農・生物試料の実用放射化分析技術(Ⅸ)[†]

(8) 原子炉利用法

(1) 全国大学研究者のための共同利用の手引

山 口 彦 之

東京大学農学部

113 東京都文京区弥生1-1-1

Key Words: activation analysis, neutron flux, utilization of research reactor, researchers in universities

1. はじめに

これまでの講座で述べられてきたことから明らかなように、農・生物学分野における放射化分析の利用にはめざましいものがある。いろいろな利点をもち、またいろいろな分野へ発展する可能性を秘めているにもかかわらず、放射化分析の普及をはばんでいる原因の一つとしてつぎのことがあげられよう。研究用原子炉については全国大学研究者にもその共同利用組織が設けられているが、まだ一般には必ずしもよく知られているといえないことにある。ここでは、全国大学研究者がどのようにしたら共同利用に参加できるか、その方法を簡単に述べる。

現在、全国大学研究者のために共同利用できる研究用原子炉は日本原子力研究所、立教大学原子力研究所、武蔵工業大学原子力研究所、京都大学原子炉実験所の4か所のものである。詳細はそれぞれに問い合わせしてほしい。

2. 日本原子力研究所原子炉

日本原子力研究所(原研)で共同利用できる原子炉は JRR-2, JRR-3, JRR-4 である。

2.1 JRR-2

JRR-2 は93%濃縮ウラン-Al 合金、重水減速冷却、非均質炉で出力 10MW である。

照射孔は、(1) VT-1 照射孔、(2) インコア照射孔、

(3) VT-10, 11, 12 照射孔、(4) VT 4, 5, 7, 8, 9 照射孔、(5)時間照射孔および気送管照射孔があるが、利用申込みの受付とその後の取扱いの便宜上、(1)、(2)、(3) による照射を特殊照射、(4)、(5) による照射を一般照射とよんでいる。一般照射に使用される照射孔の特性を表1に示す。

一般照射の利用方法については、炉の運転サイクル(照射日)ごとに申込書、試料受付の締切日があるので希望の照射日に申し込むようになっている。

2.2 JRR-3

JRR-3 は出力 10MW の天然および1.5%濃縮 UO_2 、重水減速冷却、非均質炉である。

共同利用照射の種類として、1 サイクル照射、長期サイクル照射、時間照射、気送管照射がある。1 サイクル照射は、グラファイト反射体内に垂直に設置された VG 孔(計27本)と炉心燃料領域内に垂直に設置された VR 孔(計3本)で行われる。VG 孔は19 カプセル、VR 孔は17カプセルが同じ照射孔で同時に照射できる。VG 孔の熱中性子束は最大 $3.5 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ であり、カプセルの位置によって照射量は 1×10^{17} から $3 \times 10^{18} \text{nvt}$ まで選べる。また、VR 孔の熱中性子束は最大 $3 \times 10^{13} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ であり、カプセルの位置によって 1×10^{18} から $3 \times 10^{19} \text{nvt}$ までの照射量が選べる。長期サイクル照射は VG 孔と VR 孔とで行われ、第2サイクルから第10サイクルまで任意の範囲で実施できる。時間照射はグラファイト反射体内に水平に炉心タンクに対して接線方向に設置された HR 孔で行われる。カプセルをアルミニウムボールに入れて、スパイラルスクリューの回転により照射位置に送り込まれる。HR 孔は空気の自然冷却で20個のカプセルが同時に照射できる。HR 孔の熱中性子束は最大 6

[†] Practical Techniques of Activation Analysis to Agricultural and Biological Samples (Ⅸ) (8) Practical Guide in Reactor Utilization. (1) A Guide to the Utilization of the Research Reactors for the Researchers in the Universities throughout Japan. Hikoyuki YAMAGUCHI: Faculty of Agriculture, The University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113.

表 1 JRR-2 の一般照射孔

照射設備	設置領域	照射孔径	冷却方式	照射時間	照射方式	照射カプセル	カプセル最大収納個数	熱中性子束 (最大) ($n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)	速中性子束 ($n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)
垂直実験孔	4, 5	炉心タンク内重水反射体領域	空気自然循環	サイクル	ホルダ	アルミ製ネジカプセル	16 (long)	VT-4: 3×10^{13} (dry)	—
	7, 8						32 (short)	VT-5: 1×10^{13} (dry)	—
	VT-9						20 (long) 40 (short)	VT-7: 3×10^{13} (dry) VT-8: 3×10^{13} (dry) 5. 2×10^{13} (dry) 2. 6×10^{13} (wet H ₂ O)	— — — — 1.3×10^{11}
気送管	1 in 気送管	同上	空気強制循環	~100 h	カプセル気送	ポリエチレンあるいはポリイミド製カプセル	2	2. 1×10^{13}	4. 5×10^{10}
	2 in 気送管						2	8 $\times 10^{13}$	2. 5×10^{12}

$\times 10^{12} n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ であり、照射は 1 サイクル中に 23 時間照射を 2 回、75 時間照射を 1 回行う。気送管照射は炉心タンク内を水平に貫通した HP-1 孔と HP-2 孔および炉心タンク下部のグラファイト反射体領域を水平に貫通した HP-3 孔と HP-4 孔で照射される。照射試料はポリエチレンラビットに入れて加圧気送方式で運び、空気の強制冷却で照射される。HP-1 孔と HP-2 孔の熱中性子束は最大 $2 \times 10^{13} n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ で 30 秒から 60 分まで任意の時間の照射ができる。したがって照射量は 5×10^{14} から $7 \times 10^{16} \text{nvt}$ まで選ぶことができる。また、HP-3 孔と HP-4 孔の熱中性子束は最大 $2 \times 10^{11} n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ であり、50 時間までの任意な時間が選べる。したがって照射量は 6×10^{12} から $4 \times 10^{16} \text{nvt}$ までの選択範囲がある。

2.3 JRR-4

JRR-4 は原子力船のしゃへい研究をおもな目的として建設された出力 3.5 MW の 93% 濃縮ウラン-Al 合金、軽水減速冷却、非均質炉であるが、現在はスイミングプール型原子炉として小試料の照射などが行われている。炉心付近で各種試料の照射を行うために反射体領域に照射孔があり、T パイプ、S パイプ、D パイプとよばれている。そのほかに、K パイプ、V パイプ、気送管の照射設備があるが、これらはいずれもまだ共同利用に供されていない。T パイプ、S パイプの照射では水深約 8.5 m の水中に沈められるので 0.85 kg/cm^2 程度の

外圧がかかる。T パイプの熱中性子束の最大は $8 \times 10^{13} n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ であり、JRR-2 気送管用ポリエチレン製カプセルを用いて最大 1 時間で 1 分単位に照射時間が選べる。また、S パイプの熱中性子束は最大 $5.5 \times 10^{13} n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ で、JRR-2 の VT 用アルミニウムカプセルの long あるいは short によって 1, 1.5, 2, 3, 5 時間の照射が行える。とくに JRR-4 での照射はスイミングプール型炉のために試料容器は密封性にする必要がある。

2.4 利用の方法

昭和 36 年 4 月に原研共同利用が開始されてから、東京大学がその窓口となってその業務が行われている。毎年 1 ~ 2 月ごろに、同年 4 月から翌年 3 月までの利用について研究課題の募集案内を各大学に送付する。研究者はその募集要項にしたがって締切期日までに東大原子力研究総合センターに申請書を提出する。研究者からの申請書は原研施設共同利用委員会で慎重に審

図 1 原研炉共同利用の課題申請手続き経路図
太線は研究者が行う手続き
番号は手続順を示す

査されたのち採否を決定し、その結果は所要経費の配布額とともに研究者におおむね4月末ごろまでに通知される。

採択決定後は、照射申込書を、気送管の場合には照射開始週の2週前の金曜日、サイクル照射と時間照射の場合には3週前の金曜日に、また照射試料を気送管の場合には照射開始週の1週前の水曜日、サイクル照射と時間照射の場合には2週前の水曜日に、原研・東海研究所内の東大原子力研究総合センター東海分室（大学共同利用開放研究室）に提出する。このとき、熱中性子吸収断面積の大きい物質や有機液状物質などは照射にあたって数量、物理・化学的性質などについて厳重な制約をうけるのが通例であり、これらの試料の照射を計画するときは大学開放研究室員と十分に打合せをして承諾の見通しがついてから申し込まなければならない。照射済試料の引渡しは、垂直孔については各サイクルの運転終了の翌週水曜に、気送管については当日または翌朝引渡すか、発送されるので、それから測定がはじまる。ただし、照射試料は輸送先あるいは、持込み先のRI取扱施設で使用許可されている核種、数量の範囲内であることを確認しておかなければならない。

照射料、実験料などは研究者に現金で配布されることがなく、利用後配布額内で料金が東大から原研へ支払われる。旅費は講師等旅費により出張の扱いとなる。したがって、センター長から研究者の所属長宛の出張依頼書、および所属長からセンター長宛の回答書が必要である。旅費は現地の東海分室で支給される。

研究の経過は研究経過報告書として年度ごとに提出しなければならない。この報告書の提出がない場合には次年度からの研究が採択されないことがある。

2.5 問合せ先

図2 原研炉共同利用による利用手続き経路図

事務手続：東京大学原子力研究総合センター事務部
業務掛（東京都文京区弥生2-11-16 〒113）

照射・実験：東京大学原子力研究総合センター東海分室（茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4 日本原子力研究所・東海研究所内 〒319-11）

3. 立教大学原子炉

立教大学原子炉はトリガⅡ型とよばれる出力100kWの軽水タンク型固体均質炉で、昭和49年度から全国の大学研究者の共同利用に供されるようになり、東京大学がその窓口となって業務が行われている。

3.1 照射実験孔の特性

回転試料棚は反射体上部に炉心から等距離の位置で最大40個（2段にすれば80個）の試料が同時に照射できる実験孔である。これはこの炉の実験孔のうち最も利用率が高い。No.1～No.40の各照射孔では熱中性子束密度は多少異なるが、通常その平均値として $5 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ が用いられている。Fリング照射孔（F21およびF24）は炉心内の最も外側でそれぞれ同時に3個まで照射できる。熱中性子束密度はFリング孔Aで $0.9 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、Bで $1.4 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、Cで $1.7 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ である。回転試料棚やFリング孔ではポリプロピレン製カプセルが使用される。炉心部中央に水で満たされた垂直管として中心実験孔がある。ここの熱中性子束密度は $3.7 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ で、水密にするためにゴムパッキングを使用したアルミニウム製カプセルで照射される。

1日の運転時間は通常6時間（夏季は5時間）である。長時間照射は6（あるいは5）の整数倍時間の照射となり、試料の取出しは翌朝がよい。カプセルの損傷から、F照射孔では12時間、回転試料棚では24時間が照射時間の限度である。短時間照射はF照射孔でも

回転試料棚でもひもつりで行えるが、照射時間は30分以内である。

この原子炉は小型で使いやすいので100kW以下の照射、加温もしくは低温（ドライアイス温度まで）での照射が比較的手軽に行える。

3.2 利用の方法

利用に関する事務手続きは原研共同利用の場合に準ずる。採

図 3 立教炉共同利用の課題申請手続き経路図

図 4 立教炉共同利用による利用手続き経路図

択後、研究者と立教原研担当者との間で原子炉照射の位置、機器のマシタイムの確保などについて打合せがなされたのちに利用の日程が決まる。試料照射の申込みは、通常、少なくとも照射希望の週の2週前に立教原研管理室へ行う。試料照射のための原子炉の運転は1週間ごとのスケジュールで前週金曜日の立教原研の運転計画会議において決定される。

照射試料は原則として必ずポリエチレン製容器あるいは石英製容器に入れ、照射予定日の前日までに立教原研事務室まで届けなければならない。

立教原研内で照射試料の化学処理、測定などのRIの使用を行う場合には、「RI 使用などに関する記録」を提出する。

3.3 問合せ先

事務手続：東京大学原子力研究総合センター事務部業務掛（東京都文京区弥生2-11-16 〒113）

照射・実験：東京大学原子力研究総合センター横須賀分室（横須賀市長坂2-5-1 立教大学原子力研究所内 〒240-01）

4. 武蔵工業大学原子炉

この原子炉も、立教炉と同様に、出力100kWのトリガⅡ型であり、東京工業大学がその窓口になって全国大学研究者の共同利用が行われている。

4.1 照射実験孔の特性

深さ約27cm、幅約6.6cmの照射溝における熱中性子束密度は $4 \times 10^{11} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ であり、内径30mm×長さ50mmのカプセルを用いて照射する。熱中性子束密度 $1 \times 10^{12} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ の気送管があり、20分までの時間の照射ができる。そのほかに熱中性子束密度が $4 \times 10^{12} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ の中央実験管も利用できる。1日の運転時間は5時間で原子炉を1日専有して行う実験

も受付けている。原則として照射試料は無機、有機、固体、液体にかかわらず可能であるが、その方法についてはそのつど問合せが必要である。

この原子炉は医療照射を優先することになっているので実験のタイムスケジュールが変更されることがある。

4.2 利用の方法

共同利用の募集要項が東京工業大学原子炉工学研究所から全国大学へ通知されるから、研究者は募集要項にもとづき課題申請書を東工大原子炉工学研究所へ提出する。申請書は共同利用委員会でも慎重に審査され、採否決定通知が利用研究者へ届く。研究者は採択通知後に武蔵工大原研と詳細に実験計画を打ち合わせたの

図5 武蔵工大炉共同利用の課題申請手続き経路図

図6 武蔵工大炉共同利用による利用手続き経路図

ちに試料の照射が行える（図5,6）。

4.3 問合せ先

事務手続：東京工業大学原子炉工学研究所事務部庶務掛（東京都目黒区大岡山2-12-1 〒152）

照射・実験：武蔵工業大学原子力研究所共同利用掛（川崎市多摩区王禅寺971 〒215）

5. 京都大学原子炉

京都大学原子炉実験所は研究用原子炉を用いて種々の実験を行い、また関連する研究を行う共同利用研究施設である。この炉は出力5 MW の90%濃縮ウラン、軽水減速冷却、非均質炉である。

5.1 実験孔の特性

各実験孔の概略と照射方法を説明する。

5.1.1 圧気輸送管（気送管）

熱中性粒子束が $1.9 \times 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ の Pn-1, 2, 8

$\times 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ の Pn-2, $2.3 \times 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ の Pn-3 の3系統があり、すべて1時間までの照射に用いられる。試料はラビットとよばれるポリエチレン製カプセルに入れられて炉心部に送られ照射される。照射中の温度上昇を避けるため、CO₂ガスによる強制循環冷却が行われている。

5.1.2 水圧輸送管

これは京大炉照射設備中で最高の熱中性粒子束である $8.2 \times 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ が得られる。2時間から1週間までの照射が行える。試料はAl製カプセルに入れ、炉頂より炉心中央部に水流によって送り込まれる。試料の重量制限はないが、カプセルは水中に沈むことが必要である。

5.1.3 傾斜照射孔

炉頂サブプールから炉心側面へ入る直径10 cmの照射孔であり、水が満たされている。 $3.9 \times 10^{12} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ の熱中性粒子束が得られる。ポリエチレン製またはAl製カプセルに鉛のお

もりをつけ、長さ8 mのAl糸とタコ糸の両方ですり下げながら照射孔に挿入する。照射時間はポリエチレン製カプセルで5時間、Al製カプセルで1週間以内である。照射の間試料が水に溶出しないように密封しなければならない。試料に重量制限はないが、水中に沈むようにPbあるいはBiのおもりを入れる。

5.1.4 長期照射設備

熱中性粒子束は $4.7 \times 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ である。試料はAl製の二重カプセルに入れて、週単位の照射が行え、最高12週までの照射が可能である。

5.1.5 熱中性粒子照射設備

約2 m³の重水設備と1.5 m³の黒鉛設備とがある。熱中性粒子束はほかの照射設備に比べて小さく、重水熱中性粒子柱では $1.3 \times 10^{11} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ 、黒鉛熱中性粒子柱では $9.3 \times 10^{11} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ である。試料の重量、形状および照射時間には制限がない。

5.2 利用の方法

図 7 京大炉共同利用の課題申請手続き

共同利用の公募は上半期と下半期との2回に分けて行われ、そのつど、関連研究機関（国公立大学、国公立研究所など）へ通知される。申請された研究課題は原子炉実験所運営委員会で審査されて採否が決定される。採否の決定は研究者の所属する部局長と研究者へ通知される。その順序と時期は図7に示される。

研究者が採択通知後、原子炉実験所に出張して実験するまでの順序を示すと図8のとおりである。出張計画書、実験計画書、照射申込書、実験申込書などを同時に提出する。受け付けられた書類は原子炉運転計画会議にかけられ、その結果にもとづいて利用通知が研究者に送付されるとともに、所属長に対して出張依頼書により研究者の出張が依頼される。承諾の回答書が受理されたのち、研究者が来所し実験する。実験終了後、旅費の支給を受けて帰途につく。

5.3 問合せ先

京都大学原子炉実験所（大阪府泉南郡熊取町 〒590-14）

6. 日本原子力研究所 JMTR

以上の研究用原子炉のほか、原研大洗研究所には最

図 8 京大炉共同利用の利用手順

大出力 50MW の JMTR があり、最大熱中性子束として $3 \times 10^{14} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ が得られる。この炉も全国大学の研究者が共同利用でき、東北大学がその窓口となっている。紙面の都合上、JMTRの実験孔の特性については省略するが、その特性や共同利用の方法については下記に問い合わせしてほしい。

東北大学金属材料研究所附属材料試験炉利用施設
（茨城県東茨城郡大洗町成田町 〒311-13）

文 献

- 1) 東京大学原子力研究総合センター：日本原子力研究所原子炉等共同利用のしおり（1978）
- 2) 同 上：立教大学原子炉等共同利用のしおり（1978）
- 3) 東京工業大学原子炉工学研究所：武蔵工業大学原子力研究所原子炉等共同利用に関するご案内（1978）
- 4) 京都大学原子炉実験所：共同利用の栞（1978）