

福島第一原子力発電所事故と炉物理の係わり
～今後の炉物理分野の活動に向けて～

名古屋大学 山本章夫
平成23年9月26日

1.はじめに

福島第一原子力発電所で発生したシビアアクシデントは、原子炉のスクラム後、津波を起因事象とした全(交流)電源喪失に陥ったことで発生した。原子炉物理学を「核分裂を制御する学問体系」として見れば、スクラムが成功したことにより、炉物理分野は責任を果たしたことになるのだろうか？そうではなく、事故発生の防止・対応・終息に貢献できていない炉物理は、「役立たずの穀潰し」なのであるだろうか？

以下では、福島第一原子力発電所における事故を踏まえ、原子炉物理の教育および研究の観点から、今後の原子炉物理分野の活動に向けた提言を述べたい。

本稿の内容には、2011年9月20日に日本原子力学会2011年秋の大会において実施された炉物理部会の企画セッション「福島原子力発電所事故と炉物理の将来」¹における議論が含まれている。なお、参考として、当該セッションで報告した事故と炉物理の技術的な係わりについて、その概要を添付にとりまとめた。

¹座長：炉物理部会長（三菱重工業株式会社）佐治悦郎、講演者：京都大学原子炉実験所 宇根崎博信、名古屋大学 山本章夫

2. 今後の原子炉物理分野の活動に向けた提言

<総論>

提言 1 : 総合工学である原子力工学の中での炉物理の位置づけを議論し、再確認する。

提言 2 : 提言 1 を具体的に進めるため、炉物理関連の研究・教育ロードマップ策定作業を再開し、今後の炉物理研究・教育の方向性について議論する。

事故対応にあたって炉物理の知識なしに対応できた事象は少なく、一方で、炉物理の知識だけで対応できた事象も少なかった。

原子力にとって、炉物理は不可欠な学術分野であることは論を俟たないが、逆に炉物理だけでは出来ることが限られることも事実である。

以上のことから、総合工学である原子力の中での炉物理の位置づけを再認識する必要があり、「炉物理は不可欠な学術分野」であることに安住してはならない。

国民の大多数が脱原子力を支持しているという現状の中、炉物理の専門家として何を行い、どのように情報発信を行っていくかが重要である。

提言 3 : 事故対応について、専門的立場および情報発信の観点から炉物理部会としてこれまでの総括を実施し、今後のあり方について、企画セッションや部会報などで公表する。

事故対応や情報発信のあり方について謙虚に反省し、教訓をくみ取ることは、今後の活動に向けた第一歩となるはずである。

<教育と人材育成>

提言 4 : 今回の事故を踏まえて炉物理分野として育成すべき人材像を再描画し、提示する。

教育的観点から、炉物理の基礎知識が原子力の基盤技術として不可欠なのは明らかである。

一般的な物理や原子炉物理の基本知識をもちいた、フェルミ推定（論理的推論に基づく超概算）の能力、つまり原子力工学における「地力」が今後の原子力安全の確保のために重要である。

提言 5 : 大学における炉物理分野教員の強化・育成策を検討する。

大学においては、炉物理分野における 30 代の教員の数が非常に少なく、教育の観点から持続可能な状態となっていない。

提言 6 : 炉物理(原子力)分野を専攻する学生が誇りを持って専門分野に取り組めるような環境作り、方策について検討する。

現役の研究者・技術者世代が第一義的に今回の事故の責任をとるべきであり、学生(将来世代)に負担・負債を残すべきでない。

- 次世代の研究者・技術者に対し、炉物理分野の今後の活動についてビジョンを提示する必要がある。

<研究>

提言 7 : Reactor Physics から Physics of Reactors への転換を図る。

原子炉物理は、単に炉心内の中性子に係わる解析を行う reactor physics(炉物理)ではなく、「原子炉で起こっている物理」を扱う physics of reactors (原子炉の物理)なのであり、原子力安全の根幹をなしていることの再認識が必要である。

- 固有安全性(Inherent safety)と原子炉物理の接点について再検討が必要であり、この検討にはマルチフィジックス的な観点が不可欠である。

シビアアクシデントのうち、再臨界解析など炉物理に関連し、マルチフィジックス性を有する現象について、その過程を適切に理解する取り組みが重要である。

現代の炉物理の教科書は、中性子の挙動に関係する分野を詳細に取り扱っているが、炉物理と熱流動解析など幅広い範囲との関連を意識し、炉物理の範囲を自ら狭めないように留意する必要がある。

提言 8 : Approximate Science から Science of Approximations への転換を図る。

- 炉物理は、「近似された(近似的な)科学」(Approximate Science)であってはならず、「近似についての科学」(Science of Approximations)であるべき。つまり、近似による誤差や不確かさを定量的に科学することが重要であることを再認識する必要がある。

シビアアクシデント過程の的確な理解を行うため、炉心損傷時の核的振る舞いや、原子力安全工学とリンクした不確かさ低減が重要である。

- 今後、原子力の安全規制は、リスク評価を中心とした方法論に移行すると予想される。この場合、リスクの定量評価のベースとなる不確かさの定量評価が重要となる。

提言 9 : 多様な評価尺度への重視

- 原子炉物理がこれまで重視してきた価値や方向性について、それが本来の意味での学術、社会からの要請に添っていたものであったかどうか、再検討が必要である。

高度な解析技術など、卓越した学術的研究は、産業応用上も重要であることを認識しつつ、「学術－実用」の二軸に沿った多様な価値観を持つ必要がある。

以上

参考：福島第一原子力発電所事故と炉物理の技術的な係わり

(1)崩壊熱評価

崩壊熱評価のベースとなるのは燃料内の核種インベントリであり、一般的には、炉心管理で追跡されている燃料の燃焼履歴をベースに評価される。炉心の発熱量については、停止前の出力、運転期間と停止後の時間に依存した簡易式が活用された。一方で、使用済燃料プールにおける発熱量評価については、保管されている燃料の燃焼履歴や冷却時間が必要となる。

(2)同位体組成評価

環境中に放出された放射性物質の同位体組成比により、損傷を受けた概略の平均燃焼度を推定することができる。Cs134/Cs137比に基づくと、いずれの炉心についても損傷した燃料の平均燃焼度は20000MWd/t程度であり、炉心平均燃焼度よりやや低い値であると推定されている。これは、出力の高い一回燃焼燃料などがより多く破損したこと、燃焼が進み、出力が低かった燃料の破損が少なかったことを示唆している可能性もある。

(3)再臨界性評価

従来、シビアアクシデント時に想定されていた再臨界シナリオは、炉心の冷却機能喪失→炉心温度上昇→制御棒の溶融と落下(制御棒の融点の方が低い)ため。融点の高い燃料は幾何形状を保って自立)→注水→再臨界、である。ただし、制御材の再配置などの理由により、再臨界は非常に生じにくい現象であるとされている。一方、今回の事故解析の結果などから推定されているように、損傷した燃料が圧力容器下部に堆積している場合、破損燃料が適度な大きさ(非均質効果)となり、制御材と混ざることなく、水と燃料の体積比が適度な範囲に収まらないと再臨界にならない。従って、その可能性は低いと推定できるが、このような考察についても炉物理の知識が必須である。

(4)TMI 2号機事故

TMI 2号機の事故においては、原子炉の停止後、炉外核計装(中性子源領域)が一時的に上昇する現象が発生し、運転員が再臨界の可能性を考慮してホウ酸水の注入を行っている。実は、この指示値の上昇は見かけ上のものであり、圧力容器内の水位減少と沸騰に伴う水密度の減少により、炉心からの中性子が遮蔽されなくなり、炉外核計装への到達中性子が増えたために起こった。このような現象についても、これを適正に説明するためには炉物理の知識が必要である。