



講座 核融合施設における放射線計測の基礎

5. 講座のまとめと将来の留意点

5. Summary and Consideration for the Future

河野 孝央

KAWANO Takao

核融合科学研究所

(原稿受付：2013年10月21日)

9月から始まった本講座連載3回目の刊行に至り、安堵したところであるが、本最終章では、4章までを振り返って概要をまとめるとともに、将来に向けての留意点として、思うところを申し上げたい。

Keywords:

radiation safety management, radiation measurement, radiation related law, fusion facility, tritium, neutron, JT-60

5.1 講座の構成と概要

将来、核融合炉施設運用開始の日が近づくにつれ、放射線安全研究の重要性が増してくると考えられる。本講座はそういったことを念頭において、核融合施設の放射線安全に関連する放射線計測の現状を知ってもらい、理解を深めていただくことを目的に企画された。本講座は表1に示すように5章立てで構成されている。最後の章はまとめであるから、実質4章立てである。以下、章ごとに概要を紹介する。なお表1には執筆していただいて先生方が、各章の項目ごとに示されている。

5.1.1 放射線防護の考え方と放射線障害防止法

放射線施設の安全に関する放射線計測は、基本的に、法令に従って実施される。日本では放射線関係法令の中心に原子力基本法があり、そこに規定される法の目的や、平和

利用、国際協力、公共の安全などの考え方にもとづいて、さらに、さまざまな法令が定められている。その中で将来、核融合炉施設における放射線安全管理のベースになる法令のひとつが「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法）」である。放射線障害防止法は、国際放射線防護委員会（ICRP）から発信される新しい考え方の導入や、規制の合理化をめざし、これまでなんども改訂されてきた。とくにICRP勧告の影響は大きく、国内法の歴史は、ICRP勧告の歴史を反映しているといつてよい。第1章では、ICRPを中心に展開されてきた放射線防護の歴史と社会的関心の動向について、1977年、1990年そして2007年勧告をレビューする形で、また放射線障害防止法については鳥瞰図的に眺めながら、8分割して概説し、そのなかでプラズマ実験装置の法的位置づけなどが紹介されている。

5.1.2 放射線計測の基礎

放射線計測に用いられる測定器を、電離、励起、放射化などの検出原理や、線量計測なのか放射線検出なのかなど測定の方法で分類し、対応する検出器が表にまとめて紹介されている。特に電離箱、GM計数管、NaI検出器については、その特徴と原理がさらに詳しく解説されている。また放射線計測分野の特徴である計数の統計的性質について、数学的表現に用いられる3種の分布関数、計数誤差と有意性、検出限界を評価する式が紹介されている。最後にAppendixの形で、放射線計測の分野でよく用いられる単位が、物理量、防護量、実用量にわけて説明されている。

5.1.3 核融合施設における放射線計測

(1) 放射線計測の特徴

核融合炉施設における放射線計測の特徴は、測定監視や評価の対象が、燃料として用いられるトリチウムはもちろん、燃焼プラズマから発生する中性子や放射化物などにあり、また放射線量や放射能の測定範囲が数桁から20桁にわ

表1 講座の章立て構成と執筆者。

講座 核融合施設における放射線計測の基礎
1. 放射線防護の考え方と放射線障害防止法
1.1 放射線防護の考え方（大分県立看護科学大 甲斐倫明）
1.2 放射線障害防止法の概要（核融合研 河野孝央）
2. 放射線計測の基礎
2.1 放射線計測機器の概要（東大 飯本武志，理研 上糞義朋）
2.2 代表的な放射線検出器の特徴と原理 （東大 飯本武志，理研 上糞義朋）
2.3 放射線計測の統計（核融合研 河野孝央）
3. 核融合施設における放射線計測
3.1 放射線計測の特徴（核融合研 田中将博，田中照也）
3.2 トリチウム計測の基礎と実践（富山大 松山政夫）
3.3 中性子計測の基礎と実践（名古屋大 瓜谷章）
4. JT-60における管理測定の実状
4.1 中性子環境下におけるトカマク装置運転のための放射線計測（原子力機構 助川篤彦）
4.2 JT-60施設における放射線安全管理 （原子力機構 小林和容，笹島唯之） （*とりまとめ窓口：原子力機構 宮直之）
5. 講座のまとめと将来の留意点（核融合研 河野孝央）

たって広がっている点にあるとして、そのような放射線環境に対応するための核融合システム、トリチウム計測、中性子計測の特徴を概観している。

(2) トリチウム計測の基礎と実践

核融合炉施設のトリチウム計測には、装置運転を監視するための燃料循環系測定と、施設作業環境内外の安全確認と評価を目的に行われる安全確認評価測定がある。本章では後者に目的を絞って、トリチウム計測が、広範囲にわたって概説されている。トリチウムの化学形や物理的状态、測定環境などの条件を考慮した測定装置と測定法の紹介をはじめ、測定対象となるトリチウム濃度範囲と法定濃度限度、電離箱を使用する際の問題点、安全設備に連動させる場合の仕様、トリチウムのメモリー効果、固体材料表面のトリチウム測定、人体影響を評価するための測定など、トリチウム計測に関わる重要事項を取り上げ、解説されている。

(3) 中性子計測の基礎と実践

核融合炉施設における中性子計測の基礎として、エネルギーにもとづいて高速中性子、熱中性子、熱外中性子に3分類し、熱中性子については ^3He 、 ^{10}B 、 ^6Li 、 ^{235}U による中性子核反応や、金の放射化による検出の原理と特徴が、また高速中性子と熱外中性子については、水素原子核との弾性散乱や ^{28}Si 、 ^{12}C 、 ^{238}U などとの核反応、そして、しきい値を有する放射化による測定原理と特徴が説明されている。また核融合施設における中性子測定器の例として、箔放射化と核分裂電離箱を用いる中性子束モニタ、 ^{252}Cf による校正、中性子スペクトル測定に用いられるダブルクリスタルスペクトロメータ、有機シンチレータ個別検出器とコリメータで構成される中性子発生プロファイル測定法などを取り上げ、それぞれの測定原理と特徴が紹介されている。

5.1.4 JT-60 における管理測定の現状

国内において重水素実験を経験した装置は原子力研究開発機構那珂核融合研究所に設置されている JT-60 のみであり、1991(平成3)年から延べ18年間の経験と実績を有する。重水素実験では、中性子が発生し、また2次 γ 線の放出、トリチウム生成を伴うが、本章ではそうした状況における放射線計測の実例が、以下の2項目に分けて紹介されている。

(1) 中性子環境下におけるトカマク装置運転のための放射線計測

1985(昭和60)年から今日までの JT-60 の歴史と改造の経緯、そして電離則や障防法との関係が、施設検査や定期検査で行われた性能評価と安全確認など、実際の経験を交えながら紹介されている。また JT-60 における中性子計測の役割、測定装置の設置位置と測定結果の特徴、測定に使用された核分裂計数管の特徴と装置改造時に行った校正方法などのほか、中性子計測にもとづいて実施された装置管理、放射線管理、管理区域と境界の放射線量監視、モニタリングポストによる敷地境界の中性子および2次 γ 線監視、そして自治体への結果報告などが紹介されている。

(2) JT-60 施設における放射線安全管理

通常の放射線安全管理にはない特徴として、装置運転に

ともなう中性子および2次 γ 線の発生、トリチウムの生成、空気の放射化、計測や保守作業における内外被ばくを取り上げ、放射線安全管理の概要が紹介されている。また施設をハード面から概観し、排気・排水設備や、実験棟内の放射線作業環境を監視するためのモニタリング設備、排気系と施設内に設置されている ^{13}N 、 ^{41}Ar 、トリチウムなどのサンプリング設備、放射線業務に関連して用いられる各種のサーベイメータと線量計、そして、事業所境界安全確認のためのモニタリングポストなどの概要が説明されている。一方安全管理のソフト面から、管理区域への人の出入り管理、物品搬出管理、真空容器への出入りと容器内の作業管理、真空容器放射化による被ばくを低減するための管理、トリチウムによる内部被ばく低減のための管理などについて、全体を見渡す形で概要が説明されている。さらに、現在進められている JT-60SA への改造に関連して、再使用放射化物についても触れられている。

5.2 将来に向けての留意点

核融合炉施設において、トリチウムを燃料に核融合反応実験が開始されると、アルファ粒子や中性子が発生し、また核融合炉本体や周辺機器、施設建屋、空気、その他の材料が放射化されるため、密封されていない放射性同位元素や放射性汚染物が取り扱われることになる。しかしながら現在、国内では、JT-60を有する那珂研究所を除くと、エックス線以外の取り扱い経験はほとんどなく、多くは国内法の適用を受けない装置・設備であるため、エックス線による被ばく線量測定などは、法を遵守するというより、法に準拠するという形で自主的に進められてきた。ここで、「法を遵守」と、「法に準拠」とでは、社会的責任の重さが全く異なることに注意する必要がある。

法令には、さまざまな事項が定められている。その中で放射線計測は、個人被ばく線量、場の放射線量、空気中・排気中放射性同位元素濃度、水中・排水中放射性同位元素濃度、物や建屋の放射性同位元素表面密度を評価するために、あるいは放射線汚染物の現場管理において実施される。これらの項目は、安全管理の基本的な部分であり、核融合炉施設の運用開始に至っても、大きく変わることはないだろう。計測についても同様で、現在の技術や知見が基礎になると思われる。

とはいえ核融合炉施設の運用が始まると放射線環境が変わる。これまでになかった事情や問題が発生する。新たな計測技術や安全管理上の対応が求められる。しかしながら、それに答えるのは法令ではない。放射線安全に関する法令上の基本的事項は、放射線障害防止法や原子炉等規制法などにすでに規定されており、ほとんどそのまま通用すると思われるからである。装置運転、施設の現場管理、国や自治体との連携を密にする独自の管理体制やルール作りは、施設ごとに、状況や事情を鑑みて独自に作成すべきものである。それが予防規程であり、各種の細則、管理・実務マニュアルなどである。我々にとってその出発点は、現在にある。現行法令や考え方、現在のトリチウムおよび中性子その他の計測技術、重水素実験の経験を有する JT-60

の事例に学びながら、将来の核融合炉施設における安全管理や放射線計測を考える必要があるだろう。本講座が、その一助となれば、ありがたい。

5.3 おわりに

本年9月8日の早朝、日曜日のいつもの癖で早く目を覚まし、本講座第1章の最終ゲラ原稿をチェックしていたのだが、一段落したところで、ふとしたはずみからテレビをつけたところ、本講座第1章のゲラ原稿が、オリンピックにつながる記憶として残ることになった。このとき、2020年のオリンピック開催地に東京が選ばれたのだ。この決定の瞬間、気づかれたかたも多いと思うが、開催の2020年は、

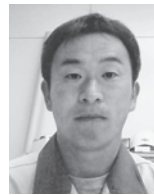
ITERの装置運転開始予定の年であり、この偶然が保たれたまま、7年後に、東京オリンピック開催とITER運転開始のニュースが、同時に流れるかもしれないのである。ただし、ITERについては、困難な状況があるようである。とはいっても、こうした時期に、9月号から3回連載で講座が始まり、最終回の発行を無事に終えたことについて、執筆をお引き受けいただいた先生方や編集事務関係者の皆さまに、ここから感謝したいと思います。

最後に、本講座発刊のとりまとめ責任者として河野孝央（核融合研）と飯本武志（東大）が、また担当編集委員として田中将裕（核融合研）が中心になって、作業を進めたことを記します。



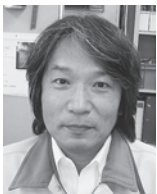
すけ がわ あつ ひこ
助川 篤彦

独立行政法人日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 JT-60 安全評価グループ 研究主幹。JT-60 解体品の放射化定量評価と解析の次期装置 JT-60SA の放射線遮蔽設計、遮蔽材料の研究開発、知財業務をこなす傍ら、JT-60 の解体・収納保管を含む一連の JT-60 改修に関する障防法許認可業務を担当した。主な研究分野は放射線場／温度場と物質の相互作用。尊敬する人は阪井英次。



こ ばやし かず ひろ
小林 和容

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 那珂核融合研究開発部門 トカマクシステム技術開発ユニット、JT-60 安全評価グループ 研究主幹。経歴：静岡大学大学院理工学研究科物質科学専攻博士課程修了（理学博士）。主な研究分野は、核融合炉に関するトリチウム理工学。現在は、JT-60 のトリチウムに関する安全評価に従事しております。家族は、妻とわんぱく息子2人で、一緒に野球を楽しんでいます。



ささ じま ただ ゆき
笹島 唯之

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 那珂核融合研究所。核融合研究開発部門 トカマクシステム技術開発ユニット JT-60 本体開発グループ。業務内容放射性廃棄物の管理、真空容器組立検討、電磁気計測器の設計、遮蔽水循環設備の整備等。昭和62年に旧日本原子力研究所へ入所。依頼、臨界プラズマ試験装置 JT-60 の本体設備に関するグループに所属。当初は、本体周辺設備に関する業務でしたが、平成7年から JT-60 真空容器内の機器に関する業務を担い、それと関連して放射性廃棄物の管理を担っている。休日は専ら物作り（DIY）に勤しんでいます。



かわ の たか お
河野 孝央

核融合科学研究所 ヘリカル研究部 装置工学・応用物理研究系 放射線安全工学部門 所属、これまで大学、病院、研究機関の放射線管理室を渡り歩くこと7回、平均で6年いましたから、放射線管理歴は40年を超えました。現在、液体・気体中微量トリチウム検出器の開発や、法の規制を受けない放射線源の開発と教育実践応用の研究を進めております。お酒は、銘柄、値段によらず、嫌いなほうではありません。