

提言

大学等における非密封放射性同位元素  
使用施設の拠点化について



平成29年（2017年）9月6日

日本学術会議

基礎医学委員会・総合工学委員会合同

放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会

この提言は、日本学術会議基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議基礎医学委員会・総合工学委員会合同  
放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会

委員長	柴田 徳思	(連携会員)	株式会社千代田テクノ大洗研究所所長、東京大学名誉教授、高エネルギー加速器研究機構名誉教授、総合研究大学名誉教授
副委員長	神田 玲子	(連携会員)	量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所放射線防護情報統合センター長
幹事	神谷 研二	(第二部会員)	広島大学副学長・原爆放射線医科学研究所教授
幹事	竹田 敏一	(連携会員)	福井大学附属国際原子力工学研究所特任教授
	中嶋 英雄	(第三部会員)	公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター所長
	遠藤 啓吾	(連携会員)	京都医療科学大学学長
	甲斐 倫明	(連携会員)	大分県立看護科学大学教授
	唐木 英明	(連携会員)	公益財団法人食の安全・安心財団理事長
	櫻井 博儀	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授、理化学研究所主任研究員
	佐々木康人	(連携会員)	湘南鎌倉総合病院附属臨床研究センター放射線治療研究センター センター長
	山本 一良	(連携会員)	名古屋学芸大学副学長・教授、名古屋大学名誉教授

本提言の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	石井 康彦	参事官(審議第二担当)(平成29年7月まで)
	糸川 泰一	参事官(審議第二担当)(平成29年7月から)
	松宮 志麻	参事官(審議第二担当)付参事官補佐(平成29年7月まで)
	高橋 和也	参事官(審議第二担当)付参事官補佐(平成29年7月から)
	柳原 情子	参事官(審議第二担当)付審議専門職

# 要 旨

## 1 作成の背景

現在、非密封の放射性同位元素（以下「RI」という。）の取扱は、現代科学の発展に必要な基盤技術の一つであるが、その環境はかなり変化してきている。平成28年度から大阪大学核物理研究センターを中核機関とした短寿命RI供給プラットフォームがスタートした。加速器で製造されたRIを用いる研究は、新たな放射性医薬品の開発、各種のイメージング、トレーサー実験など、これまで原子炉で製造されたRIと異なる種類のRIを用いることができ今後の研究の発展が期待される。

また、原子力エネルギーの利用に伴う関連分野で必要とされる人材、原子力発電所の廃炉や事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に必要な人材、将来核融合エネルギーの利用に伴う人材を育成する必要がある。これらすべて非密封RIの取扱いを必要とすることから大学等における非密封RI使用施設が重要であることが分かる。

放射線教育という面では、今後RIの利用の広がる可能性のある医療分野での教育、広い意味での原子力・放射線分野や薬学分野での教育、放射線教育を必要とする学部等や外国人研究者向けの教育が大きな課題である。また、中学・高校教育における放射線教育の重視に伴う教育職人材や社会人への放射線教育も大学等の大きな役割である。このような状況の中で、特に非密封RIを用いた実習を含む教育は重要で、大学等の非密封RI使用施設の果たす役割は大きい。

## 2 現状及び問題点

上記のように新たな需要が生まれている中で、大学等放射線施設協議会のアンケート調査の結果によればRIの利用量、利用人数、利用件数は減少している現状がある。

非密封RI使用施設で安全に係る設備が老朽化した場合は、改修あるいは新設備への更新が求められる。排気設備・排水設備の更新には多額の経費が必要となる。国立大学が法人化されてからは、このような経費は大学内で賄う必要があるが、非密封RI使用施設での多額の経費を要する更新は、学術分野の先端的成果に直接反映されにくく、学内での順位が高くなる可能性は低い。このため各大学の非密封RI使用施設は廃止される傾向が続くと思われる。当然のことながら、非密封RI取扱経験のある学生の育成はできなくなる。

現在、多くの大学等で非密封RI使用施設が運営されているが、利用者が減少している現状では、これらの全てを維持しなければならない状況ではないと思われる。共同利用の可能な拠点を設けてその限られた施設を効率よく維持・利用することで、全国の教育研究レベルは十分維持できると考えられる。

## 3 提言の内容

以下の対策を実現するために、国立大学アイソトープ総合センター長会議、大学等放射線施設協議会は、研究者コミュニティの総意により中心拠点となる大学を定め、共同利用・

共同研究に必要な人員・経費を含めた具体的な施策を検討し、政府に向けた説得力のある案を作成した上、実現に向けた努力をすることを強く期待する。

### (1) 大学等内における非密封 RI 使用施設の効率的な運営

各大学等には、様々な学部や研究施設に非密封 RI 使用施設が設置されている。この中で利用者の少ない施設の廃止統合など効率的な運営が望まれる。アイソトープ総合センター等の設置されている大学等においては、センターを拠点とした効率的な運営が望まれる。

### (2) ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点としての運営

全国に非密封 RI 使用施設を持つ拠点を 10 ないし 20 程度整備し、非密封 RI を用いる研究と教育を推進する独自のネットワーク型の共同利用・共同研究拠点として運営すれば、各拠点の老朽化対策は平均して、毎年 1～2 か所程度を更新すれば十分であり、予算的にも実現可能な範囲ではないかと思われる。

各地域の大学等で非密封 RI を用いた研究と教育を実施する場合は地域にある拠点を利用し、大学等の非密封 RI 使用施設は特に活発に稼働している施設を除いて長期的な計画の下に廃止を検討する。拠点は、地域の非密封 RI 使用施設の廃止計画に協力し、個々の施設の特徴を生かしながらも、不要な管理区域を極力なくす方向で日本全体としての最適化を図る。

### (3) ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点における研究と教育

拠点は、地域や設置された大学等の特色を生かした研究設備を整え、共同利用を活発に行う。短寿命 RI 供給プラットフォームを利用すれば短寿命 RI の利用が容易にできるようになるので、これを用いた放射性医薬品の開発、トレーサー実験、イメージングを利用した広い分野の利用なども含め、先端的研究を推進する。中でも理化学研究所仁科加速器研究センターはアジア初、日本発の新元素ニホニウムの合成・発見で明らかのように、世界の先端に行く重イオン加速器施設を擁し、様々な RI の製造が可能で、これまで利用できなかった多様な RI を用いた研究を進めることができる。

教育の観点からは、放射線業務従事者のための教育訓練に加え、理科教員や医療分野での医師、保健師、看護職や診療放射線技師に必要な放射線教育を、また、原子力分野の人材育成の観点及び薬学分野、放射線教育を必要とするいろいろな分野の外国人研究者を含む研究者への放射線教育の観点から拠点での放射線教育を積極的に進める。さらに、ネットワークの利点を生かし教員の相互派遣なども進め、広く原子力・放射線教育におけるアウトリーチ活動を行う。

ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点は、このような研究・教育活動を通じて、非密封 RI の取扱経験のある人材育成を進める。さらに、放射線行政にも学術的立場から関与し、合理的な規制や安全確保などにも貢献する。

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	大学における非密封放射性同位元素使用施設の現状.....	3
	(1) 大学等放射線施設協議会のアンケート調査結果.....	3
	(2) (公社)日本アイソトープ協会から使用量の多い大学への出荷件数の傾向.....	3
3	非密封RIを用いた研究・教育について.....	5
	(1) 研究開発におけるRIの利用.....	5
	(2) 教育におけるRIの利用.....	7
4	大学等の非密封RI使用施設の課題と対策.....	9
	(1) 大学等の非密封RI使用施設の課題.....	9
	(2) 大学等の非密封RI使用施設に対する対策.....	10
	① 要員・施設に対する対策.....	10
	② RIを用いた研究・教育の推進.....	10
	③ ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点について.....	11
5	提言の内容.....	11
	<参考文献>.....	13
	<参考資料1>審議経過.....	14

## 1 はじめに

現在、非密封の放射性同位元素（以下「RI」という。）の利用は現代科学の発展に必要な基盤技術の一つであるが、その利用環境はかなり変化してきている。例えば、蛍光法の登場で生物分野での利用では、未だ代替え出来ない部分もあるが、大幅に減少している。一方、放射性薬剤や医療分野での利用の減少は僅かである。我が国では種々の加速器が稼働していて、そこで製造できる RI は多種多様である。この RI の利用に関して、平成 28 年度に大阪大学核物理研究センターを中核機関とした短寿命 RI 供給プラットフォームがスタートした。中核機関以外に、連携機関として、理化学研究所仁科加速器研究センター、東北大学電子光物理学研究センター、東北大学サイクロトロンラジオアイソトープセンターがプラットフォームを形成していて、近い将来いくつかの加速器施設の参加が見込まれている。窓口は大阪大学核物理研究センターに一本化されていて、窓口が募集をし、利用者は窓口に応募することで利用できる。特に、理化学研究所仁科加速器研究センターの RI ビームファクトリーはウランを加速し核破砕反応や核分裂反応で多くの核種を生成でき、その中の核種を分離して取り出せる世界トップの性能を持つ。このような加速器で製造された RI を用いる研究は、新たな放射性医薬品の開発、各種のイメージング、トレーサー実験など、これまで原子炉で製造された RI と異なる種類の RI を用いることができるので今後の研究の発展が期待される。

特に放射性医薬品の開発の面では、我が国では種々の加速器が稼働していて、各種の RI を製造できる環境にあり、新たな放射性医薬品を生み出す可能性は十分にある。しかし、新たな放射線医薬品の開発はほとんど進んでいない。一つの原因は、RI を製造できる施設の研究者と放射性医薬品の開発を目指す研究者との議論の場のないことがあげられる。最近（公社）日本アイソトープ協会がこの点を改善するための活動が始まっている。これに大いに期待したい。

また、我が国は、エネルギー政策上、原子力エネルギーを利用しており、今後もしばらくは原子力エネルギーを利用する状況の中で、原子力分野で必要とされる人材、原子力発電所及び事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた作業のための人材、将来核融合エネルギーの利用をする場合に必要の人材等を育成する必要があるが、これら全ての分野で非密封 RI 取扱経験を持つ人材を必要とし、それを育成することが重要である。

一方、大学等の放射線施設の現状を調査するために、大学等放射線施設協議会は平成 26 年 6 月にアンケート調査を行った[1]。詳細は次章で紹介するが、RI の数量、利用件数、利用者数について 10 年前及び 3 年前に比較して減少していることが示されている。また、施設等の状況についての回答では、多くの施設が老朽化に対する対応の困難さを指摘している。

我が国の RI の利用は、（公社）日本アイソトープ協会の流通統計[2]によると、放射性医薬品を除く非密封 RI の数量は全体では 2011 年に 1.76TBq が 2015 年には 0.86TBq に減少していて、密封 RI の数量は 2011 年に 128,753TBq が 2015 年には 88,160TBq に減少している。放射性医薬品の数量は、2011 年に 510TBq が 2015 年には 491TBq と減少しているが、

減少率は放射性医薬品以外の RI ほどではない[2]。世界的には、放射性医薬品について今後も診断や治療に必要な新たな医薬品の開発は続くと考えられ、大きな減少が起こる状況ではなく、我が国における開発を推進する必要がある。

このように、新たな RI を用いた研究環境が拡大する中で、肝心の非密封 RI 使用施設が老朽化で使用できなくなる事態を早急に改善する必要がある。非密封 RI の使用は、その汚染の広がりを抑えるために管理区域を設け、使用は管理区域内に限られる。管理区域外への非密封 RI の漏洩を防ぐために、排気設備と排水設備を設け、RI の貯蔵や放射性廃棄物の保管のために貯蔵室や保管廃棄設備等を設けなければならない。貯蔵室や保管廃棄設備は老朽化で更新ということはほとんどないが、排気設備や排水設備は機器類が多く用いられているために、これらの老朽化により性能が劣化する。

施設・設備が老朽化した場合は、改修あるいは更新が求められる。排気設備、排水設備の更新には施設の規模にもよるが、それぞれ数千万円から 1 億円程度の経費が必要となる。国立大学が法人化されてからは、このような経費は大学内で賄う必要があるが、学内の要求順位が高くないと認められない。非密封 RI 使用施設での多額の経費を要する更新は、学術分野の先端的な成果に直接的に反映されにくい。このような事情から各大学の非密封 RI 使用施設は廃止される傾向が続くと思われる。

利用者の減少や排水設備や排気設備の老朽化に対する対策として、全国で非密封 RI 使用施設の拠点化を図り、各拠点における共同利用・共同研究を進め、施設・設備の更新を効率化することが必要である。また、効率化により不要となる非密封 RI 使用施設が生じると思われるが、長期計画を立てて不要な管理区域を廃止することが必要である。この問題を各地域で拠点が中心となり、計画的に改善していくことが必要であろう。

放射線教育の現状を見ると、新たな観点が浮かび上がる。これまでの放射線教育は、放射線施設の管理区域内の作業をするために法令で定められた教育・訓練を行い、その施設の放射線業務従事者になることを主目的として行われてきた。また、大型の共同利用研究所などの管理区域で作業する場合に、所属元で放射線業務従事者であることが求められる場合が多く、大学のアイソトープ総合センター等では、このような目的での放射線教育に貢献してきた。

東京電力福島第一原子力発電所事故以来、保健師が放射線からの健康リスクに対する不安をもつ住民に向き合う役目をもつことが期待されている。また、放射線診断や放射線治療の現場で看護師や診療放射線技師も患者にリスクを分かりやすく説明し、患者の不安に向きあう役目を期待されている。しかしながら、医療職の多くが体系的な放射線教育を受けていないために役目を果たせていない状況があり、医学分野における放射線教育の充実を図る必要がある[3]。また、一部の薬学部では放射線施設を持たないために非密封 RI を用いる実習を必要とされながら、そのような薬学・薬剤師教育がなされていない。また、その他の分野の放射線を取り扱う研究者及び外国人研究者に対する実習を含めた放射線教育を行うことが望ましい。これらの放射線教育を行うためにも、非密封 RI の取り扱いを行える施設をネットワーク型の共同利用・共同研究拠点として整備することが望まれる。

## 2 大学における非密封放射性同位元素使用施設の現状

### (1) 大学等放射線施設協議会のアンケート調査結果

大学等放射線施設協議会<sup>1</sup>では、2014年5月にアンケート調査を行い2015年8月に結果を公表している[1]。アンケート調査は281の施設長へ依頼し、153施設から回答を得ている。調査結果の中で放射線施設の利用動向についての回答結果を表1に示した。

この表から10年前に比較すると、RIの数量、利用件数、利用者数ともおよそ70%の施設が減少していると回答している。

また、放射線管理上どのような懸念があるかとの問いについて、約55%の事業所から回答があり、施設に関して68%が、設備に関して68%が、装置について60%が老朽化を挙げている。

	増加している	あまり変化なし	減少している	無回答
10年前と比較して				
RIの数量	12	14	71	3
利用件数	11	16	70	3
利用者数	9	25	63	3
3年前と比較して				
RIの数量	11	58	31	1
利用件数	10	60	29	1
利用者数	7	69	24	1

表1 RIの利用量、利用件数、利用者数の経年変化（数字は%）

（出典）参考文献[1]

### (2) (公社)日本アイソトープ協会から使用量の多い大学への出荷件数の傾向

(公社)日本アイソトープ協会から大学へ供給している非密封RIの出荷件数の年次変化について、2005年から2015年間の毎年の主要7大学の合計の出荷件数と各大学への出荷件数<sup>2</sup>を図1及び図2に示した。

図1から出荷件数のほぼ直線的かつ急激な減少傾向が読み取れる。つまり近い将来に非密封RIの出荷がほぼなくなることを示している。非密封RIの需要は各大学の事情によりかなり異なることが考えられる。そこで、7大学の出荷件数の年次変化を図2に示した。この図から個々の大学の需要はかなり異なっていて、A大学のように比較的出荷件数の変化の少ない大学とC大学のように急激な減少を示している大学のあることが分かる。また、ほとんどの大学で減少傾向が見られる。

<sup>1</sup> 大学等放射線施設協議会は、国公私立大学等の放射線施設が団体会員、教職員等が個人会員、他に賛助会員で組織されており、放射線施設の安全を確保することを目的として平成7年に組織された。平成27年度では団体会員275、個人会員94、賛助会員が18である。URLは<http://shisetsu.ric.u-tokyo.ac.jp>

<sup>2</sup> (公社)日本アイソトープ協会から当分科会メンバーヘデータの提供を受けた。

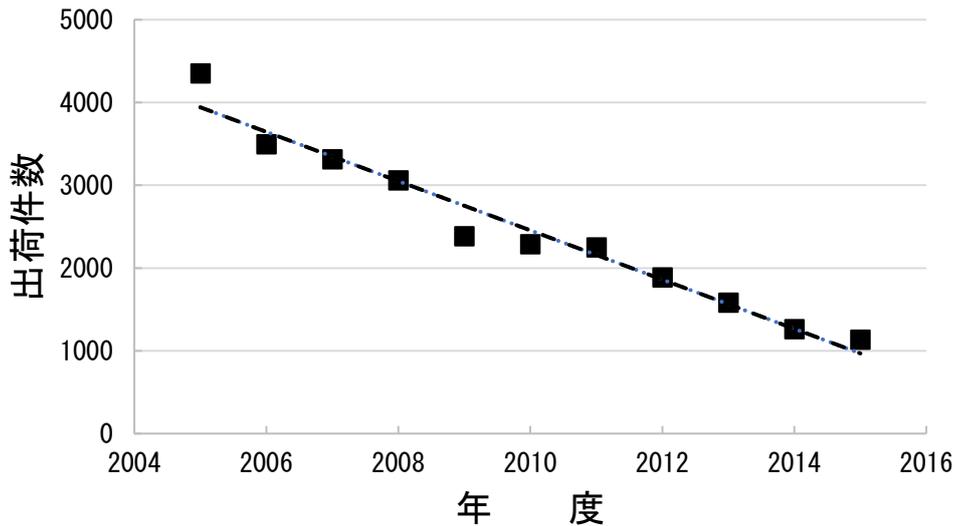


図1 主要国立大学法人への出荷件数

(出典) (公社) 日本アイソトープ協会からデータを提供いただき分科会で作成

全体として、大学等放射線施設協議会のアンケート調査で示された 10 年前との比較で利用する RI の数量が減少していることと同じ傾向が見える。大学等放射線施設協議会のアンケート調査結果で各放射線施設での管理上の懸念について多くの施設で老朽化を挙げていることを考えると、このまま放置しておく、大学における非密封 RI の利用が非常に少なくなる可能性を否定できない。

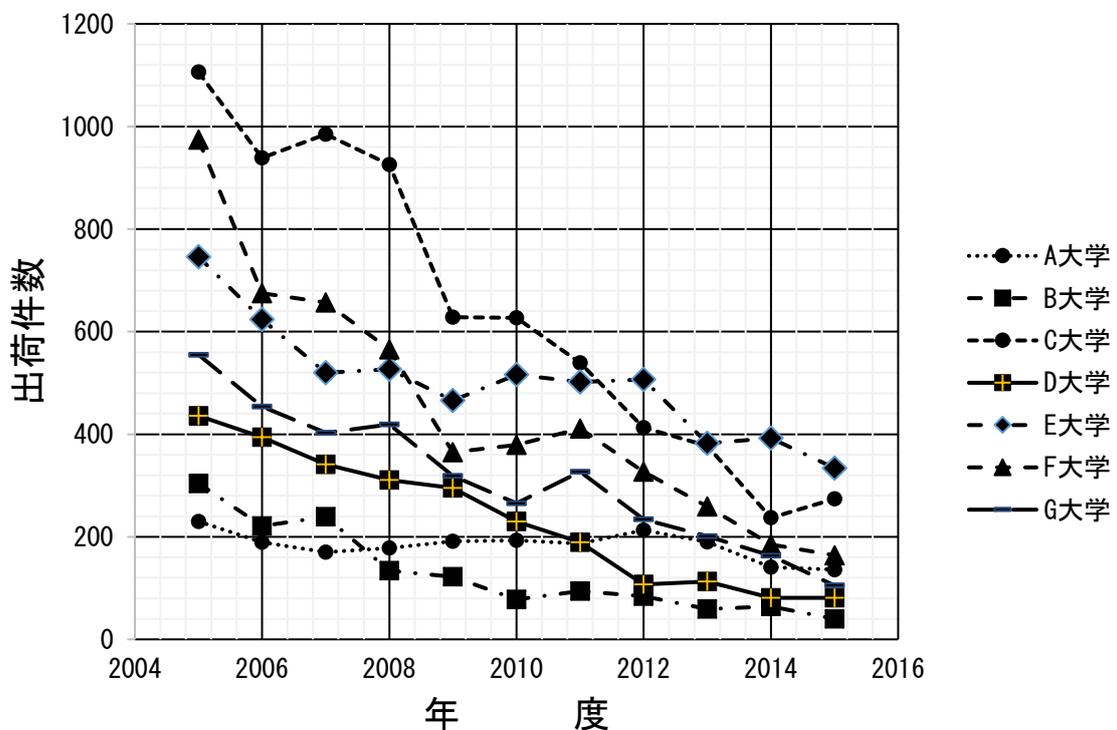


図2 各国立大学法人への出荷件数

(出典) (公社) 日本アイソトープ協会からデータを提供いただき分科会で作成

### 3 非密封 RI を用いた研究・教育について

#### (1) 研究開発における RI の利用

非密封 RI の取扱いは、広く基礎科学を支える重要な基盤の一つであり、放射性医薬品の開発、短寿命 RI を用いた各種の研究と利用、原子核分裂及び核融合を用いた原子力エネルギーの利用、原子力発電所及び事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所の廃炉作業等で必要な技術である。

平成 28 年度には、大阪大学核物理研究センターが中核機関となり、短寿命 RI 供給プラットフォームが形成された。その連携機関として、東北大学サイクロトロンラジオアイソトープセンター、東北大学電子光理学研究センター、理化学研究所仁科加速器研究センターが参加している。利用の窓口は、大阪大学核物理研究センターに一本化されていて、プラットフォームのホームページ<sup>3</sup>に利用できる RI のリストが掲載され、全国の研究者を対象に実験課題の募集が年 2 回行われている。連携機関は今後増える予定で、我が国の加速器施設で製造可能な RI はこのプラットフォームを通じて利用できる体制が構築されつつある。このような体制は我が国で初めてのシステムで、利用者にとって利用し易い環境が整ってきている。

短寿命 RI は、放射性医薬品の開発に不可欠で、海外で既に承認されていて国内で未承認薬の主な核種として Rb-82、Sm-153 があり、開発が期待されている主な核種として、Cu-64、Cu-67、Br-76、Lu-177、Re-186、Re-188、W-188、At-211、Pb-212 などがある。Cu-ATSM (化合物) は低酸素組織に蓄積されるので、低酸素組織の診断や治療に有効な放射性医薬品となる可能性がある。Cu-64 は半減期 12.7h で陽電子放射断層撮影 (PET) 検査用に用いることができる。また、Cu-67 は半減期が 61.8h でベータ線と低エネルギーガンマ線を放出し、このガンマ線は、現在核医学診断に非常に多く用いられている Tc-99m と同様に画像診断に用いることができる。したがって、両方の Cu を含む放射性医薬品を同時に投与すると投与初期は Cu-64 による鮮明な PET 画像が得られ、その後 Cu-67 によるベータ線でがんの治療ができ、その画像を取りつつ治療の状況を知ることができる。これまで、Cu-67 を用いた放射性医薬品の開発が進まなかったのは、効率的に製造する方法がなかったためである。量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所では、(n, np)あるいは(n, d)反応を用いた効率的な製造法を開発し、Cu-67 を用いた薬剤を担癌マウスに投与して有望な結果を得た[4]。一方、理化学研究所仁科加速器研究センターでは、AVF サイクロトロンを用い、 $^{70}\text{Zn}(d, \alpha n)^{67}\text{Cu}$  反応によって質、量ともに世界最高レベルの Cu-67 の製造技術を開発し、(公社)日本アイソトープ協会から有償頒布する準備を整えている[5]。さらに、近年、RI 内用療法で期待されるアルファ放出核 At-211 のニーズが国内で急速に高まっている。アルファ線は生体組織内での飛程がベータ線に比較して短く、高いエネルギーを細胞に付与するために細胞毒性が高く、播種性のがんや血液由来のがんまたは微小転移がん、手術後の部位に残存する微小がんの治療に有効であると考えられている[6]。At-211 は、サイクロトロンで加速されたアルファ粒子を用いて、

<sup>3</sup>ホームページの URL <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~ripf/greeting/index.html>

$^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$  反応によって製造される。 $\text{At-211}$  は半減期 7.21h の短寿命核種であり、国内に数か所しかない貴重な大型加速器を用いて製造する必要があるため、各加速器施設がネットワークを形成し、利用者に安定的に  $\text{At-211}$  を供給することが望まれている。 $\text{Cu-67}$  や  $\text{At-211}$  を利用した日本初の放射性医薬品の開発という観点からみれば、多くの化合物についての動物実験が必要で、組織的に多くのグループがいくつかの RI について各種の化合物に関して動物実験を行うことが求められる。拠点がこのような研究グループの研究場所を提供することは放射性医薬品の開発に大きく貢献することとなる。

2016年11月28日、国際純正応用化学連合は、理化学研究所仁科加速器研究センターで合成・発見された113番元素の元素名をニホニウムに決定した[7]。待望のアジア初、日本発の新元素が誕生した。さらに、新しく発見された超重元素の化学研究も活発化し、最近仁科加速器研究センターで成功した106番元素シーボーギウムのカルボニル錯体の合成研究[8]など、我が国が超重元素の核化学分野で世界の最先端を行く時代を迎えつつある。これらの短寿命 RI を用いた超重元素の基礎研究には、非密封 RI 使用施設が必須である。また、理化学研究所仁科加速器研究センターの RI ビームファクトリーは、高エネルギー重イオンを標的に照射し、照射した重イオンが質量の小さな核に破碎または分裂する核反応を用いて多様な RI を作り出し、目的の RI を弁別して選択的にビームとして取り出す事のできる世界でトップの性能を持つ加速器施設である。重イオンとしてウランを用いれば、ウランより質量の小さなすべての元素の多くの核種を同時に製造できる。例えば、金属中で原子の拡散の様子を知るには、同じ金属の放射性原子を金属中に埋め込み放射線の測定から、金属中で同じ金属原子の動きを知ることができる。このように原子の物質中での動きを追跡できる機能を用いて植物や動物中で原子や分子あるいは酵素やたんぱく質の動きを知ることが可能であろう。また、高エネルギー重イオンで生物体を照射すると細胞へ与えるエネルギーが高く、突然変異を起こす確率がガンマ線照射に比較してはるかに高い、このため生物体へ照射する重イオンの数が小さくても突然変異を起こすことが可能であり、生物体への負担の小さい実験が可能で、大変効率の良い育種研究が可能となる。各地域にある拠点で研究に生かすことにより地域の特色ある産物の開発にも利用できる。

我が国では原子力発電所の廃炉が今後大きな事業となる。特に東京電力福島第一原子力発電所の廃炉は、通常の原子力発電所の廃炉とは異なる多くの研究開発課題がある。原子力損害賠償・廃炉等支援機構による「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2016」[9]では、研究から実用までの開発を進めるために研究段階を基礎研究、基盤研究、応用開発、実用と定め、基礎研究と基盤研究の担い手を大学・研究機関、日本原子力研究開発機構(JAEA)とし、応用開発を JAEA と国際廃炉研究開発機構(IRID)等、実用部分を東京電力としている。このような課題に対して、非密封 RI 使用施設が必要であると同時に非密封 RI 取扱経験のある人材育成は重要である。

将来、核融合エネルギーを利用する際には、大量のトリチウムが用いられる。また、東京電力福島第一原子力発電所事故では大量のトリチウム水の貯蔵をやむなく行って

いる。トリチウムはエネルギーの小さいベータ線のみを放出するため、環境へ漏洩した際の検出は困難である。検出する方法としては、環境試料を採取して、液体シンチレーションカウンターで測定する必要がある。トリチウムの取扱経験のある人材の育成や手軽で感度の高いサーベイメータの開発は重要事項である。

ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点を形成することにより拠点間の連携を強め、これまで培ってきた研究分野に新たな研究手段を取り入れ、研究成果を上げることが可能になる。また、拠点の研究環境を整備し、共同利用・共同研究を進めることにより、各地域における拠点として多くの研究者に整った研究の場を提供し、利用率の低い施設の廃止を進めることにより安全性の高い研究環境を構築することが期待できる。

## (2) 教育における RI の利用

我が国の原子力発電所及び事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所の廃炉では今後多くの人材が必要になる。大学で非密封 RI の取扱経験のある学生を育成することはこの観点からも重要である。廃炉そのものの研究や核燃料の取り扱いは原子炉等規制法の許可を持つ施設が必要で、非密封 RI 使用施設でこのような研究・教育を行うことはできないが、講義で原子炉の動作原理を学び、RI で汚染した部材を除染するなどの実習を行うことにより学生に興味を持たせ非密封 RI の取扱経験を積ませることは大いに意義のあることだと思われる。

最近、中学・高校の理科教育に放射線や原子力に関する内容が導入されたが、一方で、放射線教育の経験に乏しい教員が多く問題となりつつある。今後、理科教員への放射線教育は大学として重要なミッションの一つとなるが、大学自身、それを教える関連分野の教員の不足や放射線施設や設備の貧弱さにより、十分な教育が出来ないのが現状である。この観点からも拠点が大きな役割を果たすことが期待される。

看護学と薬学における放射線教育の課題について以下に示す。東京電力福島第一発電所事故以来、住民の健康の不安に対して保健師が適切に対応することは大変重要なことであることが認識されている。しかし、実情は看護教育では体系的な放射線教育が行われておらず、保健師や看護師は放射線の人体影響等についても十分な知識がなく、多くの看護職が放射線を怖がる現状がある。富澤等の「福島原子力第一発電所事故後の看護職の放射線業務に関する現状と管理者の求める人材像」[10]では、病床数が300床以上の全国430医療機関の看護管理者430名、看護職2628名へのアンケート調査が行われ、その結果、1) 看護管理者を対象にした結果では看護職に対して放射線に関する専門性の向上を望む者は9割以上であったが、放射線に関して経年別研修プログラムに含めていたのは19施設、2) 看護職を対象とした結果では、知識の情報源は医師、診療放射線技師が6割、3) 放射線関連部署に勤務して経験のある者の方がそうでない者より優位に核医学検査のケアについて不安であると答えていることが示された。さらに放射線科医1000名及び診療放射線技師2420名に対するアンケート調査が平成27年7月に行われた[11]、[12]。調査内容は、1) 放射線診療において看護職が行っている業務の実態、2) 放射線診療に係る看護職が実際に行っている行動の適否、3) 放射線診療において

看護職に期待する業務・役割、4) 原子力・放射線災害発生時の緊急被ばく医療における看護職への期待である。放射線科医及び診療放射線技師が看護職に期待している業務・役割の中で、患者の不安への対応が多数の期待を集めている。一方、看護職が現場で行っている放射線診療に係る行動に対する評価では看護職自身の防護、患者からの質問への対応について適切でないという評価がなされている。これを改善するには体系的な放射線教育が必要である。また、拠点が近隣の医療機関の看護職に対して体系的で測定器を用いた実習を含む教育訓練を行うことは、患者・家族・地域住民の安心・安寧の確保に大きな寄与ををすると思われる。看護職の多くは体系的な放射線教育を望んでいるが、医療現場での放射線教育を支える教員は非常に少なく、平成28年より看護職に対する放射線教育を行う教員の育成を目的に、文部科学省の事業として医療分野における放射線教育が始まり、このためのテキストが(公社)日本アイソトープ協会から販売されるようになった[13]。看護職に対する放射線教育で放射線を扱う実習が非常に効果的であると考えられ、各地域で拠点がこのような教育を支援することは大きな意義があり重要でもある。

近年、放射性医薬品を取り巻く環境が大きく変化してきている。従来からガンマ線放出核種の Tc-99m やポジトロン放出核種の F-18 が画像診断薬として活用されてきたが、ベータ線放出核種の Y-90 などが RI 内用療法用医薬品として利用されるようになってきた。2016年にはアルファ線放出核種の Ra-223 が治療薬として承認された。このように、放射性医薬品の利用の場が診断から治療まで広がってきている。さらに、2008年にはマイクロドーズ臨床試験<sup>4</sup>の実施に関するガイダンスが策定され[14]、放射性薬剤の治験応用が今後は活発化することが予想される。すなわち、創薬を加速化するために非密封 RI の重要性が高まっている。診断・治療に用いられる放射性医薬品は、医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律に定められた医薬品であるため、その調製は薬剤師が行う必要がある。したがって、薬学教育の中でも放射線・放射性物質に関する基礎知識と取り扱いに関する基礎訓練は必要となっている。そのため、薬学教育モデル・コアカリキュラムの中でも「放射性医薬品」「電離放射線の生体への影響」「放射線と放射能」「分析技術(画像診断薬(造影剤、放射性医薬品など)について概説できること)」「地球環境と生態系(環境中に存在する主な放射性核種(天然、人工)を挙げ、人の健康への影響について説明できる)」の項目で放射性物質・放射線・放射能について学ぶことが求められている。また、日本核医学会、日本核医学技術学会、日本診療放射線技師会、日本病院薬剤師会の四者が協働して、放射性医薬品取り扱いガイドライン第2版[15]が2013年に策定されたが、このガイドラインにおいても放射性医薬品の調剤は薬剤師が行う必要があると述べられている。このように、放射線・放射性物質に関する基本的知識と取り扱い技能は薬剤師の職能として必要である。そのため、薬剤師国家試験でも毎年放射線・放射性物質に関する問題が出題されている。しかしながら、一部の薬学部では非密封 RI 使用施設を持たないため、RI を用いた教育が困難な状況に

<sup>4</sup> マイクロドーズ試験の方法の一つに、創薬の候補化合物をポジトロン放出核種で標識し、投与後体内に局在する化合物の検出に PET を使用する方法がある。血中薬物濃度の測定には加速器質量分析法を使用する。

ある。現在、下限数量以下の非密封 RI を用いた放射線教育なども工夫されているが、各地域で拠点が場所と機材を支援し、体系的かつ臨床使用に準じた放射線教育を行うことが可能になれば、薬剤師教育の質的向上、すなわち医療の質的向上に大きな貢献ができる。さらに、すでに薬学部を卒業して病院に勤務している薬剤師に対する卒後教育として放射線教育を実施することにより、薬剤師による調製業務の推進、そして治療を目的とする放射性医薬品の安全使用にも大きく貢献すると期待される。

医療分野における放射線教育について、日本学術会議 臨床医学委員会放射線防護・リスクマネジメント分科会では提言「医学教育における必修化をはじめとする放射線の健康リスク科学教育の充実」を発出した[3]。その中で、問題点として「放射線や RI は疾病の診断から治療に至る医学・医療領域において広く利用されているにもかかわらず、放射線の人体影響や防護に関する理解が十分でない医師・看護師・保健師を医療現場に多く送り出している現行の医学教育は極めて憂慮すべき状態にある」と述べている。医療分野で放射線に関係する業務に携わる従事者に対する放射線教育を拠点が支援することは、このような観点からも意義のあることである。

大学等で放射線を利用する外国人研究者を含むいろいろな分野の研究者に対する放射線教育は学部等を超えて、日本語あるいは外国語での放射線教育が必要である。このような観点から、実習を含む放射線教育の場所を提供することやネットワークの利点を生かし、全国的な範囲から講師リストを作成し、テキストの作成や講師の派遣を含む支援を行うことは重要である。

## 4 大学等の非密封 RI 使用施設の課題と対策

### (1) 大学等の非密封 RI 使用施設の課題

大学等の非密封 RI 使用施設は、RI を用いる学部や研究センター等に設置されている。このような施設で管理に携わる要員として正規の職員が充当されている組織は少なく、また、第2章で記載したように実験設備や管理設備の老朽化が問題とされている。特に、東京電力福島第一発電所事故以降、放射線を扱う施設の安全に対する近隣住民の放射性物質に対する意識は鋭くなっていて、漏洩等の事故に対する考えは厳しくなっている。したがって、管理に携わる要員不足や施設・設備の老朽化が原因で事故を起こすことはあってはならない。このためには要員の確保、老朽化した施設・設備の更新が必要となる。国立大学が法人化されて以降、このような対策は各大学法人内の人員・予算で賄う必要がある。しかし、各大学とも人員や予算に余裕のある所は無く、大学内に存在する放射線施設全ての要求を満たすことは困難な状況にある。特に古い施設では、配水管や放射性排水貯留槽が地下埋設式になっている場合があり、そのような施設での漏洩を検知することはかなり困難である。したがって、建設されてから年数の経っている施設は維持管理に特に注意が必要である。

第2章で述べたように従来型の非密封 RI を用いる研究者の数は減少していて利用が減っている現状がある。これは、RI を用いた分析法が代替法に取って代わってきたことが原因の一つである。また、施設によっては研究設備が老朽化し、先端的な研究をする

環境になく研究者の利用が減っている場合もある。一方、我が国における加速器施設の製造する RI を利用する研究を進めるという観点での積極的取り組みは少なかった。

放射線教育という観点で、これまで、各放射線施設で放射線教育は行われてきたが、実習を取り入れているところは少ない。また、我が国の原子力発電所の廃炉等に携わる人材の育成という観点から、また医療現場で働く診療放射線技師や看護職の体系的な放射線教育という観点から、さらには薬学・薬剤師教育における放射線教育という観点から、放射線を利用する外国人を含むいろいろな分野の研究者に対する放射線教育の観点からのアイソトープ総合センター等における放射線教育のあり方は十分に検討なされてきていない。

## (2) 大学等の非密封 RI 使用施設に対する対策

### ① 要員・施設に対する対策

全国に非密封 RI 使用施設を持つ拠点を 10 ないし 20 程度整備し、非密封 RI の研究・教育を推進するネットワーク型の共同利用・共同研究拠点として運営すれば、各拠点の老朽化対策は平均して、毎年 1～2 か所程度を更新すれば十分で、実現可能な範囲であると思われる。このようにして非密封 RI 使用施設の効率化を図ることが重要である。各地域で拠点を置いている大学等においては、活発に研究活動を行っている施設は拠点と連携を図り、拠点と一体化した運営を行う。活発でない施設は拠点での共同利用へ移行し、将来の施設の廃止を検討する。拠点のない大学等で活発な研究活動を行っている施設は拠点と運営を一体化する。それほど活発でない施設は拠点での共同利用を進め、将来の施設の廃止を計画する。

### ② RI を用いた研究・教育の推進

第 3 章で述べたように、短寿命 RI を用いた研究はその利用環境が改善されているので、利用の活性化を図る。理研の RI ビームファクトリーの利用は特徴のある研究を進める可能性を秘めているので、積極的に進めることが望まれる。また拠点間の連携を図る上でも理研の関連施設と連携できる形態を持つことが重要である。

放射線教育という観点から、各放射線施設で放射線教育は行われてきたが、実習を取り入れているところは少ない現状を改善し、非密封 RI の取扱いを取り入れ、非密封 RI の取扱経験を持つ学生を育成するという観点から見直す。また、学校教育や社会への放射線教育の向上という観点から、我が国の原子力発電所の廃炉等に携わる人材の育成という観点から、医療現場で働く診療放射線技師や看護職の体系的な放射線教育という観点から、さらには薬学部における薬学・薬剤師教育に必要な体系的放射線教育という観点から、放射線教育を必要とするいろいろな分野の外国人研究者を含む研究者への放射線教育という観点から、拠点を中心に放射線教育のあり方を検討し改善を図る。

### ③ ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点について

文部科学省の共同利用・共同研究拠点には、単独拠点、ネットワーク型拠点、連携ネットワーク型拠点の3種類がある。いずれもある学問分野の拠点として研究活動することが想定されている。

一方で、この提言で述べているネットワーク型の共同利用・共同研究拠点は、既存の枠組みと異なる新しい型の、複数の拠点が研究手段として非密封放射性同位元素を使用し、放射線・放射能の利用の高度化と広い分野における放射線教育の支援を行う研究組織を想定している。各拠点における研究活動は拠点の、置かれている大学およびその拠点を利用する地域の研究機関などにより、特色のある先端的研究や教育を進めることを目指している。加わる拠点としては、国公立大学、理化学研究所、量子科学技術研究開発機構などに設置されている非密封 RI 使用施設を持つ研究組織が想定される。アイソトープ総合研究センター長会議にはこのような研究組織にふさわしい拠点の在り方を検討し、提案することが求められる。

以上の対策を実現するために、国立大学アイソトープ総合センター長会議、大学等放射線施設協議会は研究者コミュニティの総意により中心拠点となる大学を定め、共同利用・共同研究に必要な人員・経費を含めた具体的な対策を検討し、政府に向けた説得力のある案を作成した上、実現に向けた努力をすることを強く期待する。

## 5 提言の内容

### (1) 大学等内における非密封 RI 使用施設の効率的な運営

各大学等には、様々な学部や研究施設に非密封 RI 使用施設が設置されている。この中で利用者の少ない施設の廃止統合など効率的な運営が望まれる。アイソトープ総合センター等の設置されている大学等においては、センターを拠点とした効率的な運営が望まれる。

### (2) ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点としての運営

全国に非密封 RI 使用施設を持つ拠点を 10 ないし 20 程度整備し、非密封 RI を用いる研究と教育を推進するネットワーク型の共同利用・共同研究拠点として運営すれば、各拠点の老朽化対策は平均して、毎年 1～2 か所程度を更新すれば十分であり、予算的にも実現可能な範囲ではないかと思われる。

各地域の大学等で非密封 RI を用いた研究と教育を実施する場合は地域にある拠点を利用し、大学等の非密封 RI 使用施設は特に活発に稼働している施設を除いて長期的な計画の下に廃止を検討する。拠点は、地域の非密封 RI 使用施設の廃止計画に協力し、個々の施設の特徴を生かしながらも、不要な管理区域を極力なくす方向で日本全体としての最適化を図る。

### (3) ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点における研究と教育

拠点とは、地域や設置された大学等の特色を生かした研究設備を整え、共同利用を活発に行う。短寿命 RI 供給プラットフォームを利用すれば短寿命 RI の利用が容易にできるようになるので、これを用いた放射性医薬品の開発、トレーサー実験、イメージングを利用した広い分野の利用なども含め、先端的研究を推進する。中でも理化学研究所仁科加速器研究センターはアジア初、日本発の新元素ニホニウム<sup>284</sup>の合成・発見で明らかのように、世界の先端を行く重イオン加速器施設を擁し、様々な RI の製造が可能で、これまで利用できなかった多様な RI を用いた研究を進めることができる。

教育の観点からは、放射線業務従事者のための教育訓練に加え、理科教員や医療分野での医師、保健師、看護職や診療放射線技師に必要な放射線教育を、また、原子力分野の人材育成の観点及び薬学分野、放射線教育を必要とするいろいろな分野の外国人研究者を含む研究者への放射線教育の観点から拠点での放射線教育を積極的に進める。さらに、ネットワークの利点を生かし教員の相互派遣なども進め、広く原子力・放射線教育におけるアウトリーチ活動を行う。

ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点は、このような研究・教育活動を通じて、非密封 RI の取扱経験のある人材育成を進める。さらに、放射線行政にも学術的立場から関与し、合理的な規制や安全確保などにも貢献する。

### <参考文献>

- [1] 報告「大学等放射線施設の現況」に関するアンケート、大学等放射線施設協議会、2015年8月
- [2] アイソトープ流通統計、公益社団法人日本アイソトープ協会、2016年発行
- [3] 提言「医学教育における必修科化をはじめとする放射線の健康リスク科学教育の充実」、日本学術会議臨床医学委員会放射線防護・リスクマネジメント分科会、平成26年9月4日
- [4] Application of  $^{67}\text{Cu}$  Produced by  $^{68}\text{Zn}(n, n' p+d)^{67}\text{Cu}$  to Biodistribution Study in Tumor-Bearing Mice, Y. Sugo, K. Hashimoto, M. Kawabata, H. Saeki, S. Sato, K. Tsukada, and Y. Nagai, J. Phys. Soc. Jpn 86, 023201 (2017)
- [5] 「 $^{70}\text{Zn}(d, \alpha n)^{67}\text{Cu}$  反応による頒布用精製  $^{67}\text{Cu}$  の製造」、矢納慎也、羽場宏光、柴田誠一、小森有希子、高橋和也、佐藤望、渡邊慶子、放射化学、第35号、p.56、2017年
- [6] 「標的アイソトープ治療に対する $\alpha$ 放射体からのアプローチ」、鷺山幸信、放射線、Vol. 41、No. 4、p. 211、2016年
- [7] International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Press Release, November 30, 2016 (<https://iupac.org/news/>).
- [8] Synthesis and detection of a seaborgium carbonyl complex, J. Even et al., Science 345, 1491 (2014)
- [9] 「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2016」、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、平成28年7月
- [10] 「福島第一原子力発電所事故後の看護職の放射線業務に関する現状と管理者の求める人材像」、富澤登志子等、日本放射線看護学会誌、Vol. 3、No. 1、p. 10、2015年
- [11] 「放射線医科医と診療放射線技師に対するアンケート調査」、加藤知子、『日本放射線看護学会誌』Vol. 5、No. 1、p. 1、2017年
- [12] 「看護職に対する放射線教育」、加藤知子、平成28年度放射線安全管理研修会テキスト、放射線障害防止中央協議会
- [13] 「看護と放射線」日本アイソトープ協会編集、平成28年4月
- [14] 薬食審査発第0603001号、平成20年6月3日
- [15] 放射性医薬品取扱いガイドライン 第2版、日本医学会、日本核医学技術学会、日本放射線技師会、日本病院薬剤師会 平成24年7月3日 第2版、  
<http://www.jshp.or.jp/cont/13/0214.html>

## <参考資料 1> 審議経過

平成 27 年

- 2 月 20 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第 1 回）  
役員の選出、今後の進め方について

平成 28 年

- 7 月 27 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第 2 回）  
大学の非密封 RI 使用施設に関する審議を進めることとなり、ワーキンググループを立ち上げて検討することとした。

平成 29 年

- 3 月 21 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第 3 回）  
提言骨子案について検討
- 4 月 24 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第 4 回）  
提言骨子案について検討
- 5 月 23 日～25 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第 5 回）（メール審議）  
提言案について採決

平成 28 年

- 9 月 5 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会 大学、研究機関の非密封 RI 使用施設のあり方検討ワーキンググループ（第 1 回）  
役員の選出、今後の進め方について
- 10 月 3 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会 大学、研究機関の非密封 RI 使用施設のあり方検討ワーキンググループ（第 2 回）  
大学及び研究機関における非密封放射性同位元素を取扱う施設について検討
- 12 月 27 日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会 大学、研究機関の非密封 RI 使用施設のあり方検討ワーキンググループ（第 3 回）  
大学及び研究機関における非密封 RI 使用施設の拠点化について検討

平成 29 年

- 4月13日 基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討  
分科会 大学、研究機関の非密封 RI 使用施設のあり方検討ワーキング  
グループ (第4回)  
提言案について検討
- 5月22日～25日  
基礎医学・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討  
分科会 (第5回 メール審議)  
提言案について承認
- 7月28日 第249回幹事会にて提言「大学等における非密封放射性同位元素  
使用施設の拠点化について」について承認