これまでをふりかえり、今後を展望する(放射線工学部会)

放射線挙動・遮へい分野への期待

Expectations of the Radiation Physics and Shielding Research

萩原 雅之

Masayuki Hagiwara

KEYWORDS: *Radiation Shield, Accelerator, Benchmark experiments, risk assessment*

はじめに

放射線工学部会では、原子力技術利用において切っても切れない放射線をキーワードとして、原子力開発のみならず放射線利用分野に携わる多くの研究者・技術者間の情報伝達と議論を円滑にし、活性化する活動を行っています。その原点は、原子力学会内における放射線関連研究者の共通の場を作ることの必要性から1994年に発足した「放射線工学研究連絡会」であり¹⁾、60周年を迎える原子力学会本体に比べると若いですが、近年の加速器・計測・解析技術の進展や放射線を利用した医療技術の先進医療認定等が追い風となって、現在精力的な活動が進められています。放射線工学部会が対象とする分野は、おおむね(1)放射線挙動・遮へい、(2)放射線計測、(3)放射線線量と分類できますが、本稿では、今後の原子力関連施設開発を推進していく上で欠くことのできない要素技術の一つである(1)放射線挙動・遮へいに焦点を当てて、現状と今後の課題をまとめたいと思います。

放射線挙動・遮へい分野の進展と現在

放射線挙動・遮へい分野は、原子炉、核燃料取扱施設、放射性同位元素取扱施設、加速器施設等の放射線安全設計を合理的に(事実に基づいて適切に)実施するために必要不可欠な分野であります。近年においては、日本原子力研究開発機構(JAEA)が中心となって開発している粒子・重イオン輸送計算コードPHITS(Particle and Heavy Ion Transport code System)²⁾や高エネルギー加速器研究機構(KEK)によって改良が進められている電子ガンマ線シャワー(EGS)コード³⁾に代表されるようなシミュレーション技術の進展や計算の基となるJENDL-4.0(JAEAが開発)⁴⁾等の核データの精度向上に伴い、実測と設計評価値間の差異は減少してきていますが、放射線に対する不安感が依然として一般公衆に存在するとともに、遮へい実験等で得られた最新の知見を安全規制に反映する取組みが低調であることから、高エネルギー加速器等の新しい施設の設計には、比較的大きな裕度を見込まねばならないのが現状です。一方で、多くのユーザーが利用す

る共同利用施設を建設・運営していく上での経済性や利便性と放射線に対する安全・安心の確保との間で生じる相反する要求を解決するためには、より高い精度の技術や管理能力が求められています。実際に、世界最高レベルのビーム強度を有する高エネルギー加速器施設：大強度陽子加速器施設(J-PARC)やSurferKEKB, RI ビームファクトリー(RIBF), 重粒子医療線施設(HIMAC 等)がここ20年間で矢継ぎ早に建設され、国内のみならず世界中の原子核・素粒子物理学分野や物質・生命科学分野の研究者によって積極的に利用されています。このような加速器は最新の研究成果を即座に反映させることで、その性能を常に向上させており、J-PARC 物質・生命科学実験施設やホウ素中性子捕捉療法(BNCT: Boron Neutron Capture Therapy)等の産業・医療応用のための加速器中性子源開発に至っては、日本の技術が世界をリードするようになってきています。一方で、2011年3月11日に発生した未曾有の大地震(東日本大震災)によってもたらされた福島第1原子力発電所の事故、2013年5月23日に偶発的事象が重なり発生したJ-PARC ハドロン実験施設放射能漏えい事象等をこの10年間で経験し、大規模実験施設では異常事象への潜在的なリスク評価やリスク管理が重要となってきています。リスクは発生確率×障害の規模で評価されますので、障害の規模が大きいと想定される事象には、障害の規模を低減させる措置とともに発生確率を合理的に低減させるような管理を行う必要があります。このような原子力関連施設を取り巻く社会環境の変化に伴って、放射線挙動・遮へい分野も幅広い研究が必要となってきており、新しい高エネルギー加速器の設計や廃炉研究においてはフロンティア科学的な要素が多く、これまでの施設開発や運用で蓄積してきた評価・測定技術が未知の領域(エネルギー、強度、加速粒子、高線量)にも適用可能か、障害規模の大きな潜在的リスクを評価できるか等が重要となってくると考えられます。

高エネルギー加速器遮へい実験

海外では、高エネルギー加速器施設の遮へい設計には、最新の学術的知見を基に開発された高エネルギー粒

子輸送モンテカルロ計算コードを用いるのが一般的となっています⁵⁾。一方で、高エネルギー粒子輸送モンテカルロ計算コードは、高エネルギー陽子・中性子と標的原子核の核反応を記述する物理モデルを基本としているため、加速器の遮へい設計のような放射線の複雑な物質内挙動に対して十分に精度検証されているわけではありません。そのため、単純体系を用いたベンチマーク実験を行い、一次粒子だけでなく二次粒子の遮へい体内の分布や遮へい体透過後のエネルギースペクトル、線量等の複合的な実測値を得て、評価結果との比較・検証を行うことが重要となります。これまで基礎物理研究を目的とする高エネルギー加速器施設において放射線安全研究のための専有ビームタイムを取得することは極めて困難でありましたが、国外4機関(欧州原子核研究機構(CERN)、ヘルムホルツ研究機関(ドイツ)、パドヴァ大学(イタリア)、カリフォルニア大学)、国内8機関(KEK, JAEA, 京大, 九大, 産総研, 量研機構, 清水建設, 富士電機)が共同で大阪大学核物理研究センター(RCNP)の数100MeV準単色中性子源を用いた国際共同実験プロジェクトを企画し、高エネルギー加速器の遮へい評価法の検証に重要な中高エネルギー領域の核データや中性子遮蔽ベンチマークデータを取得することができました。図1に遮へい体後の中性子エネルギースペクトルの測定結果と計算値との比較の例を示しますが、この国際共同研究の成果は、2016年10月にパリで開催された第13回放射線遮へい国際会議(ICRS-13)の特別セッションのシリーズ講演に取り上げられ、世界の放射線遮へいコミュニティにおいて高く評価されました⁶⁾。CERNでは、RP weekという放射線防護グループに割り当てられているCERN High Energy Accelerator Mixed-field (CHARM) 実験施設のビームタイムが年に1週間あります。そのビームタイムを利用して、KEK, CERN, 清水建設, 九州大学, 産総研と共同で行った24GeV陽子入射における中性子の遮へい透過実験、熱中性子束分布測定実験等の結果⁷⁾は、経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)のデータベース(Shielding Integral Benchmark Archive and Database: SINBAD)への登録が予定されており、高エネルギー遮へい実験の分野では、日本が世界中の放射線関連研究者への情報発信の中心になりつつあります。

北上山地が候補地となっている国際リニアコライダー(ILC)は、超高エネルギーの電子・陽電子の衝突実験を行い、未知の物理現象を探索する加速器ですが、このようなフロンティア科学では工学的にも必ず未知の領域があります。昨今では、放射線遮へいのような要素基盤技術については、加速器施設のビームタイムの確保だけでなく、研究予算の確保も難しい状況になってきておりますが、世界中の研究リソースを結集して効率的・

図1 遮へい体後の中性子エネルギースペクトルの測定結果と計算値との比較

効果的に社会的ニーズに合うような課題解決に取り組んでいき、得られた学術的研究成果をふまえた、最新の知見が原子力関連施設の遮へい設計および許認可に活かされるとともに、今後より正確な知識の普及を行うことにより、一般公衆に存在する放射線に対する不安感が少しずつ払拭されることを期待します。

参考文献

- 1) 日本原子力学会誌, Vol. 51, No. 4, pp.275-277(2009), 部会活動(放射線工学部会)放射線工学部会14年の歩みと今後 放射線をキーワードとして.
- 2) T. Sato et al., Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02, J. Nucl. Sci. Technol. 55, pp. 684-690(2018).
- 3) H. Hirayama et al., The EGS5 Code System, KEK Report2005-8, High Energy Accelerator Research Organization(KEK), (2005).
- 4) K. Shibata et al., JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering, J. Nucl. Sci. Technol. 48(1), pp. 1-30 (2011).
- 5) 中島宏, 高エネルギー粒子加速器施設の遮蔽設計法の現状とその精度, RIST ニュース, No. 47(2009).
- 6) M. Hagiwara et al., Shielding experiments of concrete and iron for the 244 MeV and 387 MeV quasi-mono energetic neutrons using an organic scintillator (at RCNP, Osaka Univ.), EPJ Web of Conferences, 153 08021(2017).
- 7) T. Oyama et al., Measurement and calculation of thermal neutrons induced by the 24 GeV/c proton bombardment of a thick copper target, Nucl. Instr. and Meth. B, 434 pp. 29-36 (2018).

著者紹介

萩原雅之(はぎわら・まさゆき)

高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設

専門は加速器放射線防護, 放射線計測, 核データ測定