

## 2-3 シビアアクシデント時の放射性物質放出量の高精度評価を目指して —原子炉制御材の酸化を考慮した事故解析—

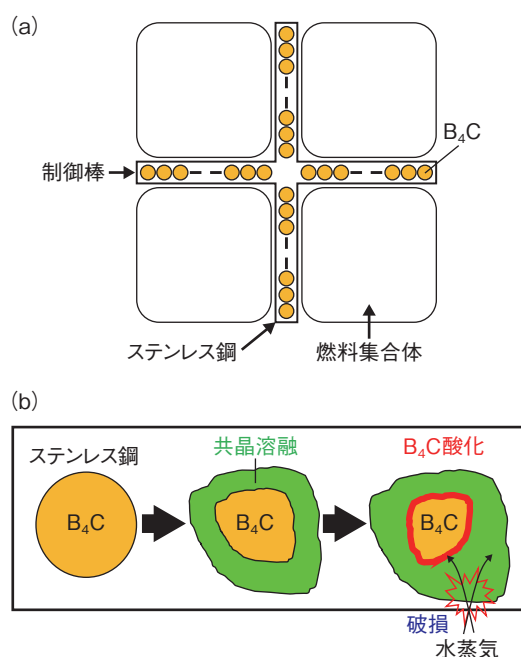
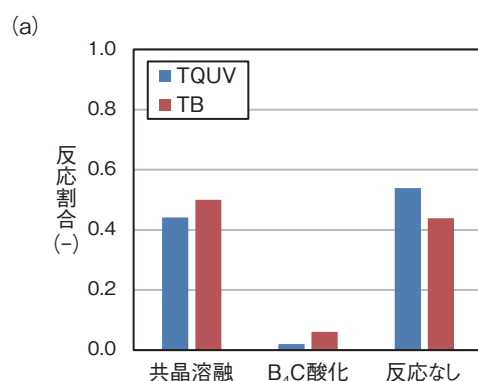


図 2-9 B<sub>4</sub>C 制御棒の溶融進展

(a) BWR 制御棒は、中性子吸収材（制御材）であるホウ素の化合物 B<sub>4</sub>C とステンレス鋼からなります。(b) B<sub>4</sub>C が共晶溶融により液化することで制御棒被覆部が損傷し、B<sub>4</sub>C 酸化が開始されます。

軽水炉シビアアクシデント（SA）に関する安全規制に活用できる技術的知見の取得を目的に、放射性物質（特にヨウ素（I）及びセシウム（Cs））の化学的挙動に着目したソースターム評価研究を行っています。沸騰水型原子炉（BWR）では制御棒の中性子吸収材に炭化ホウ素（B<sub>4</sub>C）を使用しており、その酸化で生成されるホウ素化学種は原子炉冷却系内における I や Cs の化学反応に影響を及ぼします。これらの化学種の変化はその後の移行挙動に影響することから、B<sub>4</sub>C 酸化量の評価は非常に重要です。しかし、BWR 制御棒（図 2-9(a)）では SA 時の温度上昇によって内部からステンレス鋼被覆部と B<sub>4</sub>C の共晶溶融が進行し、被覆部が破損して初めて B<sub>4</sub>C の酸化が開始するなど、その進展は複雑です（図 2-9(b)）。特に、B<sub>4</sub>C / ステンレス鋼間の共晶溶融により反応面積が低下し、B<sub>4</sub>C 酸化反応速度に影響することから、解析には炉心損傷進展を考慮可能な SA 総合解析コードが必要です。

本研究では、BWR 制御棒形状に適用可能な B<sub>4</sub>C 酸化モデルを構築し、SA 総合解析コード THALES2 に導入するとともに事故解析に適用しました。東京電力福島第一原子力発電所と類似のプラントを想定し、原子炉



(b)

|                    | B <sub>4</sub> C 酸化に伴う生成量 (mol) |     |                 |                       |                |
|--------------------|---------------------------------|-----|-----------------|-----------------------|----------------|
|                    | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | CO  | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub>       | H <sub>2</sub> |
| TQUV <sup>*1</sup> | 77.6                            | 1.5 | 37.3            | 2.1×10 <sup>-15</sup> | 331            |
| TB <sup>*2</sup>   | 2140                            | 273 | 797             | 2.0×10 <sup>-13</sup> | 8353           |

<sup>\*1</sup>TQUV：高圧・低圧注水失敗

<sup>\*2</sup>TB：電源喪失

図 2-10 (a) 制御棒の B<sub>4</sub>C 酸化割合と (b) 酸化に伴う生成物 (B<sub>4</sub>C 酸化量と B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を含む生成量)

十字型の形状に適用可能な B<sub>4</sub>C / ステンレス鋼の共晶溶融と B<sub>4</sub>C 酸化モデルを構築し、THALES2 コードに導入しました。水蒸気枯渇状態で炉心損傷が進展する事故シナリオ TQUV では B<sub>4</sub>C 酸化割合が低下するなど、B<sub>4</sub>C の酸化は炉心の溶融進展に影響されます。

減圧操作の有無により原子炉冷却系内の雰囲気条件が大きく異なる二つの事故シナリオ（減圧操作を実施する TQUV と実施しない全交流電源喪失 TB）を解析対象としました（図 2-10 (a) (b)）。

二つの事故シナリオで共晶溶融の割合は同程度ですが、B<sub>4</sub>C の酸化割合が大きく異なります。減圧により水蒸気枯渇状態で炉心損傷が進展した TQUV では全交流電源喪失シナリオ TB よりも酸化が抑制されるなど、B<sub>4</sub>C 酸化量の事故シナリオ依存性が明らかとなりました。また、B<sub>4</sub>C 酸化により、ホウ素酸化物（B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）に加えて二酸化炭素などのガスも生成されます。これらは原子炉冷却系内の I や Cs の化学反応に影響を及ぼすだけでなく、格納容器に移行することで液相からのガス状ヨウ素（I<sub>2</sub>、有機ヨウ素）の放出挙動への影響が大きい格納容器液相の pH を変化させます。

今後は、別途開発中の原子炉冷却系内化学反応モデルとの連携によって、生成される I 及び Cs 化学種やその後の移行挙動への B<sub>4</sub>C 制御材の影響について検討を進めます。さらに、格納容器内のヨウ素化学反応モデルとの連携により、環境への放出量を評価する予定です。

### ●参考文献

Ishikawa, J. et al., Source Term Analysis Considering B<sub>4</sub>C/Steel Interaction and Oxidation during Severe Accidents, Proceedings of the 25th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE25), Shanghai, China, 2017, ICONE25-67858, 7p.