



Photo Kiranori Kirano

Index

競走馬専用の診療施設 ～ 馬医療の実際と今後の展望 ～	神谷 和宏	1
[施設訪問記®] － 福島県立医科大学保健科学部診療放射線科学科の巻 －		6
[コラム] 39th Column 【放射線治療医になったわけ】	中川 恵一	11
小型炉開発の歴史と現状	飯田 式彦	12
指定記録保存機関への放射線管理記録の引渡しについて		17
[放射線道場の喫茶室] 第14回 被曝線量の分布解析	鴻 知己	18
[サービス部門からのお願い] ご使用者の変更連絡はお早めに		19

競走馬専用の診療施設

～ 馬医療の実際と今後の展望 ～

神谷 和宏*

はじめに

今の時代、「トレセン」とネット検索すると、最初に「トレセン学園」が候補として上がります。このトレセン学園は、ウマ娘プリティードールビーというゲーム・アニメ（競走馬を擬人化したもので大変人気があるため検索候補上位に出てくるというわけです）でウマ娘達が鍛錬するために作られた学校です。今回ご紹介する「競走馬診療所」はトレセン学園のモデルである本家本元、競走馬のトレーニング・センター（通称トレセン）の中に存在しています。この競走馬診療所は、日本では珍しい「競走馬専用」の動物病院であり、一般の方にはほとんど知られていない施設と言えます。そこで、この診療施設の概要をご説明するとともに、競走馬臨床の一端をご紹介できればと考えています。

トレセンの役割

競走馬は、かつて、全国の競馬場で繋養され、その場でレースに出走するスタイルでした。しかし、社会の発展とともに競馬場周辺の市街化が進み、近隣の住環境保全等の観点から競馬場で馬を飼育管理することが困難となりました。このため、競走馬を管理する拠点として、東は茨城県美浦村、西は滋賀県栗東市にトレセンを開設し、中央競馬（JRA）所属馬を一元管理するシステムを作り上げました（写真1参照）。現在では、各トレセンに2,000頭余りの競走馬が在厩（厩舎で繋養されること）し、競馬のレースに向けた調教が行われています。これにより、レースに出る馬はトレセンで管理・調教され、競馬場に出張して出走するという形に変わったわけです。



写真1 トレセン

霞ヶ浦の畔にある美浦トレセンでは自然豊かな環境で2,000頭の馬が飼養されている。

このような形式になったことによるメリットは明確です。思い付くところを記載してみると、①市街地を離れ自然に恵まれた環境でストレスを軽減して調教を行うことができる、②ウッドチップコース（木屑を敷き詰めたコース）や坂路など馬に合わせたバリエーションに富んだコースで調教ができる、③競馬場のコース（芝馬場）を使用せずに調教するため競馬開催時の馬場を良い状態に保つことができる、④お客様が知りたい情報（調教状態や厩舎コメント）を一元化して迅速にマスコミへ伝達することができる、⑤馬の入退厩を厳格に管理して検疫を行うことで伝染病の蔓延を防止できる、⑥集約的に管理することで競馬の公正確保（ドーピングコントロールや馬の体調管理）を担保することができる、⑦馬医療の総合病院である競走馬診療所によって早期かつ適切な治療を受けることができる、といった競馬に直結する利点があります。言い換えれば、これらがトレセンの役割

* Kazuhiro KAMIYA 日本中央競馬会 美浦トレーニング・センター 競走馬診療所 管理課長

と見なすことができると思います。つまり、トレセンは、馬にとって快適な環境や医療体制及び強い馬づくりに適した先進的な調教施設を提供することに加え、競馬場の馬場保全やお客様への情報提供一元化等の競馬開催運営への貢献、更には、競馬の前提となる伝染病発生予防や公正確保等の役割を担っていると言えます。

競走馬診療所の役割

トレセンには従業員や地域住民のための病院もあり、これを人用の診療所で「人診（ひとしん）」、競走馬診療所を「馬診（うましん）」と呼んで区別しています。このように、競走馬診療所が人の病院と肩を並べるほど認知度が高く、トレセン内では重要な施設であることを表していると思います。

スタッフは約50名おり、その内訳は、獣医師28名、装蹄師8名、診療助手6名、診療事務9名（令和3年12月末時点の美浦競走馬診療所）です。半数以上を獣医師が占めるという偏った陣容は、競走馬診療所の特色と言えます。主な役割を列記しますと、①調教・競馬によって生じる疾病の診断・治療業務、②伝染病の予防・蔓延防止のための防疫業務、③在籍馬の病歴等を把握して出走の可否を判断する検査業務、④ドーピングコントロールのための指導業務、⑤装蹄業務（競走馬は約3週間に1回の割合で馬の靴である蹄鉄を打ち替える必要がある）、⑥強い馬づくりのためのコンサルタント業務、など幅広いものになります。馬診というだけあって業務の対象はやはり馬に特化しており、こうした業務を通じて競走馬の健康管理や競馬の公正確保を担っています。

競走馬の病気の特徴

ここからは競走馬の疾病に焦点を当てて話を進めていきます。馬の病気と言われて思い付くのはどのようなものでしょうか。まずは実際の診療概況をお示しして、皆様のイメージと照らし合わせてみたいと思います。年間の診療実頭数は延べ18,000頭程度（各トレセンに在厩している馬が常時2,000頭、その他にトレセン外で待機している馬が2,000頭で合計4,000頭程度がそれぞれのトレセンに所属している）であり、1頭当たり数回は病気になっていると言えます。その内訳は、概ね、運動器疾患50%、皮膚疾

患15%、創傷10%、呼吸器疾患10%、消化器疾患5%となっており、骨折、腱・靭帯炎、筋肉痛、関節炎等の運動器疾患が半数を占めています。

馬は自然界において、肉食動物から逃げるために速く、かつ、長い距離を走れるように進化してきました。その過程で肢は長く細くなり、他の動物よりも肢先に負担が掛かりやすい体形にあると考えられます。また、競走馬は、毎日のようにレースに向けてトレーニングしており、レースでは極限まで力を振り絞って運動する一流のアスリートです。このため、肢先や筋肉を傷める宿命にあると言えます。更に、運動器疾患の前後肢の割合を見ていきますと、馬特有の特徴が見えてきます。骨折の90%、屈腱炎のほぼ100%が前肢である一方、筋肉痛は80%が後肢となっています。これは、頭頸が長いことから体の重心が前寄りにあり、平常時でも体重の65%程度を前肢で支えていることに加え、走行時には前肢で体重を受け止めて方向転換していることが前肢に骨折・腱炎を発症しやすい理由になります。また、後肢の筋肉は推進力を生み出すために機能しており、走行時には大きな負担が掛かることで筋肉痛を引き起こすわけです。こうして診療データを見ていくと他の動物と馬が大きく異なることがお分かりいただけると思います。

運動器疾患の診断

ここからは実際の診療内容について説明します。まず、馬では最も一般的な疾患である運動器疾患の診断の流れを紹介します。ちなみに、通常、跛行（肢が痛く歩きが乱れている状態）した馬の診察は厩舎へ往診して行います。

- ①問診：過去の病歴を確認（全ての馬の医療情報はシステム管理している）し、跛行に至った経緯を聞き取ります。この情報が馬を診る上で重要なヒントになることもあります。
- ②視診：全身状態に加え、特に下肢部の腫脹等の炎症を視認します（馬には体毛があるため発赤は確認不可）。サラブレッドの体はほぼ均一なため、その変化が分かりやすいです。
- ③歩様検査：最も重要な検査であり、どの肢が痛くて跛行しているのかを主観的に判断します（馬獣医師の醍醐味であるが経験が極めて重要）。この際、最も参考になるのは點頭運動（痛い肢が地面に着く際に頭頸を上げて体



写真2 X線検査

骨疾患(馬の場合は骨折以外の骨疾患も多い)の診断に対して有効であり、X線検査の実施件数は年間約8,000件に及ぶ。近年はDR(デジタルラジオグラフィ)の導入により、その場で迅速に撮影結果を確認することが可能となった。

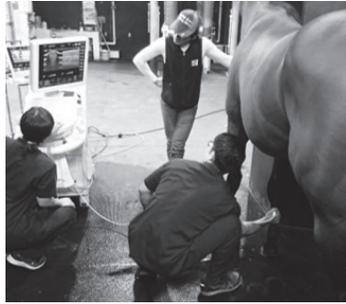
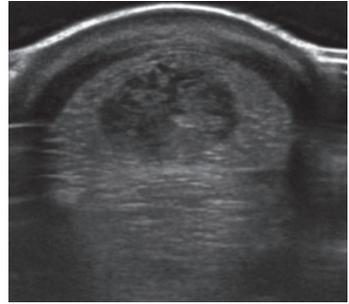


写真3 超音波検査

主に屈腱炎、靭帯炎の診断で使用し、実施件数は年間約1,000件に及ぶ。通常、腱・靭帯の損傷部位は右の写真のように血腫様に黒い低エコー像が確認できる。



重が掛からないようにする行動)であり、この運動が分かりやすい速歩(はやあし:対角線上の2肢が同時に着く歩き方でスキップするように体重を負荷するため痛みが発現しやすい)で検査することがポイントです。

④触診:痛めている肢を中心に、腫脹部を圧迫したり(圧痛)、関節を曲げたり(屈曲痛)、捻ったり(捻転痛)しながら、炎症部位を慎重に確認します。この際、痛めていない反対の肢も併せて触診して反応を比較すると痛い部位が分かりやすくなります。細菌に感染して腫れている場合は皮膚に触れるだけで強い痛みを示すため判別可能ですが、確認のため血液検査を実施する場合があります。

⑤検査:骨疾患を疑う場合はX線検査(写真2)、腱・靭帯疾患を疑う場合は超音波検査(写真3)を行い、更なる精密検査が必要な場合はMRI検査(写真4)を実施するのが通常の流れです。

検査によって跛行の原因が判明したら疾病に合わせた治療に移行します。

骨折に対する治療法・リハビリ

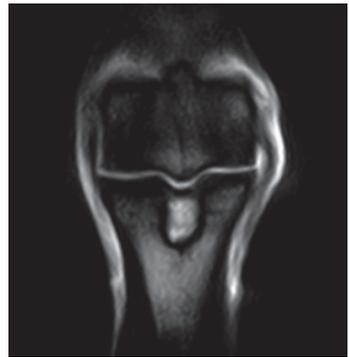
ここでは骨折と診断された場合の治療法と競走復帰までの流れについて解説します。

「馬は肢の1本でも骨折してしまうと助から



写真4 MRI検査

鎮静処置した馬を立ったまま撮影できる立位MRI装置を導入している。X線検査や超音波検査だけでは診断することが難しい蹄や下肢部の骨疾患、腱・靭帯疾患の検査で使用している。右の写真は第1指骨の骨炎症像を示している。



ない(予後不良)」といったイメージを持っている方もいるかもしれませんが、これはほとんどの場合、間違いです。骨折した馬の一部は救命困難となることがあります(骨折自体よりも反対肢に負担が掛かって蹄葉炎という合併症が原因で予後不良になることが多いです)が、骨折の多くは骨の一部が剥がれただけのものも多く簡単な手術で治すことができます。また、現在では重度の骨折であっても手術で治すことができるようになってきました。つまり、骨折の多くは命の心配など全くなく治癒したり、治療することが可能です。

手術を行う上で麻酔を掛けることが必須ですが、人や小動物よりも体が大きいという点で馬の麻酔法は極めて特殊です。全身麻酔で馬を寝かせたり手術が終わって起こす時には患肢に体重が掛かって骨折の状態が悪化してしまうおそれがあります(これが原因で予後不良となるこ



写真5 骨折(手術前)
前肢にある第1指骨が縦に大きく骨折している。



写真6 CTによる状態把握
螺子固定するにはCTを活用している。3次元で骨折を描出できるため手術方針を立てやすい。



写真7 骨折(手術後)
螺子を挿入して固定することで骨折線が消失していることが分かる。

ともあります)。また、草食動物ゆえに腸が重いことによって麻酔中に肺が圧迫されて呼吸管理が難しいといった問題も抱えています。こうしたリスクを乗り越えて初めて手術が可能となります。

では、実際にX線検査で判明した骨折症例を紹介します(写真5)。この症例のように大きく骨折している状態の場合、このままギプスなどで外固定しても治癒することはないため、手術が唯一の選択肢になります。こうした骨折は螺子(スクリュー)で内固定する手法が取られますが、まずCT(写真6)で骨折の状態を3次元で把握して方針を立ててから手術を開始します。CTを導入する前は2次元のX線像で骨折線を想像して螺子を打ち込まざるを得ませんでした。今ではより正確に骨折箇所を固定することが可能となりました(写真7)。

術後の管理では、小動物の場合、術部の細菌感染には強く、通常は1週間程度ギプス等を巻いたままとすることが多いと思います。一方で、競走馬は調教やレース等によりストレス下に置かれている場合が多く、感染しやすい状況にあるため毎日術部を洗浄して清潔に保つ必要があります。また、手術の侵襲や抗生剤の投与により、腸内細菌叢が崩壊して大腸炎などの合併症を発症することもあります。こうした合併症は生死に関わることから、麻酔や術前後の疼痛管理、術後腸炎を予防するための処置等、細心の注意を払いながら手術を行うことになります。

術後、競走復帰を目指す場合にはリハビリも重要です。写真5のような骨折の場合、レースに出走できるようになるまで1年程度を要すると考えられます。まず、術後3か月程度馬房内にて休養し(馬は運動できないと腸の動きが

悪くなり、便秘等の合併症を引き起こす場合があります)、4～6か月は状態を見ながら運動をしていき、6か月以降に騎乗調教を行うといった流れになります。また、騎乗調教でも軽調教からレースに向けた追い切りと言われる強調調教まで様々な段階があり、患部の状態を確認しながら慎重に進度を上げていきますが、関節炎等により状況が悪化した場合には、復帰への道は閉ざされてしまうおそれもあります。また、競走馬の場合は単に騎乗できるようになるまでで終わりではなく、アスリートとしてレースに出走するためには有酸素・無酸素運動能力を極限まで高める必要があることから、このリハビリ過程は人馬ともに大変な苦勞があると言えます。

検査・診療技術の今後の発展

ここまで骨折を発症した競走馬の治療から復帰までを説明してきました。このような治療は競馬資源(馬なくして競馬なしという意味)と言われる競走馬を復帰させることができることに加え、競馬を支えてくださるお客様に対しても明るい話題を提供できるものと考えています。一方で、馬のためには、骨折そのものを減らしていくことも大事であり、この思いを体現したものとして、事故防止対策という40年程度続いてきたJRAの施策があります。

昭和53年、「流星の貴公子」と言われた大変美しく、人気のあった名馬、テンポイントがレース中に事故(重篤な骨折)を起こしてしまいました。「命だけは救って欲しい」というオーナーを始め全国の多くの競馬ファンからの願いから、当時では大変難しい(今の時代でも極めて困難

な)手術に踏み切りました。先輩方が大獣医師団(33名!)を組み、手術を行い、その後43日間の壮絶な闘病生活を送りました。その状況は毎日のように報道され、安楽死になった最期はNHKのトップニュースにもなったと聞いています。このような事故を少なくしたいという考えから誕生したのが事故防止対策委員会というものです。実際、当時から比べると今の事故率(レース中に骨折する割合)は半減しており、十分な成果を上げていると言えます。事故を減らすためには、馬場や調教方法の改善など様々な視点からの対策が必要ですが、獣医師が担うのは主に疾病予防です。

最近の我々の調査において、下肢部の骨折よりも上部部に骨折を発症した場合に予後不良となる割合が高い、ということが判明しました¹⁾。前述のとおり、骨折はもちろん下部部に多いため、あまり普段は意識しない事実が分かったこととなります。では、上部部の異常を早期に発見して休養することにより大きな骨折を防ぐことができるのではないかという単純な考えに至るのですが、これが簡単ではないのです。上部部、つまり肩や骨盤周りには大きな筋肉が付いており、人や小動物のように直接X線検査ができません(筋肉量が多いため線量不足となります)。このため、超音波検査で概観を確認するのですが、詳細検査は不可能なため、大きな事故の予兆となる微細な骨折や骨炎症像を捉えることはできていません。そこで期待されるのが、海外では一般的に行われている核医学検査である骨シンチグラフィです。

骨シンチについて、その検査法を簡単にご説明します。まず、テクネチウム99m(半減期6時間)を馬に投与し、約2時間後に、γ(ガンマ)カメラで撮影します。テクネチウムは骨の炎症部位に集積するように調合されており、そこから放出されるγ線を描出することにより骨折や炎症像を把握することができます。また、馬のように筋肉量が多くてもγ線は透過するため、X線検査ができない部位であっても描出が可能というわけです。しかし、この検査法は放射性同位元素(RI)を使用するため、以前は国内の獣医療で応用するのは法令上、不可能でした(人医療では検査や治療で広く応用されています)。2009年に獣医療法施行規則が改正され、厳しいルール(テクネチウムを投与された馬は48時間隔離しなくてはならないなど)があるものの、馬では骨シンチが実施できるように

なりました(小動物臨床では国内で唯一、青森県の北里大学獣医学部附属動物病院で核医学検査が運用されています)。現在、JRAではこの核医学検査を導入できないか、調査・検討を行っており、超えるべき課題は多岐(放射性廃棄物の取扱い、施設整備費、ランニングコスト、検査するための人材育成などなど)にわたりますが、馬の事故防止・福祉の観点から導入の価値は十分にあると考えています。

最後に

馬医療は日進月歩であり、特に、これまで述べてきたように診断技術の向上がその変化を支えていると思います。X線検査にしても、フィルムに現像していた時代からデジタルラジオグラフィィーに変わり、解像度が大きく改善しました。それに加え、現在ではCTが臨床応用され、手術精度の向上に貢献しています。今後は、核医学検査など新たな検査法を導入していくことで更なる進展が期待できると考えます。一方で、我々JRA獣医師も診断機器の進化に負けないよう、馬のために日々精進していきたいと思えます。

参考文献

- 1) 平地競走における騎手の落馬に関するリスク要因の解析
2019年 競走馬に関する調査研究発表会

著者プロフィール

埼玉県立春日部高校を経て北海道大学獣医学部に入学。学生時代は獣医外科学教室に所属し、教員の指導の下、小動物の腫瘍に対する放射線治療を経験。2000年に卒業し、同年、JRA(日本中央競馬会)に入会。獣医師として、主に競走馬診療所での臨床業務



(16年)に携わり、JRA本部において競馬全般や獣医事に関わる事務的な業務も担当。現在は美浦トレーニング・センター 競走馬診療所 管理課長として診療所内の総務を担当。昨年、第1種放射線取扱主任者資格を取得し、馬医療に核医学検査を導入できないか検討中。仕事をする上でのモットーは「馬のために」。学生時代からの趣味は競馬、今は競馬が職業。

— 福島県立医科大学保健科学部診療放射線科学科の巻 —



(福島県立医科大学のホームページより引用)

我々、FBNews編集委員一同は新型コロナウイルスの感染者が激減し、秋深まる11月に令和3(2021)年4月に開設された福島県立医科大学保健科学部診療放射線科学科を訪問いたしました。

福島県立医科大学では、これまで医学部・看護学部にて医師・看護師を育成されてこられました。

保健科学部は専門医療技術者(理学療法士、作業療法士、診療放射線技師、臨床検査技師)を育成し、福島県内の地域医療を支えるために開設されました。

これにより福島県立医科大学は3学部(医学部・看護学部・保健科学部)6学科(医学科、看護学科、理学療法学科、作業療法学科、診療放射線科学科、臨床検査学科)となり東北唯一の医療系総合大学と呼ぶにふさわしい大学に進化しました。(福島県立医科大学の大学案内より引用)

福島県立医科大学は東日本大震災および東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故以降、ふくしま国際医療科学センターを中心に、県民の方々の心と身体に寄り添いながら、福島の復興の中核を担ってこられました。今回、保健科学部が開設されたことにより新たな一歩を踏み出したと言えます。

保健科学部について

保健科学部の校舎はJR福島駅より徒歩5分のところにあります。余談ですが、弊社の営業所は保健科学部の校舎より徒歩圏内にございます。

保健科学部の建屋は8階建てで、全体的にガラスと木を表面に使用された非常に素敵な建物です。

今回、診療放射線科学科の久保学科長にご案内



写真1 久保学科長

いただきました。(写真1) 保健科学部を開設するにあたった理由は、前述のとおり専門医療技術者(理学療法士、作業療法士、診療放射線技師、臨床検査技師)

を育成し、福島県内の地域医療を支えるためです。

令和3(2021)年度より新規学生の受け入れを開始。定員は以下のとおりです。

理学療法学科、作業療法学科、臨床検査学科：各40名 診療放射線科学科：25名

この定員は開設後の10年間で福島県内の各分野の医療従事者の需要と供給が一定となる人数を福島県が試算して決められました。

保健科学部の教員は学科の専門教員各15名(4学科で60名)、総合科学系の教員7名の合計67名。まだ1年目という事もあり着任されていない教員もおられますが、令和5(2023)年度には全教員が着任予定です。

診療放射線科学科の教員は全員、医療従事者の資格免許を持っています。内訳は診療放射線技師13名、医師1名、歯科医師1名で全国各地より来られました。1学年の定員25名に対して15名の専門教員がおられますので少人数教育ができる環境が整っています。

久保学科長は、診療放射線技師を育成するだけでなく、医療系の技術者として様々な広い視野を持ち、考えて様々な場面で対応できる人材を育てていきたいと抱負を話されていました。

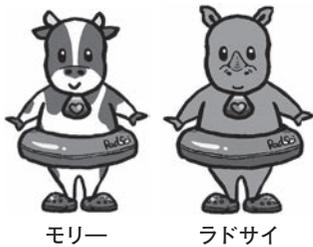
特に医療施設で勤務できる人材を育てることは診療放射線技師養成施設としては当たり前。チー

ム医療とは何かを教育し、役割を果たせる人材育成を目指していくそうです。

また、福島県は東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により大きな被害に見舞われました。住民の方々へのリスクコミュニケーションができる人材の教育も重要視しているとのことでした。

新型コロナウイルス感染拡大防止による緊急事態宣言下でしたが、学生の方々と入学時より極一時を除いて対面で授業を実施できました。理由は在校生が1年生のみのため、保健科学部内のソーシャルディスタンスがとれ、密が防げたため実施できたそうです。

診療放射線科学科のキャラクター



診療放射線科学科には、独自のキャラクターがあります。「モリー」と「ラドサイ」です。「モリー」は学生が発案。名前はMRIをもじって付けられました。

牛がモチーフで白黒の模様となっています。これは、診療放射線技師が用いるエックス線等により撮影した画像が白黒であることから採用されているそうです。また、持っている浮き輪はCTおよびMRIのガントリーをモチーフとしています。

一方、「ラドサイ」は「モリー」ができた後、診療放射線科学科の英語名であるDepartment of Radiological Sciencesを略したRadSci (ラドサイ) から教員がサイも欲しい! と学生に依頼し制作されたキャラクターです。

施設見学

説明を受けたあと、地下1階の診療放射線科学科の実習室を中心に、保健科学部内の見学をさせていただきました。各フロアは以下のとおりとなっております。

- 地下1階：診療放射線科学科を中心とした実験実習室
- 1階：エントランスと多目的ホール
- 2階：図書室、ICT室
- 3階：講義室

- 4階：作業療法学科を中心とした実験実習室
- 5階：理学療法学科を中心とした実験実習室
- 6階：臨床検査学科を中心とした実験実習室
- 7階、8階：多目的スペース、研究室

7階・8階 多目的スペース、研究室等

7階と8階は同じフロア形状になっており、真ん中に階段が設置されており上下の行き来が自由にできるようになっています。また、中央に自習用のフリースペースがあり、福島県立医科大学の学生であれば誰でも自由に使用できます。

3階 講義室

45名程度が入れる11の講義室と100名程度入れる大きな講義室があります。(写真2) 全ての講義室には、最新のプロジェクター、電子ペン等が用意されています。



写真2 講義室で説明を受けている様子

2階 図書室、就職支援室、ICT室

2つあるICT室には大学の学術情報のコンピュータがそれぞれ54台用意されています。(写真3)

ICT室では学生が実習および自由に出入りして自



写真3 ICT室内

習することができるようになってきました。ヘッドセットも備えており、英語の教育も実施されています。

1階 多目的ホール、事務室

最大400名入れる多目的ホールがあります。(写真4) 可動式の間仕切りがあり、ホールを小さくしてロビーを広く使えるようにも設定できます。

福島県立医科大学と密接に関係する研究会等、大学が関連する行事に貸出しすることが可能だそうです。



写真4 多目的スペース

地下1階 実習室

主に診療放射線科学科の実験実習室があります。(図)



図 地下1階フロア図
(福島県立医科大学のホームページより引用)

放射線管理計測実験室

こちらでは基礎的な放射線実験および臨床実習を実施します。

各種サーベイメータ、電子式ポケット線量計、人体ファントム、DDシステム、RADCAL、鉛ブロック等があります。人体ファントムは、乳児、5歳児、成人男性、成人女性の4体があります。特に乳児ファントムを用意されているところは少ないのでは

ないでしょうか。今後、ゲルマニウム半導体検出器も導入予定です。

なお、保健科学部内には非密封の放射線源を使用できる管理区域の設定はありません。そのため、非密封放射線源を使用した実験は光が丘キャンパスの施設を利用します。光が丘キャンパスにある放射性同位元素研究施設へ小動物用PET-CT装置とヒト用(臨床用)SPECT装置を教育研究専用で別途設置する予定です。

放射線治療計画実習室

こちらでは放射線治療計画の実習を行います。(写真5) バリアンメディカルシステムズ社製の最新版の治療計画装置Eclipseを18台導入しています。CT等で撮影した画像を使用して実際に治療計画を作成し、治療装置へデータを送信する手前までのシミュレーション的な実習が可能となっています。

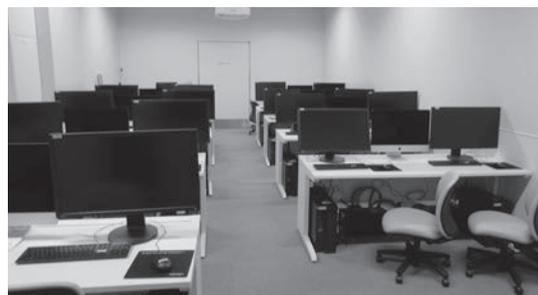


写真5 放射線治療計画実習室

医療情報サーバー室

放射線治療計画実習室の先にはサーバー室があり、一般病院に設置してあるHIS (Hospital Information System: 病院情報システム)、RIS (Radiology Information System: 放射線科情報システム)、PACS (Picture Archiving and Communication System: 医療用画像管理システム)が設置されています。実際に模擬患者の情報を作成して電子カルテに登録し、撮影等の検査オーダーとその実施や放射線治療等の実際の動きに合わせて実習することができます。

サーバー室内は防音措置が施されており、外に音が漏れない工夫がされています。

画像生成化学実験室、画像生成特別実験室

画像生成化学実験室は、化学実験室です。

画像生成特別実験室には、3Dプリンターが2台用意されています。1つは比較的小さいものを作成する光造形型のプリンターで、もう1つは比較的大きなものを作成することができるFDM型のプリンターとなっています。

3DプリンターではMRIやCTの画像を取り込んで、臓器を造形する等で利用しているそうです。訪問時は脳のサンプルを見せていただきました。(写真6)

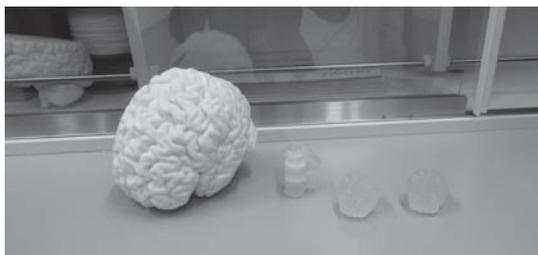


写真6 3Dプリンターで製造されたサンプル

X線画像実習室

X線撮影室1、X線撮影室2、X線透視撮影室、X線CT室の4つの撮影室からなっています。

これらの操作室は大きな部屋となっていますが、撮影室毎にパーティションで仕切られるようになっており、実習時はそれぞれの部屋の前で集中して行うことができます。

X線撮影室1

キヤノンメディカルシステムズ社製の一般撮影装置が2台設置されています。装置のグレードは



写真7 撮影室

全自動と半自動と異なるタイプを設置しています。これは、今後臨床の場に出ていく学生が勤務先でどのような装置を扱うことになっていても対応できるように考えてのことです。(写真7)

また、全ての撮影装置に面積線量計が設置されており、線量測定も実施できるようになっています。

X線撮影室2

富士フィルムメディカル社製の乳房撮影装置と骨塩定量装置、キヤノンメディカルシステムズ社製の一般撮影装置、およびポータブル撮影装置(院内移動型と可搬型)が設置されています。室内に人体ファントムが車いすに乗った状態で置かれており、少々ビックリしました。(写真8) このファントムには骨等を模擬した物質が入っており、X線撮影等の実習で使用されます。



写真8 車いすに乗ったファントム

X線透視撮影室

キヤノンメディカルシステムズ社製のCアーム式透視装置が設置されています。オーバーチューブ、アンダーチューブのどちらでも照射撮影が可能なタイプです。

また、多くのプロテクターも用意されています。(写真9)



写真9 プロテクター類

エプロンタイプは鉛当量が異なるものが多く用意されており、プロテクターの重さや性能の違いを学生に体感していただくことができます。

また、セパレートタイプ、ネックガード、防護手袋も用意されていました。

血管用造影剤を入れて使用する血管のファントム、バリウムを入れて使用する腸管のファントムと様々なファントムも用意されています。

X線CT室

シーメンス社製のCTが設置されています。(写真10)

こちらの装置では治療計画を行う実習用も兼ねているため、位置決め用レーザーや位置決め装置、QA・QC用の各機器が用意されています。

また、天井に3Dカメラが導入されており、患者を寝かせるだけで位置を自動で調整することができる仕組みも有しています。



写真10 CT装置

MR実習室

GE社製の3T(テスラ)の装置が設置されています。訪問時も稼働中で磁場が発生していたため、体験実習をさせていただきました。

身体から金属を全て外し、手に金属製のはさみを持って室内に入る実習です。はさみが装置に引き込まれないよう紐でぐるぐる巻きに固定して、MRI室へ恐る恐る入室。(写真11) 少しづつ装置に近づいていくと、ある場所ではさみを持った手がMRI装置の方へ引き寄せられ始めました。非常に強い引きにびっくりしました。

MRIで金属が引き込まれる事故を耳にしたことがありましたが、理解できました。久保学科長自ら金属製の鎖を使用しての実習も見学しました。



写真11

写真では見えにくいかもしれませんが鎖がMRI装置に向かってまっすぐに強く引かれています。(写真12) 鎖の場合、身体ごと持っていかれることがあるので注意が必要と話されていました。

MRIの検査を受ける際、皆様注意してください。



写真12 装置に引かれる鎖

最新の装置、機材が用意されており、充実した教育の場となっていました。

私共も初めて見る装置や機材の説明を受けることができて大変勉強になりました。

お忙しいところ、ご対応いただきました久保学科長および関係者の皆様に紙面をお借りして御礼申し上げます。

今回の取材はFBNews編集委員の加藤、高橋、福島中通事務所の鈴木、仙台事務所の和田、舟田が伺わせていただきました。

記念写真は保健科学部の屋上で撮影させていただきました。(写真13) 見晴らしが良く、気持ち良かったです。



写真13 屋上で撮影

(文責：高橋 英典)



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

放射線治療医になったわけ

医学生の頃から、がんに関心がありました。医者の中にも、がんに関心がある人とそうでない人がいるようです。私はずっと、「がん派」で、学生の頃は、国立がんセンターの胃透視のティーチングフィルムのスケッチをしていました。

当初は、がんの画像診断をするつもりで、東大放射線科に入局しました。しかし、すぐに、学生の頃には「ゴール」と思っていた病気の診断が、臨床現場では「スタート」だと分かりました。

放射線科に入局したものの、画像診断への関心が薄れる中で、出会ったのが、「がんの放射線治療」でした。

80年代後半はがんの拡大切除が一世風靡した時代でした。例えば、乳がんの手術では、今は、がんの部分だけ切除して乳房全体に放射線を照射する「乳房温存療法」が主流ですが、当時は「拡大乳房全摘術」が行われていました。ハルス^{えきか}テッドの手術（乳房切除+大胸筋、小胸筋、腋窩から鎖骨下リンパ節の切除）の切除範囲に加え、鎖骨上リンパ節、内胸リンパ節まで郭清していました。

手術後に放射線治療（術後照射）を行うことも多く、手術後の乳がん患者と話す機会もずいぶんありましたが、女性のシンボルであるはずの胸は骨と皮。まさに、洗濯板のようでした。乳房再建術などなかった時代、鏡を見ることが怖い、温泉に入れない、ご主人に浮気をされた、といった訴えをよく聞いたものでした。

ともかく、命さえ助かれれば文句は言うな、といった「上から目線」の外科医が多かったと思います。もっと、エレガントにがんを治せないかと思うていました。

ただ、当時も、欧米では、放射線治療が台

頭する気配がありました。例えば、米国では、手術向きのがんの代表の胃がんが減少して、乳がんや前立腺がんといった放射線治療が有効ながんが増え始めていました。日本でも、「がんの欧米化」が必ず起きるはずだと思っていましたから、迷わず、放射線治療を選びました。

その予測は正しいものでした。今や、前立腺がんの患者はネットなどで情報を集めて、自ら、放射線治療を選ぶケースも増えています。東大病院での前立腺がんの治療件数は、2020年にはじめて、放射線治療が手術を上回りました。全く、隔世の感です。

今、コロナで、がん検診が自粛された結果、早期がんを中心にがん患者の数が減っています。手術も、大幅に減っていますが、放射線治療の件数はむしろ増えています。東大病院の場合、早期の肺がんは4回、前立腺がんでは早期から進行例まで5回の照射で治療が終わります。一回の治療時間は1～2分で、患部の温度は1/500度上昇するだけ。何も感じません。放射線治療は「コロナに強い」という評価が進んでいるように思います。

もちろん、放射線治療は原則、通院ですみませんから、がん治療と仕事の両立を可能にします。治療にともなう収入の減少幅も、放射線治療の方が手術より軽微というデータも出ています。少子化が進む中、単一民族の道を選んだわが国では、高齢者が働く他、経済成長も社会保障制度の維持もままなりません。働くがん患者が増える「がん社会」にピッタリの治療です。

ただ、治療を受ける側が、これまでのように、「がん治療＝手術」と思っていれば、放射線治療にたどり着くことは困難です。日本は外科医が多く、かつ、生検も外科医が行いますので、どうしても手術が優先されることになります。放射線治療の存在とそのメリットをいかに国民に伝えるかが重要な課題です。

小型炉開発の歴史と現状



飯田 式彦*

1. 1990年代に米国許認可に挑んだ小型モジュール炉

1995年、IAEAにより記念碑的な中型・小型炉に関する報告書¹⁾が発行された。この報告書の中で、エネルギー需要が急増すると予測された、比較的容量が小さい電源、遠隔地の熱を含むエネルギー供給、海水脱塩などの特殊目的への原子力の適用、などに好適とされる中型・小型炉の技術仕様と開発段階についての包括的なリストを見ることができる。このIAEAの報告書のタイトルで使われたSMR (Small and Medium Reactor) という表記は現在ではSMR (Small Modular Reactor) と読み替えられている。

IAEAの報告書が発行された1995年の段階で、すでに建設を目指しフォーマルな許認可に挑んでいた小型炉の一群があった。Modular High-Temperature Gas-cooled Reactor (MHTGR)²⁾、Sodium Advanced Fast Reactor (SAFR)³⁾、Power Reactor Innovative Small Module (PRISM)⁴⁾である。これらの小型炉は設計だけでなく、米国規制委員会 (NRC) に対する許認可申請も米国エネルギー省 (DOE) の主導のもとに推進され、1980年代から1990年代半ばにかけて精力的な設計研究とNRCによる審査が行われている。しかし、その後DOEの関心が遠のくとともにプロジェクトは終結する。

MHTGR、SAFR、PRISMともに小型のモジュールを組み合わせて大型発電所を構成する。たとえば、PRISMの場合、一基発電能力が155MWeのモジュール原子炉3基を組み合わせて465MWeのモジュール発電所あるいは9基を組み合わせて1,395MWeのモジュール発電所を構成する。この場合に小型モジュールを9基独立して並べるだけ

では発電所としての経済性向上効果は期待できないために、大型化によるコスト低減が見込まれるタービン発電機は、1,395MWe一基で構成してスケール効果を狙う。原子炉単体は小型炉であるが、プラントとしては中型から大型の発電所を目指しているのである。

一方、IAEAの報告書で指摘されているように、遠隔地のエネルギー供給、海水脱塩などの特殊目的のための小型炉が依然として世界では必要とされていた。それぞれの需要地のエネルギー需要は小さい。例えば逆浸透膜法と脱塩プロセスによるエネルギー収支に基づけば50MWe (135MWth) で100,000 m³/dayの海水の淡水化が可能であり⁵⁾、1日に50万人への飲料水を供給できる。当時水不足が深刻だった北アフリカの、人口が数万人地域の淡水需要よりもはるかに大きいのである。あるいは、135MWthの熱を使って310℃で238 ton/hrの蒸気を供給できることから、これはカナダを含む北米大陸のオイルサンド掘削に好適な容量の熱源となりうる⁶⁾。こうした、多様な目的に適合する小型炉の建設を目指した許認可活動は次の2000年代を待たなければならない。

2. 2000年代に米国許認可に挑んだ4S炉

4S (Super Safe Small and Simple) は、1989年米国の原子力学会でやや異端なデビューを行う。当時サハラ砂漠で砂漠化が進行していたその前縁に緑化地帯を形成するためのエネルギー源として利用可能かどうかのフィージビリティに関する提言であった^{7)、8)}。

2000年末、米国法律事務所よりアラスカのGalena市が4Sに関心を示していることが伝えられた。こ

* Norihiko HANDA 株式会社E2M 代表

の米国法律事務所は2000年初めに複数の米国上院議員秘書に対して4Sを紹介するためのアレンジをしたShaw Pittmanである。この一連の米国訪問では、後にDOEの次官補となるPete Lyon氏との面談が印象に残る。4Sの小型炉の特長に賛同してくれたPete Lyon氏は、2011年DOE原子力エネルギー次官補就任後に米国の小型炉プロジェクト復活の推進役として活躍するのである。

アラスカのGalena市から招聘が来たのは2003年8月のこと。市議会、市長、アラスカ州知事との一連の会談を行う。Galena市をはじめ山に阻まれ送電網どころか陸路さえない遠隔地ではエネルギー源はジーゼル発電であり、その燃料供給はユーコン川を使った船輸送に頼っている。しかし、秋から春先まで川は凍結し燃料は輸送できない。エネルギーコストは高く当時30¢/KWhを超えていた。燃料を交換する必要性がなく、運転がしやすく、遠隔地に設置できる安全な小型の原子炉に関心が集まったのである。Galena市からの招聘が来るまでの詳しい経緯とその後の展開と終結までの出来事は、Galena市のCity ManagerであったYoder氏の著書⁹⁾に詳しい。

日米4SチームはNRCとの事前の議論を経て、2007年に事前審査の入口である第一回パブリックミーティングに参加するとともに、事前審査のための技術報告書を作成した。日米4SチームがNRCに提出した資料例を参考文献¹⁰⁾に示す。この間、NRCからはGalenaに建設することを想定したとしても、事業主体つまり電力会社の形を明確にするように何度も促される。Galena市はサイトであり需要側であるが、供給側の体制がはっきりしないとNRCとしては本格的な審査にはいることができない、というメッセージであった。建設し発電を担う事業主体の存在の有無が審査を継続するためには大きかったのである。

NRCとの事前審査を通して多くの教訓を得、標準設計認証に関する課題を認識した。このうち、実験データとデータ処理についての高い品質要求、推進側とは独立した機関による設計ガイドや基準の策定及び当時は日本ではなじみのなかった安全評価手法（PIRT：Phenomena Identification and Ranking Tables）が求められたことが強く印象に残っている。4Sの事前審査のためのパブリックミーティングには、米国での小型炉の再度の登場を狙い設立された複数の新会社がいつも観客と

して同席していた。4Sの米国での許認可活動が下火になるにつれて、今度は彼らがDOEとともに手を上げるのである。その前に、小型炉の経済性と安全性について議論を深めておこう。

3. 小型モジュラー炉と小型モノリシック炉 それぞれの経済性目標

小型炉の経済性は、小型モジュラー炉による中型・大型発電所の市場と、小型炉一基によるモノリシックな発電所の市場を分けて考える必要がある。

MHTGR、SAFR、PRISMはモジュラー炉であり中型・大型発電所を目指していた。したがって市場に参入するためには、既存の大型原子炉発電所のコストに対してこれらのモジュラー発電所が競争力を持てるかどうかが問われる。例えば米国の原子力発電コストは3-4¢/KWh（2016年）であり、これが米国のモジュラー発電所が目標とすべき発電コストである。小型モジュラー炉でよく言われている標準化によるコスト低減効果は、モノリシックな大型炉でも連続して建設すれば同じ効果が得られる。したがって、小型モジュラー炉のコスト低減はシステムの簡素化をどれだけ進められるか、工場で生産できる部分をできるだけ拡大して現地工事量を減らし短工期が実現できるか、が鍵となる。MHTGR、SAFR、PRISMは、事故時の非常用炉心冷却系を不要とし、原子炉停止後の崩壊熱を自然循環と自然通風により除去する静的なシステムを導入することにより、安全システムの大幅な簡素化を図りコスト削減を図るとともに工期を短縮し、大型発電所並みの建設コストと発電コストを達成可能であると主張した。

一方、4Sのような遠隔地の需要に即したモノリシックな小型炉では、ジーゼル発電所、地域によっては再生エネルギーによる発電所、そして天然ガスによる小型発電所による発電コストが競合すべき市場である。たとえば米国ハワイ州の発電コストは37¢/KWh（2015年）であり、これがハワイ州に立地する小型炉の目標となる。こうした地域では、化石燃料の輸送にかかる費用が大きいこと、再生エネルギーでは天候に恵まれない地域が多く高価な蓄電システムを併用する必要があること、がコストを押し上げているのである。したがって、単機だけでは高価とされるモノリシックな小型炉でも市場競争力をもつ可能性がある。

4. 小型炉の目指すべき安全性

原子力発電所の安全目標は世界的に共有されている。大型炉も、小型炉も同じ安全目標を満足するように設計するならば安全性のレベルは同じである、と言うと身も蓋もない。上記のPRISMのようにモジュール原子炉9基を組み合わせた1,395MWe発電所の安全目標が、1,300MWe級のモノリシックな原子炉発電所と同等の安全目標を目指すならば、モジュール原子炉一基当たりの非安全性つまり炉心損傷確率は、モノリシックな大型炉のすくなくとも1/9にしておかなければならない。一方で、これから市場に参入する新しい原子力発電所は既存の原子力発電所より高い安全性が望まれる。それでは従来の原子炉に対して何を改善すればより高い安全性が得られるのか。現在運転中の大型炉のPSA (Probabilistic Safety Assessment) の結果からそれらを点検してみよう。

PSAは炉心が損傷するような事故が起こるとすれば、どのような故障の組み合わせでそれが起きるのか、について網羅的な検討を行う。もっとも検討が進んでいる米国の例を図1に示す¹¹⁾。図1は米国で稼働中の15サイト28基の原子力発電所のPSA結果を整理している。この結果から二つのことが明らかになる。現在運転中のプラントの非安全性(炉心損傷確率)を支配する因子はプラントの火災と地震である。そして、地震により炉心損傷に至るシーケンスの中身をみると、先ず耐震クラスの低い外部電源が喪失する。次いで地震により非常用の電源を起動させるための制御系やリレー等の電気系の不具合が生じ(全交流電源喪失)、さらに直流電源であるバッテリー系統が故障し(全電源喪失)、原子炉停止後の崩壊熱の冷却に失敗する頻度をもっとも大きい。地震の影響と

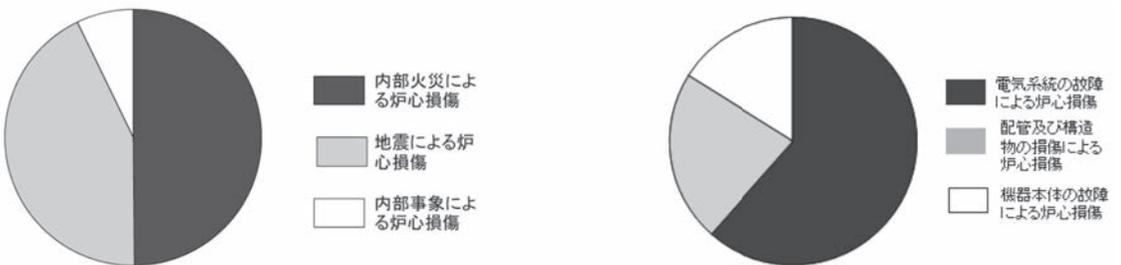
は、構造物の機械的な破損ではなく、全電源喪失に伴い冷却材を循環させるためのポンプ動力やその他の動的機器の動力を失い、最終ヒートシンクに熱を伝達することができないことに顕著に現れる。したがって、すべての電源を失っても、冷却材の自然循環や最終ヒートシンクとしての大気への自然通風や容量の大きいプールへの放熱により、原子炉停止後の崩壊熱を除去できる静的システムとすることが、より安全性向上を目指した原子炉の優先度の高い要件となる。炉停止後の崩壊熱が小さい小型炉はこのような要件を達成しやすい。プラント内の火災についてもケーブルの損傷により主要な電源系統を失うことが指摘されていて、電源によらない安全システムを構築すればより安全性は向上する。実際、MHTGR、SAFR、PRISM、4Sはじめ次章で紹介する現在提案されている小型炉はいずれもこうした特長を備えているのである。

5. 立ち上がった小型炉プロジェクトの現状

現在、カナダ、英国、米国、中国、ロシアで実施主体が明確な本格的な小型炉プロジェクトが開始されている。そしてフランスのマクロン大統領は、2021年10月12日に将来の輸出戦略を見据えて小型炉開発のために10億ユーロを投資すると公表した。

5.1 カナダ

カナダでは二つのプロジェクトが進行中である。一つはカナダ原子力研究所(CNL)のビジョンであり、2026年までにCNLサイト(チョークリバー)に小型炉を建設し、主要な技術的課題を解決するとともに小型炉の商業的実現可能性を実証する、としている。このプロジェクトの特徴は、世界の各機関から提案された小型炉についてカナダ原子



炉心損傷への寄与

地震による炉心損傷への寄与

図1 米国で運転中のプラントのPSA結果 (文献11より著者が作成)

力安全委員会 (CNSC) による三段階の安全性レビューが行われることである。レビュー結果により将来の安全審査にお墨付きが与えられることはないが、原子炉選定のためのプロセスの優先度づけには利用される。現在提案されている小型炉の出力は3MWeから300MWeまで多岐にわたり、幅広い範囲の小型炉に対してレビューが行われている¹²⁾。

もう一つは、オンタリオ州、ニューブランズ州、サスカチュワン州、アルバータ州による多目的の小型炉開発・建設を進めるための協力である。それぞれの州の州営電力が各州への小型炉導入に関する成立性研究を2021年3月までに終え、好適な複数候補を絞り込んでいる。そして州電力ごとの建設計画を明らかにしている。このうち、アルバータ州のように鉱山で使用する超小型電力源としての小型炉の開発については、上記CNLサイトでの実証炉建設が推奨されている。

5.2 英国

英国にも二つ活動がある。一つは「先進モジュラー炉の可能性と開発プロジェクト (AMR)」であり、ビジネス・エネルギー・産業省 (BEIS) が3年間で4,400万ポンドの予算を拠出することを2018年に公表した。工場生産部品を拡大して経済性向上に資すること、小容量から大容量までの多様な送電網要請に対応できること、電気だけでなく熱供給や水素生成能力を備えていること、を要求しPhase 1で8炉型を調査対象として選定した。Phase 2で4炉型に絞り、2021年7月には高温ガス炉 (HTGR) 実証炉の建設を最優先させる方針を示している。このために1億7,000万ポンドの予算措置を行う計画案を公表している。

二番目は戦略的政策研究機関 (UKRI) による小型炉開発企業連合への助成である。2020年の「エネルギー白書」及びジョンソン首相が公表した「グリーン産業革命」のための3番目のポイントである先進モジュラー炉と小型炉への投資の促進施策に基づき、UKRIはロールスロイスが率いる官民企業連合に予算措置を行っている。予算規模は将来3億ポンドまで拡張されるとしている。ロールスロイス連合の小型炉は電気出力470MWeの軽水冷却炉であり、2029年までに初号機の建設を目指している。

5.3 米国

米国でも二つのプロジェクトが併進している。一つは2020年にDOEにより開始された「先進炉

実証プログラム (ARDP)」である。今後7年以内に二つの炉型の建設と実証を目指すとして、40億ドルを上限としてマッチングファンド (予算の50%を政府が、残りの50%を企業が拠出) を条件に支援する。初回の支援金1億6,000万ドルを獲得した原子炉は、345MWeナトリウム冷却高速モジュラー炉と80MWe小型高温ガスモジュラー炉である。DOEはさらに10年から12年先を目標にする新型炉及びより長期的な革新的原子炉の開発にも予算をつけている。

一方、2013年には民間のニュースケールパワー社とDOEの間で、軽水冷却の60MWe小型モジュラー炉NuScaleのNRC許認可取得のためのマッチングファンドプロジェクトが開始された。2020年9月、NuScaleに対してNRCにより最終安全評価書が発行された。これは、NuScale設計に対するNRCによる技術審査と認定が完了したことを意味する。2020年10月にはアイダホ研究所 (INL) にて実証炉の建設のために、最大140億ドルのコストシェア予算を考慮することをDOEが公表した。運転開始を2029年としている。

5.4 中国

2021年9月、中国核工業集团有限公司 (CNNC) は、電気出力210MWe小型高温ガス炉HTR-PMが臨界状態になったことを発表した。建設には清華大学と大手の発電事業者が加わり、2012年に着工したプロジェクトである。商用化には、HTR-PM 6基のモジュール構成で650MWe一基のタービン発電機と接続する中型発電所を目指している。

6. まとめ

1990年代に米国で、ナトリウム冷却または高温ガス冷却方式の小型モジュラー炉で構成した中型・大型発電所の設計研究と許認可対応が精力的に行われた。2000年代のトピックスはモノリシックな小型炉4Sの米国許認可への挑戦であった。そして、現在では、カナダ、英国、米国、中国、ロシアにおいて小型炉または小型モジュラー炉による中型・大型発電所の設計研究及び建設に向けた現実感のあるプロジェクトが多数競い合っている。各機関から提案されている主要な小型炉の技術仕様一覧を整理しておくことは有意義であろう (表1)。現在注目されている小型炉プロジェクトは、2000年代に建設に着手した大型プラントの多くが、長引

表 1 世界で開発中の主要な小型炉一覧

開発主体	原子炉名	熱輸送媒体	電気出力	安全審査状況
Terra Power & GE Hitachi	Sodium Reactor	ナトリウム	345MWe (蓄熱システム併用で柔軟性あり)	米国DOEのARDP実証炉に選定 米国NRC事前審査準備中
X-Energy	Xe-100	ヘリウム	80MWe	米国DOEのARDP実証炉に選定 カナダCNSC Phase2
NuScale Power	NuScale	軽水	77MWe 発電所 (77MWe×12基)	米国NRC設計承認取得
Kairos Power	KP-FHR	熔融塩	140MWe	米国NRC事前審査準備中
BWXT Technologies	BWXT Advanced Nuclear Reactor	ヘリウムガス	17MWe	米国DOD (Defense) 原子炉の最終選考候補
Holtec International	SMR-160	軽水	160MWe	米国NRC技術報告書作成中 カナダCNSC Phase1
Terra Power	Molten Chloride Fast Reactor	熔融塩	780MWe	米国NRC事前審査準備中 カナダ政府及びオンタリオ州からの支援を受けている
GA	Fast Modular Reactor	ヘリウム	50MWe	米国NRC事前審査準備中
Framatome	SC-HTGR	ヘリウム	265MWe 発電所 (265MWe×4基)	米国NRC事前審査準備中
Terrestrial Energy	Integral Molten Salt Reactor	熔融塩	195MWe 発電所 (195MWe×2基)	米国NRC事前審査準備中 カナダCNSC Phase2
GE-Hitachi	BWRX-300	軽水	300MWe	基本システムである自然循環のESBWRは米国NRC設計承認取得
Rolls-Royce	UK-SMR	軽水	470MWe	英国UKRIにより建設を目指して推進中
CNCC	HTR-PM	ヘリウム	210MWe 発電所 (210MWe×6基)	2021年臨界達成

く工期の影響を受けて2010年代にはコストが1兆円を超える例が判明してきたことから、新しい道を探索すべし、という側面がある。あるいは、カナダや英国や中国のように新しい原子力開発の先陣を切りたいという安全保障上の意図がみえる。

一方、大型炉の建設コストを膨らませていた要因を低減させ中核電源として再登場させる動きが、大型炉建設費高騰のやり玉に挙げられていたフランスの電気出力1,600MWeのEPR (European Pressure Reactor) の改良プロジェクトに見られる¹³⁾。EPR 2と呼ばれるこの大型炉が始動するならば、上述した小型モジュラー炉による中型・大型発電所の計画は影響を受けるかもしれない。しかし、小型炉単独での市場は依然存在するし、新しい原子炉開発の先陣を切る、という各国のモチベーションはフランスも含めて持続するだろう。

■ 参考文献

- 1) IAEA “Design and development status of small and medium reactor systems 1995” TECDOC-881 (1995)
- 2) NRC “Draft Preapplication Safety Evaluation Report for the Modular High Temperature Gas-Cooled Reactor” NUREG-1338 (1989)
- 3) NRC “Preapplication Safety Evaluation Report for the Sodium Advanced Fast Reactor (SAFR) Liquid-Metal Reactor” NUREG-1369 (1991)
- 4) NRC “Preapplication Safety Evaluation Report for the Power Reactor Innovative Small Module (PRISM) Liquid-Metal Reactor” Final Report NUREG-1368 (1994)
- 5) Nuclear Engineering International “Fresh Prospect for Nuclear Desalination” 2, July (2015)

- 6) S. Matsuyama, et al. “Steam Producing Plant Concept of 4S for Oil Sand Extraction” Proceedings of ICAPP’09 Tokyo, Japan, May 10-14, Paper 9198 (2009)
- 7) N. Handa, et al. “Use of super safe small and simple LMR to create green belts in desertification areas” Trans. American Nuclear Society, 60, 437 (1989)
- 8) 飯田, 他 “高速炉による砂漠の緑化と地球再生” 日本原子力学会誌Vol.33, No.4, 302 (1991)
- 9) Marvin L. Yoder “The Galena Nuclear Project Pursuing Low Cost Energy in Bush Alaska” Xlibris.com (2014)
- 10) ML072950025 “First Meeting with NRC Pre-Application Review”, October 23 (2007) ML082190834 “Fourth Pre-Application Review Meeting with NRC”, August 8 (2008) ML081440765 “4S Design Description”, May (2008) ML082050556 “LONG-LIFE METALLIC FUEL FOR THE SUPER SAFE, SMALL AND SIMPLE (4S) REACTOR”, June (2008) ML121290607 “Phenomena Identification and Ranking Tables for 4S Beyond-Design-Basis Accidents - Local Faults and Sodium-Water Reaction”, April (2012) 他多数のTechnical Reportあり
- 11) M. Valentin (NRC) “Seismic and External Flood Hazard Risk Insights” Regulatory Information Conference March 8-11 (2021)
- 12) CNSC “Pre-Licensing Vendor Design Review” July (2021) <https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/index.cfm#p2>
- 13) The Atomic Age “EDF launches the “EPR 2” via Beyond Nuclear International” July (2021)

著者プロフィール

1976年東京大学原子力工学修士課程を卒業後、株式会社東芝に入社。新型炉分野の研究開発、設計、建設に従事する。国内の高速炉開発、ガス炉開発に携わりとともに小型炉4SのNRC事前審査を主導した。2011年退職。同年、株式会社E2Mを設立し代表となる。また、米国CAMERON Groupの副社長を兼務する。

指定記録保存機関への放射線管理記録の引渡しについて

(公財)放射線影響協会 放射線従事者中央登録センター

放射線業務従事者の被ばく線量記録や健康診断記録は、各人の放射線管理を実施する上で重要な記録であり、適切な管理が必要です。放射線管理を規定している各法令では、被ばく線量や健康診断の結果を個人ごとに記録し、それらを長期間保存することが定められています。また、法令では、これら記録について、事業者による保存義務と併せて、「指定記録保存機関」への引渡しについても規定されています。以下では、この記録引渡しについてご案内します。

1. 指定記録保存機関

当協会は、「指定記録保存機関」として指定された国内で唯一の機関です。

(公財)放射線影響協会は、法令に基づき原子力規制委員会及び関係大臣から「指定記録保存機関」として指定を受けた国内で唯一の機関です。この指定に基づき、当協会の放射線従事者中央登録センターでは、事業者から被ばく線量記録及び健康診断記録の引渡しを受け、長期間にわたり保存する業務を行っています。受領した記録はマイクロフィルム化するとともに情報を専用システムに登録し容易に検索できるようにしています。

2. 記録の引渡しについて

(1) 放射性同位元素等の使用廃止に伴う記録引渡し

廃止措置を行う場合には、これまで保存してきた全ての被ばく線量記録及び健康診断記録の引渡しが必要です。

放射性同位元素等の使用廃止など法令に基づく廃止措置を行う場合は、事業者はこれまで保存してきた放射線業務従事者全員分の被ばく線量記録及び健康診断記録を指定記録保

存機関（当協会）へ引渡すことが義務づけられています。

(2) 従事者でなくなった者の記録又は従事中でも5年以上保存した記録の引渡し

記録引渡しによって事業者には当該記録の保存義務がなくなります。紛失等の防止のためにも5年以上保存した後の早期の記録引渡しをお勧めします。

記録の対象者が従事者でなくなった場合又は従事中でも記録を5年以上保存した場合には、指定記録保存機関（当協会）へ引渡すことが可能です。記録を引渡すことによって、事業者においては当該記録の保存義務がなくなります。また、廃止措置に伴う記録引渡しでは、事業所での長期保存中に紛失し引渡せないケースや記録の破損や劣化してしまうケースも発生しています。これらを防止するためにも早期の記録引渡しをお勧めします。

3. 引渡し手続きについて

記録引渡しは、所定の申請手続きに従って行います。具体的な手続きについては、当協会のホームページ及びパンフレットに記載されていますのでご参照ください。

○(公財)放射線影響協会ホームページ
<http://www.rea.or.jp/>

○パンフレット「法令に基づく被ばく線量の測定の記録及び健康診断の記録の指定記録保存機関への引渡しについて」
<http://www.rea.or.jp/chutou/ri/hikiwatashi-Pamphlet.pdf>

○本件に関する問合せ
(公財)放射線影響協会
放射線従事者中央登録センター
RI等記録管理課 電話：03-5295-1790
e-mail：ri@rea.or.jp

放射線道場の喫茶室
第14回

被曝線量の分布解析

鴻 知己



標記課題は、放射線被曝を伴う作業の管理に重要である。

放射線の線量は、字面からは放射線の“集まり”と受け取られるが、物理量としては、放射線と物質間の相互作用が産み出す生成物の収量 yield として把握されることが多い。物質系が放射線の入射により構造や性質に変化を来すことを効果と呼ぶが、一過性の効果を作用、持続性のそれを影響と使い分けることも多い。

線量は、放射線が物質系に及ぼす影響を扱う科学・技術における因果記述の“因量”として導入されたものであるが、個人被曝線量の測定結果は線量計着用者の営為の履歴の一端を示す。

個人被曝線量の、年なり月なり週なりの平均値（時間平均）が、任意の時刻において、所属する集団の平均（位相平均）と一致するか否かは興味深い問題である。両者が一致するとき集団はエルゴード平衡に在ると呼ぶことにする。

職業被曝が制御可能なものに限定できるとするならば、職業被曝線量の累積段階における確率的増分 ΔD は

$$\Delta D = \sigma D / (1 + \rho D) \quad (1)$$

と表記できるだろう。分子は“便宜の代償”としての被曝の増加、分母は“リスク低減策の効果”を示す。 σ は線量値増加作用におけるアクセル、 ρ は低減フィードバック係数でブレーキの役を担う。

身の回りには様々な放射線粒子が飛び交っ

ており、意図的であるにしろそうでないにしろ、實際上 radiation free と見做される場に身を置かない限り、“放射線被曝”は不可避である。放射線被曝は、人間の“命の営み（営為）”の結果である。その意味で、個人の被曝線量に係る測定・評価の結果の集合は、観察下の人間集団の“営為の特性”を含有する筈のものであり、これが、個人被曝線量の分布解析の意義ともなっている。

線量分布の個人線量累積過程における確率増分の数式表記モデルとして (1) 式を使うとき、 σ は確率変数、 ρ は定数である。

人の集団を任意に取り上げるとき、構成する個人の特性値がある期間についての平均値（時間平均）が、その集団構成員の平均（位相平均）と一致するとき、「集団は“エルゴード平衡”に在る」と表現する。位相平均はアンサンブル平均とも言い統計力学の用語である。

職業被曝に係る個人線量の測定・評価値の集合がエルゴード平衡と見做せるか否かもその当否は、筆者には判断がつかない。

検討されることも乏しいように思われるが、作業管理にも有用な知見となる可能性もあり、興味深い課題である。

個人被曝線量の分布関数モデルとして提示した (1) 式の当否、性能確認は実 data の当嵌照合に委ねられるが、エルゴード平衡に係る知見の取得も得られることに期待するところ大である。

本稿には、熊澤蕃・豊田亘博・加藤和明のコラボ討議 (2021) の結果が含まれているが文責は筆者（鴻）のものである。

サービス部門からのお願い

ご使用者の変更連絡はお早めに

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。
年度替わりは、他の時期に比べて、ガラスバッジご使用者の変更手続きを多く受付けております。そのため、手続き完了までにお時間をいただく場合がございます。ガラスバッジご使用者に変更がございましたら、お早めにご連絡くださいますようお願い申し上げます。

なお、ガラスバッジご使用者の変更は、「[ガラスバッジWebサービス](https://www.c-technol.co.jp/)」からお手続きが可能です。(https://www.c-technol.co.jp/)

「ガラスバッジWebサービス」の入力操作に関するお問合せは、弊社 線量計測事業本部 (☒ gbweb-toiwase@c-technol.co.jp) までお願いいたします。

*** 「ご使用者変更連絡票」はこちらまで
測定センターFAX：0120-995-204 (無料)**

編集後記

- 日差しもやわらかくなり、桃のつぼみも膨らみ始める季節となりました。古く中国で、“魔除け、不老長寿の薬”として珍重されていた桃には是非あやかりたいものです。
- まずは冒頭、競走馬専用の診療施設について、日本中央競馬会 神谷和宏先生より興味深いご紹介をいただきました。テレビ越しではありますが、時折週末に競走馬を眺める拙子には、競走馬の向こう側に馬医療に携わる方々のご苦労が透けて見える思いがしました。骨シンチといった核医学検査などが導入されて診断技術が更に向上し、馬の事故防止が一層進んでいくことを期待したいと思います。
- FBNews編集委員一行が、福島県立医科大学保健科学部診療放射線科学科を訪問させていただきました。充実した設備で、福島での地域医療を支える人材を育成されている同大学にあって、医療技術者の育成だけにとどまらず、住民の方々とのリスクコミュニケー

- ションができる人材の育成にも力を入れているとのこと。原子力の事故を経験した、世界にも類を見ない地元の医科大学としての発展にますます期待が高まりました。
- 東京大学医学部附属病院 中川恵一先生のコラムにより、がんの手術療法から放射線治療への変遷を思い描くことができました。がん患者が治療と仕事の両立ができるよう、放射線治療がより一層身近になる日が少しでも早く訪れることを願っています。
- 株式会社E2M代表の飯田式彦先生からは、最近メディアでも取り上げられることが増えてきた“小型炉”の歴史と現状について解説いただきました。資源の乏しい我が国においても、原子力発電の必要性については様々な角度から議論が行われています。地震などで所内電源を損失しても、静的システムにより炉心を冷却できうるなどといった様々な安全性の向上などを踏まえると、小型炉はエネルギーの選択肢の一つかも知れません。(A.F.)

FBNews No.543

発行日/2022年3月1日

発行人/井上任

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 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)