

安全・安心と化学工学

更田 豊志



令和6年能登半島地震で亡くなられた方々の御冥福をお祈りするとともに、被災された方々に心よりお見舞いを申し上げます。北陸電力・志賀原子力発電所をはじめとする被災地域の原子力施設において安全上の問題は生じず、発電所の外に悪影響が及ぶことはありませんでしたが、外部から受電する設備の損傷が一部では大きく報じられ、原子力施設の存在が強い不安を招くということについて改めて考えさせられる機会にもなりました。東京電力・福島第一原子力発電所では外部電源の喪失に加えて所内のすべての電源設備が機能喪失したことが事故発生の主要な原因となっただけに、受電設備の損傷を強く心配する声が挙がるのは当然のことと言えるかも知れませんが、現行の安全基準では外部からの電力に期待せずに安全の確保、維持ができることが原則となっており、決してこの想定を外れたことが起きたわけではありません。原子力規制当局には、どんなに小さなトラブルも未然に防ぐように事業者を指導、監督するよといった声が寄せられることもあるのですが、小さなトラブルを防ぐ努力は、必ずしも原子力発電所が人や環境に与えるリスクを効果的に低減させる努力とは一致せず、いわゆる安心に向けた努力が安全性向上に向けた努力に重なるとは限りません。しかし、このことに理解を得るのはかなりの難題です。確率論的リスク評価技術の向上と同技術が与える結果への読解力を高めることが、安心に向けた努力と安全性向上に向けた努力とのそれぞれに定量的な根拠と説明とを与えることが期待されますが、シビアアクシデント時の諸現象に対する理解を深めることが重要であり、ここで化学工学の技術が非常に大きな役割を担っています。

化学工学の知識と技術とは、原子力システムにおけるフロントエンド、バックエンドや施設の保全、新型炉・革新炉開発に大きく寄与していますが、既存の軽水炉のリスク低減においても中心的な役割を果たしていることを強調したいと思います。原子力発電所の外部における有意な被ばくや汚染をもたらす放射性物質放出の可能性を与えるシビアアクシデントにおいて、炉心を短時間のうちに熔融させるのは酸化反応熱です。事故発生後に冷却材を蒸発させ、炉心温度を上昇させるのは崩壊熱ですが、炉心温度が約1500 Kを超えると被覆管などに使われているジルコニウムと水との反応による発熱が支配的となります。感触を持っていただくためにごくごく荒っぽい評価の一例を紹介すると、電気出力100万 kWクラスの軽水炉において停止後

The Role of Chemical Engineering in Nuclear Safety and Reassurance
Toyoshi FUKETA

1982年 東京工業大学工学部機械物理工学科卒業
1987年 東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了 工学博士
同年 日本原子力研究所 入所
2003年 同 原子炉安全工学部 燃料安全研究室長
2005年 日本原子力研究開発機構 原子炉施設安全評価ユニット長
2010年 同 安全研究センター副センター長
2012年 原子力規制委員会 委員
2017年 原子力規制委員会 委員長
2022年 原子力規制庁 原子力規制委員会参事
2023年 東京大学大学院原子力国際専攻 上席研究員
現在に至る
連絡先；〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
E-mail fuketa@n.t.u-tokyo.ac.jp

1時間から1日までの間、崩壊熱のレベルはもとの定格熱出力3 GWの約1%にあたる30 MWで、冷却材200トンの蒸発潜熱400 GJを約4時間(400 GJ/30 MW)で与え、さらに、炉心150トンの温度を1000 K上昇させる顕熱分75 GJを約40分で与えます。一方、炉心に存在するジルコニウム30トンの酸化反応熱は約200 GJで、これは炉心温度2000 K上昇分(150 GJ)と全炉心の融解潜熱約45 GJとに相当します。炉心温度1500 K以上では発熱反応による温度上昇がさらに反応を加速する熱暴走に至り、短い時間で炉心を熔融させてしまいます。また、このジルコニウム/水反応は水素を発生させる点でも重要な脅威となります。

さらにシビアアクシデント後期の現象についても、水素爆発はもちろん、対流や相変化などが複雑に関連する放射性物質の移行、化学反応とコンクリート浸食とが冷却性を損なう熔融炉心/コンクリート反応(MCCI)、圧力容器が高压で破損した際の格納容器直接加熱(DCH)、微粒化した熔融燃料における大きな熱的非平衡が齊次的に緩和される際に機械的なエネルギーの発生を伴う燃料/冷却材相互作用(FCI)など、いずれの現象についてもその評価と対策の検討とにおいて化学工学の技術が中心的な役割を果たしています。

前述の確率論的リスク評価においては、シビアアクシデント時に原子力施設から環境中に放出される放射性物質の量、核種・化学種、放出タイミングを評価することが重要なポイントの一つですが、化学工学の知識と技術とが主要な要素であることは明らかであろうと思います。化学工学分野におけるより多くの研究者、技術者が、原子力システムに対する安心と安全な利用のための活動、努力に参画、貢献されることを願っています。