

放射線教育フォーラム ニュースレター

No.82 2022.6

「放射線」に出会ったのはいつですか

福岡大学 林 壮一



このニュースレターに寄稿させていただくにあたって、放射線に関連する言葉と出会った場面の記憶を遡ってみました。私は1960年代の生まれですので、すでに、放射能をまき散らすゴジラ（1953年）は日本に上陸していましたので、私にとっては、ウルトラQ（1966年）やウルトラマン（1966年）のようなウルトラシリーズで登場する、核兵器や放射能によって出現する怪獣と戦うウルトラマンに熱中していた幼稚園か小学校低学年の頃の出会いが最初だったと思います。もちろん、放射能と放射線の意味や違いもわからないまま、何か不思議なもの、怪獣を作り出すような得体の知れないもの、というイメージだけが先行していました。

その後、中学校の国語の教科書の「黒い雨」や、社会科の「原子力発電」でも、放射能と放射線は区別されことなく書かれていましたが、理科でも「原子力発電」に触れるぐらいで放射線に関する記述はなかったと記憶しています。高校や大学初年次では放射線について学習しましたが、問題を解いたり、テキストを読んだりするのに必要な知識としてしか学べていませんでした。大学の後半や大学院になって、放射線生物学を含む生物物理の研究室に配属されたことで、放射線と出会う機会が多くなりました。つまり、成人してから放射線について考えることができるような機会に巡り会えたように思います。このことは、大学で理系学部に進学しただけでは、放射線を考えるような場面には出会えない可能性を示唆しているように思います。私はその後、中高の理科の教員になりましたが、やはり、多くの理科の教員は、放射線については教科書に書いてある知識を教えることはできても、自分の手を使って放射線に関する実験を行ったり、データを扱ったりしたことはないという状況だったように思います。

最近では、放射能という表現ではなく、放射線という用語を使うようになってきていると思いますが、多くの方が最初に放射線という用語に出会う場面は小説や漫画、アニメであったり、放射線をきちんと考える機会が少なかったりする状況は変わっていないと思います。ひとりひとりが放射線を正しく恐れることができるように、義務教育である小学校や中学校で放射線について考える場面が必要だと思えます。同時に、理科や理科以外の教科書での記述も重要ですし、それを教える先生方が正しく放射線を理解できるようなカリキュラムや学習内容などを準備する必要があると考えています。

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)

-がん細胞選択的放射線療法の魅力と展望そして課題を語る-

大阪医科薬科大学・BNCT 共同臨床研究所 小野 公二

1. はじめに

BNCT(Boron Neutron Capture Therapy)の考案が提出されてから今年で 85 年が経過した。我が国を含む世界の BNCT は、長きに亙る雌伏を経て、ここ十年程で漸く人口に膾炙するに到っている。研究炉に替わって加速器中性子源が登場した故である。京都大学原子炉実験所(現京都大学複合原子力科学研究所)と住友重機械工業株式会社との協同開発によるサイクロトロン中性子システム・NeuCure の 1 号機が 2008 年末に設置され、基礎データの取得を経て、2012 年から薬事(現薬機)承認を目指し再発悪性神経膠腫と頭頸部癌で切除不能の局所進行例および局所再発例に対する治験を連続して実施し、2020 年 3 月に中性子照射システムとホウ素薬剤が承認され、6 月には頭頸部癌に対する BNCT が保険収載された。関西 BNCT 共同医療センターおよび南東北 BNCT 研究センターにおいて保険診療が始まった。再発悪性神経膠腫については、承認申請に向けて医薬品医療機器総合機構との相談が継続している。また、関西 BNCT 共同医療センターでは再発悪性髄膜腫の第II相医師主導治験も行い、患者登録と照射を終えて結果の観察に入っている。他、我が国では国立がん研究センター中央病院に別の型の加速器中性子源が設置され、皮膚の悪性黒色腫と血管肉腫を対象に第I相治験が進行中である。講演では、こうした機器開発に到る基礎研究と臨床研究の成果、今後の展望について述べた。

2. 日本人研究者の貢献が際立つ BNCT 研究

^{10}B による熱中性子の捕獲反応が放出するヘリウム原子核(α 粒子)とリチウム原子核の飛程は細胞径を超えず、LET が非常に大きく RBE も極めて大きい故に、核反応が生じた細胞が選択性良く確実に破壊される。1950 年から約 10 年に亙る米国での臨床研究は失敗に終わったが、研究を引き継いだ日本人研究者の手によって飛躍することになった。とりわけ、1987 年に故三島豊博士が、今もホウ素薬剤の中心である BPA(ボロノフェニルアラニン)を用いて悪性黒色腫の治療を成功させた。この BPA は黒色腫に限らず悪性腫瘍に幅広く、効率良く取り込まれる。BPA 開発の成功無くして、今日の BNCT の発展は無かった。また、放射性核種 ^{18}F で標識の $^{18}\text{FBPA}$ による FBPA-PET も BNCT に絡んで我が国で開発された。今世紀の初頭には現在に繋がる大きな成果が京大複合研において生まれた。再発頭頸部癌の BNCT に世界で最初に成功したのである。この臨床経験は、世界の BNCT 研究を加速し、加速器中性子源開発を真剣に考える大きな契機ともなった。

3. 世界初の加速器 BNCT システムの開発

加速器中性子源の開発では、加速器、陽子エネルギー、電流、ターゲット金属が互に絡み合う。世界で複数のプロジェクトが進行中または計画中であるが、我々が開発したシステムのみが承認を得ている。また、ホウ素薬剤ステボロニン(ステラファーマ株式会社製造)も同様である。この中性子照射システムは、サイクロトロンで加速し

た 30MeV 陽子をベリリウム標的に衝突させ、発生した中性子を減速して利用する。30MeV 陽子とベリリウム標的の組み合わせは絶妙で、安定性と耐久性が高い。現状では 1 mA での運転あるが、3 mA まで上げての加速が可能で、将来の照射技術や中性子ビームの改良にも対応できる。

4. 加速器 BNCT の臨床成績

再発悪性神経膠腫に対する第II相治験はオープンラベル単群試験で、1 年 OS(全生存率)を主要評価項目とし、27 例が登録されたが再発時膠芽腫は 24 例であった。ステボロニン[®]は BPA 量換算で 500 mg/kg を投与し、投与中の最後 1 時間に中性子を照射した。FBPA-PET が未承認で、腫瘍のホウ素濃度を推定できないため、処方線量を皮膚線量で定め、8.5 Gy-E とした。再発膠芽腫の1年 OS および MST(生存期間中央値)は、79.2%と 18.9 ヶ月で、国内のベバシズマブの治験結果と比べ良好である。また、再発膠芽腫の諸報告と比較しても、成績はそれを大きく上回っている。ただ、大半の症例で BNCT 後の何れかの時点からベバシズマブが投与されている。

頭頸部領域においては、再発扁平上皮癌および再発/局所進行非扁平上皮癌に対する治験が実施された。薬剤の投与は、先行の再発悪性神経膠腫と同様である。ただ、処方線量は、皮膚に替えて粘膜で 12Gy-E とした。21 例の治療効果は、CR (完全奏効)24%、PR(部分奏効)48%と良好であった。また、観察期間中央値 22.2 ヶ月において、2 年 OS は 85%であった。この成績を基に、当該癌に対する BNCT が承認され、2020 年 6 月 1 日付で保険収載された。現時点では唯一の承認された適応癌で、嚴重な適応

判断の下に実施しているが、放射線治療後の再発例にもかかわらず、局所効果は約 50%が CR、85%で PR 以上である。

5. BNCT の課題と将来展望

適応拡大を目指した研究を推進するとともに、改良・開発すべき幾つかの課題がある。まず、空間的・時間的により高効率なシステムへの改良が求められる。単位時間当たりの中性子量の増強が必要で、現在、企業と共同で進めており、2 年以内には実現できると考えている。照射時間の短縮や多方向照射、分割照射などの可能性、従って深部線量分布の改善が期待される。さらに、中性子のエネルギースペクトルの最適化も課題で、1 年以内にはより最適化した深部分布の良いビームによる BNCT の実現を考えている。また、より効果的な新たなホウ素薬剤が希求される一方、現在の BNCT が発展するには、BPA の腫瘍および正常組織における分布と動態の予測の研究が重要である。FBPA-PETによるホウ素濃度の予測と推定は、物理線量評価の精度向上に繋がり、正確な生物学的等効果線量の計算の基礎となる。生物学的等効果線量に換算する係数の研究や考察は演者らの研究で大きく深化した。しかし、その成果を応用するには FBPA-PET による組織のホウ素濃度の推定が不可欠であり、高効率な ¹⁸F-BPA 合成装置の完成とその承認が待たれる。X 線や粒子線治療と比べ、BNCTは細胞選択的治療という特性上線量分布の評価に不確実性を伴うが、これらの物理学的・生物学的研究の深化によって、BNCT の成績が理論的に裏付けられ、より高精度の放射線治療として発展すると期待している。

デジタル社会を支える超微細加工への放射線利用

量子科学研究開発機構(QST)・高崎量子応用研究所 山本 洋揮

1. はじめに

複雑な社会経済活動を維持し、持続可能な社会を構築するためには、デジタル社会のさらなる発展は必要である。スマートフォンやパソコンや自動車といった我々の身近で使用されているものには、多くの半導体が使用されている。デジタル社会において、膨大なデータ処理は半導体が担っており、その処理能力、容量の拡大は、リソグラフィと呼ばれる超微細加工技術に支えられている。

ビッグデータや人工知能(AI)、IoT(Internet of Things)などの急速な進歩のおかげで半導体業界の成長・拡大が続いている。2030年には100兆円に達すると予想されており、自動車産業を超える勢いである。

本稿では、デジタル社会を支える超微細加工の放射線利用の中核になると考えられる「極端紫外光(EUV)リソグラフィの現状と課題」について紹介する。

2. EUV リソグラフィ技術とは

デジタル社会の発展を下支えているのが、半導体デバイスの微細化による高性能(高密度)化であり、リソグラフィの技術革新である¹⁾。リソグラフィの語源は、もともと15世紀に発明された印刷技術である石版によるリソグラフに由来する。半導体デバイス製造分野におけるリソグラフィ技術は、マスクを使って回路パターンをシリコンウェハ上に焼き付ける技術である。これを可能にするためには、回路をシリコンウェハ上に縮小して映し出す光学技術や焼き付けに必要なレジストやマスクなど、様々な技術が必要である。典型的なリソグラフィ工程を図1に示す。

半導体集積回路の微細化が進むほど、信号伝達の高速化や省エネ化、および低価格化を図ることができる。それゆえ、半導体の基板に電子回路を出来るだけ微細に描く(高解像度)の先端リソグラフィの技術革新が強く求められている。解像度はレイリーの式²⁾ $R = k_1 \cdot \lambda / NA$ で表すことができる。ここで、 λ は

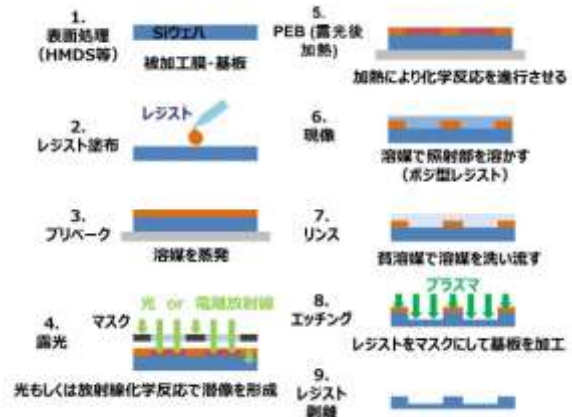


図1. リソグラフィ工程

露光源の波長、 R は解像度、 k_1 はプロセスファクター(レジスト材料の特性や露光方式によって決まる)、 NA は縮小投影光学系の開口数である。高解像度を達成するために露光源の短波長化と高 NA 化が進められてきた。

これまで、波長193nm(1ナノメートルは10億分の1メートル)のArFエキシマレーザー(光)が用いられてきたが、経済的にも技術的にも限界に達した。そのため、7nmノードに対応する16nmのハーフピッチの半導体デバイスの量産でEUVリソグラフィが使用されることが開始された。半導体リソグラフィの露光源の波長がはじめて電離放射線領域に入り、半導体産業における放射線の利用拡大が現実的なものになった。

3. EUV リソグラフィの課題

EUVリソグラフィの実用化がされたが、極端な短波長化に伴い、1)EUV光源の強度不足、2)EUVレジスト材料、3)反射型の光学系の開発、4)ペリクルなどのEUVマスク関連の材料、5)マスク欠陥検査等の様々な技術課題があるが主な課題が挙げられる。レジストパターンのラフネスや光源強度を補うレジストの感度向上への要求から3nmノード以下のEUVリソグラフィで最も重要な課題として取り上げら

れている。EUVレジストの要求特性としては、解像度の向上、高感度化、およびラフネスの低減が挙げられる。これらの技術課題は互いにトレードオフの関係にあり、全てを同時に性能向上させるためには、レジスト材料の基礎研究が非常に重要である。

現状の EUV リソグラフィにおいても量産では高感度化の観点から化学増幅型レジスト³⁾と呼ばれるレジストが使用されている。化学増幅型レジストは主に高分子、酸発生剤、クエンチャーで構成されている。化学増幅型レジストは発生する酸による酸触媒連鎖反応を利用して少ない露光量で物性変化を誘起させ、パターン形成を実現している。レジストの現像液への溶解は高分子の非極性基を酸触媒反応による脱保護反応で極性基に変換することによって可溶化している。このようにして、露光部はアルカリ現像液に溶解し、パターンが形成される。

しかしながら、10nm 以下の領域では化学増幅型のシステムがうまく機能するか不明である。化学増幅反応に伴う酸の拡散が解像度を劣化してしまうという問題や、高感度化に伴う露光量の抑制がショットノイズの問題となり、ラフネスを大きくしてしまうという従来のレジスト材料の限界に直面するためである。それゆえ、今後の EUV レジスト材料設計では、ショットノイズに代表される EUV 光による各種統計的ばらつきを極限まで如何に抑制するかが重要である。EUV リソグラフィのためのレジスト材料では、従来のフォトレジストと異なり、レジストにランダムに落とされる入射光のエネルギーを如何に効率よく化学反応に結びつけるかがキーとなり、特に、電離により生成するホールをプロトン生成に、電子を酸のアニオン生成に効率よく結びつける反応系の設計・開発が重要である。また、高解像度化とともに、パターン倒れの防止も大きな課題となっており、レジストの薄膜化が進んでいる。しかし、単純な薄膜化はエッチングプロセスの負担を増加させるため、レジストの多層化が必

須であるとともに、メタルレジスト⁴⁾などといった無機系のレジストへの研究開発が進んでいる。メタルレジストは 3nm ノードのレジストとして期待されているが、低感度およびプロセス安定性に未だ課題があり、現在のところ、3 nm ノードの要求仕様を満足するレジスト材料を見出すには至っていないのが現状である。このように、半導体ロードマップをこの先 10 年間延長して 1 nm ノード代の微細化まで実現できるかは新しいレジスト材料の開発次第である。EUV は、これまで使われていた紫外光とエネルギーの吸収効率等が異なるため、今後益々 EUV 露光に適したレジスト材料を新たに開発することが重要な課題になっている。

4. おわりに

リソグラフィ技術は、半導体以外の様々な分野の加工にも応用されており、その裾野は非常に広い。それぞれの応用分野によって要求される解像度などは異なるが、半導体分野の仕様要求が最も厳しく、今後も当分、半導体分野の応用(半導体デバイス、量子デバイス、量子コンピューター等)を中心にリソグラフィ技術の発展が続くと考えられる。

放射線は危険とイメージがあるが、我々の身近なスマートフォンの作製に使用されており、今後も EUV リソグラフィの実現により、産業への放射線利用が拡大され。このように、産業応用として放射線は中学生をはじめ学生さんへの放射線教育が益々重要になることが予想される。

5. 参考文献

- 1)岡崎信二・鈴木章義・上野巧 はじめての半導体リソグラフィ技術(技術評論社 2012)
- 2)M. Born & E. Wolf: "Principles of Optics" 6th ed., Pergamon Press, Oxford, (1980).
- 3) H. Ito *et al.*, Polym. Eng. Sci., **23**, 1012, (1983).
- 4) A. Grenville *et al.*, Proc. SPIE. **9425**, 94250S (2015).

放射線・エネルギー資源に関する

中学校理科教科書(5社)の記述の比較

― 平成 24 年度版からの変遷も踏まえて ―

名古屋市立西前田小学校 羽澄 大介

放射線に関する学習内容は、「教育内容の現代化」が謳われた昭和 44 年の学習指導要領には放射線に関する内容が示されていましたが、「ゆとりある充実した学校生活の実現」が謳われた昭和 52 年の学習指導要領では、学習内容が精選されて放射線に関する内容はカットされます。

ちなみに、「ゆとり」という平成 10 年改訂の学習指導要領が有名ですが、昭和 52 年指導要領も実は「ゆとり教育」がキャッチフレーズになっていました。この昭和 52 年指導要領は、44 年指導要領は学習内容が多すぎるという批判に対応したものだったことを考えると、学習内容の増加→減少→増加を繰り返していることとなります。

いずれにしても平成 20 年告示の学習指導要領によって、中学校理科において放射線の学習が復活しました。先行実施直前の平成 23 年 3 月 11 日に東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故がありました。福島第一原子力発電所の事故があったから放射線の学習が始まったと考えている方もいますが、これは違います。そして、平成 20 年学習指導要領が中学校において完全実施される平成 24 年度に、教科書が新しくなっています。

一般的に教科書は指導要領の改訂がなくても 4 年周期で新しく改訂されるので、中学校においては、平成 28 年度に新しい教科書が使用開始になっています。この教科書の検定が行われたのは平成 26 年ですから、震災の影響を受けた検定がされている教科書は、平成 28 年度の教科書からとなります。(ちなみに小学校は検定・採択・使用開始とも中学校の 1 年前なので、平成 27 年度の

教科書が震災後に検定された教科書)

放射線の学習は、平成 20 年の学習指導要領では、エネルギー資源、具体的に言うと原子力発電との関連で中学校 3 年生で学習することになっていました、平成 29 年学習指導要領では、中学校 2 年生において真空放電との関連でも放射線を扱うように変更されました。もちろん中学校 3 年生でもこれまでどおりエネルギー資源との関連で放射線を扱います。

この中で特筆すべきは、学習指導要領にはつきりと、東日本大震災以降の社会で放射線に対する不安が生じたことに言及している点です。その上で、放射線について科学的に理解することが重要であると記述されています。

それでは現在、中学校理科の教科書を出版している 5 社、東京書籍、学校図書、大日本図書、啓林館、教育出版について、具体的な記述を横軸で比較しながら、年度ごとの変遷という縦軸でも見ていきます。

なお、あらかじめ断っておきますが、この調査は私が手に入れた版の教科書を、私が一人で見てまとめたものです。できるだけ正確になるようにしっかり見たつもりですが、見落としがある可能性があります。また、実は教科書は小さなミスが見つかることがあり、毎年わずかに修正がされています。そのため、平成 24 年版教科書といっても様々なりビジョンがあり、私が指摘した点は、どこかの時点で修正されている場合があることを断っておきます。

観点の一つ目として、自然放射線に関する記述を比較していきます。先ほど学習指導要領の記述を示したように、「放射線は自然界にも存在して

いる」ことが示されています。このことについて5社は次のように扱っています。

例えば、東京書籍は「自然界に存在する放射性物質から放射線を日常的にあびている。」と本文中に記述していますが、学校図書は本文中には、害を与える放射線が原子炉の中で発生している」と記述し、コラムのような囲み記事で自然放射線について記述しています。本文に比べて目立たない記述で、「自然界にはもともと放射線があり、私たち人間も常に浴びながら生活していますが、量が少ないので問題はありません。」と書かれています。大日本図書は、自然放射線の線量率を具体的に挙げています。啓林館は自然界のあらゆるところに存在と本文中に記述されておりますが、教育出版は本文中には記述がなく、欄外の記述にとどまっています。

各社とも自然放射線について記述していますが、印象は随分と異なるのではないのでしょうか。

東日本大震災後に検定された平成28年度の教科書では、自然放射線に関して次のようになっています。

平成24年版では本文中に、「原子炉の中では害のある放射線が発生している。」と記述、欄外に自然放射線について記述していた学校図書は、害のある放射線という記述はカットされ、欄外の記述が本文中にされるように変更されました。

また、多くの社が具体的な数値を記述するようになった点が平成24年度版から平成28年度版への大きな変化と言えます。

令和3年度版の教科書では、中学校2年生でも放射線を扱うようになった関係で、中学校2年生、3年生の両方で自然放射線についての記述を見ていきます。

中学校2年生か3年生のどちらかで記述してあればよいので、2年生では記述していない社もあります。一方で、東京書籍と大日本図書は2年生でも記述が見られます。

平成28年版と令和3年度版の記述を比較すると、東京書籍と大日本図書は自然界の放射線を毎日被曝していることの記述が追加されています。逆に啓林館は、同様の記述をカットしています。

次の観点は、原子に関する記述を比較していきます。

平成28年版教科書では、大日本図書と教育出版が原子と原子核の大きさの関係を「原子が野球場なら原子核はごま粒」と具体的にイメージできるように記述していることです。例えば液体水が水蒸気に状態変化したとき、分子間の距離はおおよそ10倍になる程度の変化ですが、原子と原子核の大きさはおおよそ1万倍ぐらい違います。私は、目で見えないものを学習する際に、おおよそのイメージを持つことはとても大切だと考えています。したがって、こうした記述を歓迎したいのですが皆さんはどのように考えられるのでしょうか。

講演当日は、他にも東京電力福島第一原子力発電所の事故に関する記述の比較、霧箱の実験に関する記述の比較などについてもお話ししましたが、ここでは紙幅の都合で省略します。

最後に、令和3年度実施の全国学力・学習状況調査児童生徒質問紙の結果から、一人6冊程度(教科書を除く)しか本がない家庭が、3割あります。この6冊の中に、自然科学に関する本は含まれるのでしょうか。

この調査を基に考えますと、家庭で購入した自然科学の本は1冊もなく、理科の教科書が自宅にある唯一の自然科学の本という家庭も珍しくないのだと思います。だからこそ、私は理科の教科書はとても大切だと考えています。

学校教育に直接関係のない皆さんも、今回の私の話をきっかけに理科の教科書の記述に興味を持っていただけたら幸いです。

放射線教育フォーラム令和4年度第1回勉強会

2022年6月12日(日) 13:30~16:00 (オンライン開催 [Zoom])

【開催趣旨】

中学校で昨年度から実施されている新学習指導要領に基づく放射線の授業では、放射線の理解を深めるために、放射線に関する基礎的事項の説明にとどまらず、放射線への興味を喚起するための授業も求められている。今回の勉強会では、東日本大震災から11年を経て、復興の現状と教育現場での発信を含め復興庁の取り組みについての紹介、また、研究用原子炉で得られる中性子場を用いた応用例として微量元素分析—中性子放射化分析—についての紹介、さらに、中学校における放射線教育の実践例についての報告の講演を取り上げた。

【プログラム】

開会挨拶 (13:30~13:40) 工藤博司理事長

講演1. 東日本大震災からの復興と風評払拭に向けた取り組み (13:40~14:20)

中見大志 (復興庁 原子力災害復興班)

復興庁では、原子力災害に伴う風評影響の払拭に向け、安全性をはじめとする科学的根拠に基づく正確な情報と、福島県産品や観光の魅力等を発信している。本講演では、教育現場での発信を含め復興庁の取り組みを紹介する。

講演2. 研究用原子炉を用いた中性子放射化分析 (14:20~14:50)

三浦勉 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門)

研究用原子炉で得られる安定した中性子場を利用して、高い正確さで元素の測定が可能な中性子放射化分析を行うことができる。本講演では中性子放射化分析の応用例と今後の展開について紹介する。

休憩 (14:50~15:00)

講演3. 立教新座中学校における放射線教育 (15:00~15:30)

島野誠大 (立教新座中学校・高等学校)

立教新座中学校の理科の授業や理科系部活動等で取り組んでいる放射線教育の実践について報告する。

意見交換 (15:30~15:55)

閉会挨拶 (15:55~16:00) 田中隆一事務局長

講演要旨

講演1. 東日本大震災からの復興と風評払拭に向けた取り組み

中見 大志

東京電力福島第一原子力発電所の事故から 11 年が経過した。帰還困難区域を除くほとんどの地域で避難指示が解除され、福島県の復興・再生に向けた動きが本格的に始まっている。

風評の払拭については、これまでの取組により一定の成果を上げているものの、福島県産農林水産物の全国平均価格との乖離や教育旅行をはじめとした観光業の不振など、今もなお風評被害が根強く残っている。また、学校における避難児童生徒へのいじめなど、原子力災害に起因するいわれのない偏見や差別が発生している。このような科学的根拠に基づかない風評や偏見・差別は、福島県の現状についての認識が不足していることに加え、放射線に関する正しい知識や福島県における食品中の放射性物質に関する検査結果等が十分に周知されていないことに主たる原因があると考えられる。また、昨年 4 月には ALPS 処理水の処分方法が決定され、新たな風評の発生が懸念されている。こうした中、風評影響の払拭に向けて取り組みを強化していく必要がある。復興庁では、これらの取り組みの一環として、職員が関東近郊の中学校や高等学校に出向いて講義をする「出前授業（出張授業）」を行っている。

本講演では、こうした教育現場での情報発信を含めた復興庁として取り組んでいることについて紹介する。

講演2. 研究用原子炉を用いた中性子放射化分析

三浦 勉

国内では日本原子力研究開発機構 JRR-3、京都大学複合原子力科学研究所 KUR の 2 基の研究用原子炉（以下、研究炉）が設置されています。研究炉の運転時には $10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ レベルの中性子場が定常的に得られます。この安定した中性子場に試料を入れ、試料に中性子を照射すると試料に含まれる元素の原子核と原子炉で生成する中性子の核反応が起こり、放射性核種を生成（放射化）させることができます。中性子による放射化で生成した放射性核種から放出される放射線を測定して元素分析を行う分析法が中性子放射化分析法です。中性子放射化分析法は透過力の高い中性子を励起源として用い、原子核反応を利用し、検出法として γ 線を測定することから分析試料を溶解せずに目的元素を非破壊で高感度に分析測定できる元素分析法として多くの種類の試料の分析に応用された実績があります。

本講演では、中性子放射化分析法を宇宙地球化学的試料、高純度物質、環境測定用標準物質等に応用した例を紹介します。併せて、福井県もんじゅサイトに新たに試験研究炉を設置する計画が進んでいます。この計画についても紹介します。

講演3. 立教新座中学校における放射線教育

島野 誠大

ここ数年、立教新座中学校では学外の研究機関等にご協力をいただきながら、放射線教育を進めています。

理科の授業では、公益財団法人 日本科学技術振興財団の放射線教育支援サイト「らでい」にある貸出事業を利用し、特に中学 3 年生に対して生徒実験を活用した教育を実践しています。2021 年度は、復興庁や東京理科大学の川村康文教授にもご協力をいただき、エネルギー問題というより広い題材の中で放射線を扱いました。

理科系の部活動では、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 量子生命・医学部門人材育成センターにご協力をいただき、部活動に所属する中学 1 年生から 3 年生を対象とした実験実習や施設見学まで含めた実践的な研修を実施していただいています。

これらの実践の詳細についてご報告します。

2022年7月～2024年6月期 役員一覧

表 2022年7月～2024年6月期 役員一覧

理事長	工藤博司
副理事長	田中隆一
〃	柴田誠一
事務局長	吉澤幸夫
理事	朝倉正
〃	大野和子
〃	大森佐與子
〃	緒方良至
〃	酒井一夫
〃	畠山正恒
〃	林 壮一
〃	細渕安弘
〃	渡部智博
監事	小高正敬

ロシアの侵攻とカーボンニュートラルは 日本のエネルギー安全保障を危うくする

日本原子力学会シニアネットワーク 若杉和彦

ロシアのウクライナ侵攻の影響

いまロシアのウクライナ侵攻が大きな話題になっている。あの残虐な殺戮は止めなければならない。しかしプーチンには停戦の意思がない。このため日本も戦争反対の立場から、ロシア産石炭と天然ガスの輸入停止に踏み切った。日本は元々エネルギー源になる天然資源の約 90%を海外から買っており(エネルギー自給率約 10%)、ロシア産石炭は輸入石炭の 11%、天然ガスは同じく 9%である。つまり電源構成全体からみると、その約 7%をロシアからの輸入に頼っている。日本では電力供給の予備率は低く、今夏に停電を起こさないため政府が省エネ等いろいろ対策を講じている。もし備蓄を使い果たせば輪番停電が日常になる。石炭や天然ガスの輸入先をロシア以外にさがせばよいと思うが、今は世界中が同じ状況にあるので、7%分を他から調達することはほとんど不可能である。

カーボンニュートラルの影響

地球温暖化対策のため、CO₂ の排出を 2050 年に実質ゼロにするカーボンニュートラルが国際的な目標になっている。欧米のほとんどの国は、石炭・石油の消費を減らし再エネの活用を拡大しているが、それだけでは不十分なので原発への依存を強めている。日本もエネルギー基本計画に同様の目標を盛り込み、2030 年での電源構成を再エネ 36~38%、原子力 20~22%とし、さらに 2050 年に向けて水素やアンモニアの活用も含めた野心的な研究開発を進める計画だ。しかしこの目標達成のために電気代が高騰し、産業の国際競争力が下落し、結局国が貧しくなる危険性をはらんでいる。電気代の高騰は、経済的に自立しな

い再エネ活用のための”再エネ賦課金”、バックアップ電源の確保、電力系統や蓄電設備の強化等による。最近ではロシア侵攻による資源の輸入価格の高騰が加わる。

岸田首相の発言「原発 1 基は LNG100 万トンに相当」と放射線教育の大切さ

4月26日のテレビ東京で、岸田首相が「原発を一基動かすことができれば、世界の LNG 市場に年間 100 万トンを新たに供給する効果がある」と発言した。今停止している原発を稼働させ、さらに新增設をエネルギー基本計画に書き込めば、ロシア侵攻もカーボンニュートラル問題にも対処でき、明るい見通しとなり得る。何故そうしないのか。世論が原発に反対しているからである。若い世代は徐々に原発の役割を理解しているが、高齢層に反対の意見が多い。その理由はいろいろ考えられるが、第一に東電福島原発事故の影響が大きかったこと、第二は義務教育で放射線を学んでこなかったことである。原発事故当時、もし国民に放射線の知識が十分あったなら、“子供には 1 ベクレルの放射能もない場所がいい”等とした避難住民はもっと少なかったであろうし、過度の食品安全基準や除染目標を定めて事故の影響を必要以上に拡大することも防げたであろう。最近では学習指導要領の改訂に伴って放射線や原子力を学校で学ぶ機会が増えており、世論も徐々に変わるのであろう。

最近の大きな世界的変動を見聞きして、放射線教育の大切さ、そのことが原発等を通して社会の行く末、特に国のエネルギー安全保障に関係していることを考えるこの頃である。

《 会務報告 》

日時	名称	開催場所	参加者/出席者数
2022年2月27日(日)	2021年度第3回勉強会	オンライン	74名
2022年3月13日(日)	2021年度第10回理事会	同上	12名
2022年4月24日(日)	2022年度第1回理事会	同上	11名
2022年5月15日(日)	2022年度第2回理事会	同上	14名
2022年5月15日(日)	2022年度第1回編集委員会	同上	9名

《ニューズレター原稿募集のご案内》

編集委員会では、会員の皆様からの寄稿をお待ちしています。「会員の声」は、学校教育の場での体験談、新聞・雑誌の記事に対する感想、研修会等への参加など、多少とも放射線・原子力・エネルギーの関係するもので、1000字以内です。「放射線ものしり手帳」は難しい話題を面白く親しみやすい読み物で解説するもので2000字以内。「書評」は最近刊行された本の紹介で2000字以内。投稿は原則として電子メールでお願いします [送付先(編集委員長) yoshimune.ogata@aichi-med-u.ac.jp。発行は、3月、6月、11月の年3回です。ニューズレターへのご意見や特集記事などの提案も歓迎いたします。

《「放射線教育」誌の原稿募集案内》

放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の論文[研究報告、ノート、総説、解説]、資料、意見、諸報を募集しています。論文は編集委員会での審査を経て掲載されます。「放射線教育」は、年1回3月末に発行されます。原稿の締め切りは、1月31日です。論文に含まれる図表は原則として白黒とし、編集委員会が認めたときに限りカラーの使用を認めます。カラーページの印刷費は、原則として全額を投稿者に負担していただきます。投稿論文は編集委員長に電子メールの添付ファイルでお届け下さい。CD 又は DVD の場合には、NPO 法人放射線教育フォーラム事務局宛に送付して下さい。投稿規程は、放射線教育フォーラムのホームページから「刊行物」のページにある過去の「放射線教育」誌中に記載されています。別刷りは有料となります。(詳細は事務局にお問い合わせください)。

投稿規程は、の詳細は事務局にお問い合わせください)。

《編集後記》

コロナ禍による飲食等の制限が撤廃され、繁華街にも賑わいが戻ってきました。一方、国内の感染状況は、1日あたり1万5千人前後で横ばいしており、今後の生活はコロナと上手に付き合っていく必要があります。重症化する割合が少なくなってきたとは言え、累計で3万人を超える方が亡くなっています。心よりご冥福をお祈りします。

テレワーク、オンライン会議、オンライン勉強会、オンライン飲み会... 遠方からの参加も可能で便利な反面、対面での参加に比べ無味乾燥な面も否めません。改めて面と向かって話し、談笑し、食事やお酒を交えて交流することの意味を感じるこのごろです。

さて、今年も折り返し点を過ぎました。早くもほぼ全国で梅雨明けが発表されました。猛暑に電力不足、物価高騰と庶民にはつらい夏となりそうです。健康に注意し、無理をしないようにしましょう。

(緒方良至)

NPO 法人 放射線教育フォーラム編集委員会

緒方良至(委員長)、柴田誠一(副委員長)、

大野新一、細渕安弘、畠山正恒、大森佐興子、
皆川喜満、吉澤幸夫

事務局: 〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2

萬栄ビル 202 号室

Tel: 03-3843-1070 FAX: 03-3843-1080

E-mail: forum@ref.or.jp

HP: <http://www.ref.or.jp>

NPO 法人 放射線教育フォーラム ニュースレター
No.82、2022年6月12日発行