総 説

放射性同位元素装備機器の耐火性[†]

島 田 裕 久

自治省消防庁消防研究所

181 三鷹市中原3-14-1

Key Words: isotope gauge, fire resistivity, thermal safety, fire safety

1. はじめに

わが国における密封放射線源を使用する放射性同位元素装備機器（以下、RI装備機器）は、ガスクロマトグラフ装置をはじめ、厚さ計、密度計、水分計、レベル計、硫黄分析計など多数の種類があり、産業界、研究機関などで、その利用が着実に増大していることは放射線利用統計¹⁾などをみても明らかである。

このような RI 装備機器の普及に伴って²⁾、放射線障害を防止する観点から、法的規制はもとより製造販売事業者による安全設計および使用者の安全管理面において、従来より種々の配慮がなされてきた。

また、昭和55年5月に放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(以下、放射線障害防止法)の改正が行われ、その後、政令、総理府令等が定められ、RI 装備機器の設計承認および機構確認等の制度が導入施行されており、これに必要な技術基準等の策定が急がれている。

この RI 装備機器の安全性を確保するためには、通常時の使用条件下および火災、地震などの異常時の事故条件下においても密封放射線源、線源容器を含めて外部放射線線量レベルの異常な上昇、RI の漏出、線源の脱落等の事態が生じないような防護対策が必要とされ、多くの研究および調査もなされてきた^{3)~10)}。

ここでは異常時の事故条件として、火災事故を想定した RI 装備機器の耐火性について述べる。

2. 火災事故例

RI 装備機器の火災事故例は、わが国では原子力関係の火災事故例^{11)~13)}よりさらに少なく、初期の段階

から現在に至るまで関係者の安全対策等、絶えざる努力によってわずかに1件のみである。

また、外国の例では、カナダで輸送中の火災事故が1件報告されている¹⁴⁾。IAEA の輸送規則には、一定量以上の放射性物質を輸送するB型輸送物については、仮想火災事故として800°C、30分間という火災環境にさらされても、安全性が確保できることという条件がある^{15),16)}。この条件は道路上でのタンクローリー車との衝突後のガソリン火災を仮定しているが、この事故は、輸送物としてはB型に相当する量の放射性物質を収納していなかったが、仮想事故と類似しているので、その後、詳細な検討が行われた。

ここでは、この2件の火災事故について紹介する。

2・1 火災事故例—1

1979年6月13日、19時35分頃、放射線厚さ計（密封線源 ⁸⁵Kr 300mCi）を使用して、アルミはくの圧延加工を行う鉄骨鉄板葺鉄板張の工場内のアルミ圧延機より出火した。消防署は19時47分火災を覚知し消防隊が出動し、同日20時43分に鎮火した。

なお、直接損害額は、圧延機1台、放射線厚さ計1台、アルミはく製品の焼損およびアルミはく製品の水損等で合計約1億円程度であったとのことである。

出火の原因については、圧延機にてアルミはくを圧延中、出側アルミはくが切断したさい自動アルミ切断装置が不良であったため、入側アルミはくが圧延ローラーに巻き付き圧延ローラーとアルミはくとの摩擦熱または接触火花によって圧延油（危険物第4類第3石油類であるロールクーラントオイル）に着火したものと推定されている。

火災鎮火後の放射線漏洩検査では、サーベイメータで点検測定した結果、放射線線量率の異状は認められなかったが、事故後、新規の厚さ計に交換したとのことである。

[†] Fire Resistivity of Isotope Gauge. Hirohisa SHIMADA: Fire Research Institute, Fire Defence Agency, Ministry of Home Affairs, 3-14-1, Nakahara, Mitaka, Tokyo 181.

この放射線厚さ計は米国製で、線源容器はタングステン製であり、中に N_2 ガスを常時注入し、その密閉のため金属蒸着ポリイミドフィルム(耐熱度 約 $390^{\circ}C$)を貼りつけてあるが、このフィルムも変質しなかった。

線源は、チタン(融点 $1820^{\circ}C$)のカプセル内にクリプトンガスを封入したもので、アメリカ規格協会の分類(ANSI 5.10, 1968.8)はC22232である。

この事故では、緊急用シャッターロックのための温度ヒューズ($182^{\circ}C$)の溶断していないことから、厚さ計は比較的低温度の火災環境にさらされたものと推定される。

2・2 火災事故例—2

2・2・1 火災事故の概要

1976年12月10日、14時30分頃、カナダのケベック州

写真 1 火災の状況

写真 2 南西方向からの火災状況

写真 3 南側から見た火災

において、自動車との衝突を回避しようとした40,000 Lのガソリンを積載したタンクローリー車が、放射線密度計と貨物を混載して駐車中のトレーラトラックに衝突した。衝撃によってトラックの運転席がタンク車の左前部を破損しガソリンが流出した。その直後にガソリンが発火、火災が発生した。

地区の消防署だけでは消火できず、軍の消防隊が救援のために付近の基地から呼ばれ、15時35分に現場に到着し、泡消火剤を用いて16時にガソリン火災を鎮火した。この火災では衝突した2台の車輛のほか、付近の2台の自動車、さらに隣接したレストラン・モーターに損害を与えた。

4日後、保険調査員がトレーラトラック上の密度計の残存破片から、放射能の指示標識を発見した。地方の市民防護担当官の測定によれば、表面の最大放射線線量率は $30mSv(3rem/h)$ であり、漏出による放射性汚染はなかった。

輸送物が火災にさらされた時間は、最高90分間となるが、火災発生初期のトレーラの床による保護と終了

写真 4 トレーラベッド

写真 5 破損した輸送物の外観

図 1 密度計断面図

時の泡消火剤の使用を考慮すると、加熱時間は、75分あるいはそれ以下と考えられる。火災中に撮影した写真1, 2, 3によれば、火災の中心は運転台付近であるが、ガソリンの燃焼は輸送物が積載されたトレーラの下まで広がっている。とくに、トレーラの前部6mが大きく損傷しており、また、右側の影響が大きい。写真4から明らかなように、荷台の前部10mの全床面にあった可燃物はすべて燃え尽きた。

密度計は最前部から約3m離れたクロスビーム上で発見されたが、事故から発見まで長時間経過していたので、火災中の正確な位置は不明である。また、クロスビームは密度計が置かれていた場所で曲っていた。

2・2・2 破損前の装置の概要

この密度計は、1962年型 Ohmart HM-8 型で、線源ヘッドと検出器により構成され、40×50cmの半円筒形鋼板上に載せられている。放射性物質をまったく含まない検出器には、大きな、はっきり確認できる放射能指示標識があったが、7.7 GBq(209 mCi)の ^{137}Cs を含む線源ヘッド(ステンレス鋼の溶接カプセルに二重に封入されている)は、あまりはっきりしない三つ葉マークと指示標識が鋳出されていた。

線源ヘッドは、図1、写真5に示すように直径205mmの半球形状で内部に鉛を充填した6.4mm厚さの鋼製胴で作られている。 ^{137}Cs の線源カプセルは半球の中心部にある直径2.4mmの支持棒に接続した真鍮製ホルダの中に吊るされている。直径70mm、長さ76mmで中心部に直径22mmの穴を有する鉛を充填した鋼製回転シャッタにより、線源からの放射線を制御す

写真 6 輸送物内部の復元

図 2 時間に対する容器の温度変化

る。

シャッタはクランクにより回転でき、閉じた状態ではロッキング・ラグに止められる。損傷していない状態では、線源ヘッドの重量は48kgの鉛を含めて、約68kgである。

2・2・3 火災後の密度計の状況

装置表面は酸化し、ロッキング・ラグは破損し、クランクハンドルは自由に動き、放射線の制御はできなかった。約45kgの鉛が線源ヘッドから流出した。火災中に溶融状態になり、シャッタ開口部およびボルト操作孔から流出したものと思われる。

写真6は線源ヘッド内部の火災後の模様である。線源は延長棒から外れ、また、シャッタのエンドプレートが胴と分離していることが分かる。内部に750gのくさび形鉛片が残っていることから、火災後、鉛が再凝固するさいにヘッドが水平でなかったことがわかる。

2・2・4 熱的環境の評価

火災中の状態を正確に評価することは不可能であるが、第一に鉛が流出し、銅合金ブッシュがそのままであったことから、最低は鉛の融点327°C、最高は銅合金の融点930°Cとなる。第二に火災後の鉛酸化物の状

態から 486°C を大幅に超えていないことなど、密度計は約 500°C 程度になったものと推論された。

熱的環境をより明らかにするため、火災の状況と輸送物の応答を理論的に模擬する試みがなされた。

45 kg の鉛が入った表面の熱吸収率 0.8、直径 205 mm、重量 20 kg の鋼鉄製の球を、550°C、600°C および 800°C の環境にさらした場合の挙動について研究された。ここで環境の放射率は 0.9、伝熱は放射のみとし、球内の温度勾配はないものと仮定した。

この 3 ケースの時間に対する球の温度変化を図 2 に示した。どの環境に対しても同じパターンとなる。すなわち、まず球は鉛の融点 327°C まで加熱される。そして鉛が溶解する間一定の温度が保たれる。その後、球は 375°C に加熱される（この温度は鉛の融解とすべての鉛の流出を保證できるように任意に選択した）。最後に中空の球は最終温度まで加熱される。

環境温度 550°C の場合、75 分後（これは実際の事故の時間と対応）に球は 500°C になる。これに対して環境温度 800°C の場合、球は 21 分後に 500°C となる。

これらの結果は前記の結論をある程度裏付けているが、火災温度が 550°C であったことの証明とはならない。実際には、火災中のある期間は 550°C を超え、残りは 550°C 以下となり、全体の平均が 550°C であったであろう。したがって、結論として、①鉛遮蔽体が流

図 3 No. 2 Cask model 断面図

出した後の熱的環境は 500~550°C であった。②鉛遮蔽体が流出する前の熱的環境は 550°C を超えていた可能性があるが、この温度および時間を評価することは不可能である、と述べている。

なお、この結果より、この事故を起こしたガソリンタンク車と同様の車が、通常走行していることから、IAEA 規則に定められた熱試験の時間が再検討されるべきことを示唆していると述べている*。

3. 密封線源の熱的性能

RI 装備機器の耐火性については、使用される密封線源の熱的性能も重要な評価対象として必要になる。

現在、RI 装備機器に使用される密封線源の性能は国際規格 (ISO-2919) に述べられているように、各国とも使用条件下での安全性の確保が基準になっており^{17)~20)}、わが国においても ISO に準拠した日本工業

表 1 放射性同位元素装備機器における密封線源の性能要件例 (温度)

密封線源の用途		温度等級
ラジオグラフィ用線源 (工業用)	裸線源	4
	装置に装備された線源	4
医療用線源	ラジオグラフィ用	3
	γ線遠隔照射治療用	5
	組織内および腔内使用用	5
	表面使用用	4
γ線ゲージ (中、高エネルギー)	裸線源	4
	装置に装備された線源	4
β線ゲージおよび低エネルギーγ線ゲージ、または蛍光X線分析用線源		3
石油検層用線源		5
ポータブル水分計および密度計用線源		4
一般的用途の中性子線源 (原子炉の始動用を除く)		4
校正用線源 (27 μCi 以上のもの)		2
γ線照射用線源	裸線源	4
	装置に装備された線源	4
イオン発生用線源	クロマトグラフィ装置用	3
	静電気除去装置用	2
	煙感知器用	3

* 現在、IAEA 規則の改訂作業が進められており、1984年頃に改訂される予定とのことである。しかし温度、とくに時間の変更はないようである。

表 2 密封線源の温度等級試験内容

等級	1	2	3	4	5	6	X
試験方法							
温度	試験不用	-40°C(20分), +80°C(1時間)	-40°C(20分), +180°C(1時間)	-40°C(20分), +400°C(1時間) 熱 衝 撃 400°C→20°C	-40°C(20分), +600°C(1時間) 熱 衝 撃 600°C→20°C	-40°C(20分), +800°C(1時間) 熱 衝 撃 800°C→20°C	特別試験

規格 JIS Z 4821²¹⁾ (1981) が制定されている。この代表的な用途に対する密封線源の温度試験の等級を表 1 に示す。装備機器に使用される密封線源は特別な場合を除いて温度等級は 3 ないし 4 である。

また、表 2 はこの温度等級の内容を示している。

このような密封線源の安全性については、これまでも種々の実験が行われている^{22), 23)}。

4. 線源容器の耐火性

RI 装備機器の線源容器としては、種々の形状および材質のものがあるが、火災に対して最も熱的に弱いと考えられる遮蔽用の鉛を使用した線源容器を、ここでは検討することにする。

このような容器の例として、使用済核燃料輸送容器や放射性物質輸送容器の耐火性に関する実験と解析されたものがある^{24)~26)}。

その中で、比較的線源容器と似ている一例をとりあげる。容器の形状は円筒形で、図 3 に示すように鋼製

Heat transfer coefficient

$$\alpha_1 = 0.7\sigma \frac{(T_0^4 - T_1^4)}{T_0 - T_1} + 20 (\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C})$$

Thermal conductance $\alpha_2 = 55 (\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C})$

図 4 温度-時間曲線

の外皮、その内側に遮蔽用鉛層、さらにステンレス鋼の内殻の三層構造で、内部に74 mm φの空洞があり、全体の重量は636kgである^{30), 31)}。

図 5 線線源容器構造図(a) (厚さ計, レベル計, 密度計)

この容器で、800°C、20分の耐火試験を行い、実験結果を解析し、熱コンダクタンスを求め、800°C、30分加熱時の温度経過の解析結果を図4に示した。図から鉛層の最高温度は融点327°Cを越すことがわかる。

つぎに図5に示す γ 線線源容器(a)⁹⁾の火災温度800°C、30分間加熱された場合について、今回計算を行ってみた。これを以下に説明する。この計算では、加熱は半径方向のみの一次元加熱とし、半径方向に分割した各部分(下図参照)の熱収支の微分方程式(1)~(6)、境界条件式(7)~(14)を計算機を使用して、各部の温度上昇を求めた。

ただし、この線源容器についても、外殻と鉛層との間に微小空隙が存在すると思われるが、この空隙の評価が難しいことから、ここでは外殻と鉛層は完全に密着しており、空隙はないものとして、より安全側の結果となるように考慮した。

$$\frac{\lambda_1 S_1}{\Delta r_1} (\theta_1 - \theta_2) - \frac{\lambda_1 S_3}{\Delta r_1} (\theta_2 - \theta_3) = M_{13} \frac{d\theta_2}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{\lambda_2 S_4}{\Delta r_2} (\theta_4 - \theta_5) - \frac{\lambda_2 S_6}{\Delta r_2} (\theta_5 - \theta_6) = M_{46} \frac{d\theta_5}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{\lambda_2 S_8}{\Delta r_2} (\theta_6 - \theta_7) - \frac{\lambda_2 S_9}{\Delta r_2} (\theta_7 - \theta_8) = M_{68} \frac{d\theta_7}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{\lambda_2 S_9}{\Delta r_2} (\theta_8 - \theta_9) - \frac{\lambda_2 S_{10}}{\Delta r_2} (\theta_9 - \theta_{10}) = M_{910} \frac{d\theta_9}{dt} \quad (4)$$

$$\frac{\lambda_3 S_{10}}{\Delta r_3} (\theta_{10} - \theta_{11}) - \frac{\lambda_3 S_{12}}{\Delta r_3} (\theta_{11} - \theta_{12}) = M_{1012} \frac{d\theta_{11}}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{\lambda_4 S_{12}}{\Delta r_4} (\theta_{12} - \theta_{13}) = M_{1214} \frac{d\theta_{13}}{dt} \quad (6)$$

$$\alpha_1 (\theta_0 - \theta_1) = \frac{\lambda_1}{\Delta r_1} (\theta_1 - \theta_2) \quad (7)$$

$$\frac{\lambda_1}{\Delta r_1} (\theta_2 - \theta_3) = \alpha_2 (\theta_3 - \theta_4) \quad (8)$$

$$\alpha_2 (\theta_3 - \theta_4) = \frac{\lambda_2}{\Delta r_2} (\theta_4 - \theta_5) \quad (9)$$

$$(\theta_5 - \theta_6) = (\theta_6 - \theta_7) \quad (10)$$

$$(\theta_7 - \theta_8) = (\theta_8 - \theta_9) \quad (11)$$

$$\frac{\lambda_2}{\Delta r_2} (\theta_9 - \theta_{10}) = \frac{\lambda_3}{\Delta r_3} (\theta_{10} - \theta_{11}) \quad (12)$$

$$\frac{\lambda_3}{\Delta r_3} (\theta_{11} - \theta_{12}) = \frac{\lambda_4}{\Delta r_4} (\theta_{12} - \theta_{13}) \quad (13)$$

$$\alpha_1 = \sigma \cdot \epsilon F \frac{(T_0^4 - T_1^4)}{T_0 - T_1} + \alpha_c \quad (14)$$

ただし、これらの式中の記号を以下に示す。

λ : 各材質の熱伝導率

M : 各ノードの熱容量

$M = C(\text{比熱}) \times \rho(\text{密度}) \times V(\text{体積})$

S : 各ノードの表面積

α_1 : 容器外表面の全熱伝達率

α_2 : 熱コンダクタンス

θ_0 : 加熱温度(800°C, 一定)

$\theta_1 \sim \theta_{14}$: 容器内各部の温度

α : ステファンボルツマン定数($=4.88 \times 10^{-8}$)

ϵ : 放射率

F : 形態係数

T_0 : 加熱温度(K)

T_1 : 容器表面温度(K)

また、外殻表面における全熱伝達率 α_1 は、放射熱伝達率 $\alpha_r = \sigma \cdot \epsilon \cdot F (T_0^4 - T_1^4) / (T_0 - T_1)$ と対流熱伝達率 α_c の和とし、対流熱伝達率 α_c は20 kcal/m²h°C一定としたが、放射熱伝達率は温度の関数として計算した^{32)~34)}。

さらに計算中に、鉛層の温度が融点327°Cに達しても溶融しないものとして処理した。

この計算結果を図6に示す。図は γ 線線源容器(a)について、800°C、30分の火災で加熱されたときの、外殻の温度および三層に分割した鉛層の温度経過を示している。図から外側の鉛は約12分後に溶け始めるだろうということが推定される。

図6 温度-時間曲線

図7に示す γ 線線源容器(b)についても、 γ 線線源容器(a)と同様の計算手法により、800°C、30分間の火災を想定した計算結果を図8に示す。

図から分かるように、鉛層は火災加熱後、約6分程度で溶け始めることが予想される。

しかし、これらの計算は、外側の鉄と鉛層との間の微小空隙がないものとした計算結果であり、実際の線源容器には微小空隙が存在し、この空隙による熱コン

図 7 γ 線線源容器構造図(b)

図 8 温度-時間曲線

ダクタンスの影響が耐火性をさらに向上させることが想定される。したがって、今回の計算結果からは、 γ 線線源容器(a)では約12分、(b)では約6分より早く鉛が溶け始めることはないということであるが、実際の容器の試験ではさらに遅くなると思われる。また線源容器内の線源の加熱温度も、これらの鉛の温度以下で加熱されることになる。

将来、種々の実物容器の耐火試験を行い、微少空隙の影響を確認するとともに、内部におかれる線源の温度上昇についての実験結果などから、計算による解析の信頼性について検討することが望まれる。

表 3 装置の安全性能基準の分類

試験/等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	S
使用条件										
高温	試験なし	50°C	60°C	85°C	105°C	200°C	300°C	400°C	600°C	特 別
低温	試験なし	20°C	0°C	-40°C	-79°C	-100°C	-196°C			特 別
漏洩放射線 (5 cmで) ^{1), 2)}	試験なし	200 mrem/h	100 mrem/h	50 mrem/h	20 mrem/h	5 mrem/h	2 mrem/h	0.75 mrem/h	0.5 mrem/h	特 別
漏洩放射線 (30 cmで) ¹⁾	試験なし	100 mrem/h	50 mrem/h	20 mrem/h	5 mrem/h	2 mrem/h	0.75 mrem/h	0.25 mrem/h		特 別
漏洩放射線 (100 cmで) ¹⁾	試験なし	10 mrem/h	2 mrem/h	0.75 mrem/h	0.25 mrem/h					特 別
事故条件										
火 災 ³⁾	試験なし	5 分 538°C	20 分 800°C	1 時間 927°C	2 時間 1010°C	4 時間 1093°C				

1) 装置の最も近く、人が達し得る表面からの距離。

2) 中性子検出器の寸法が大きいために、中性子線源を含む計測装置の表面から5 cmの所で測定することは実用的でない。したがって等級1に明記される。

3) UL規格の標準火災速度(時間-温度曲線)。この試験は、X線管球線源には適用しない。

5. RI 装備機器の耐火性

ここで考える耐火性とは、目的対象物が火災事故あるいは火災を想定した加熱試験に対して、安全性を確保するための熱的健全性を有することであり、とくに、RI 装備機器の耐火性は、線源ホルダ、線源容器に収納された密封放射線源による放射線防護の観点より、最終の判定をする必要がある。

また、目的対象物としては、密封線源を収納した線源容器またはRI 装備機器を原則とするが、RI 装備機器の種類によっては、防火の設置環境や設置建物等も考慮に入れる必要もあると思われる。

(1) 加熱温度と継続時間

RI 装備機器の火災事故を考慮した加熱試験としては、透過型 β 線厚さ計について、昭和41、42年度に行われた業種別実態調査をもとに想定される火災温度および火災継続時間を計算によって、火災発生後5分で750℃、10分で800℃、15分で920℃、以下-7℃/分の勾配で、漸次下降することが求められ^{35)~37)}、この結果をもとに、JIS Z 4614「放射線厚さ計の線源容器」(1973)³⁸⁾で規定されている加熱温度800℃、30分間継続の加熱試験がある。

また、米国においては、熱的条件として使用条件と事故条件(火災)および放射線量率との両者についての安全性基準の分類規格³⁹⁾がある。これを表3に示す。

さらに、RIの状態、核種、量の面から検討し、外側の容器まで含めて一つの規準を示しているものに、IAEA(国際原子力機関)による放射性物質安全輸送規則、およびこれに準拠した国内規則がある。これらは、RI 装備機器の規格を考える一つの参考となろう。

6. ま と め

RI 装備機器に必要な耐火性能は、原則として収納された密封放射線源の健全性および密封性が保持されることが望ましいが、密封放射線源の基準で分かるように、使用条件下での分類等級であるため、事故条件によっては線源の構造材質等によって、破損または漏出の予想される線源もあり得る。したがって、線源のみでなく、線源容器なども含めた耐火性の検討を行い、総合的な耐火性能として、以下の項目についての検討が必要と思われる。

(1) 線源容器の原形を保持し、著しい変形のないこと。(とくに鉛遮蔽材を使用したものは、再凝固しても、空洞ができ、また空洞がどこにできるか分からないこと。さらに線源容器の置かれる位置によっては、鉛が全部溶出することも考慮しなければならない)。

(2) 線源容器および密封放射線源は所定の保持状態を維持し、脱落等のないこと。

(3) 放射性同位元素の外部への飛散、漏出が生じないか、万一あっても放射線防護上、安全が確保できること。

(4) 遮蔽性能の低下により、規定の線量率を超過しないこと。

(5) ジャケット機構の安全性

また、製造事業者としても、上記耐火性能をRI 装備機器に反映させるとともに、設計承認制度の効果的な運用を計ることが望まれる。

文 献

- 1) 科学技術庁原子力安全局編：「放射線利用統計」，日本アイソトープ協会，(1981)
- 2) 放射線応用測定器のすすめ(第2版)，日本電気計測器工業会(1981)
- 3) 吉沢賢一：原子力工業，**15**，(10)，57(1969)
- 4) 日本アイソトープ協会：科学技術庁委託調査放射性同位元素装備機器管理基準に関する調査報告書(1980)
- 5) 浜田達二：*Radioisotopes*，**29**，358(1980)
- 6) 鈴木英世，他：*ibid.*，**30**，186(1981)
- 7) 日本アイソトープ協会RI輸送容器試験委員会：*ibid.*，**25**，585(1976)
- 8) 日本アイソトープ協会：昭和49年度原子力平和利用委託試験研究 ラジオアイソトープ輸送容器の安全性に関する試験研究成果報告書(1976)
- 9) 日本アイソトープ協会理工学部会：「アイソトープ装備機器をめぐる諸問題」，アイソトープ協会(1981)
- 10) 佐藤乙丸：*Isotope news*，No. 323，16(1981)
- 11) 島田裕久：*ARS・NEWS*，**13**，119(1979)
- 12) 島田裕久：原子力工業，**25**，(11)，98(1979)
- 13) 松本邦宏：同上，**26**，(8)，61(1980)
- 14) J.J. McLellan, et al.: Proc. 5th Int. Symp. on Packaging and Transportation of Radioactive Materials, Vol. II, p. 615, USA (1978)
- 15) IAEA: "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials", SS. No. 6, Vienna (1973)
- 16) IAEA: "Advisory Material for the Application of the IAEA Transport regulations", SS. No.

- 37, Vienna (1973)
- 17) USASI. N 5.10 Classification of Sealed Radioactive Sources (1968)
- 18) BSI BS-5288 Sealed Radioactive Sources (1976)
- 19) ISO/DIS 2919.3 Sealed Radioactive Sources-Classification (1978)
- 20) ISO/DIS 1677 Sealed Source-General (1977)
- 21) JIS Z 4821, 密封放射線源, 日本規格協会 (1981)
- 22) 大野明, 他: *Radioisotopes*, **24**, 805 (1975)
- 23) 更科三郎, 他: *ibid.*, **30**, 348 (1981)
- 24) T. Moriya and T. Jin : Proc. 1st Int. Symp. on Packaging and Transportation of Radioactive Materials, p. 723 (1965)
- 25) H. Shimada and T. Moriya : Proc. 4th Int. Symp., *ibid.*, p. 647 (1974)
- 26) 島田裕久 : 消防研究所報告, No. 39, p. 29 (1975)
- 27) 青木成文, 他 : 日本原子力学会誌, **17**, 536 (1975)
- 28) 島田裕久 : 原子力工業, **22**, (1), 23 (1976)
- 29) S. Aoki, et al.: Proc. of a Seminar on Transport Packaging for Radioactive Materials, p. 481 (1976)
- 30) T. Moriya and H. Shimada : Proc. 3rd Int. Symp. on Packaging and Transportation of Radioactive Materials, p. 833 (1971)
- 31) 島田裕久, 守屋忠雄 : 日本火災学会学術講演会概要集, p. 1 (1971)
- 32) 守屋忠雄, 他 : 消防研究所報告, **33**, 19 (1971)
- 33) 守屋忠雄, 他: 同上, **35**, 36 (1972)
- 34) S. Aoki, et al.: Proc. 5th Int. Symp. on Packaging and Transportation of Radioactive Materials, Vol. I, p. 479 (1978)
- 35) 日本電気計測器工業会 : 透過形ベータ線厚み計の安全性に関する研究成果報告書 (1966, 67)
- 36) 守屋忠雄, 他: 第5回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 38, 39, 40 (1968)
- 37) T. Moriya : Proc. 2nd Int. Symp. on Packaging and Transportation of Radioactive Materials, p. 477 (1968)
- 38) JIS Z 4614, 放射線厚さ計の線源容器, 日本規格協会 (1973)
- 39) NBS Handbook 129, ANSI-N538 (1979)
-