



Photo Chihki Sawai

Index

原子力エネルギー利用の将来見通し ～ 革新炉の本命は大型次世代軽水炉と高速炉核燃料サイクル ～	田中 治邦	1
第7回 廃炉創造ロボコンのご紹介 Creative Robot Contest for Decommissioning.....		6
〔コラム〕 52th Column 【養老先生、再び病院へ行く】.....	中川 恵一	11
放射線教育のさらなる普及へ向けた取り組み ～ 放射線教育支援サイト“らでい”～	加藤 太一	12
放射線安全技術講習会 第66回放射線取扱主任者試験（第2種） 受験対策セミナー・開催のお知らせ.....		17
「2023国際医用画像総合展出展」のご案内.....		18
〔サービス部門からのお願い〕 4月1日はガラスバッジ、ガラスリング、DOSIRISの交換日です。...		19

原子力エネルギー利用の将来見通し ～ 革新炉の本命は大型次世代軽水炉と 高速炉核燃料サイクル ～



田中 治邦*

本誌の読者は㈱千代田テクノルの提供する製品或いはサービスをご利用の皆様が主であると理解している。筆者の所属する会社も日頃大変にお世話になっており、FBNewsの記事執筆のご依頼を受け、身に余る光栄とお引き受けした次第である。但し筆者がこれから論じる内容は読者の皆様には余り関心の無い話題であるかも知れない。だが放射線測定・放射線管理の仕事は原子力エネルギー利用の現場（原子力発電所や核燃料サイクル関係施設）に欠かせないものであり、資源に乏しい日本のエネルギー事情における原子力の位置付けについて、一度基礎的部分から始めて将来の見通しまでを理解して頂くことは必ず皆様のお仕事に役に立つ筈と考える。その他の多様な放射線利用分野をご担当の方々にも、お忙しいところを恐縮ながら若干のお時間を頂戴してお読み頂ければ望外の喜びである。

1. 地球温暖化防止に貢献する原子力

発電・熱利用・輸送のエネルギー利用に伴い発生するエネルギー起源CO₂と、製鉄、セメント製造、ガラス製造等の工業プロセスや廃棄物焼却に伴い発生する非エネルギー起源のCO₂、並びにGWP係数を用いてメタンや代替フロン等の他のGHGをCO₂換算したものを総合計した全GHG排出量に対して、エネルギー起源CO₂は我が国の場合およそ85%を占めている。このエネルギー起源CO₂のうち40%が発電に伴う発生であり、地球温暖化抑制に貢献すべく我が国がNDCとして宣言した2050年

カーボンニュートラル実現にとって発電分野に於ける脱炭素化は重要である。低炭素電源である原子力発電はこの点で大いに貢献できるものである。

(註)

- GHG (Greenhouse gas) 温室効果ガス
CO₂、CH₄、N₂O、HFCs (19物質)、PFCs (9物質)、SF₆、NF₃
- GWP (Global warming potential) 地球温暖化係数
CO₂を基準とした各GHGの単位重量当たりの地球温暖化効果(100年間の影響で比較)
CO₂; 1 (基準) CH₄; 25 N₂O; 298
SF₆; 22,800 など
- NDC (Nationally determined contribution) 国が決定する貢献
パリ協定に参加する各国が国連に提出する国別削減目標

2. エネルギー自給率向上に貢献する原子力

一方、国内にエネルギー資源の乏しい我が国が産業経済と国民生活が必要とするエネルギーを如何にして確保するかは、地球環境問題が広く認識されるようになるより遥か前から大きな課題であり、原油・石炭・天然ガスの輸入に奔走しつつ常にその供給途絶リスクに怯えて来た。消費の節約や高効率化、高断熱・高气密などに努めるとしても現代社会ができる省エネには限界があるから、G7の中でも最低のエネルギー自給率を如何にして高められるかということが極めて重要である。発電コストに占めるウラン燃料の輸入価格(精鉱代+転換代+濃縮代)の割合が高々5%程

* Harukuni TANAKA 日本原燃株式会社

度でしかない原子力発電は準国産エネルギーとして自給率の中にカウントされている。

ところで2021年に始まったエネルギー価格の上昇は昨年のロシアのウクライナ侵略に応じた欧米による経済制裁の影響で急加速し、特に天然ガス価格は原油価格の上昇を超えて高騰しており、またこれまで低位安定にあった石炭価格も上昇している。ロシアと欧米の間の経済紛争は様々な商品の製造価格、輸送価格を引き上げ、我が国でもエネルギーと同様に国内自給率の低い食料の販売価格の上昇と相俟って国民生活全体に影響を及ぼしている。外国から軍事的攻撃を受けないためには、抑止力となる圧倒的に優位な通常戦力の確保、同盟国との集団安全保障体制の維持、そして紛争状態を未然に防ぐ平時の平和外交の徹底が大切であるが、これらにより我が国への直接的な軍事攻撃を抑止できたとしても、世界の国々が貿易関係で強く結びついている今日、エネルギー資源が戦略物資となった結果、我が国から遠い地域にある国同士の紛争でも我が国の経済に深刻な影響を与える。従ってエネルギーの確保、望むらくは自給は国の安全保障のための重要な一要素である。原子力利用によるエネルギー自給率の向上の重要性が高まっているのである。

3. 国のエネルギー政策

このような情勢から、第6次エネルギー基本計画（以下、第6次エネ基）の「2050年に向けて原発依存度を可能な限り低減する」との方針はGX（グリーントランスフォーメーション）実行会議などの場を利用して岸田政権が転換を図っている。次期エネルギー基本計画では「必要な規模を持続的に活用する」との方針へ集約されるものと予想する。では、その原子力発電の将来は如何なるものであるべきだろうか。

第6次エネ基が示す2030年の電源構成目標は低炭素電源比率が58%（再生可能エネルギー（以下、再エネ）36~38%と原子力20~22%）で、全GHG排出は2013年比で46%削減されるとしている。この二つのことだけから

も2050年のカーボンニュートラル実現には再エネも原子力も少なくとも倍増が必要である。なお、2021年のCOP26におけるグラスゴー気候合意では産業革命前からの気温上昇を1.5℃以内に抑えるためには2030年時点のGHG排出量を2010年比で45%減とすることが必要としており、日本政府が自慢する46%減の基準は2013年であり、この年の我が国のGHG排出量は過去最大で2010年より8%多い点には注意が必要である（2010年比では38%減でしかない）。なお、エネルギー自給率については、現在12%程度であるところ上記の再エネと原子力により2030年に30%程度になるとしている。

次に、経産省が参考値として示した2050年の電源構成は再エネ50~60%、原子力+CCUS付き火力30~40%、水素・アンモニア10%である。これは電力料金の激増を気にせず作られた数値で、コストを最小化する最適解では原子力の圧倒的増加が必要（7割程度まで）との研究報告もある。2050年のエネルギー自給率はCCUS付き火力発電用の燃料、水素・アンモニア、バイオ燃料などの輸入が残る結果、再エネと原子力を増やしても50%程度と考えられる。

(註)

CCUS (Carbon capture, use and sequestration)
炭素回収利用隔離貯蔵

以上の電源構成目標から具体的な原子力発電設備容量(kW)を試算してみよう。2030年に期待されている原子力の発電電力量の幅(9,340億kWhの20~22%)の下限值1,880億kWhに対して設備利用率80%、所内率4%、8,760時間/年を考慮すると約2,800万kWとなる。2050年の全発電電力量はシナリオ分析に於いて1.35兆kWhとされており、原子力+CCUS付き火力の幅(30~40%)の下限側に負荷追従運転による設備利用率の低下(70%)を考慮すれば約6,900万kW、上限側で約9,200万kWとなる。炭素地下貯留の立地がどの程度実現できるかは全く分からないが、既に述べた通り原子力発電は倍増が必要であろう。表1に既設炉再稼働と今世紀中頃までの新規建設のイメージを示したが、単

表 1 既設炉再稼働と新規建設のイメージ(例)

■	2030年までに、再稼働申請済の27基；合計2,775万kW 再稼働済み10基＋許可済だが未稼働7基＋審査中10基 即ち、既設炉25基と建設中の2基（島根3、大間）
■	2035年までに、再稼働申請されていない既設炉9基；合計963万kW 既設炉8基（40年が近い既設炉が1基あり要注意；柏崎刈羽1号） および着工後の初期段階にある東京東通1号
■	2040年までに、震災前に設置許可申請された4基；合計604万kW 敦賀3・4号、上関1号、川内3号
■	2045年までに、建設意志が公表された実績のある5基；合計713万kW 美浜4号、浜岡6号、東京東通2号、東北東通2号、上関2号
■	2050年までに、N1、N2、N3 3基 合計450万kW
■	2055年までに、N4、N5、N6 3基 合計450万kW
■	2059年までに、N7、N8、N9 3基 合計450万kW（累計6,405万kW）
■	2060年以降は、大型高速炉を運転開始（実証炉はその前）

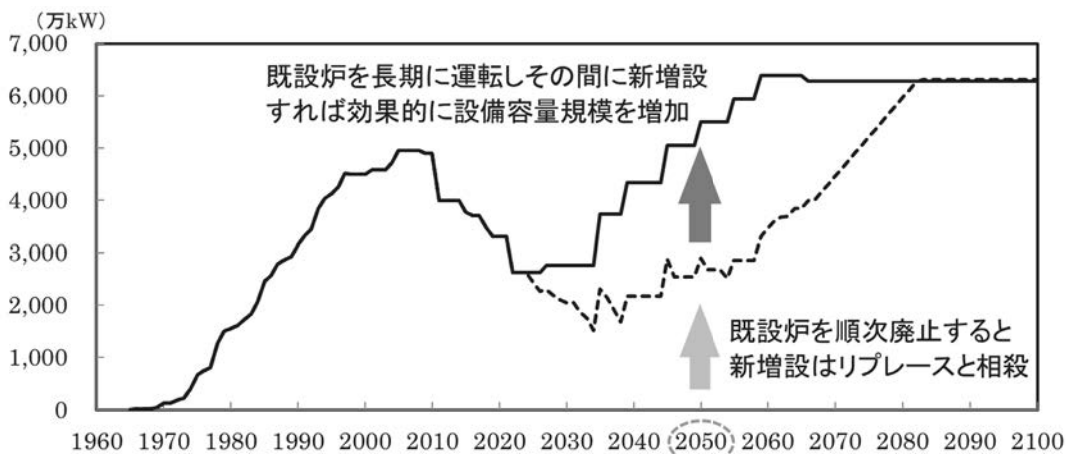


図 1 既設炉の長期運転と新規建設

純合計で6,400万kWとなり、このような期待にほぼ応えられるものである。

4. 既設炉の供用期間延長の必要性

さて、原子力倍増のニーズに対して、現在原則40年の寿命を全基で60年に延ばしたとしても、2040年を過ぎると原子力設備容量は急坂を転げ落ちるように減少する。その速さは1970年代から始まった原子力発電所建設の勢いを裏返したもので、ならして毎年150～200

万kWである。この減少を防いで発電量を維持しつつ更に倍増する方策は明白である。寿命を更に延長して既設炉の退役を防ぎつつ、原子力開発当初に負けない新規建設・増設を行うことである。炉メーカーの方がよく発言されるが、新增設を促進したためにリプレースを要求することは大きな誤りである。図1に示す通り既設炉を60年寿命で順次廃止すると、今から取り組む新增設は設備容量の低下と相殺してしまい、2050年の倍増には遥かに届かない。

5. 炉型の選択

5.1 当面は大型次世代軽水炉

この新增設のニーズに応える炉型は何か。経産省の審議会（原子力小委）に報告された技術ロードマップは革新軽水炉、小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉、核融合炉の5つを挙げており、その中でサプライチェーン確立まで言及されているのは最初の4つであるが、我が国での技術蓄積に鑑み、先ず革新軽水炉（大型次世代軽水炉）の早期実現を図るべきことは論を待たない。表1と図1を見れば毎年1基の大型炉を投入して行く必要があり、過去の実績からそれは可能である。

5.2 小型軽水炉は選択されない

一方、世界では小型軽水炉（SMR；Small modular reactor）の研究が流行である。異常時の崩壊熱除去対象となる炉心を小さくして冠水を維持、自然循環で冷却、最終熱除去は空冷など静的安全機能だけで非常時システムを簡素化し、投資規模も小さなSMRの設計競争は原子力技術者が大いにその能力を発揮してみせる絶好の機会である。経済規模の小さな国や州がSMR導入を計画することも理解できる。我が国の原子炉メーカー・機器メーカーも技術力維持のために設計提案、設備機器納入などの国際協力を行うべきである。

しかしこれを日本国内に作るとなると甚だ疑問である。経済規模が大きいにも拘らず資源の乏しい我が国が脱炭素とエネルギー安全保障のために原子力の倍増が必要である中で、土地利用効率の悪いSMRで貴重なサイトを使うべきではない。

SMRは安全性を強調するが、福島第一原子力発電所事故の教訓を反映した既設炉の再稼働は新規制基準をクリアしており、過酷事故時のCs-137放出量は福島第一原子力発電所事故の1/100で長期の住民避難を要しない水準である。安全性向上評価の結果は規制委員会の定めた安全目標（Cs-137放出量が100TBqを超える事故の発生頻度 10^{-6} 回/年以下）を満足している。既設炉よりも更に改良を加える次世代軽水炉の安全性は益々向上する。

電力需要規模が小さく大型炉は必要ないと

する電力会社がSMRを選択することもあり得ない。何故なら、小さな電力会社は大きな電力会社の大型炉建設計画に例えば20%ぐらい出資協力しその分を受電すれば良いからである。自社の出資規模を抑えつつ大型炉のスケールメリットで安い発電原価を得られ一石二鳥である。更に設計、許認可、地元交渉、建設工事、運転保守、廃炉の全てを大電力会社がやってくれ、自分は運転者（原子炉設置者）にはならないから万一の原子力事故時にも無限責任の損害賠償責任の負担は無い。経営層がSMRよりこの方法を選ぶことは自明である。共同建設の実績は東電福島第二3・4号機の25%が東北電力、柏崎刈羽1号機の50%が東北電力、一方、東北電力の女川3号機及び東通1号機の50%が東京電力であり、今後の新規建設でも似た検討がなされている。小型炉には国内建設の見通しが無いと言わざるを得ない。

再エネが主力電源化する時代には、お天気任せの再エネ発電出力と変動する電力需要との間を埋める発電出力の調整が必要で、SMRの多数立地、モジュール単位でのオン・オフ運転が役立つというが、出力調整運転は既設炉でも可能である。現在の原子力の運用は最大出力での一定運転（基底負荷対応）であるが、その理由は負荷追従能力が無いためではなく、可変費（発電電力量に応じて変わる費用）が安く資本費が高いからである。計画的な日間出力調整運転、給電指令に基づくAFC運転（Automatic frequency control自動周波数制御）、自立的なGF運転（Governor free制限なし調速機運転）による負荷追従は既設炉でも技術的には可能である。BWR（Boiling water reactor 沸騰水型炉）では制御棒を動かすことなく、炉心再循環流量制御を自動モードとして負荷偏差信号（タービン速度/負荷要求信号と主蒸気圧力偏差信号との差）により原子炉出力を負荷に追従させることが可能である（福一3・4・5・6、福二1・2、柏崎1、女川1、浜岡3で試験実績あり）。PWR（Pressurized water reactor 加圧水型炉）では2次系のGF運転と1次系の負のフィードバックによる原子炉出力変化とを組み合わせ

て負荷追従が可能で、またサイクル末期を除き制御棒の自動操作と手動のホウ素濃度調整により大きな出力調整が可能である（美浜3号、伊方2号で試験実績あり）。再エネ主流時代に負荷追従できる水力の規模、火力のCCUS・輸入水素利用に限界がある場合、原子力は利用率が下がっても出力調整・負荷追従運転をする必要がある。これによる原子力の発電単価アップは原子力にその責は無い。むしろ既設設備の活用で大規模蓄電設備の建設という無駄な新規投資を回避できる。発電用蒸気タービンを用いる同期電源で電力系統に慣性力も提供できる原子力の負荷追従運転の本格運用に向けた準備に取り組み、再エネの主力電源化を支えるべきである。

5.3 高温ガス炉も選ばれない

低出力密度のため原子炉容器の製造制約から高々30万kWが限界の高温ガス炉も同様である。高温熱化学反応を利用し水素生産可能とするが、普及が先行するブルー水素・グリーン水素による市場形成（競争による価格破壊）に参入できる保証は無い。高温ガス炉が商業炉として運転開始する時期にはStranded cost（座礁資産）となってしまう恐れがある。

被覆粒子燃料を用いる高温ガス炉は使用済燃料の再処理が見通せないことも問題である。再処理できると言っているのは日本の一部の研究者だけで高温ガス炉の使用済燃料に関する世界の常識は直接処分である。全電力会社が共通に利用する六ヶ所再処理工場の建設とは事情が大きく異なる。直接処分に関心を示す電力会社があれば、青森がその電力会社を見る目は変わるであろう。

更に高温ガス炉の新燃料は我が国がIAEAに認められたウラン濃縮限度を有意に超える濃縮度が必要で、従って大量の天然ウランを海外から調達しなければならないことは大きな問題である。

5.4 高速炉とその核燃料サイクルが必要

新興国の原子力導入と先進国の原子力回帰で今世紀後半のウラン価格高騰は必至であり、その兆候は既にスポット市場価格に現れている。ウラン235に頼らず、プルトニウム利用で原子力を準国産から純国産に高める高速炉

を主力とし、残存する既設軽水炉のウラン調達交渉を助けることが賢い選択である。六ヶ所濃縮工場には高速炉のブランケットに新規の供給が必要となる劣化ウランが既に9,000トン、450年分蓄積しており、再処理工場の回収ウランも再濃縮すれば更に大量の劣化ウランがエネルギー資源として蓄積することとなる。核燃料の純国産化は可能なのである。

水素製造も高速炉のナトリウム温度で行えば電力供給と調和できる。我が国は高速炉サイクルの実用化を目指すべきである。民間第二再処理の建設には米国の同意が必須だから、米国が許容する金属燃料高速炉と乾式再処理の研究開発に協力し、その技術を習得するため早期に実証炉と実証サイクル施設を国内に建設しなければならない。軽水炉の使用済MOX（Mixed oxide混合酸化物）燃料は中間貯蔵し、第二再処理で乾式再処理し高速炉用金属燃料に加工することが分離Pu保有量の観点で最善である。

つまり、我が国の原子力発電にとって最も相応しい炉型選択は、当面の軽水炉（大型次世代軽水炉）と、今世紀後半の高速炉とその核燃料サイクルである。既設炉の寿命延長（80年）はウラン需要を抑制し（初装荷炉心を減らす）、当面の新增設で原子力設備容量を倍増し、既設炉の運転期間が80年に達する2060年以降の新規建設は高速炉に限定し、ウラン濃縮が必要な原子炉の新規建設を禁止して日本のウラン需要の増加を抑えるべきである。ウランを買わなくても原子力を持続的に活用できる能力の確立が、我が国の原子力が目指すべき将来像である。

著者プロフィール

1953年生まれ、1976年東京大学工学部原子力工学科卒業、東京電力(株)入社。本店と福島第一、福島第二、柏崎刈羽の3発電所で勤務し、炉心管理、安全審査対応、新規建設計画、原子炉主任技術者などを担務。2004年電気事業連合会原子力部長。2010年日本原燃(株)取締役、2012年専務取締役、2016年同社フェロー。国の審議会等の専門委員、研究機関・大学の外部評価委員、電事連の原子力開発対策会議、原子力学会、原産協会、電中研NRRCのCNO会議、JANSIのCNO会議等の理事・委員を歴任。現在は日本原燃(株)社友、並びに東北大学特任教授、原子力学会フェロー。2006年、2012年に原子力学会員貢献賞。

第7回 廃炉創造ロボコンのご紹介

Creative Robot Contest for Decommissioning

線量計測営業課 廣田 盛一

【廃炉創造ロボコンとは】

「廃炉創造ロボコン」は、独立行政法人国立高等専門学校機構 福島工業高等専門学校（以下、福島高専）に事務局を構える「廃止措置人材育成高専等連携協議会」および「日本原子力研究開発機構」（以下、JAEA）の主催で福島第一原子力発電所の廃炉をテーマとして開催されているロボットコンテストです。

福島県復興への社会貢献を重要課題と位置付けている福島高専が全国の高等専門学校へ呼びかけ、また中心となって企画し、JAEA 楡葉遠隔技術開発センターを会場として、2016年より毎年実施されています。（写真1）

廃炉完遂までには30年から40年と長い年月が必要と言われ、新しい発想を持ったエンジニアが必要となります。若い世代に「廃炉」に関心を持ち続けてもらうと同時に「ロボット」製作を通して廃炉を将来支えていく人材の育成が目的とされています。

2022年12月10日に「廃炉創造ロボコン」は第7回を迎え、参加する12高専、14チームが、仲間とともに設計から組上げ製作した自慢の「廃炉ロボット」でコンテストの課題に挑むことになりました。



写真1 会場のJAEA楡葉遠隔技術開発センター

【コンテスト課題概要】

会場の決められた競技フィールド・コースをたどり10分の実演で評価を行う。

東京電力福島第一原子力発電所原子炉建屋内における、高線量エリアの遠隔高所除染を想定。高さ2,700mm、幅1,000mmの壁の上部が汚染されており、その部分を除染する。

実際の除染では表面を削るなどして放射性物質を取り除くが、競技では指定のペンで壁に設置されている模造紙を塗り潰すことで、作業の精度を評価する。

今回、参加する福島高専ロボット技術研究会のチーム「福島高専 廃炉研究会」をコンテスト前に取材させていただきましたので、当日のコンテストの様子とともにご紹介いたします。

福島高専のロボット技術研究会は、20名の高専生が所属し「高専ロボコン（ロボット競技）」や「廃炉創造ロボコン」、その他のロボットコンテストに参加しています。

授業で得た知識や、仲間の得意分野の知識を持ち寄り、また自ら進んで知識を習得し、自らの手でロボットを製作するなどの活動がされています。

ロボット製作等は、日々の授業時間が終わり、最終下校時間までの2時間から3時間の間に集中して行われています。

そんな福島高専ロボット技術研究会では「廃炉創造ロボコン」へ向け、3名の有志が集まってチームを結成しました（条件には「1チーム3名、指導教員1名」と規定）。

ここでチームメンバーの方々をご紹介いたします。

チーム名：福島高専 廃炉研究会
ロボット名：Deconnect (ディコネクト)
メンバー：3年生 佐久間さん、3年生 塚田さん、4年生 斎野さん (写真2)
指導教員：小出先生



写真2 左から佐久間さん、塚田さん、斎野さん

【コンテストにかける想い】

〔ロボット名：Deconnect (ディコネクト)〕

この名前には、2つの英単語を合体させたメンバーの深い想いが込められています。

1つ目は「Decommissioning」：廃炉や廃止措置を意味する。2つ目は「Connect」：つなぐ、連結する、結びつけるとの意味を持つ。2つの英単語を合わせた造語で、実現したいとの想い(チームコンセプト)を込めました。

- ・福島高専およびチーム「福島高専 廃炉研究会」の活動を私達が廃炉技術分野に「つなげ」ていきたい。
- ・廃炉の現状は、私たちの世代で「終了」させたい。
- ・廃炉作業で得た技術は私達が未来へ「つなげ」たい。

このように非常に高い理想と果敢に挑戦する強い想いを、塚田さんが説明してくれました。素晴らしい想いが込められていることに感動いたしました。

【ロボット名：Deconnectの特徴】

- ① 駆動部の足の部分はチェーンで強く、段差を乗り越える可動式のサブクローラー付き。
- ② “高所をペンで塗る”を達成するために、マジックハンド機構を搭載。
- ③ ペンで塗る動作の効率を上げるためにペンを回転させながら、壁をなぞるように横移

動し、ペン先より幅広い領域を1回で塗り潰す。

ロボットは滑りやすい床面や、スロープ、段差を移動する必要があるために、基盤や、配線、バッテリーの位置を工夫し衝撃に耐えられるようにしています。(写真3)

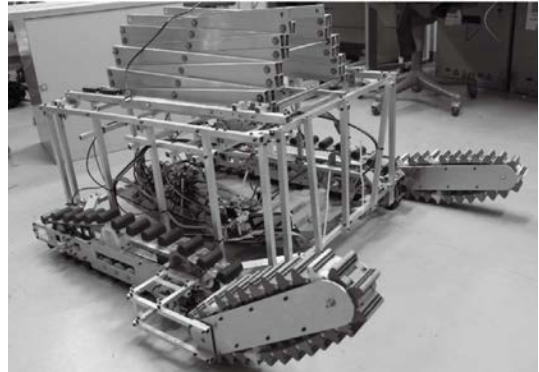


写真3 福島高専 廃炉研究会のロボット Deconnect

【製作にあたり特に力を入れたポイント】

- ・4年生 斎野さん (回路担当：ロボットの動作のための回路設計)

皆で設計したロボットが、廃炉ロボコン課題達成のために、希望通りの動作ができるよう、全ての指令を司る回路設計に力を入れました。

私は、高専ロボコンをテレビで視聴し、高専ロボコンに参加したいという想いで、福島高専に入学しました。廃炉ロボコンで得た知識と経験を活かし、私の目標でもある、来年の「高専ロボコン」に向けて頑張ります。もちろん「廃炉創造ロボコン」の当日も頑張ります。

- ・3年生 佐久間さん (制御担当：機械の動作のための制御)

福島高専で特別な経験をしたいと考えたことと、何かを作るといことが好きだったので、ロボット技術研究会に入りました。同学年に制御班が3名いて、「高専ロボコン」で2名がチームに参画し、「廃炉創造ロボコン」で1名私が参画しました。

今回、Deconnectに搭載した基盤の配列や衝撃に強い結線について、たくさん時間を掛

テンションで囲われたオペレーションエリア(写真4)に集まり、ロボットに搭載されているカメラから伝送される映像を頼りに、パソコン画面上で全てを遠隔操作します。

<難題②ロボット制御用ケーブルと6つの曲がり角>

実際の除染作業環境下では、発電所内の分厚いコンクリート壁の影響を受け、ロボット制御のために必要な無線通信が使えない恐れがあります。そのため、全てのロボットはケーブルを介して通信し制御します。

指定されたコースは6つの曲がり角が準備されていて、ジグザグに走行するため、角にケーブルが接触すると抵抗になります。いかにケーブルをうまくさばいて敷設し前進するかが、この課題攻略のキーポイントです。

<難題③傾斜と曲がり角>

経路に傾斜15度の金属製スロープ(上り坂と下り坂)が設置されています。(写真5)ロボット駆動部の選定や、全体重量配分が十分に考慮された設計でないと、スロープ部で引っかかってしまい、転倒の原因となります。また傾斜クリア後すぐに曲がり角があり、通信ケーブルを上手く敷設するロボット操作技術が必要です。



写真5 スロープと曲がり角

<難題④高さ95mmのグレーチング>

グレーチングは網目状の金属できています。網目に駆動部が挟まらないように配慮して製作する必要があります。更には曲がり角で通信ケーブルが引っかからないよう、ロボットの動きを計算し操作する技術が必要です。(写真6)

同時に高さ95mmを乗り越え、グレーチングを下りる時にはスロープがないので、ここでもロボットの転倒防止のための慎重な操作、重量バランスが重要となります。95mmの高さから、ロボットが下りる際に、衝撃で基盤や配線が破損しないような工夫も必要です。

ロボットは、このグレーチングを走破するため様々な工夫を凝らしていました。上手に上ることができずに、停止してしまうものも多数あり、一番の難所となりました。



写真6 難所となった高さ95mmのグレーチングと曲がり角

<難題⑤除染場所の想定は高所の壁面>

競技は高所除染をロボットで実施するという想定であるため、除染作業の代わりに高さ約1,900mm~2,700mmの範囲で、横幅1,000mmの模造紙にロボットの先端に装着したペンで色を塗ります。(写真7)



写真7 高所の壁面の模造紙を塗り潰す様子

全ての制御は、高専生がオペレーションルームで、ロボットから伝送される映像を頼りに手元のパソコンで制御しています。

通信ケーブルが巻きとられた状態で搭載している機種や、ケーブル自体を引っ張っていくもの、ケーブルを上手に左右に振り、あたかも人間がケーブルをさばいているかのように動くロボットもありました。ケーブルが絡まり、角にケーブルが接触し途中で止まってしまうロボットもありました。

コースは、第6回大会と似たレイアウトになっていましたが、第7回大会は一番の難所となったグレーチングの走破部分が追加され、より廃炉現場の想定 conditions に近づけられ、また各種課題が多く、難易度が上がっていました。

我々が取材させていただいたチーム「福島高専 廃炉研究会」の塚田さんが開会宣誓をされました。またコンテストの競技の順番は、1番目でした。(写真8)当日、カメラからの伝送が上手くいかず、悔しい結果となりましたが、優れた技術と、アイデアを評価され、特別賞を受賞されました。(写真9)

今回の取材を通じて、「廃炉創造ロボコン」に挑む高専生の高い志と、与えられた課題をクリアするために各高専選抜チームが考えたロボットの性能の高さに驚くとともに、廃炉作業を担う若い世代の活躍が今後、期待されると感じました。当日の表彰式終了後、見学



写真8 福島高専 廃炉研究会 スタート準備中



写真9 競技後、Deconnectについて質問を受ける福島高専 廃炉研究会の皆さん

に訪れていた企業の代表の方々が、興味深いロボットの前行き製作した高専生に、熱心に質問されている姿が、非常に印象に残りました。(写真10)



写真10 表彰式後、Deconnectについて多数の質問に回答する福島高専 廃炉研究会の皆さん

過去の大会では、コンテストで提案された手法が高く評価され、興味を持った企業がロボットを製作した高専生とアイデアを交換する場を設けた実績もあるとお聞きしました。近い将来、実作業現場で「第7回廃炉創造ロボコン」の優れた技術の採用が検討されることを期待いたします。

今回の取材にご協力いただいた、福島工業高等専門学校 小出先生、福島高専 廃炉研究会の皆さん、貴重なお時間をいただきまして誠にありがとうございました。皆さんの今後のご活躍を祈念いたします。



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

養老先生、再び病院へ行く

東大医学部時代に解剖学を学んだ恩師、養老孟司先生との共著が2023年1月に発売されました。『養老先生、再び病院へ行く』（エクスナレッジ）です。



この本は2021年に出版し10万部超えのベストセラーとなった『養老先生、病院へ行く』（同）の続編で、2020年に心筋梗塞で緊急入院し、回復されてからの養老先生と私が、医療や若い、死などについて、往復書簡スタイルで執筆しています（阿川佐和子さんとの鼎談も収録）。

きっかけは養老先生からのメールでした。「体重が15キロも落ちて、元気がなくなり、ほとんどビョーキ状態です。糖尿は間違いなくあると思います。養老 拝」

東大病院の私の診察室にお越し頂き、無痛性の心筋梗塞と診断、そのまま緊急のカテーテル治療を受けて頂きました。この病気の背景に糖尿病があったため、養老先生は退院後

も東大病院に通院されていましたが、それも半年ほどでやめてしまいました。

前著でも、養老先生は「原則として医療に関わりたくない」と述べていますが、今も筋金入りの病院嫌いを貫いているようです。

そんな養老先生が2022年2月、1年数カ月ぶりに東大病院を再診されました。その理由はここでは詳しく述べませんが、続編はこのエピソードから始まっています。

医療とできるだけ距離をとりたい養老先生は、『患者よ、がんと闘うな』や『がん放置療法のすすめ』などのベストセラーを出し、昨年急逝された近藤誠医師とも懇意でした。

がんによる死の最大の特徴は「死が予見される」こと。治らないと分かっていても、年単位の猶予があり、比較的長い間、身体の機能は保たれ、最後の数週くらいで急速に悪化する経過をたどります。つまり、痛みなどの症状をとって、上手くつきあえば、がんも「ピンピンコロリ型」の病気になるわけです。

近藤医師も「がんで死にたい」と思っていたはずですが。しかし、心臓の病（養老先生も患った心筋梗塞）で突然の死を迎えました。ギリギリのところまで東大病院に入院し、回復して元気に虫採りや仕事をされている養老先生とは対照的です。

がんの場合、わずかでも症状が出たら、進行がんか末期がんです。がん検診を受けて、無症状のうちに早期発見することが大切なのです。いつも述べているように、早期発見できれば、がんの95%近くは治ります。

養老先生のように、困ったときだけ医療の恩恵に預かる「上手い」やり方は、万人にはお勧めできません。「過剰診断」は避けながら、「長生き効果」がはっきりしている検査は受けておいた方がトクだと思います。

放射線教育のさらなる普及へ向けた取り組み

～ 放射線教育支援サイト“らでい”～



加藤 太一*

はじめに

「放射線教育支援サイト“らでい”」(<https://www.radi-edu.jp/>)は、平成24年度より公益財団法人日本科学技術振興財団が自主事業として運営しており、学校現場で放射線に関する学びの充実に寄与する支援や情報発信を通して、放射線教育のさらなる普及を目指している。“らでい”では、ホームページを通した最新情報や学会等の放射線教育関連イベント等の情報発信に加え、実際の授業で活用できる動画、ワークシートやカード教材、さらには指導案の発信も行っている。加えて、放射線測定器等の実験機材の貸し出しや専門家等による出前授業や教職員研修会を、小中高等学校、大学、教育委員会等の要望に応じて実施しており、オンラインのみならずオフラインでも放射線教育の普及へ向けた支援を展開している。

本稿では“らでい”の直近における新展開を含む概要を紹介するとともに、“らでい”とも連動して実施している「放射線教材コンテンツ」「放射線授業事例コンテンツ」の2つの取り組みについて紹介する。

放射線教育支援サイト“らでい”

・背景

学校教育における放射線の扱いは、その重要性を増しているといえる。文部科学省が作成する学習指導要領において、平成20年の改訂によって中学校理科の3年生において扱われる

ことになり、加えて平成29年の改訂においては、2年生にも広がった。文部科学省は、さらに児童生徒が放射線に関する科学的な知識を身に付け理解を深めることを目的として、平成23年より放射線副読本を作成しており、定期的に最新の情報が盛り込まれ更新が継続されている。

放射線副読本においても強調されている通り、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による東京電力の福島第一原子力発電所での事故による被害、さらには東日本大震災により被災した児童生徒たちや原子力発電所の事故により避難している児童生徒への差別やいじめが起きたことから、学校教育において放射線に関する科学的な理解を深めることは、震災から10年以上を経た今日においても依然として重要である。

一方で、放射線の授業を展開するための環境は未だに十分なものとは言いがたい。授業でも活用されることが比較的多い放射線測定器や霧箱等の実験器材であっても、入手できない等の障害が多く、充実した授業をいつでもどこでも誰もが容易に実現できるわけではない状況がある。

・“らでい”の概要

以上の背景から、当財団では、放射線教育支援サイト“らでい”を運営し、主に「実践紹介」「資料集」「指導案」「教員研修・出前授業」の4項目による、情報発信、授業支援を行っている。内容については、放射線の専門家や、教育現場の有識者からなる「放射線教育推進委員会」の監修や協力を得ている。

* Taichi KATO 公益財団法人日本科学技術振興財団 人財育成部 主任

2022年度の当委員会では、清原洋一氏（秀明大学学校教師学部 教授）、薦田敏氏（全国中学校理科教育研究会 前会長）、藤井博史氏（公益社団法人日本アイソトープ協会 常務理事）、鈴木崇彦氏（元帝京大学 医療技術学部 教授）、飯本武志氏（東京大学 環境安全本部 教授）、以上5名の先生方のご指導をいただいている。

上記4項目の内容の概略は以下の通りである。第1に「実践紹介」では、実際に全国の教職員が取り組んだ授業の内容を、実践事例として紹介している。加えて、全国で開催される、放射線教育に関連する研究発表会の取材等を通して、そこでの内容を紹介している。第2に「資料集」では、授業でそのまま活用できる、理科・社会・総合学習等の教科でのワークシートや、動画など授業で活用できる教材コンテンツを紹介している。第3に「指導案」では、登録会員が作成した指導案を紹介している。これらオンラインでの情報発信に加えて、第4に「教員研修・出前授業」では登録会員を対象に、放射線測定体験や霧箱実験等、ニーズに応じた内容で研修会や出前授業を実施している。専門的な内容を扱う場合には、大学や研究機関等の専門家を講師に迎え、最先端の研究成果にも触れるような研修を行うこともある。

ここまでで紹介した通り“らでい”では、主に教職員を対象とする支援活動を継続してきたが、一方で、放射線教育を取り囲む環境の変化に対応した取り組みも始めたところである。とりわけ昨今の学校現場では、ICT環境の進展が顕著であり、放射線教育に限らず、タブレット端末等の活用を念頭に置いた取り組みが必要となっている。

・キッズページ

文部科学省が推し進めるGIGA（Global and Innovation Gateway for Allの略、「すべての児童・生徒にグローバルで革新的な扉を」の趣旨）スクール構想によって、タブレット等の1人1台端末環境が進展する中で、インターネットを活用した児童生徒の自学自習の機会が増えることが見込まれる。そのような環境では、児童生徒が放射線について自ら調べるような場面が想定され、児童生徒のためのコンテンツが求められる。これまで“らでい”は主に教職員へ向けた情報発信が中心であったが、新たに児童生徒が直接ホームページを閲覧する場面を考慮し、表現も発達段階に合わせて“キッズページ”として発信することにした。

キッズページは、「動画で学ぶ」「イラストで学ぶ」「実験で学ぶ」「プリントで学ぶ」「ゲームで学ぶ」「用語集」の6項目から構成される。



「ゲームで学ぶ」では、教職員向けにも情報カード教材として紹介している「DUO×DUO(デュオデュオ)」を、タブレット端末でのインタラクティブに体験できるようにページを作成した。デュオデュオは、1枚の絵札に、そこに描かれたイメージの内容と関連性が高い2枚の文字札を組み合わせていく情報カード教材であり、タブレット端末では複数の文字札を見比べ、ユーザーが2枚の文字札を選択しながら進めていくインターフェースとした。



*放射線教育支援サイト“らでい”



放射線教材コンテスト

・概要

放射線について学ぶための教材について「らでい」では、これまでに広く活用されている等、一定の実績があるものを中心に紹介しているが、放射線教育のさらなる普及のためには、新しいアイデアの教材が生まれていくことも必要に

なる。新しい放射線教材の創発を目的として実施するのが「放射線教材コンテスト」(<https://www.radi-edu.jp/contest>)である。

「放射線教材コンテスト」は、放射線について学ぶ大学生等(大学院、短大、高等専門学校等を含む)を対象に、小中高等学校の児童生徒向けの放射線に関する教材を募集し、優れた作品を表彰するコンテストである。2018年度から実施しており、2022年度で5回目を迎えた。

本コンテストの特色は、教材を提案するのが大学生等である点にある。新しい視点での教材に期待し、放射線について学ぶ過程での驚きや感動を教材で表現してほしいとの思いから、アルキメデスの故事にちなんだ「放射線エウレカ」というキーワードをテーマに教材を募集している。毎年、学生ならではの新鮮な視点での教材が生まれている。これまでの最優秀賞を紹介したい。



*放射線教材コンテスト

身の回りに放射線や放射線を出すものがあることを自ら学べる模型

(2018年度最優秀賞)

小学校低学年を対象として、目に見えない放射線を視覚的に表現することを目的とする教材である。教材はあたかもジオラマ、あるいは箱庭のような趣で、例えば居間のある住宅をはじめ日常生活環境が模擬されており、その中を歩き回るかのような体験をすることができる。放射線が多く出る場所には、磁石が埋め込まれており、磁力で引き寄せられる



釣り竿のような装置を近づけると放射線が多い場所がどこか気づくことができる。教材の中に再現された環境の中を、疑似的に「探索」しながら、身の回りの放射線について考えるきっかけを与えてくれる教材であるといえる。

Webカメラを用いた放射線検出器の開発

(2019年度最優秀賞)

高校生を対象として、数千円程度で市販されているウェブカメラを自ら分解し、その中にあるイメージングセンサーを利用して放射線を検出できるように工作をすることが特徴の教材である。センサーから得られたデータをパソコンに取り入れ、独自のソフトウェアをダウンロードすると、数値化したり映像化したりできるようになっている。工作をする過程そのものも、放射線への関心を引き出すことを意図した教材となっている。



市販試薬の放射線計測による新規放射線教育プログラムについて

(2020年度最優秀賞)

高校生を対象とする、入手しやすい市販試薬と教育用測定器を用いた放射線教材である。誰でもどこでも取り組めることに主眼を置いて、線源として塩化カリウム、塩化ルビジウム、酸化ルテチウムを用いることが大きな特徴である。いずれも天然放射性核種を含みながらも放射線管理が不要であり、取り扱いがやすく、広く活用されることを意図した教材といえる。その試薬を用い、どれが何であるか分からない3種類の試料を、教育用測定器と遮蔽（しゃ

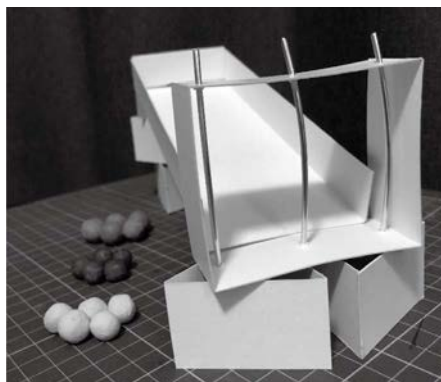


へい) 物、放射線の知識を活かしたり、計算をしながらどの試薬であるか特定していく。

動かして学ぶ放射線遮蔽模型

(2021年度最優秀賞)

放射線の線種による透過力の違いを、模型により視覚的に表現する教材である。粒子である α 線、 β 線は、磁石を中に入れた球体で表現し、 γ 線のような電磁波は、磁石を用いない球体で表現している。この球体として模擬された放射線が、遮へい物を模擬した、金属でできた網のような形状の模型を通過するときに、それぞれの放射線を模擬した球体がその「網」に磁力で吸い寄せられて止まる、あるいは通過する様子を見ながら、放射線の透過力を主に視覚で体感できる教材である。



偏光板でわかる！レントゲン画像の仕組み

(2022年度最優秀賞)

レントゲン画像撮影においては、身体の組織によってエックス線の透過の度合いが異なり、骨等は他の組織に比べて薄い濃度で描出され骨や臓器が撮影される。身体の組織によって濃度が異なる点を、偏光板を用いて表現していることが教材の特徴である。偏光板を2枚重ねると、それぞれの偏光板のスリットが重なり、その重なったスリット同士の角度によって、透過度に変化する。この性質を生かし、スリット同士の角



度を段階的に変化させ、透過度の濃淡によって手等の身体の構造をレントゲン撮影のように見せる教材である。

ここでは過去5回の最優秀賞のみを紹介したが、他の受賞作品においても、学生ならではのユニークかつ新鮮な視点が見られる。すべての受賞作品は動画や詳細資料を含め、放射線教育支援サイト“らでい”において紹介している。

放射線授業事例コンテスト

・概要

続いて「放射線授業事例コンテスト」(<https://www.radi-edu.jp/case-contest>) について紹介する。前項の「放射線教材コンテスト」は、大学生等が主体となり、放射線について学ぶ過程での発見や気づきによる新鮮な視点からの教材開発を促す取り組みといえる。それに対して、実際に学校の現場で放射線教育を行う教職員の実践に焦点を当て、その授業事例を広く紹介することを目的に実施しているのが、「放射線授業事例コンテスト」である。ここまでで紹介した「放射線教育支援サイト“らでい”」と「放射線教材コンテスト」には、放射線教育に取り組むための素材やアイデアを教職員に発信していく側面があるといえる。それらを用いて教職員自身が「自分も放射線授業をやってみよう」と、実際に取り組む契機となることを期待して、「このように授業に取り組めばいいのか」と参考になるような授業事例を紹介していくことで、放射線教育普及に寄与することを目的に開催している。

・受賞作品の公開

「放射線授業事例コンテスト」は、2022年度で3回目を迎え、毎年10件程度の授業事例が受賞し、「放射線教育支援サイト“らでい”」で公開されている。中学校、高等学校での事例が多く、また教科としては理科が多いが、中には小学校での学級活動、生活、道徳、社会、総合、自立活動での授業で受賞した事例もある。放射線に関する教育は、学習指導要領においては「現代的な諸課題に対応して求められる資

質・能力」として、「理科」「社会科」「国語科」「保健体育科」「技術・家庭科」「物理基礎」「物理」「保健」「家庭基礎」「家庭総合」「現代の国語」「公共」など、教科横断的に育成することが重要視されている。放射線を扱う教科が広がっていくことで、より放射線教育が広がっていくことが期待される。



*放射線授業事例コンテスト

今後の展望

「放射線教育支援サイト“らでい”」「放射線教材コンテスト」「放射線授業事例コンテスト」3つの取り組みについて紹介してきた。それぞれ目的や対象者が異なるものではあるが、放射線教育の普及という大きな方向性は同じにする取り組みである。それぞれの取り組みを連携させ、これまでにない交流から新しい放射線教育の手法が生み出される可能性が考えられる。例えば、「放射線教材コンテスト」に参加した学生等と、「放射線授業事例コンテスト」に参加した教職員がコラボレーションするような展開である。2022年度は、2つのコンテストの受賞者が一堂に集まる「放射線教育発表会」というイベントも開催し、両者が交流し始める端緒となった。放射線教育に関わる関係者の輪を広げて、さらなる放射線教育の普及に今後も寄与していきたい。

謝辞

本稿を執筆する大変貴重な機会をいただくとともに、「放射線教育推進委員会」においてこれまでに多大なご協力、ご指導をいただいております東京大学環境安全本部飯本武志教授に、心より謝意を申し上げます。

著者プロフィール

公益財団法人日本科学技術振興財団 人財育成部 主任。本稿で紹介した「放射線教育支援サイト“らでい”」「放射線教材コンテスト」「放射線授業事例コンテスト」の他、令和4年度放射線に関する教職員研修及び出前授業実施事業(文部科学省委託事業)を担当。

放射線安全技術講習会

— 受験対策の決定版! 優れた講師陣!! —

第66回放射線取扱主任者試験(第2種) 受験対策セミナー・開催のお知らせ

1. 期 日 2023年6月27日(火)～6月30日(金)の4日間
2. 会 場 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル4階
公益社団法人日本保安用品協会
3. 受講対象者 第二種放射線取扱主任者の国家試験受験を予定している方
4. 定員及び
受講料

定 員	受講料(消費税込)
20名	49,500円
5. 申込締め切り 各コースともに定員になり次第締め切りとさせていただきます。但し、コロナウイルスの感染拡大状況等により、講習会を中止とすることもございますので、ご了承ください。
6. 講習会主催者 公益社団法人日本保安用品協会
及び問い合わせ先 放射線取扱主任者試験受験対策セミナー事務局
〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル5階
TEL 03-5804-3125 担当 澄川
e-mail : r-seminar@jsaa.or.jp URL : <http://www.jsaa.or.jp>
7. 申込方法 申込は主催者ホームページの申込画面より行なってください。
8. 受講料の
お支払い方法 受講料のお支払いは当協会の指定する銀行口座へのお振込みとなります。

「2023国際医用画像総合展出展」のご案内

画像診断学・放射線腫瘍学・核医学を問わず放射線医学の全ての分野における、国内最大級のイベント、日本放射線技術学会・日本医学物理学会・日本医学放射線学会の学術大会が横浜で開催されます。弊社は今年も併設する「国際医用画像総合展 (ITEM2023)」に出展いたします。お馴染みの製品をはじめ、感染症対策商品のご紹介もいたします。

日頃ご愛顧を賜っているお客様にお会いできることをスタッフ一同、心待ちにしております。お客様のお役に立てる製品の展示をいたしますので、学会へお出かけの際はぜひお立ち寄りください。

* 展示予定商品 *

- ①高線量率密封小線源治療装置
「フレキシトロンHDR」「アプリケータ」
- ②放射線治療計画装置
「Oncentra Brachy」
- ③全身画像診断・放射線治療用患者体位固定具
「Zephyr」
- ④定位放射線治療用加速器システム
「ZAP-Xラジオサージェリーシステム」
- ⑤放射線治療装置用QA/QC製品
- ⑥ガラス線量計小型素子システム
「Dose Ace」
- ⑦個人放射線被ばく線量測定サービス
「ガラスバッジ」「ガラスリング」
- ⑧眼の水晶体用線量計「DOSIRIS」
- ⑨放射線業務従事者個人管理システム
「ACEGEAR NEO」
- ⑩ウイルス抑制・除菌用紫外線照射装置
「Care222[®] i シリーズ」

展示品内容は変更する場合がございます。

* 開催日時 *

- 2023年4月14日(金) 10:00~17:00
2023年4月15日(土) 9:30~17:00
2023年4月16日(日) 9:30~15:00

* 会 場 *

パシフィコ横浜展示ホール：
ブースNo.B1-07

* 学術大会 *

会期：2023年4月13日(木)~16日(日)
第82回日本医学放射線学会総会
第79回日本放射線技術学会総会学術大会
第125回日本医学物理学会学術大会



(担当：営業統括本部 高橋 萌)

サービス部門からのお願い

4月1日はガラスバッジ、ガラスリング、DOSIRISの交換日です。

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。

4月1日はガラスバッジ、ガラスリング、DOSIRISの交換日です。

ご使用期間が3月31日までのガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISは、ご使用期間終了後、速やかに弊社測定センターまでご返送くださいますようお願いいたします。

2022年度の個人線量の集計は、2022年4月1日から2023年3月31日までのご使用分が対象です。ご使用になったガラスバッジ等をすべてご返却ください。

法定管理帳票として「個人線量算定値管理票」を出力いたします。関係法令で定められた線量限度を超えていないことをご確認ください。

編集後記

- 日本原燃株式会社の田中治邦様に「原子力エネルギー利用の将来見通し」と題して現在の日本のエネルギー事情における原子力発電の位置づけおよび日本のエネルギー政策と選択される原子炉の型についてご紹介いただきました。地球温暖化防止に関するところから整理してご紹介いただけたことで原子力発電の位置づけを改めて理解することができました。
- 廃炉創造ロボコンでは、全国の高等専門学校の皆様の熱意を感じました。また、各企業の方が高専生へロボットの仕組み等を質問する場面もあり企業と高専生お互いの気付きと技術向上の場になっているのではないかと思います。
- 公益財団法人日本科学技術振興財団の加藤太一様に「放射線教育のさらなる普及へ向けた取り組み」と題して放射線教育支援サイト“らでい”の概要および「放射線教材コンテスト」「放射線授業事例コンテスト」の取り組みを紹介いただきました。放射線教育支援サイト“らでい”では講師の方への支援のみではなく、オンラインで児童生徒が自ら学べるコンテンツも用意されているとのことでした。放射線に関わる皆様の参考になるのではないのでしょうか。
- 東京大学医学部附属病院の中川恵一先生のコラムは52回目となりました。今回は養老孟司先生との共著『養老先生、再び病院へ行く』をご紹介いただきました。さっそく、読んでみたいと思います。
- 私は毎年スギとヒノキの花粉症に悩まされ、年々症状が重くなっている感じがしております。今年はここ10年で最も花粉の飛散量が多いとの情報もあり、これまで以上に対策をしていきたいと思っています。
(H.T.)

FBNews No.556

発行日/2023年4月1日

発行人/井上任

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也

藤森昭彦 篠崎和佳子 高橋英典 廣田盛一 前原風太 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体364円)