば、三輪周平、他、原子力学会 2018 秋の大会 2P21, [4] S. Miwa, et al., JNST, 57(3) (2020) 291, [5] 例えば、C. Homann, et al., FZKA 7101 (2006), [6] 井元純平、他、原子力学会 2018 秋の大会 2P20

本件は、原子力規制庁受託「平成 29 年度原子力施設等防災対策等委託費 (シビアアクシデント時ソースターム評価技術高度化) 事業」を含む。

*Shuhei Miwa¹, Eriko Suzuki¹, Hiroyuki Shiotsu¹, Tomoyuki Sugiyama¹ and Masahiko Osaka¹

¹Japan Atomic Energy Agency

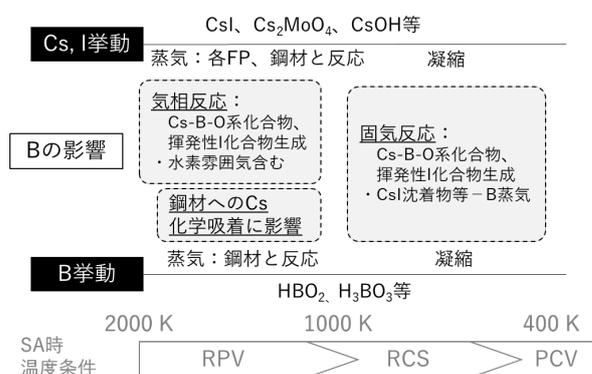


図 1 Cs、I の化学挙動に与える B の主要な影響