資 料

イリジウム-192 線源 (740 GBq) についての 特別形放射性物質に係る試験[†]

浜岡 進, 萩原聡昭, ニッ川章二, 松下幹夫

社団法人 日本アイソトープ協会
113-8941 東京都文京区本駒込 2-28-45

Key Words : special form radioactive material, sealed source, iridium-192 source, impact test, percussion test, heat test, bending test, immersion test

1. はじめに

現在, 放射性同位元素を用いた非破壊検査では, 主に¹⁹²Ir の線源が利用されている。その線源の9割以上を(社)日本アイソトープ協会が製作し, イリジウム-192 線源の製品名で頒布している。イリジウム-192 線源は, 数量が370 GBq のものが一般的に利用されているが, 740 GBq のものも希少ではあるが利用されている。これらのイリジウム-192 線源は, その使用目的により頻繁に輸送されているため, 適切な安全管理上の輸送方法が求められている。輸送は, 輸送手段の容易さから A 型輸送物として実施されるのが適当である。A 型の放射性同位元素の輸送に際しては, 関係法令等によって, 輸送容器に収納できる放射性同位元素の数量が規定されている^{1), 2)}。

また, 特別形放射性同位元素等とは, 「放射性同位元素又は放射性同位元素によって汚染された物の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目を定める告示 (平成2年11月28日科学技術庁告示第7号/最終

改訂 平成16年12月24日文部科学省告示第178号)」によって定められており, その放射性同位元素の形状が飛散しにくいかなによって, 特別形あるいは非特別形の2種類に区分され, 核種ごとにその数量が A₁ 値, A₂ 値として定められている。特別形放射性同位元素等の基準を満足するものであれば, 核種ごとに規定された輸送の数量の許容上限が緩和されている。¹⁹²Ir の特別形, 非特別形の数量限度を表1に示す。特別形放射性同位元素等は上記告示によって定められた特別形放射性同位元素に係る試験 (以下, 「特別形試験」という) を自主的に実施し, 以下の基準を満たしていることを確認する必要がある。

1. 外接する直方体の一辺が0.5 cm 以上
2. 打撃, 衝撃, 曲げの各試験を行い, 損壊しない
3. 加熱試験で溶融又は分散しない
4. 浸せき試験で放射性同位元素の漏出が2 kBq を超えない

放射性物質の輸送は, 国内外で実施されるため, 国際原子力機関 (IAEA) が定めた「IAEA 放射性物質安全輸送規則」に基づき行われており, 関係法令を含め, これらの特別形試験も「IAEA 放射性物質安全輸送規則」がベースとなっている³⁾。

イリジウム-192 線源に関しては, 既に特別形試験を行い, 基準を満たしていることが確認

[†] Several Tests for Special Form Radioactive Material on ¹⁹²Ir (740 GBq) Sealed Source.
Susumu HAMAOKA, Toshiaki HAGIWARA, Shouji FUTATSUKAWA and Mikio MATSUSHITA : Japan Radioisotope Association, 2-28-45, Honkomagome, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-8941, Japan.

表1 ^{192}Ir の特別形、非特別形の数量限度

放射性同位元素の種類	特別形放射性同位元素等である場合の数量 (A_1 値)	特別形放射性同位元素等以外の放射性同位元素等である場合の数量 (A_2 値)
	単位 GBq	単位 GBq
^{192}Ir	1000	600

図1 イリジウム-192線源（740 GBq）の構造

されている⁴⁾。この試験は、370 GBq のイリジウム-192 線源を用いて実施し、740 GBq のイリジウム-192 線源は、370 GBq のものと外形及び材質がほぼ同一であるため、同等のものとして取り扱ってきた。筆者らは、今般、国際的に輸送の重要性が見直されている状況から、改めて740 GBq のイリジウム-192 線源についても特別形試験を実施し、その妥当性の確認を試みた。

なお、通常、非破壊検査用線源は、線源のみで輸送されることはなく、本線源がホルダーに装着され、更にこのホルダーが遮へいを兼ねた輸送容器に収納されて輸送されるため、この輸送容器が特別形試験の基準を満足すればよい。今回、筆者らは、線源本体を模した供試物（模擬イリジウム-192 線源）を用いて特別形試験を実施した。この特別形試験は、A 型輸送物として輸送容器に収納した場合よりも過酷な条件となる。

2. 740 GBq のイリジウム-192 線源の概要

イリジウム-192 線源は、金属イリジウム原料ペレット (2.0 mmφ×2.0 mm) をステンレス鋼製カプセルに密封溶接したものである。740 GBq のイリジウム-192 線源の構造を図1に示す。金属イリジウム原料ペレットは、原子炉の中性子照射によって製造され、線源製作時に供給されるものの1個あたりの放射能の量は、約400 GBq である。370 GBq のものは本ペレット1個を、740 GBq のものは本ペレットを2個使い、カプセルと同じ材質の蓋を圧入した後、非消耗のタングステンを電極として用い、溶接部を不活性ガスであるアルゴンシールドガスで保護して溶接する溶接法 (TIG (Tungsten Inert Gas) 溶接) にて密封する。また、740 GBq の線源の諸元は、次の通りである。

写真1 イリジウム-192 線源（740 GBq）製作材料

写真2 イリジウム-192 線源（740 GBq）供試物の実物

カプセル重量（蓋を含む）：0.7 g 以下

金属イリジウム原料ペレット重量：約 0.3 g（2 個分）

総重量：1.0 g 以下

線源カプセルの材質（蓋を含む）：ステンレス鋼（SUS-316 L）

3. 供試物

本試験対象となる密封カプセルに収納された放射性同位元素は、金属イリジウムペレットである。これらを模擬して、試験後の検査を放射性同位元素による検査で行うこととしたため、次のような供試物を 8 個製作して使用した（写真 1, 2）。

カプセルの形状：（社）日本アイソトープ協会が製作頒布しているイリジウム-192 線源（740 GBq）用のカプセルを使用

放射性同位元素の核種： ^{59}Fe 85 ～ 95 kBq（セラミックに吸着）

塩化鉄（ ^{59}Fe ）溶液を 2 mm ϕ × 2 mm に加工したセラミックに滴下，乾燥させたものを ^{192}Ir 金属ペレットに見立てた。この ^{59}Fe 吸着セラミックを 2 個積み重ねカプセルに封入後，740 GBq 用の蓋を TIG 溶接した。なお， ^{59}Fe を用いた理由は， γ 線放出核種であるため試験後の漏出検査において微量でも容易に特定，検出できること，更に，短半減期（44.5 日）であるため，試験後の廃棄物の取扱いが簡単であることを考慮した。また，セラミックを ^{192}Ir 金属ペレットに置き換えたのは， ^{192}Ir 金属ペレットに比べ脆弱であり，各試験，特に衝撃試験や打撃試験においてセラミックが構造的な強度に加担するものでないことによる。

3・1 供試物の試験前の検査

特別形放射性同位元素としての試験を行う前に，供試物に欠陥のないことを，次の方法で確認した。

3・1・1 目視検査

目視により，密封溶接部及びカプセル表面のキズや腐蝕サビの有無などを観察し，異常のないことを確認した。

3・1・2 漏出検査（煮沸浸せき試験）

供試物を 100 mL の蒸留水で常温より 10 分間煮沸した。煮沸液は当初の 100 mL から，約 70 mL に濃縮された。煮沸後の供試物を再び 100 mL 蒸留水に浸せきして常温より加熱し 10 分間煮沸した。煮沸終了後，二つの煮沸液に蒸留水を加え 100 mL にメスアップし， ^{59}Fe の放射能量を NaI（Ti）シンチレーション検出器（応用光研製 PB-1 型）を用いて測定し，すべての漏出検査の煮沸水に含まれる ^{59}Fe が，検出限界以下であることを確認した。なお，検出限界の放射能量は，2.2 Bq であった。

写真3 加熱試験の結果

写真5 衝撃試験の結果

4. 試験方法

上記の健全性を確認した供試物を用いて、特別形試験を次のように実施した。

4・1 衝撃試験

コンクリート床面に敷いた50×50 cm、厚さ3 cmの鋼板ターゲットの中央を狙って、供試物を溶接部が下になるように9 mの高さから自由落下させた。

4・2 打撃試験

表面が滑らかな10 cm ϕ 、厚さ3 mmの鉛円盤板上に供試物を置き、鋼製丸棒を1 mの高

さから落下させ、打撃した。鋼製丸棒は、直径25 mm、長さ360 mm、重さ1.4 kgで、打撃する平端面の角を半径3 mmに面とりをし、焼き入れ焼き戻しによってロックウェル硬度Cが58～60としたものを用いた。鋼製丸棒の落下にはガイドパイプを使用した。

4・3 曲げ試験

曲げ試験は、供試物を水平にクランプ面からその2分の1が出るように固定し、1 mの高さから1.4 kgの物体を自由落下させた場合と同等の衝撃力により、最大の破損を及ぼすように鋼製棒の平坦面で打つこと。この場合において鋼製棒は、その平坦面の直径が25 mmであり、

写真4 打撃試験の結果

かつその角の半径が 3 mm のものとする事となっている。なお、本線源は、長さが 10 cm 未満 (0.8 cm) であり、長さの幅に対する比率が約 1.6 である。したがって、前述告示が曲げ試験を実施する要件としている 10 を超えないため、曲げ試験は行わなかった。

4・4 加熱試験

電気管状炉（株池田理化製，シリコニット高熱工業株製変圧器（27 K 空冷））の炉内温度をあらかじめ 800 ℃ とし，その中に供試物を入れ，10 分間放置後，取り出して室温で放冷した。

4・5 浸せき試験

恒温水槽を用い，温度 50 ℃ の水深約 3 cm の水中に供試物を 4 時間浸せきした。1 回目の浸せき終了後，供試物を 30 ℃ の恒温状態の雰囲気中で 7 日間放置し，ふたたび，1 回目と同じ環境及び時間での浸せきを行った。

特別形試験に関しては，試験方法の順番は特に規定されていない。筆者らは，最初に製作した供試物 8 個全部について浸せき及び加熱試験を行い，両試験において供試物にダメージが生じていないことを確認したのち，打撃試験については 8 個の内の 3 個を，また，衝撃試験につ

いては残りの 5 個を用いた。

5. 試験後の検査結果

試験後の供試物は，まず目視によりその健全性を確認した。目視検査の客観性を高めるため，特に供試物に外的ダメージを与える試験である加熱試験，打撃試験，衝撃試験後の供試物の状態を写真 3，4，5 に示した。衝撃試験については供試物にダメージは認められなかったが，加熱試験についてはカプセルの変色，打撃試験についてはカプセルの一部変形が確認された。次に加熱，衝撃，打撃試験についてはそれぞれの試験終了後，3・1・2 の漏出検査方法により煮沸液中の⁵⁹Fe の放射エネルギーが検出限界（2.2 Bq）以下であることを確認した。浸せき試験については本試験自体が漏出試験であるため，浸せき液を 100 mL にメスアップして測定し，⁵⁹Fe の放射エネルギーが検出限界以下であることを確認した。

なお，今回，試験後の供試物の漏出検査で，漏出検査の検出限界放射エネルギーは 2.2 Bq としたが，JIS に定める煮沸浸せき試験の検出限界は，内容物が非浸出性，浸出性によらず，統一して 10 ～ 1 Bq であり，この基準を十分に満たしている。また，JIS に定める煮沸浸せき試験の溶出の限界値は 0.2 kBq を超えないことであり，

表 2 試験結果

試験項目 確認方法	衝撃	打撃	加熱	浸せき	曲げ
目視 確認結果	異常なし	カプセル 一部変形	黒褐色に変色、 溶融・分散せず	異常なし	—
漏出液 確認結果	煮沸浸せき試験で検出限界以下			検出限界以下	—
判定	損壊がないため合格		溶融又は分散がないため合格	水中への放射性同位元素の漏えい量が、2 kBq を超えないため合格	線源の長さが 10 cm 未満、長さの幅に対する比率が 10 を超えないため、試験を要しない

本試験においてすべての結果 2.2 Bq 以下（検出限界以下）となった⁵⁾。以上により，密封性があるものと判断した。なお，特別形試験の試験項目浸せき試験についての基準は，水中への放射性同位元素の漏えい量が，2 kBq を超えないこととなっている。今回の判断基準は，この基準を十分に下回るため，供試物の健全性を確認するには十分である。試験後の検査の結果を表 2 にまとめた。

6. ま と め

イリジウム-192 線源（740 GBq）の供試物を用いて，特別形放射性同位元素に係る試験を行った。その結果，イリジウム-192 線源（740

GBq）は，特別形放射性同位元素の基準に適合するものであることが確認された。

文 献

- 1) (社)日本アイソトープ協会，アイソトープ法令集（Ⅰ）2005 年版，pp.464-496，東京（2005）
- 2) 日本原子力産業会議，放射性物質等の輸送法令集 2002 年度版，pp.539-569，東京（2002）
- 3) 原子力安全技術センター，放射性物質安全輸送規則 1996 年版解説，pp.177-181，東京（2000）
- 4) 更科三郎，鈴木 修，岩永哲雄，⁶⁰Co および ¹⁹²Ir 線源についての特別形放射性物質の試験，*RA-DIOISOTOPES*, **30**, 346-351 (1981)
- 5) (財)日本規格協会，JIS Z 4821-2: 2002 (ISO 9978: 1992) 密封線源 - 第 2 部: 漏出試験方法，pp.2-4，東京（2002）