

JAERI-M

8752

放射性同位体製造資料-1252

ラジオアイソトープに関するBM型輸送物の  
安全性試験と輸送

1980年3月

岡根章五・加藤 久・反田孝美・大杉 稔・鈴木恭平  
伊藤康博・介川 達

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ラジオアイソトープに関するBM型輸送物の安全性試験と輸送

日本原子力研究所アイソトープ事業部製造部

岡根 章五・加藤 久・反田 孝美・大杉 稔

鈴木 恭平・伊藤 康博<sup>+</sup>・介川 達<sup>+</sup>

(1980年2月1日受理)

製造部では昭和52年5月から昭和54年10月の約2年半にわたり、改正された「放射性同位元素等車両運搬規則」に適合するBM型輸送容器の製作を実施した。

製造部で使用している輸送容器は、引出型線源収納容器用(鉛厚15cm)と円筒型線源収納容器用(鉛厚15cmと8cm)の2種に分類される。また、BM型で輸送しなければならない適用核種としては $^{192}\text{Ir}$ (6540Ci)と $^{32}\text{P}$ (188Ci)がある。

輸送物の全重量は、引出型用で約1,800kgであり、円筒型用のうち鉛厚15cmのものは約1,500kg、8cmのものは840kgであった。

これら輸送物についての実証試験結果および理論解析結果から、改正された規則に適合し十分安全性をもっていることを確認した。

同時に製作したA型輸送容器についても簡単に附記した。

---

<sup>+</sup> アイソトープ事業部事業課

Transportation and Safety Test of Type BM Packages  
for Radioisotopes

Shogo OKANE, Hisashi KATO, Takami SORITA, Minoru OSUGI  
Kyohai SUZUKI, Yasuhiro ITO<sup>+</sup> and Toru SUKEGAWA<sup>+</sup>

Division of Radioisotope Production, Radioisotope Center,  
JAERI

(Received February 1, 1980)

In the period of May 1977 to October 1979, the Division of Radioisotope Production, JAERI, made containers for transportation of radioisotopes as type BM package, which satisfied the requirements in the amended regulations for transportation of radioisotopes. Two types of packages were prepared, accommodating a drawer type container (lead shielding 15 cm thick) and a cylinder type container (lead shielding 15 or 8 cm thick) respectively; these are for transportation of  $^{192}\text{Ir}$  (6540 Ci) and  $^{32}\text{P}$  (188 Ci) as type BM package. The package accommodating a drawer type container weighs about 1800 kg. The package accommodating a cylinder type container of 15 cm and 8 cm thick lead shielding weighs 1500 kg or 840 kg respectively. The packages were subjected to series of safety tests prescribed in the regulations, both theoretically and experimentally. Results of the tests showed constructual soundness and safety of the packages. Safety of the type A package prepared is also described in the appendix.

Keywords ; BM Package, Transportation, Radioisotope,  
Drawer Type Container, Cylinder Type Container,  
Iridium 192, Phosphorus 32, Safety Test,  
New Regulation.

---

<sup>+</sup> Radioisotope Administration Section, Radioisotope Center,  
JAERI

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. B M型輸送容器の実用化までの経過 .....	2
3. 引出型B M輸送容器 .....	4
3.1 引出型B M輸送物の安全性試験 .....	5
3.1.1 通常時試験 .....	5
3.1.2 水吹きつけ試験 .....	5
3.1.3 1.2 m落下試験 .....	6
3.1.3.1 落下試験結果 .....	6
3.1.4 圧縮試験 .....	7
3.1.5 貫通試験 .....	7
3.2 事故時試験 .....	7
3.2.1 浸漬試験 .....	7
3.3 遮蔽解析 .....	8
3.4 野外放置試験 .....	9
4. 円筒型B M輸送容器 .....	23
4.1 円筒型B M輸送物（鉛厚15 cm）の安全性試験 .....	23
4.1.1 通常時試験 .....	23
4.1.2 事故時試験 .....	24
4.1.3 遮蔽解析 .....	24
4.1.4 野外放置試験 .....	24
4.2 円筒型B M輸送物（鉛厚8 cm）の安全性試験 .....	24
5. 放射性輸送物運搬届出 .....	31
5.1 輸送容器に関する申請 .....	31
5.2 運搬届出 .....	31
6. あとがき .....	35
謝辞 .....	35
参考文献 .....	35
附録 1 A型輸送容器の製作（その1） .....	37
附録 2 A型輸送容器の製作（その2） .....	39

## Contents

1. Introduction .....	1
2. History of development of type BM package .....	2
3. Drawer type BM package .....	4
3.1 Safety tests of drawer type BM package .....	5
3.1.1 Normal tests .....	5
3.1.2 Water spray test .....	5
3.1.3 1.2 m-drop test .....	6
3.1.4 Compression test .....	7
3.1.5 Penetration test .....	7
3.2 Accidental tests .....	7
3.2.1 Water immersion test .....	7
3.3 Analysis of shielding .....	8
3.4 Heat test .....	9
4. Cylinder type BM package .....	2 3
4.1 Safety tests of cylinder type BM package (Pb 15 cm) .....	2 3
4.1.1 Normal tests .....	2 3
4.1.2 Accidental tests .....	2 4
4.1.3 Analysis of shielding .....	2 4
4.1.4 Thermal test (in air at 38 °C) .....	2 4
4.2 Safety tests of Cylinder type BM package (Pb 8 cm) .....	2 4
5. Application for transportation of packages .....	3 1
5.1 Application for transport packages .....	3 1
5.2 Application for transportation .....	3 1
6. Conclusion .....	3 5
Acknowledgement .....	3 5
Reference .....	3 5
Appendix 1. Manufacture of type A package .....	3 7
Appendix 2. Manufacture of type A package .....	3 9

## 1. ま え が き

核燃料物質および放射性同位元素等の輸送は、法規の改正などにより厳しい規制のもとに行われている。昭和50年1月の「放射性物質の輸送に関する技術的基準について」の原子力委員会の決定以降、関係省庁において法制の整備を進めることとなった。昭和53年1月4日に「放射性物質等車両運搬規則」が公布され、同年11月1日まで経過措置が講じられた。同年12月28日に「放射性同位元素等車両運搬規則」運輸省令第33号（以後、運搬規則と略す）として最終改正され、昭和54年1月4日に施行となった。この法改正により、陸上輸送による核燃料物質に関しては科学技術庁が、放射性同位元素等については運輸省が、また船舶輸送および航空輸送については運輸省が官轄することになった。

製造部では昭和51年以降、これらの動きに対応して、ラジオアイソトープ（R I）の製造ならびに出荷業務に支障を来たさぬよう法規改正の動向の把握に務めてきた。昭和52年度にはB M型輸送容器の設計と試験体の試作および実証試験等を開始した。製造部では各種R Iの製造頒布を行っているが、大部分は運搬規則で定めるA型輸送物として出荷し、一部の核種（ $^{32}\text{P}$ および $^{192}\text{Ir}$ ）は現在B M型輸送物として輸送している。

昭和53年度ではこれまでの検討結果をもとに、新たに編成した「キャスクワーキンググループ」を主体として輸送容器の製作整備を実施した。核燃料物質を対象とする容器についてはいくつかの前例はあるが、R I輸送については国内で初めてであり、不明事項を一つ一つ確認し解決してゆく形で行なった。

B M型輸送容器の規格に合致させるために、これまでの線源収納容器をさらに緩衝体で包むような二重構造とした。昭和53年11月に運搬規則による $^{192}\text{Ir}$ （5,900 Ci）の出荷を円筒型B M型輸送容器を使って予定通り行うことができた。

本報告は、運搬規則に適合する輸送容器の設計、製作と試験の概要および届出申請手続き等についてまとめたもので、今後同種輸送物の整備に当たって参考となる部分があれば幸いである。

## 2. BM型輸送容器の実用化までの経過

昭和52年5月から引出型線源収納容器（鉛厚15cm，引出型容器と略す）に対するBM型輸送容器の一部の実証試験を開始した。詳細については岡根ら<sup>(1)</sup>が報告している。この引出型容器は，日本原子力研究所の各原子炉施設およびRI製造棟施設に嵌合する型のものであり，現在原子炉からの照射済みキャプセルなどの運搬に使用している。

BM型適用RIとしてはJMT Rで照射して生成する $^{192}\text{Ir}$ （6540Ci）と $^{32}\text{P}$ （188Ci）の照射物がある。この二種類のRIを同時に輸送するため，引出型容器を日本原子力研究所大洗研究所（大洗研）と日本原子力研究所東海研究所（東海研）の間で使用している。また，製品化した $^{192}\text{Ir}$ は東海研から日本アイソトープ協会（東京）へ円筒型線源収納容器（鉛厚15cmと8cmの二種類，以後円筒型容器と略す）を使って輸送している。（ $^{32}\text{P}$ は製品化して出荷する量は少なくA型適用RIとなる）

このため，従来もこれらRIの輸送に使用していた二種類の型の線源収納容器をBM型輸送容器に適用させるよう容器を製作することにした。Table 1に昭和53年11月1日の運搬規則の実施日に従った，容器の製作から試験までの計画を実際と対比させてしめす。

計画表中の実施の項で，引出型容器用輸送容器（引出型輸送容器と略す）は，昭和52年6月から製造部が独自に設計を始めて，昭和53年2月までに，事故時試験のうち9m自由落下，1mピン上落下を工業技術院機械技術研究所東村山分室で，また，加熱試験は自治省消防庁消防研究所で試験を行った。この一部の試験は，試験場所の確保や時間的制約から先に実施し，残った通常時および事故時試験は昭和53年6月に芳沢機工K・Kに容器の製作とともに発注した。そして，昭和53年11月に運輸省自動車局でヒヤリングを受け，BM型輸送物として承認された。これにより昭和54年2月に大洗研から東海研に $^{192}\text{Ir}$ と $^{32}\text{P}$ を同時に輸送することができた。

昭和52年度<sup>(2)</sup>および昭和53年度<sup>(3)</sup>に，日本アイソトープ協会が受託研究である「RI輸送容器の技術的基準に関する試験研究」の中で，日本原子力研究所高崎研究所の $^{60}\text{Co}$ 輸送用のBU型輸送容器の試験を行っている。この容器は円筒型で総重量が2.6トンである。試験はIAEA規則<sup>(4)(5)</sup>に準拠して行われ，9m自由落下，1mピン上落下および加熱試験に合格することが確認されている。

したがって，円筒型BM型輸送容器については，この容器と同構造，同材質および同じ厚さの緩衝体を採用すれば，通常時および事故時試験に十分耐えることができると判断して容器を製作することにした。そして，この経験を有する芳沢機工K・Kに発注した。残った通常時および事故時試験については，引出型輸送容器と同時期に行った。昭和53年11月7日に $^{192}\text{Ir}$ （5900Ci）を日本アイソトープ協会へ出荷した。これはわが国で最初のBM型輸送物の輸送例となった。

二種類のBM型輸送容器の遮蔽能力の健全性は， $^{60}\text{Co}$ 線源を用いて落下試験および加熱試験の前後に放射線漏洩試験によって確認した。

昭和54年6月に引出型BM輸送容器を5個製作し，その型式をRIC-D-1501-1~5と命名した。同様に円筒型BM輸送容器（鉛厚15cm）はRIC-C-1501-1~2同鉛厚8cm容器はRIC-C-801-1~2としそれぞれ2個製作し実用に供している。

Table 1 Comparison of experimental program of the tests for the type BM transportation package and practice

年度	昭和53年											
項	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
容器関係 計				設計仕様	容器発注	9m落下試験						
容器関係 画						9m落下試験 ・ピント落下試験 ・リ-グテスト						
調査												
実施内容 B(M)型												
調査												
実施内容 A型												
調査												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												
運輸関係 計												
運輸関係 画												

### 3. 引出型BM輸送容器

引出型BM輸送容器の構造をFig.1に示す。輸送容器の本体は縦型の円筒形容器で、溶接構造による炭素鋼製の外殻の中に厚さ19mmの米松合板53枚を接着剤で積層し通し締め付けボルトで固定してある。これは、落下試験時の衝撃吸収と加熱試験時の断熱効果を高めるように設計製作した。また、本体の外壁に沿って垂直方向に長さ850mmのL形鋼のフィンが緩衝材として24枚溶接されている。蓋の内側にも本体と同様に米松合板を8枚積層した。

蓋および底部の外壁に衝撃吸収材として炭素鋼製のパイプ（直径8cm）が溶接されている。

アルミニウムハニカムは、 $\frac{1}{4}$ 分割ハニカムと円板ハニカムで構成する。 $\frac{1}{4}$ 分割ハニカムと円板ハニカムは、引出型容器の側面周囲および上下に配置されていて、落下時における引出型容器が受ける衝撃を吸収する。

内側鋼製円筒（内面補強板と略す）は、アルミニウムハニカムの内面に設けられ、スペーサー的役割および、内枠で固定した引出型容器が落下時にハニカムに部分的に衝撃荷重を与えないような役割をもつ。

内枠は、引出型容器を外側から包みこむ様に作られている。主として炭素鋼の溝形鋼と鋼管を溶接により円筒形の骨組構造に製作した。この内枠をFig.2にしめす。上部および側部には落下事故時の衝撃吸収として炭素鋼管が設けてある。

引出型容器は、鉛厚15cmでステンレス鋼で被覆した溶接構造でできている。上部プラグの脱着により上部から照射物などを入れたり取り出したりできる（トップローディング作業）。また両側の扉をつかい、施設に嵌合させて内部の引出しを前後に動かすことにより照射物などの出し入れができる。開口部等にはシリコンゴムパッキングをつけて浸漬試験時に水が浸入しないようにした。すでに報告した<sup>(1)</sup>BM型輸送容器に対する改良点は次の通りである。

- (1) 内枠の胴部支えに炭素鋼製のパイプ（直径8cm）を使って衝撃力の吸収効果を高めるようにした。
- (2) 吊り上げと輸送中の容器の固定ができるように、Fig.1にしめすようなアイボルトを設けた。これは不必要な時は取り外せるようにした。
- (3) 運搬規則で定める封印形式については、通し締め付けボルトの封印をとらなければ輸送容器の蓋をとることができないようにした。

先行した実証試験の結果から、<sup>(1)</sup>衝撃緩衝体には、一次緩衝体として蓋につけた直径8cmの炭素鋼製のパイプと輸送容器本体につけたL形炭素鋼製のフィンを採用した。15cm厚の米松合板の積層板は、前実験から緩衝体としてもまた、断熱材としても非常に効果があることがわかったことと、アメリカ国内の使用実績の多いなどの理由から採用した。

輸送容器の上下にはラワン材の枕を設け、フォークリフトによる輸送容器の積み降ろしを考慮すると同時に、正および逆さ落下の緩衝材としても用いることにした。

輸送容器の直径は1.3mで高さは、1.24mであり、輸送物の総重量は1840kg（引出型容器810kg）である。

### 3.1 引出型B M輸送物の安全性試験

B M型輸送物の運搬に係る技術上の基準は、運搬規則第6条により次のように定められている。

- (1) 外接する直方体の各辺が10 cm以上であること。
- (2) 容易に、かつ、安全に取扱うことができること。
- (3) 運搬中に予想される温度および内圧の変化、振動等により亀裂、破損等の生ずるおそれがないこと。
- (4) みだりに開封されないように、かつ、開封された場合にそれが明らかになるように、容易に破れないシールのはりつけ等の措置が講じられていること。
- (5) 表面の放射性同位元素の放射能面密度が許容表面密度(アルファ放射体以外は $1/10000 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ )をこえないこと。
- (6) 表面の最大放射線量率が $200 \text{ mrem}/\text{hr}$ をこえず、かつ、表面から1 m離れた位置における最大放射線量率が $10 \text{ mrem}/\text{hr}$ をこえないこと。
- (7) 放射性同位元素等の使用等に必要な書類、その他の物品(放射性輸送物の安全性を損うおそれのないものに限る)が収納され、又は包装されていないこと。

さらに、輸送物の健全性の基準として告示第6条に次のように定められている。

- (a)  $50 \text{ mm}/\text{hr}$ の雨量に相当する水を1時間吹きつける。
- (b) 重量が $5000 \text{ kg}$ 以下の物にあつては、1.2 mの高さから最大の破損をおよぼすように落下させる。
- (c) 自重の5倍に相当する荷重または鉛直投影面積に $0.13 \text{ kg}/\text{cm}^2$ を乗じて得た値に相当する荷重のうち、いずれか大きいものを24時間加える。
- (d) 重量 $6 \text{ kg}$ 、直径 $3.2 \text{ cm}$ の先端が半球形の棒を、1 mの高さから輸送物の最も弱い部分に落下させる。
- (e) 野外の温度が $38^\circ\text{C}$ である環境に一週間放置する。そして、これらの条件下に置いたのちの輸送物としての適合基準は次にしめす通りである。
  - i) 表面の最大放射線量率が $200 \text{ mrem}/\text{hr}$ をこえないこと。
  - ii) 放射性物質の漏洩量が $0.02 \text{ mCi}/\text{hr}$ をこえないこと。
  - iii) 輸送物表面の温度が日陰において $50^\circ\text{C}$ (専用積載として運搬する放射性輸送物にあつては $82^\circ\text{C}$ )をこえないこと。
  - iv) 表面の放射性同位元素の許容表面密度(アルファ放射体以外は $1/10000 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ )をこえないこと。

前記の(a)から(e)にいたる条件は、R Iの通常の輸送状態における安全性を確認する実証試験のためのもので、後述する事故時試験と区別される。

#### 3.1.1 通常時試験

#### 3.1.2 水吹きつけ試験

Fig.3およびPhoto.1にしめすように、輸送物斜め上部の4方向(90度間隔)に

シャフ金具を取り付け、吹きつけ角度45度で1000 mm/hrの雨量（規則では50 mm/hrであるが今回はより多くの水を吹きつけた）に相当する水を1時間にわたり吹きつけた。試験時の輸送物は鋼板上に水平に置き、さらに床の水はけをよくした。

その結果、輸送容器の本体と蓋をとめてあるボルトの所から水が少し積層板にしみこんだ以外に内部には水の入った形跡はなかった。

### 3.1.3 1.2 m落下試験

輸送物の総重量は1840 kgのため、規定による落下距離は1.2 mである。4脚鉄骨構造門形移動クレーンでワイヤーロープを使用して吊り上げ、鉄筋コンクリート床に敷いた鋼板上に落下させた。

輸送物の落下姿勢は、落下時の衝撃によって最大破損を受けるように水平、斜め、逆さの3方向から順次試験を行った。これらの模様をFig.4にしめす。試験後輸送容器外部と内枠の寸法検査、損傷度の外観検査および引出型容器の上部プラグ、扉の作動検査を行った。また輸送容器の外殻表面や引出型容器の表面に取り付けた加速度計（AS-1000TA、共和電業K・K製）により、落下時における加速度値を測定し参考資料とした。この時の最大加速度値をTable 2にしめす。

#### 3.1.3.1 落下試験結果

##### 〔Ⅰ〕 水平落下試験

水平落下後の変形した写真と寸法を表わした図を、Photo.2およびFig.5にしめす。写真と図のように、落下によって輸送容器外殻の上部と底部につけてある炭素鋼製のパイプ（吸収パイプと略す）が最大幅31 cmにわたり、3.3 cmの深さにつぶれた。また外殻に取り付けたフィンが1枚4 mmの深さでつぶれた。この時に、落下面の反対側の胴部につけた加速度計による衝撃加速度値は、最大約135 Gであった。

輸送容器内では内枠の支柱1本のみがPhoto.3にしめすように外側に少しまがった。またこの時の輸送容器の底面に取り付けた加速度計の衝撃加速度は、最大で229.3 Gであった。

##### 〔Ⅱ〕 斜め落下試験

落下面に対し輸送容器中心軸が約45度の傾きになる逆さ斜め姿勢から落下させた。落下後の変形した写真と寸法を表わした図を、Photo.4およびFig.6にしめす。写真と図のように、衝突部位の上部吸収パイプが最大幅46 cmにわたり、4 cmの深さにつぶれた。また、衝突後下部吸収パイプが二次的な衝突により、最大幅20 cm、深さ1 cmにつぶれた。この時に、衝突部位の反対側の本体外壁にとりつけた加速度計による衝撃加速度は約97 Gであった。容器内部では、Fig.6の2のように内枠に線源収納容器による衝突跡が認められただけであった。輸送容器の底面につけた加速度計による衝撃加速度は最大422 Gであった。

##### 〔Ⅲ〕 逆さ落下試験

逆さ落下試験後の状態をFig.7にしめす。図のように、下部吸収パイプがわずかに変形しただけであった。

容器内部では、円板アルミニウムハニカムが中央部で最大3 mmの凹みを生じ、内枠

の上部が Fig.7 の 2 のようにわずかに変形した。輸送容器の底部につけた加速度計では衝撃加速度が 210 G であり、線源収納容器の扉部に取り付けたものの値は 425 G であった。

### 3.1.4 圧縮試験

今回の圧縮試験では輸送物の 5 倍に相当する荷重をかけるようにした。Photo.5 にしめすように、輸送容器をコンクリート床上の厚さ 5 cm の鋼板上に垂直におき、さらに厚さ 5 cm の鋼板をのせ、その上に荷重鉛ブロック (約 45 kg / 1 個) を全体に平均して荷重がかかるように積み上げた。鉛ブロックの総重量は 7949 kg となり、鋼板の重量 1800 kg を加えると 9749 kg となる。これは輸送物重量の 5.3 倍に相当する重量であってより過負荷となっている。この状態で 24 時間放置し、その後外観および寸法検査を行ったところ何ら異状は認められなかった。

### 3.1.5 貫通試験

貫通試験用棒として、重量 6 kg、直径 3.2 cm の軟鋼棒を使用した。試験は Fig.8 のように輸送物を鋼板上に垂直におき、輸送物の蓋の中央上にガイド用パイプを垂直に立て、そこに試験棒を挿入した。(蓋の中央部は、ボルトの穴などがあって最も弱いためである。) 蓋の表面から試験棒の下端までの高さが 1 m の位置から、棒を落した。棒の衝突した個所に 2 mm の凹みを生じただけで、他に何らの異状はなかった。

以上の通常時試験に対し、輸送容器の性能が十分に保持されていることを確認した。

## 3.2 事故時試験

引出型容器の一部の事故時試験はすでに実施しその結果は報告されている<sup>(1)</sup>。他の残りの項目は、浸漬試験と理論解析による野外放置試験である。また製作した輸送容器の遮蔽能力について検討した。

### 3.2.1 浸漬試験

浸漬試験の内容は、深さ 15 m の水中に輸送容器を 8 時間浸漬させるというものである。ここでは高さ 2 m で直径 1.36 m の鋼製のタンク内に水を一杯に張り、この中に引出型容器を沈めて 15 m の深さに相当する 1.5 気圧をかけて 8 時間放置した。試験に使用した引出型容器は第 3 章でのべたように、シリコンゴムパッキングをつけて水の浸入を防ぐようにしてある。また、容器内には照射物キャプセルのダミーを収めて実験を行った(この実験に入る前に、引出型容器に窒素ガスを注入して圧力 1 kg/cm<sup>2</sup> とし、石鹼水の発泡試験により気密の確認を行っている)。引出型容器のみを使用した理由は、照射物キャプセルの入っている容器内で R I の飛散を完全に防止するという密封境界を定めたためである。

浸漬試験の結果、容器内への水の浸入はまったくなく基準を十分満足していることがわかった。

### 3.3 遮蔽解析

収納物は  $^{192}\text{Ir}$  と  $^{32}\text{P}$  であって、 $\gamma$ 線と $\beta$ 線を放出する。さらに照射済みアルミニウムキャプセルには、 $\gamma$ 線放射体である  $^{60}\text{Co}$  および  $^{24}\text{Na}$  が含まれる。 $^{32}\text{P}$  は $\beta$ 線放射体であり、その放射線は鉛遮蔽体により完全に吸収される。鉛中で制動X線を放出するが、他の $\gamma$ 線に比べてエネルギーも強度も小さいために遮蔽への影響は無視できる。

$^{192}\text{Ir}$  は、アルミニウムキャプセル (A 1 0 5 0) に封入したイリジウムペレット 38.3 g を J M T R で 20 日間熱中性子束密度  $2 \times 10^{14} \text{ n / cm}^2 \cdot \text{sec}$  で照射して製造する。

上に述べた $\gamma$ 線放出核種の最大収納量およびそれらの遮蔽計算に必要な特性値を Table 3 にしめす。

輸送物の遮蔽計算を行う前の基本的な考え方として、線源収納容器の鉛厚 (1.5 cm) のみが遮蔽に寄与するとし、輸送容器および線源収納容器の炭素鋼を使用した部分やステンレス鋼の使用部分の遮蔽の効果を無視した。

遮蔽計算には次の式を使った。

$$D = K \frac{C}{d^2}$$

$$I = B I_0 e^{-\mu x}$$

D : 測定点における $\gamma$ 線による線量率 (R/hr)

K : 1 Ci の線源から 1 m の距離の線量率 (R/hr<sup>-1</sup>Ci<sup>-1</sup> at 1 m)

C : 線源の放射能 (Ci)

d : 線源から測定点までの距離 (m)

I : 遮蔽後の線量率 (R/hr)

$I_0$  : 遮蔽前の線量率 (R/hr)

B : ビルドアップ係数

$\mu$  : 遮蔽体の線吸収係数 (cm<sup>-1</sup>)

x : 遮蔽体の厚さ (cm)

この計算式を用いた時の輸送物の計算モデルの断面図のうち水平方向のものを Fig. 9 に縦方向のものを Fig. 10 にしめす。

計算結果を Table 4 にしめす。漏洩線量率に主として関係するのは  $^{192}\text{Ir}$  であり、キャプセル中の  $^{60}\text{Co}$  と  $^{24}\text{Na}$  はあまり影響のないことがわかった。下部方向での線量率が高くなっている原因は、測定点までの距離が上部方向に比べて短かく、また線源収納容器の底部のステンレス鋼の台座の厚さが考えに入っていないためである。しかし輸送物から 1 m 離れた距離での線量率は 0.557 mrem/hr であり、運搬規則に定める表面から 1 m 離れた位置における最大放射線量率が 1.0 mrem/hr をこえないという条項からみると十分安全な値であることがわかった。

### 3.4 野外放置試験

運搬規則による試験方法では、野外温度が38℃である環境に1週間放置する事と規定している。今回の試験ではこの実験環境を作ることが困難であったので、1968年に Lawrence Radiation Laboratory が開発した差分法に基づく温度分布計算コードである TRUMP を用いて解析を行った。

解析を行うときの条件として、解析モデルの輸送容器は垂直に置かれているものとした。容器の熱負荷は容器外面からの太陽熱輻射による加熱を考え、容器の冷却は容器外面から環境への自然対流と輻射によるものとする。容器外面の太陽熱輻射による加熱は IAEA 規則<sup>(4)(5)</sup>の基準によれば水平面では800 cal/cm<sup>2</sup>、底面では0 cal/cm<sup>2</sup>、そして、曲面状表面では400 cal/cm<sup>2</sup>の伝熱量が1日12時間入射することとなっている。容器の受熱面は上面、側面、下面のいずれも一律に加熱を受けるものとする。解析対象とする構成部品に関する伝熱計算では、熱伝導のみとして計算をした。これらの部品の密度と比熱および熱伝導率を Table 5 にしめす。

計算の概略を下記にしめす。

- a) 輸送物表面から放出される熱  $Q_t$  は、太陽輻射熱として容器外殻の表面が吸収する太陽熱  $Q_s$  と収納物発熱  $Q_p$  の平衡状態になった時の和で表わされる。この放出される熱量  $Q_t$  が輸送物表面より環境へ空気の対流および熱輻射によって放射されるには容器表面と大気との温度差 ( $\Delta\theta$ ) が必要であり、 $\Delta\theta$  は次のように与えられる。

$$Q_t = Q_p + Q_s$$

$$\alpha = \alpha_{\text{対流}} + \alpha_{\text{輻射}}$$

$$\Delta\theta = \frac{Q_t}{A\alpha}$$

A : 容器外殻の外表面積 6.67 m<sup>2</sup>

$\alpha$  : 熱伝達率 = 0.056 cal/cm<sup>2</sup>·sec·°C

$Q_p$  : 収納物の発熱量 50 Kcal/hr

$Q_s$  : 容器外殻上面からの吸熱 + 容器外殻側面からの吸熱 490 Kcal/hr

$Q_t$  : 外容器表面から放出される熱

- b) 収納物による発熱量 ( $Q_p$ ) の計算

収納する <sup>192</sup>Ir と <sup>32</sup>P の全発熱量  $Q_p$  を、この RI の崩壊エネルギー (<sup>192</sup>Ir = 1.45 Mev, <sup>32</sup>P = 1.71 Mev<sup>(6)</sup>) がすべて熱に変換されると仮定して計算すると、

$$Q_p = [6540 \text{ Ci} \times 1.45 \text{ Mev} + 188 \text{ Ci} \times 1.71 \text{ Mev}] \times 3.7 \times 10^{10} \times 3.829 \times 10^{-14} = 50 \text{ Kcal/hr} \text{ となる。}$$

この定常状態における温度分布は TRUMP により計算した。この輸送物の中心部縦断面における各部分の温度分布を Fig. 11 にしめす。また、この時の各個所の最高温度を Table 6 にしめす。Fig. 11 のように輸送物の半径方向の温度分布は、最高温度で、輸送物表面 (65.3℃)、内面補強板 (80.7℃)、線源収納容器の表面 (87.9℃) と収納部 (89.9℃) になった。収納部の温度が一番高く、また輸送物蓋中央部以外は中に入る程温度が高くなる傾向である。これらの温度で輸送物の性能および構成材

が影響を受けないことを確認した。

輸送物が日陰に置かれた場合、太陽輻射による入射熱はないために、輸送物内の発熱量のみ、外界に放熱される。したがって、外容器と環境の温度差  $\Delta\theta$  は次のように求められる。

$$\Delta\theta = \frac{Q_p}{A\alpha} = \frac{50 \text{ Kcal/hr}}{6.67 \text{ m}^2 \times 20 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{C}} = 0.4 \text{ C}$$

したがって、温度は  $38.4 \text{ C}$  の上昇にとどまり輸送規則に規定された専用積載により運搬する放射性輸送物の日陰における表面温度  $82 \text{ C}$  以下という値を十分に満足していることを確認した。

以上の通常時および事故時試験において、運搬規則に適合した引出型 BM 輸送物であることを確認した。

また計算方法として、大洗研が核燃料物質の輸送のために作った輸送容器 (OPU-77 Y-50K 型) の輸送物に関する安全証明申請書を参考にした。

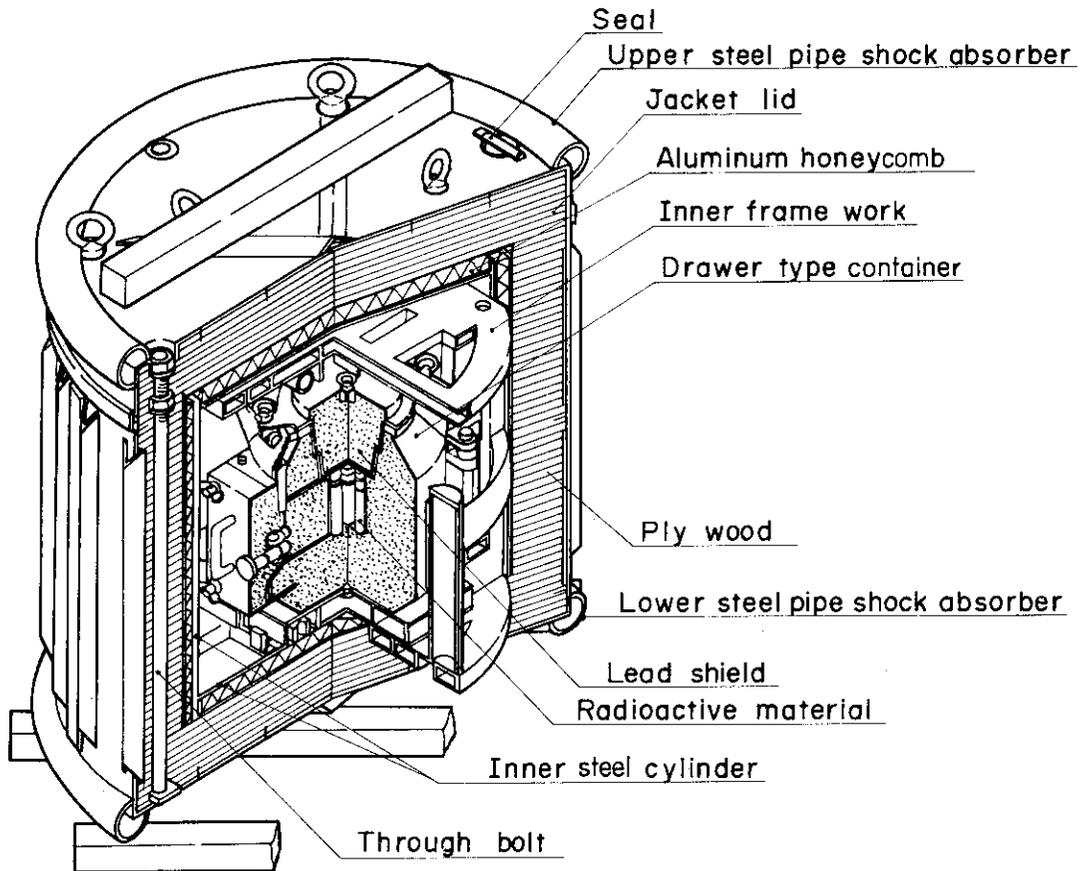


Fig. 1 Construction of drawer type package

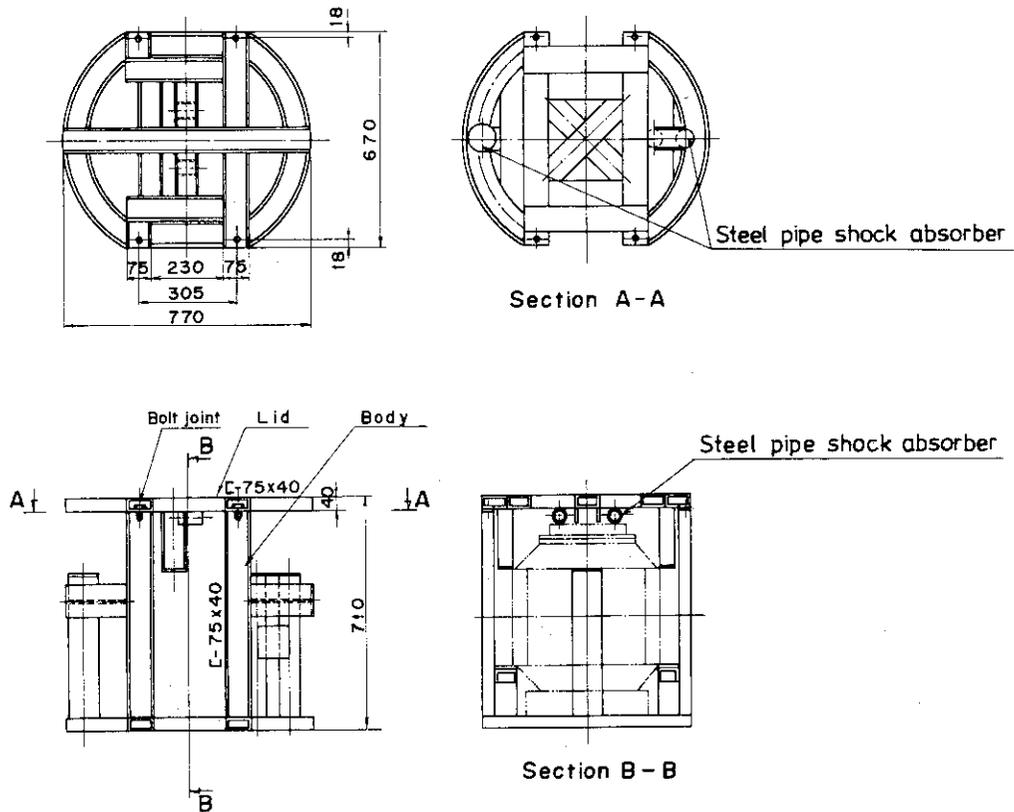


Fig. 2 Inner frame work

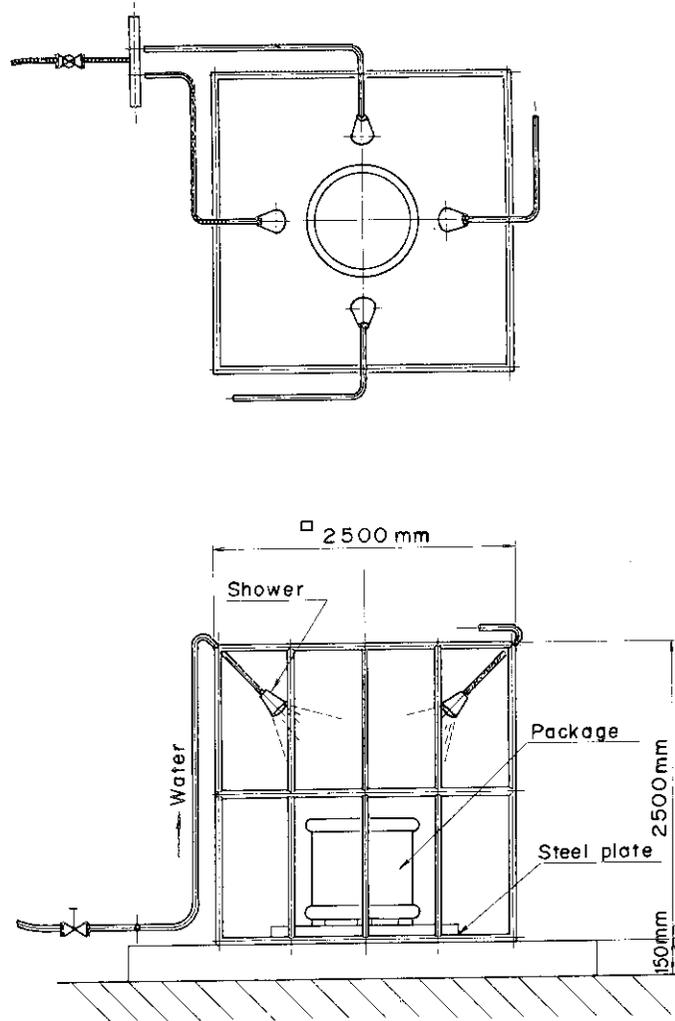


Fig. 3 Illustration of water spray test

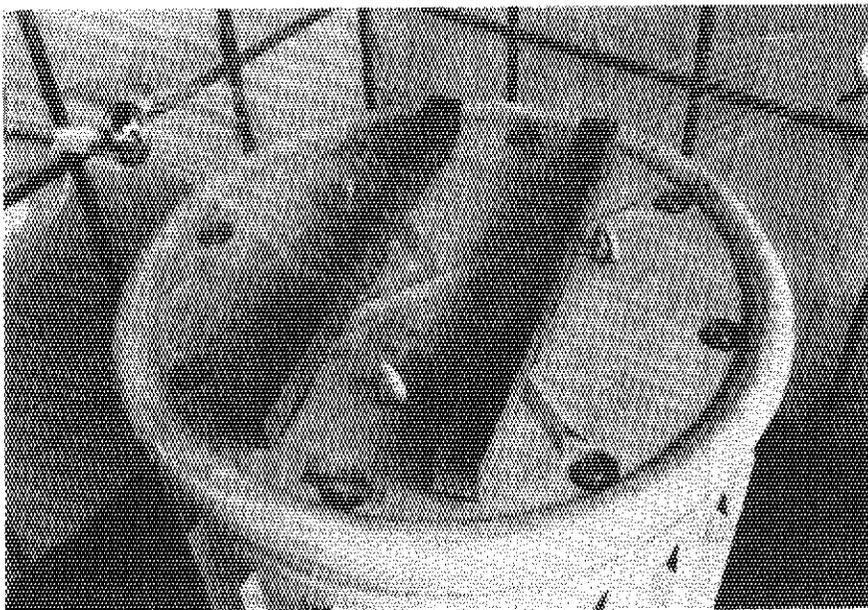


Photo. 1 Water spray test

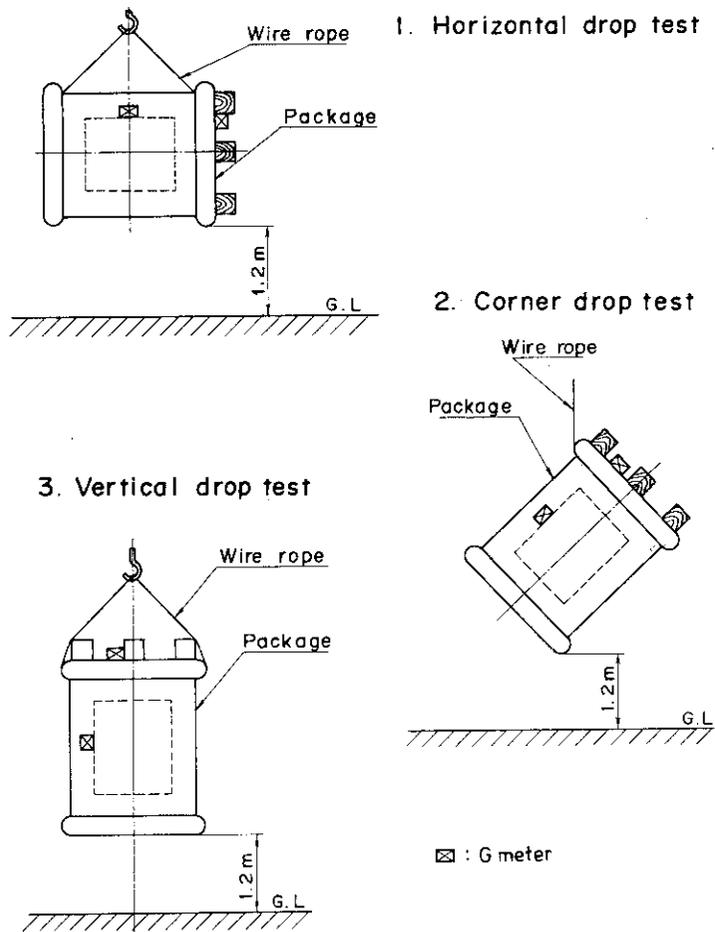


Fig. 4 Illustration of free 1.2m-drop test

Table 2 Maximum G value observed at several location on the transport package in 1.2m-drop test

Test*	Drawer type package (Pb 15cm thick)		Cylinder type package (Pb 15cm thick)		Cylinder type package (Pb 8cm thick)	
	G of jacket	G of cask	G of jacket	G of cask	G of jacket	G of cask
I	135	229	497	266	201	230
II	97	422	115	115	165	94
III	210	425	80	115	126	152

\* I : Horizontal drop, II : Corner drop, III : Reverse drop

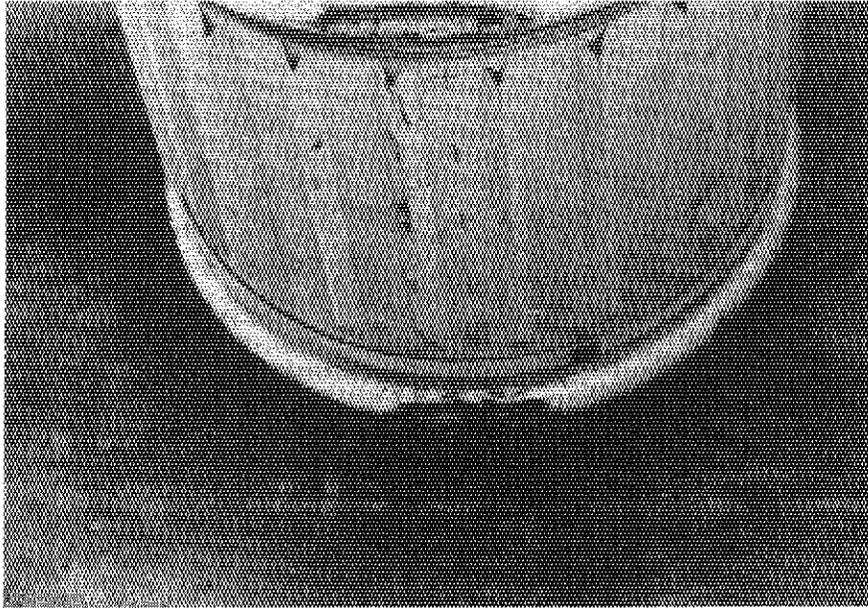


Photo. 2 Deformation of the upper and lower steel pipe shock absorber by corner 1.2m-drop test

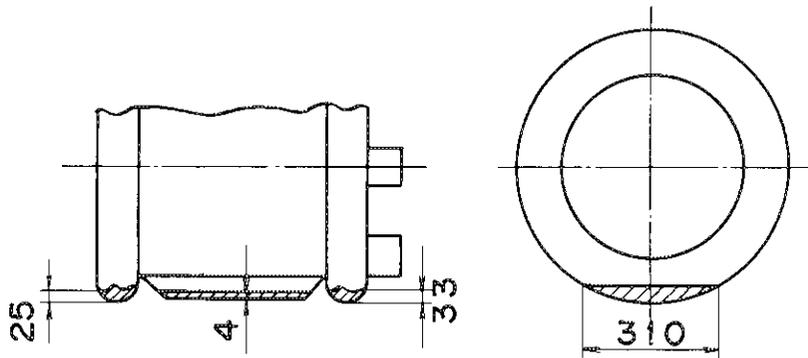


Fig. 5 Deformation of the outer side of package by horizontal 1.2m-drop test

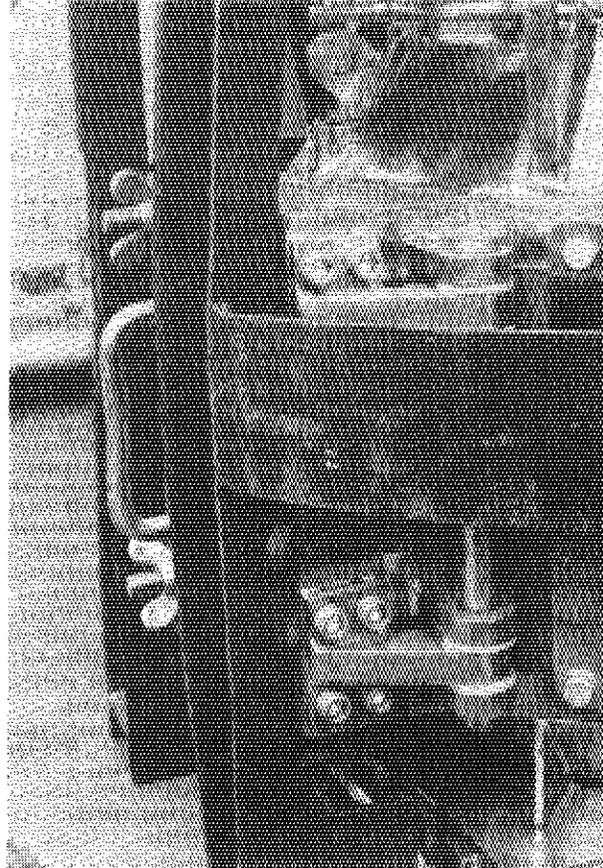


Photo. 3 Deformation of the frame work by corner 1.2m-drop test.

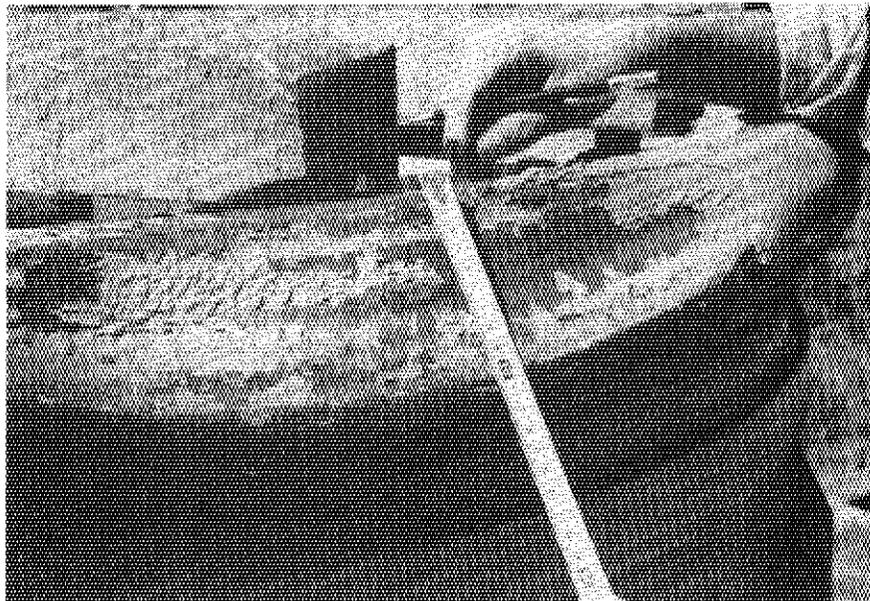
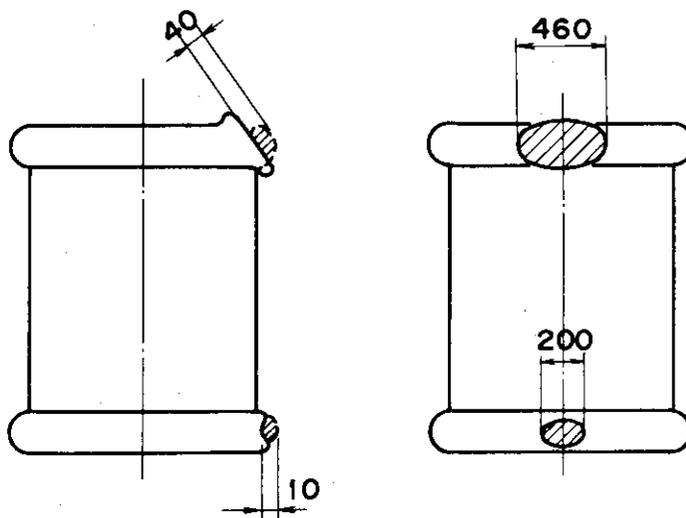
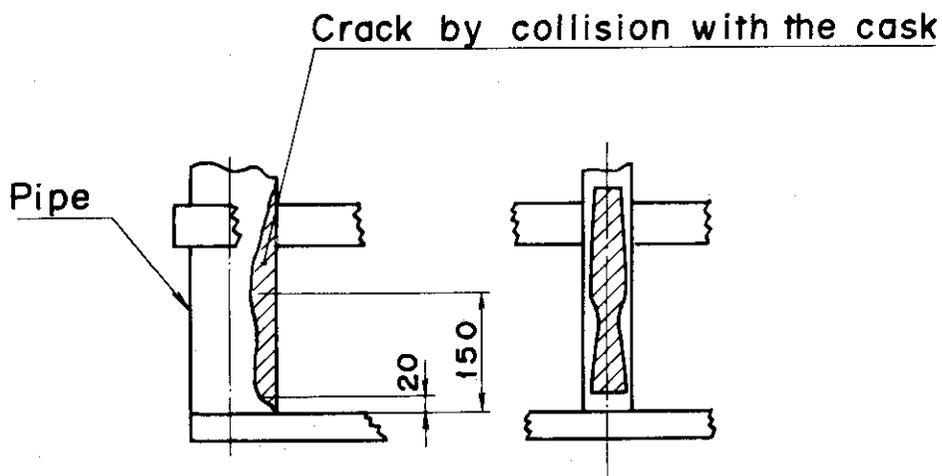


Photo. 4 Deformation of the upper steel pipe shock absorber by corner 1.2m-drop test.

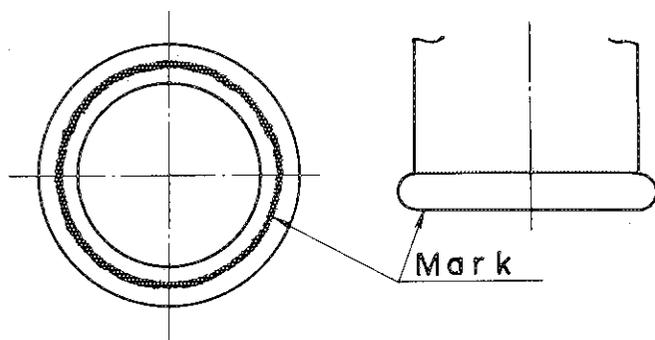


1. Steel pipe of the package

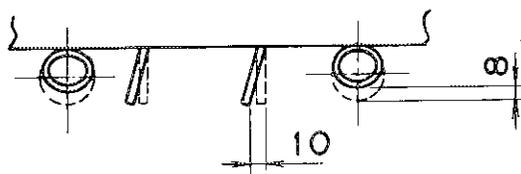


2. Support of the inner frame work

Fig. 6 Deformation of the outer side of package and the inner frame work by corner 12m-drop test



1. Upper steel pipe of the package



2. Support of the inner frame work

Fig. 7 Deformation of the outer side of package and inner frame work by reverse 1.2m-drop test

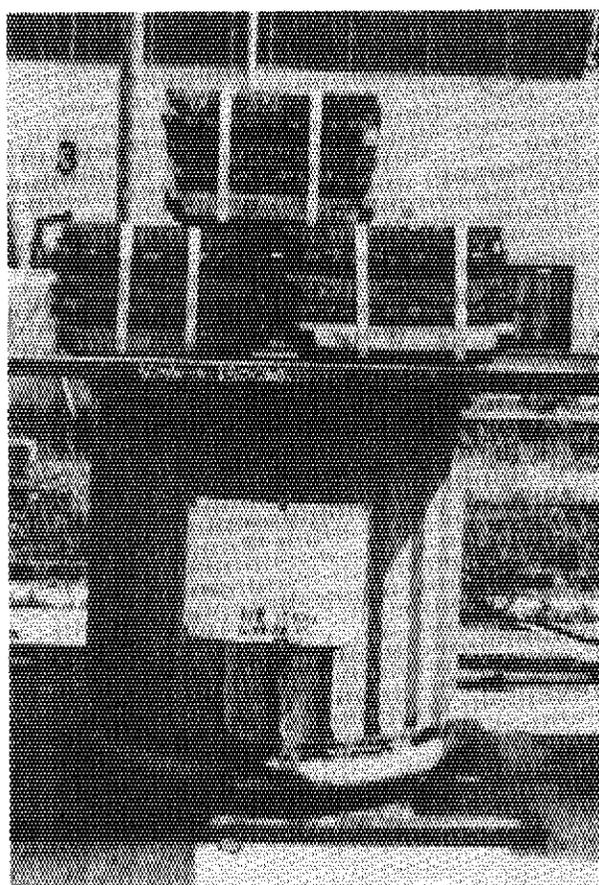


Photo. 5 Compression test

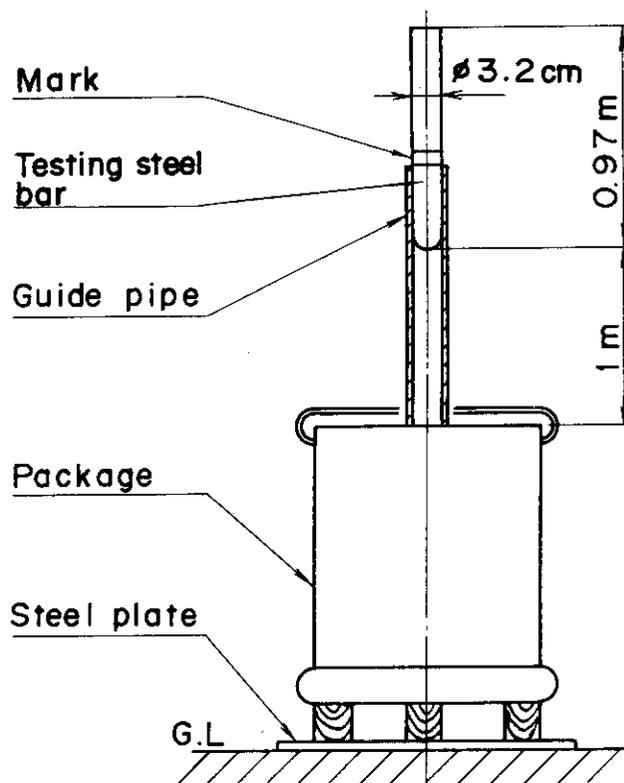


Fig. 8 Illustration of penetration test

Table 3 Characteristics of  $\gamma$ -ray radiation from isotopes in question

Radionuclide	Activity (Ci)	Rhm (R/h/Ci at 1m)	$\gamma$ -ray energy (MeV)	Linear absorption coefficient	Thickness of lead (cm)	Build-up factor
$^{192}\text{Ir}$	6540	0.48	0.6124 (5.84%) 0.468 (57.7%) 0.3165 (100%)	1.34	15.0	3.3
$^{60}\text{Co}$	$5.046 \times 10^{-2}$	1.32	1.33 (100%) 1.17 (100%)	0.669	15.0	4.3
$^{24}\text{Na}$	$5.55 \times 10^{-3}$	1.84	2.75 (100%) 1.37 (100%)	0.476	15.0	3.7

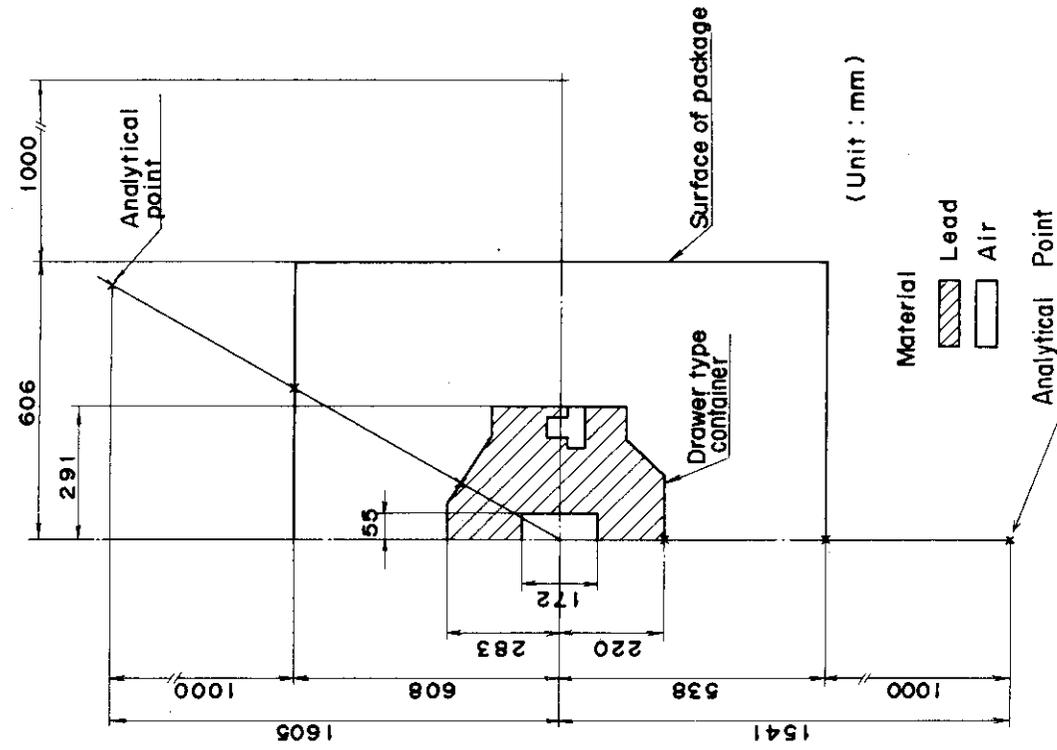


Fig. 9 Model used in the calculation of radiation dose rate in the radial direction from the drawer type container

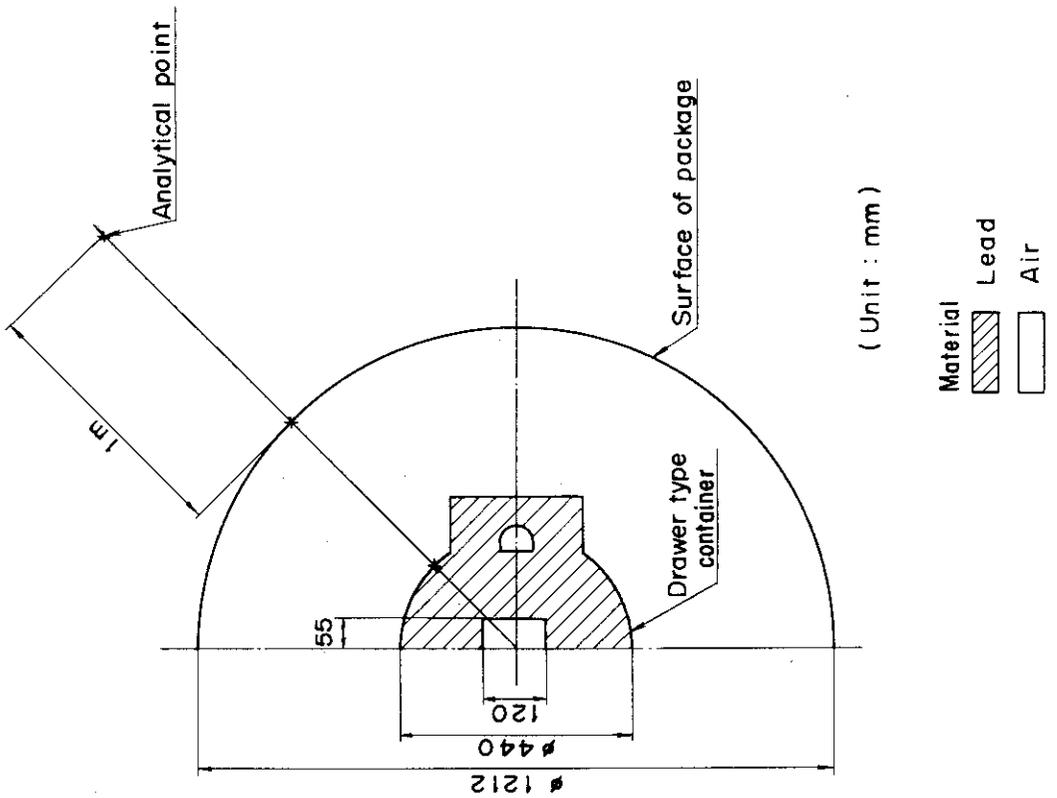


Fig. 10 Model used in the calculation of radiation dose rate in the axial direction from the drawer type container

Table 4 Radiation dose rate of the several locations  
in the drawer type package

(Unit : mR/h)

	Radiation dose rate of upper side			Radiation dose rate of horizontal side			Radiation dose rate of lower side		
	Container surface	Package surface	The position 1m apart from package	Container surface	Package surface	The position 1m apart from package	Container surface	Package surface	The position 1m apart from package
$^{192}\text{Ir}$	0.238	0.0392	$5.6 \times 10^{-3}$	12.6	1.66	0.236	17.1	3.99	0.488
$^{60}\text{Co}$	0.155	0.0255	$3.65 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-3}$	$1.67 \times 10^{-4}$	—	0.824	0.192	0.0235
$^{24}\text{Na}$	0.370	0.0610	$8.72 \times 10^{-3}$	$1.96 \times 10^{-3}$	$2.58 \times 10^{-4}$	—	1.62	0.378	0.0463
Total radiation dose	0.763	0.216	0.018	12.6	1.66	0.236	19.5	4.56	0.557

Table 5 Thermal characteristic of materials used in  
drawer type package ( Pb 15cm thick )

No	Material	Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Specific heat ( $\text{cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$ )	Thermal conductivity ( $\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$ )
1	Lead	11.3	$3.15 \times 10^{-2}$	$8.333 \times 10^{-2}$
2	SUS-304	7.89	$1.26 \times 10^{-1}$	$3.805 \times 10^{-2}$
3	Air	$9.16 \times 10^{-4}$	$2.46 \times 10^{-1}$	$7.555 \times 10^{-5}$
4	Carbon steel	7.85	$1.1 \times 10^{-1}$	$1.222 \times 10^{-1}$
5	Aluminum honeycomb	$9.16 \times 10^{-4}$	$2.42 \times 10^{-1}$	$1.111 \times 10^{-3}$
6	Ply wood	0.377	0.6	$2.52 \times 10^{-4}$



Table 6 Temperature distribution of several location on the transport package by the normal conditions

	Drawer type package (Pb 15cm thick)		Cylinder type package (Pb 15cm thick)		Cylinder type package (Pb 8cm thick)	
	Maximum temperature (°C)		Maximum temperature (°C)		Maximum temperature (°C)	
Open air	38.0		38.0		38.0	
Side	65.3		65.7		66.3	
Upper	87.9		79.0		76.0	
Lower	45.7		44.1		44.4	
Surface	88.0		73.8		64.8	
Inside	89.9		75.5		64.9	
Position of Container surface of jacket						

The values calculated by TRUMP code

## 4. 円筒型BM輸送容器

円筒型BM輸送容器の構造をFig. 12にしめす。保護容器(A)は縦型上底式の円筒形の容器で、溶接構造の炭素鋼製の外殻の中に厚さ約5cmのパーミキュライト断熱材が入っている。また、保護容器(A)の外壁に沿って垂直方向に長さ約60cm、幅約13cm、厚さ約1cmの炭素鋼製のフィンが8枚溶接されている。そして、外壁上部には炭素鋼製のパイプ(吸収パイプと略す)が溶接されている。

基盤(B)は、線源収納容器および保護容器(A)の基台となるもので、角型で薄箱状の溶接構造による炭素鋼製の外殻の中に断熱材として厚さ約5cmのパーミキュライトが充填してある。基盤(B)の上面中央部の台座には、線源収納容器を取付け固定できるように、位置決めピンを取付けまた固定ボルトのネジ孔があけてある。台座の下部には落下時の衝撃吸収を目的としてI型鋼を4カ所取り付けてある。

保護容器(A)の内壁には、万一線源収納容器の固定ボルトが切断した場合、容器に破損を生ずるおそれがあるため、垂直方向に炭素鋼管製の緩衝材が8本溶接されている。この管はつぶれやすいように割れを縦に入れてある。内壁上板には2重リングが溶接されている。内壁上部のコーナー部には傘型の補強リングがとりつけてある。

円筒型容器は鉛厚15cmと8cmの二種類があり、いずれもステンレス鋼で被覆した溶接構造となっている。容器の蓋は、8本の植込ボルトとナットで締めつけ、この部分の脱着により照射物等の出し入れを行う。また、蓋部の裏側にはシリコンゴム製のOリングが取り付けられてあり、水吹きつけ試験や浸漬試験に耐えられるようになっている。

封印は、保護容器(A)と基盤(B)の鋼板に穴をあけてしぼるような形とした。

円筒型BM輸送物の重量は、鉛厚15cmのもので1500kg(線源収納容器は620kg)で幅が1mで高さが90cmである。鉛厚8cmのものは840kg(線源収納容器は210kg)で幅は82cmで高さが84cmである。

### 4.1 円筒型BM輸送物(鉛厚15cm)の安全性試験

#### 4.1.1 通常時試験

3.1.1の試験と同様のことを行った。水吹きつけ試験、圧縮試験、貫通試験においては、何ら輸送容器の性能に異状はなかった。

1.2m落下試験は、3.1.3と同様に行った。Photo 6に斜め落下試験で1.2mの高さに輸送容器を吊り上げた状態をしめす。

3姿勢(水平、斜め、逆さ)の落下試験では、線源収納容器は何ら影響を受けることはなかった。また、落下部位における保護容器(A)の炭素鋼製の外殻の変形は軽微なもので、構成および機能に影響を与えるものではなかった。

加速度計は、水平落下では、落下側の反対の保護容器(A)の胴部外壁表面と線源収納容

器の蓋部表面につけてあり、それぞれ最大で497G、266Gとなった。また斜め落下では、基盤(B)の底部と線源収納容器の胴部につけた時の加速度は共に115Gであった。逆さ落下の加速度測定位置も斜め落下と同じで、それぞれ80Gと115Gであった。これらの結果をTable 2にしめす。

Photo. 7に斜めおよび逆さ姿勢の落下試験後の輸送容器の状態をしめす。また、Fig. 13にこの状態の変形寸法図をしめす。

#### 4.1.2 事故時試験

浸漬試験は、3.2.1と同じ装置を使い同じ方法で行った。その結果、円筒型収納容器には水の浸入はまったくなかった。

#### 4.1.3 遮蔽解析

円筒型容器(鉛厚15cm)の遮蔽解析には、3.3の項と同じ計算方法を用いた。

$^{192}\text{Ir}$  (5900Ci)は、2cmの鉛容器に収納されているが、安全側での解析を基本としているため、鉛厚15cmで計算した。解析モデルをFig. 14にしめす。この結果、蓋の縦方向の中心軸 $25^\circ$ の角度を作る直線方向において漏洩線量率が1mで0.22mrem/hrと高くなったが、表面から1m離れた位置で10mrem/hr以下にする基準に対して十分安全であることがわかった。

#### 4.1.4 野外放置試験

計算方法および考え方は3.4項と同じくTRUMPを使って解析した。解析対象とする構成部品の密度と比熱および熱伝導率はTable 7にしめす。

計算に用いた数値は下記の通りである。

A: 保護容器の外表面積 3.13  $\text{m}^2$

$Q_p$ : 収納物による発熱量 ( $^{192}\text{Ir}$  5900Ci) 4.4 Kcal/hr

この数値を用いて計算した温度分布をFig. 15にしめす。この時の各個所の最高温度をTable 6にしめす。Fig. 15のように輸送物の半径方向の温度分布は、最高温度で、輸送物表面( $79.0^\circ\text{C}$ )、保護容器(A)の内壁にとりつけた吸収パイプのところ $70.9^\circ\text{C}$ そして、線源収納容器表面と内部で $73.7^\circ\text{C}$ 、 $75.5^\circ\text{C}$ となった。この温度においては輸送容器の構成材料の性質等を考えると熱的影響は無視できる。

輸送物を日陰においた場合の容器表面の計算値は $38.8^\circ\text{C}$ であり、運搬規則に定める表面温度 $82^\circ\text{C}$ 以下という値に十分安全であることがわかった。

## 4.2 円筒型BM輸送物(鉛厚8cm)の安全性試験

円筒型BM輸送物(鉛厚8cm)の構造はFig. 16にしめすとおりで、鉛厚15cmの円筒型容器と同じ構造である。

本容器は、 $^{192}\text{Ir}$  300Ciを東海研から日本アイソトープ協会へ輸送するために使用し、運搬規則の区分ではBM型容器である。

試験および方法は、4.1項で述べた通りに実施した。通常時試験項目の中で、落下試験時に衝突部位の多少変形はあったが、容器の機能および構造に支障をきたすことはなかった。逆さおよび斜め落下後の変形寸法図をFig. 17にしめす。また各落下姿勢での加速度計の取り付け位置は4.1.1項で述べた通りで、その時の衝撃加速度をTable 2にしめす。

事故時試験における浸漬試験は4.1.2項と同じ結果になった。遮蔽解析では、4.2項にのべたと同様の解析を行ったが、収納する $^{192}\text{Ir}$ は300Ciで計算した。この結果、測定点での1m離れた所の線量率は3.24mrem/hrとなり基準値10mrem/hrに対して十分安全であることがわかった。

野外放置試験における計算は4.1.4項と同じように行った。解析対象とする物の特性値をTable 7にしめす。

計算に用いた数値は下記の通りである。

A : 保護容器の外表面積 1.84 m<sup>2</sup>

Qp : 収納物による発熱量 ( $^{192}\text{Ir}$  300Ci) 2.2 Kcal/hr

この数値を用いて計算した温度分布の結果、各個所の最高温度で、輸送物表面(66.3°C)保護容器(A)の内壁にとりつけた吸収パイプの所で64.4°Cそして、線源収納容器表面と内部で64.8°C, 64.9°Cとなった。この温度は輸送物に熱影響を与えることはなかった。

輸送物の日陰における計算値は38.1°Cであり、運搬規則に定める表面温度82°C以下という値に対し十分安全であることがわかった。

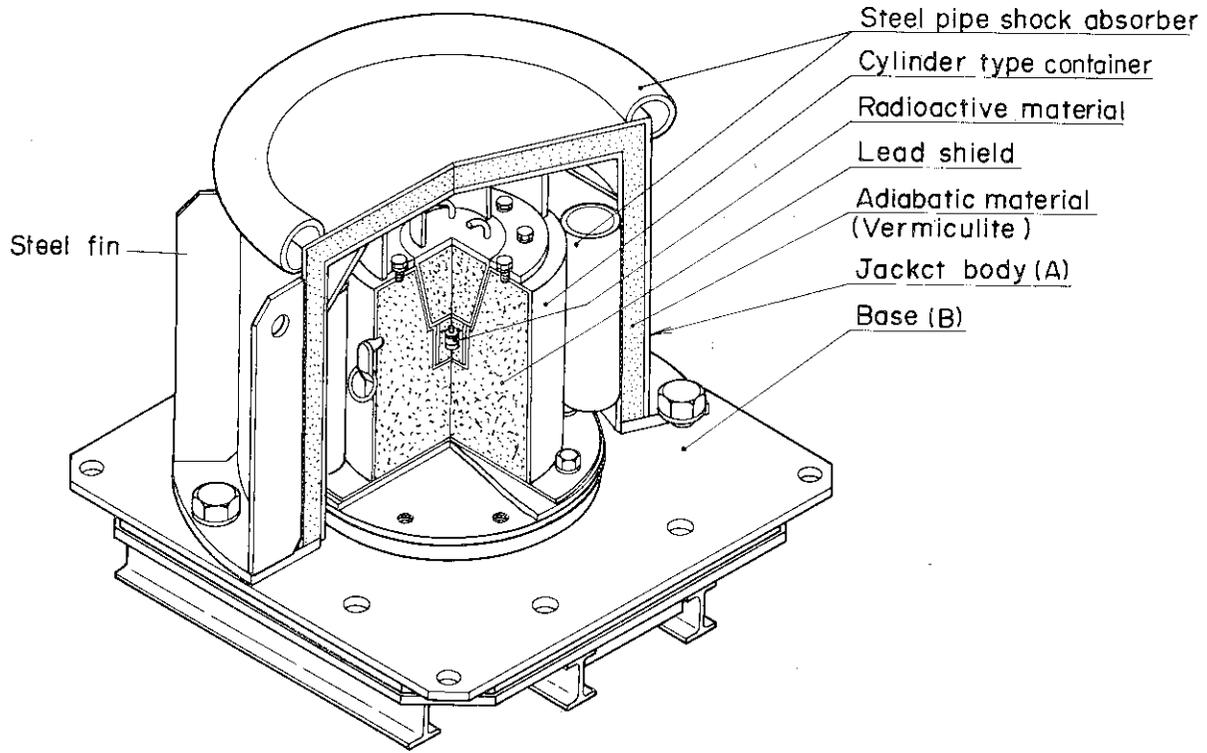


Fig.12 Construction of cylinder type package (Pb 15cm thick)

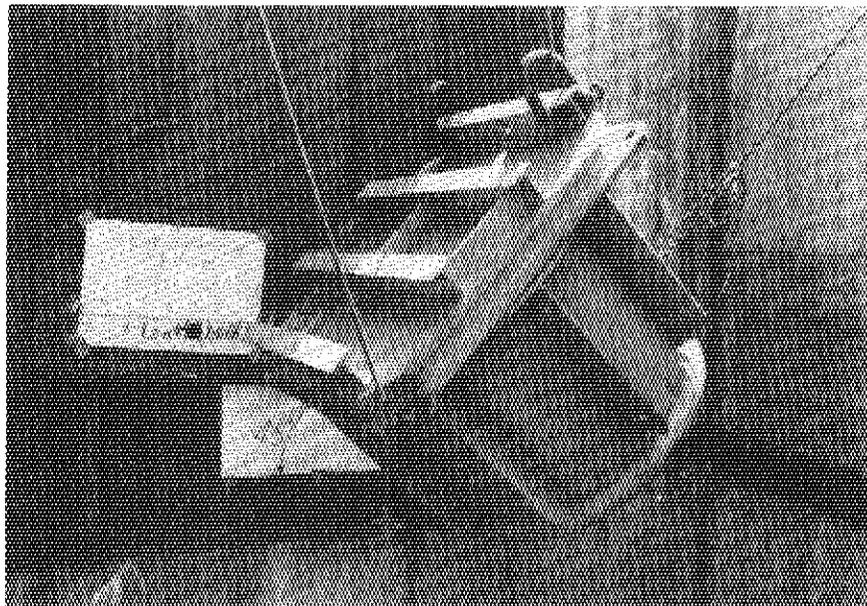


Photo.6 The hanging state of corner 1.2m-drop test.

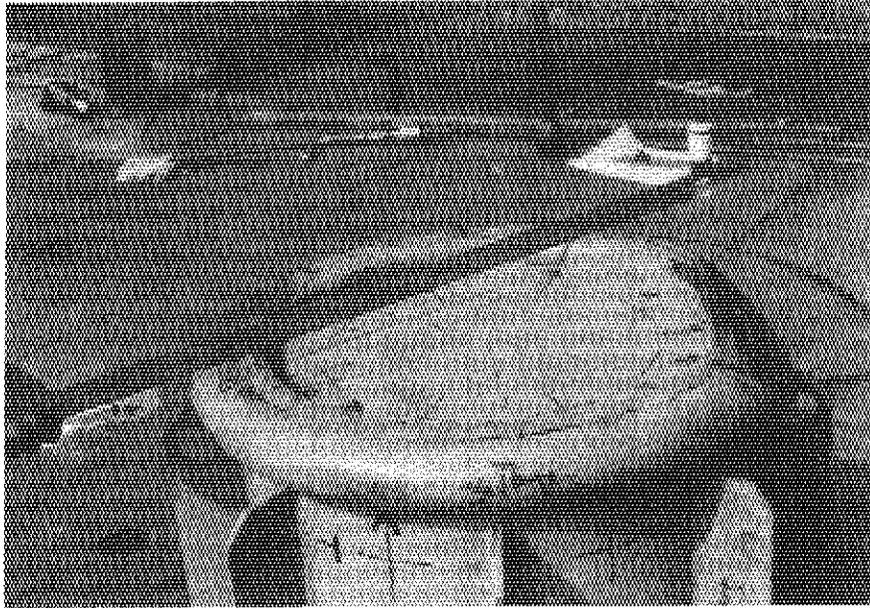
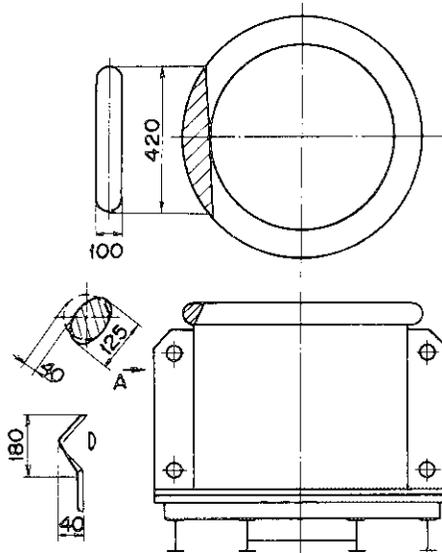
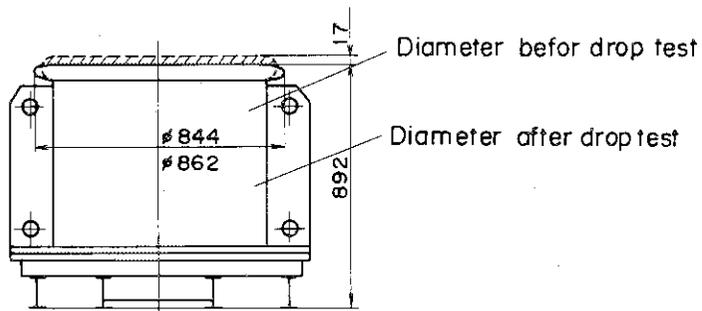


Photo.7 Deformation of the upper protective cover (A) by corner and reverse 1.2m-drop test.



1. By corner 1.2m-drop test



2. By vertical 1.2m-drop test

Fig.13 Deformations of package by free 1.2m-drop test

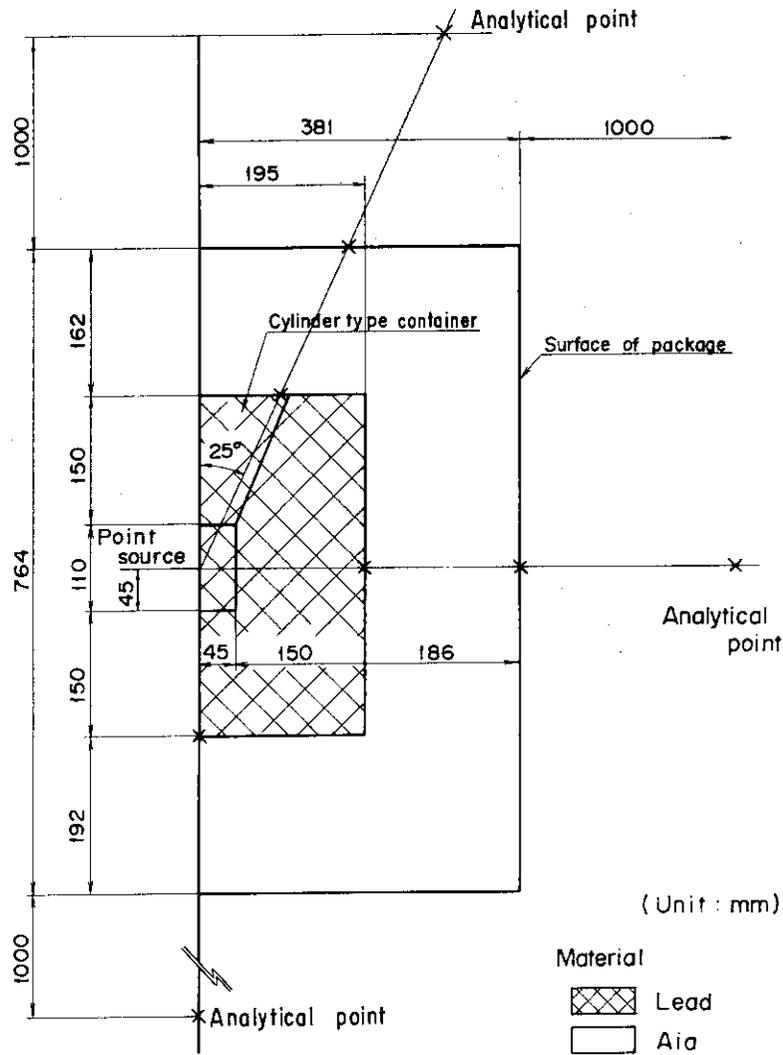


Fig. 14 Model used in the calculation of radiation dose rate in radial direction from the cylinder type container (Pb 15cm thick)

Table 7 Thermal characteristic of materials used in cylinder type package

No	Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific heat (cal/g · °C)	Thermal conductivity (cal/cm·sec·°C)
1	Lead	11.3	0.0315	0.08333
2	SUS	7.89	0.126	0.03805
3	Air	$9.16 \times 10^{-4}$	0.242	$7.555 \times 10^{-5}$
4	Carbon steel	7.85	0.11	0.1222
5	Vermiculite	0.57	0.19	$1.944 \times 10^{-4}$ <sup>1)</sup>

1) 日本アスベスト (K.K) MI-5206-02-295-S

79.0	78.3	76.7	74.0	70.0									
74.8	74.3	73.2	71.2		67.6								
70.9	70.7	70.4	70.0		65.7								
71.5			70.9				62.3	60.1					
73.8	73.5	73.4					69.8	65.4	61.6	60.6	59.6		
74.0	73.9	73.8					73.7	69.6	64.3	59.6	59.1	58.6	
74.3	74.1	73.9					73.8	69.5	63.9	59.6	59.0	58.6	58.2
74.9	74.4	73.9					73.7	69.5	63.9	59.0	58.6	58.2	
75.5	74.4	73.9					73.7	72.9	64.0	59.4	59.0	58.7	
75.8								72.9	64.0	59.4	59.0	58.7	
73.5	73.2	73.0					72.9	69.4	64.9	60.9	60.5	60.2	
72.6	72.4	72.2					72.2	69.4	64.9	60.9	60.5	60.2	
72.2	72.0	71.3					69.9	69.4	66.4	63.9	63.6	63.5	
72.1	71.8	71.2	69.9										
69.1													
67.3	67.3	67.4	67.7	67.0	67.8								
55.5	55.6	55.6	55.8	53.5	55.2								
43.8	43.8	43.8	43.9	44.0	44.1								

Fig. 15 Result of analysis of temperature distribution in cylinder type package (Pb 15cm thick) by TRUMP code

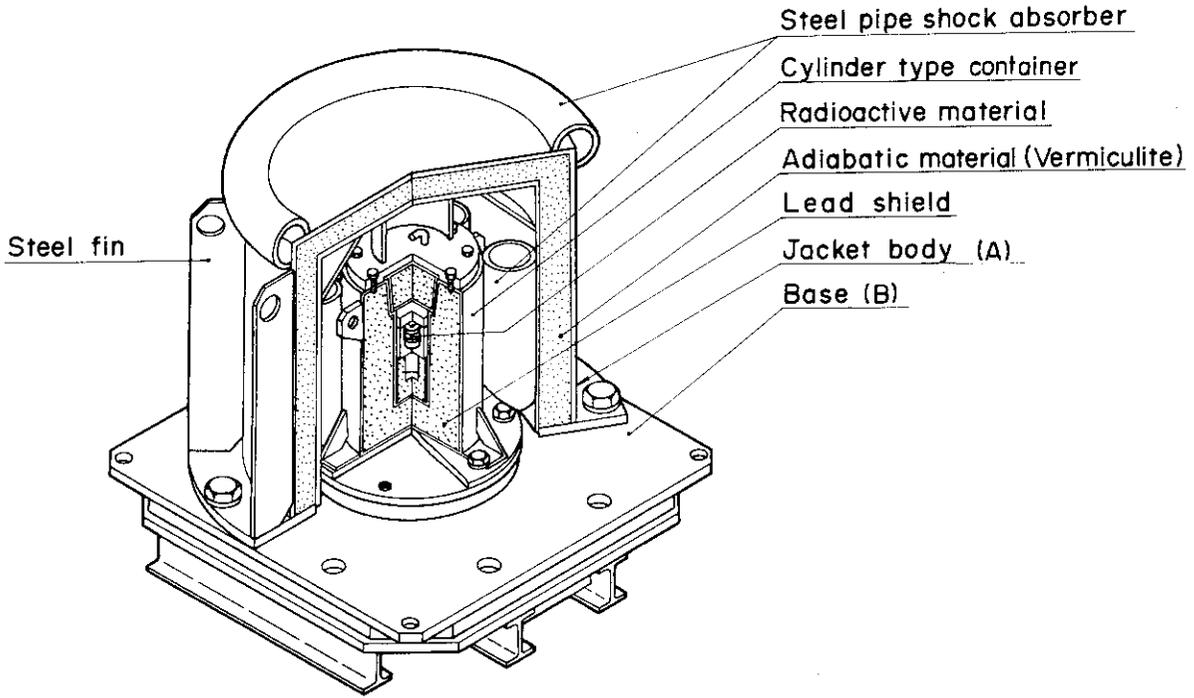
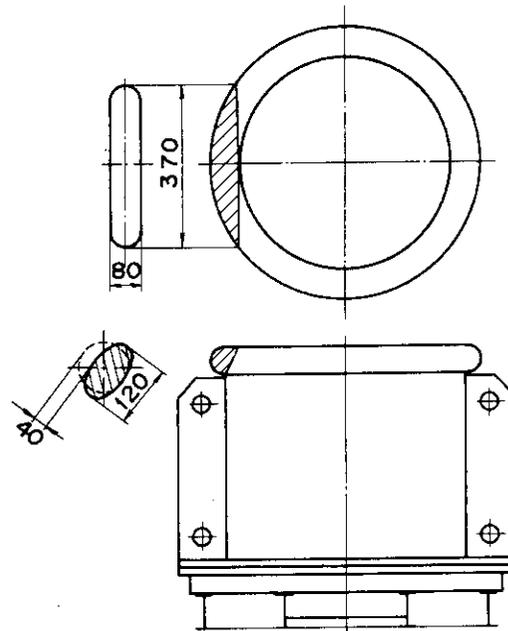
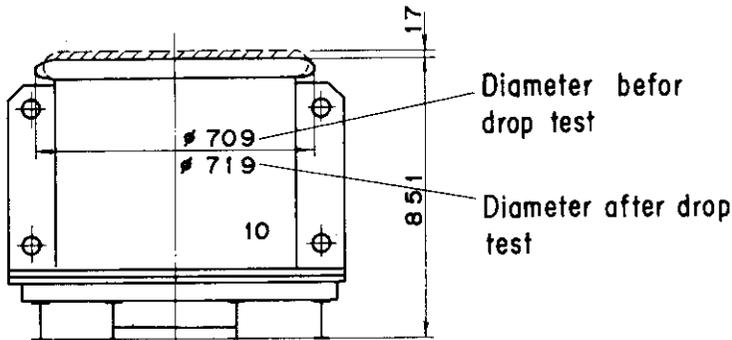


Fig. 16 Construction of cylinder type package (Pb 8cm)



1. By corner 1.2m-drop test



2. By vertical 1.2m-drop test

Fig. 17 Deformations of package by free 1.2m-drop test

## 5. 放射性輸送物運搬届出

本項では、製作する輸送容器の適合性に関する申請手続きと、運搬に当たってとるべき運搬届出の2つについて、以下にのべる。

### 5.1 輸送容器に関する申請

核燃料物質等の輸送物については、輸送物の設計承認、安全審査ならびに輸送容器の登録制度等が定められているが、放射性同位元素等を収納する輸送物の陸上輸送に関しては現在、安全審査ならびに登録制度等は行なわれていない。しかし運搬規則で定められている各種基準に対する適合性については、最小限監督官庁に対し説明あるいは了解を運搬届出を出す前に行う必要があった。その後放射性同位元素等の輸送物（陸上輸送）については、運輸省自動車局との打合せのみで良いことを確認するとともに、安全審査機関がないためこれによる合格保証が得られないこと、自動車局が必要なヒヤリングを行うことなどが明確となった。

その後製作内容や輸送物内容に関する詳細説明と通常時試験、事故時試験等の実施方法、安全解析結果等について数度のヒヤリングが実施された。

法規上の解釈からくる試験内容、実施手順等についていくつかの疑義も出されたが、最終的には、将来安全審査が行なわれた場合にも十分に満足している内容を完備している資料をもっていけばよいことがわかった。

なお運搬届出にあたっては、輸送物の基準に適合している旨の証明書（容器にあつては製作者の、輸送物にあつては運搬依頼元発刊のもの）の写しを参考資料として添付するよう指導があった。

### 5.2 運搬届出

B M型輸送物の運搬届出は「運搬規則について（依命通達）」により運搬日の3週間前に行うなど改正前に比べそれ程の大きな変更はない。

許可申請から届出方式となったが、これも届出後自動車局長の押印があつて受理されたこととなるので、実質的には許可と同様と思われる。

届出書類では、輸送物の基準適合状況、ならびに前記のように参考資料として輸送容器または輸送物の基準適合に関する証明書添付（現在後者のみ）等を必要とする。この例をTable 8にしめす。

また、輸送物依頼元である東海研アイソトープ事業部製造部から運搬業者に提出したものは次の通りである。

#### 1. 放射性輸送物運搬届出依頼書

記載内容

(イ) 輸送物型      (ロ) 核種      (ハ) 放射性物重量      (ニ) 輸送物表面線量率（計算値）

- (d) 輸送指数（計算値）      (e) 放射性物質の物理的，化学的状态      (f) 容器型式および重量      (g) 運搬日時      (h) 運搬先
2. 運搬の目的を記した書面
  3. 容器適合試験成績証明書
  4. 輸送物適合証明書
  5. 輸送物の構造図，外觀図
  6. 放射性物質（線源およびキャプセル）の仕様書
  7. 事故時の連絡先および取扱いについての書面

これらの新規則にしたがって輸送したBM型輸送物の届出書の件数をTable 9にします。

Table 8 Cosignors certificate of BM package

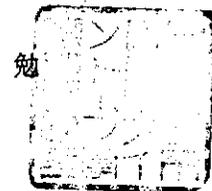


54原研 第 号  
昭和54年 月 日

証 明 書

日本通運株式会社 殿

日本原子力研究所  
アイソトープ事業部  
事業部長 望 月



下記輸送物は、「放射性同位元素等車両運搬規則」(昭和52年運輸省令第33号)及び「放射性同位元素等車両運搬規則の細目を定める告示」(昭和52年運輸省告示第586号)に定める BM型輸送物としての基準に適合している事を証明します。

記

1. 使用する輸送容器

( 型 式 ) ( 製 造 番 号 )

RIC-C-1501型 — 001

2. 輸送物の内容

$^{192}\text{Ir}$  : 5,900 キュリー

Table 9 List of the approval certificates for BM type package

整理番号	核種	數量	届出日	輸送日	届出番号	運輸省受理番号	輸送区間	輸送物型式
M-1	192 Ir	5,900 Ci	53.10.19	53.11.7	菅原第192号	自受第3655号	東海研~RI協会	RIC-C-1501
M-2	"	"	53.11.27	53.12.18	" 210号	" 4237号	"	"
M-3	192 Ir他	6,758 Ci	54.2.2	54.2.23	" 17号	" 478号	大洗研~東海研	RIC-D-1501 X2
M-4	192 Ir	6,200 Ci	54.2.2	54.2.28	" 18号	" 479号	東海研~RI協会	RIC-C-1501 RIC-C-801
M-5	192 Ir他	6,884 Ci	54.4.23	54.5.8	" 127号	" 29号	大洗研~東海研	RIC-D-1501 X3
M-6	192 Ir	5,900 Ci	54.4.23	54.5.17	" 128号	" 30号	東海研~RI協会	RIC-C-1501
M-7	192 Ir他	6,642 Ci	54.7.5	54.7.24	" 227号	" 139号	大洗研~東海研	RIC-D-1501
M-8	192 Ir	5,900 Ci	54.7.5	54.7.31	" 228号	" 140号	東海研~RI協会	RIC-C-1501
M-9	"	5,900 Ci	54.10.5	54.10.19	" 365号	" 230号	"	"
M-10	192 Ir他	6,559 Ci	54.11.29	54.12.14	" 441号	" 318号	大洗研~東海研	RIC-D-1501 X2
M-11	192 Ir	5,900 Ci	54.11.29	54.12.20	" 442号	" 319号	東海研~RI協会	RIC-C-1501

## 6. あとがき

法規改正に伴って、放射性同位元素の製造、出荷業務に使用する輸送容器の整備を実施した。

昭和52年度までに実施した各種試験の結果、経験をもとにBM型輸送物を主体とした輸送容器の設計製作ならびに安全性に関する実証試験を行った。容器は線源を収納する線源収納容器を緩衝体を介して外箱で包む二重方式のものである。この輸送物に対する事故時試験の一部項目については、昭和52年度で実施し適合性がほぼ確認されている。

昭和53年度では引出型BM輸送容器（鉛厚15cm）ならびに円筒型BM輸送容器（鉛厚15cmと8cm）の二種類を製作し、通常時試験および事故時試験のうち一部残された試験項目を実施した。

以上の容器製作面のほか、法規適合に関する確認事項、運搬に関する諸手続き上の問題など種々不明な事項が多く、紆余曲折はあったが、それらの手続きを完了することができた。

原子炉による照射試料の輸送ならびにRI製品の出荷に使用する輸送容器が整備され、現在支障なく公道輸送が実施されている。

## 謝 辞

本輸送容器の製作と試験にあたって、監督官庁との接衝を始め多くの面で御指導頂いた実用燃料試験室、江頭忠彦氏（元、安全管理室）に厚く感謝の意を表します。実証試験その他に部内各位の協力を得て実行できたことに感謝します。また細部の設計面、実証試験の実施方法、安全解析書の作成、運輸省におけるヒヤリング等に新規の事項について細かい配慮のもとに製作を担当された芳沢機工K・Kに厚く感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) 岡根章五、立川克浩：ラジオアイソトープに関する輸送物の安全性試験，JAERI-M 8084（1979）
- (2) RI輸送容器専門委員会：RI輸送容器の安全性に関する研究，Radioisotope, 25, 8～10（1976）
- (3) RI輸送容器専門委員会：RI輸送容器の技術的基準に関する試験研究，ibid, 25, 2～4（1979）
- (4) IAEA Safety series No6, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Materials, (1973 Revised Editions), IAEA, Vienna (1973)
- (5) IAEA Safety series No37, Advisory Material for the Application

## 6. あとがき

法規改正に伴って、放射性同位元素の製造、出荷業務に使用する輸送容器の整備を実施した。

昭和52年度までに実施した各種試験の結果、経験をもとにBM型輸送物を主体とした輸送容器の設計製作ならびに安全性に関する実証試験を行った。容器は線源を収納する線源収納容器を緩衝体を介して外箱で包む二重方式のものである。この輸送物に対する事故時試験の一部項目については、昭和52年度で実施し適合性がほぼ確認されている。

昭和53年度では引出型BM輸送容器（鉛厚15cm）ならびに円筒型BM輸送容器（鉛厚15cmと8cm）の二種類を製作し、通常時試験および事故時試験のうち一部残された試験項目を実施した。

以上の容器製作面のほか、法規適合に関する確認事項、運搬に関する諸手続き上の問題など種々不明な事項が多く、紆余曲折はあったが、それらの手続きを完了することができた。

原子炉による照射試料の輸送ならびにRI製品の出荷に使用する輸送容器が整備され、現在支障なく公道輸送が実施されている。

## 謝 辞

本輸送容器の製作と試験にあたって、監督官庁との接衝を始め多くの面で御指導頂いた実用燃料試験室、江頭忠彦氏（元、安全管理室）に厚く感謝の意を表します。実証試験その他に部内各位の協力を得て実行できたことに感謝します。また細部の設計面、実証試験の実施方法、安全解析書の作成、運輸省におけるヒヤリング等に新規の事項について細かい配慮のもとに製作を担当された芳沢機工K・Kに厚く感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) 岡根章五，立川克浩：ラジオアイソトープに関する輸送物の安全性試験，JAERI-M 8084（1979）
- (2) RI輸送容器専門委員会：RI輸送容器の安全性に関する研究，Radioisotope, 25, 8～10（1976）
- (3) RI輸送容器専門委員会：RI輸送容器の技術的基準に関する試験研究，ibid, 25, 2～4（1979）
- (4) IAEA Safety series No6, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Materials, (1973 Revised Editions), IAEA, Vienna (1973)
- (5) IAEA Safety series No37, Advisory Material for the Application

## 6. あ と が き

法規改正に伴って、放射性同位元素の製造、出荷業務に使用する輸送容器の整備を実施した。

昭和52年度までに実施した各種試験の結果、経験をもとにBM型輸送物を主体とした輸送容器の設計製作ならびに安全性に関する実証試験を行った。容器は線源を収納する線源収納容器を緩衝体を介して外箱で包む二重方式のものである。この輸送物に対する事故時試験の一部項目については、昭和52年度で実施し適合性がほぼ確認されている。

昭和53年度では引出型BM輸送容器（鉛厚15cm）ならびに円筒型BM輸送容器（鉛厚15cmと8cm）の二種類を製作し、通常時試験および事故時試験のうち一部残された試験項目を実施した。

以上の容器製作面のほか、法規適合に関する確認事項、運搬に関する諸手続き上の問題など種々不明な事項が多く、紆余曲折はあったが、それらの手続きを完了することができた。

原子炉による照射試料の輸送ならびにRI製品の出荷に使用する輸送容器が整備され、現在支障なく公道輸送が実施されている。

## 謝 辞

本輸送容器の製作と試験にあたって、監督官庁との接衝を始め多くの面で御指導頂いた実用燃料試験室、江頭忠彦氏（元、安全管理室）に厚く感謝の意を表します。実証試験その他に部内各位の協力を得て実行できたことに感謝します。また細部の設計面、実証試験の実施方法、安全解析書の作成、運輸省におけるヒヤリング等に新規の事項について細かい配慮のもとに製作を担当された芳沢機工K・Kに厚く感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) 岡根章五，立川克浩：ラジオアイソトープに関する輸送物の安全性試験，JAERI-M 8084（1979）
- (2) RI輸送容器専門委員会：RI輸送容器の安全性に関する研究，Radioisotope, 25, 8～10（1976）
- (3) RI輸送容器専門委員会：RI輸送容器の技術的基準に関する試験研究，ibid, 25, 2～4（1979）
- (4) IAEA Safety series No6, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Materials, (1973 Revised Editions), IAEA, Vienna (1973)
- (5) IAEA Safety series No37, Advisory Material for the Application

of the IAEA Transport Regulations, IAEA, Vienna (1973)

(6) L.M. Ledere, J.M. Hollander et al: Table of Isotope, Sixth Edition Edition. (Wiley, New York·London·Sydney) (1968)

## 附録 1. A型輸送容器の製作（その1）

運搬規則が施行される以前のハンデタイプの鉛容器（鉛厚が5 cm）をA型輸送容器として活用するために、改造して新たな技術基準に適合できるようにした。

この鉛容器は、主として研究所外にR I製品を輸送するため外箱に入れて使用するが、研究所内ではこの容器のみで使用している。このため、運搬規則に定めるA型輸送容器の基準に鉛容器のみで、また鉛容器を外箱に入れた型で適合させることにした。

鉛容器は、蓋の上面に容器胴部と同径のステンレス製フランジをつけ、これを4本のボルトで締め付けるようにして把手をつけて落下衝撃に耐えられるようにした。また、水吹き付け試験に対してはフランジと容器上面との間にOリングを入れて気密を保つようにした。締め付けボルトの1個所に穴をあけ封印ができるようにした。また輸送するR Iが固体と液体であるために、運搬規則の告示第5条にのべる収納するR Iの液体量の2倍以上の量を吸収することができる吸収材を用いることにした。この鉛容器をFig. 18にしめす。また、吸収材の仕様をTable 10にしめす。

落下試験においては、鉛容器の角が斜め落下時に少しへこんだ。また、逆さ落下時にフランジをとめているボルトが少し曲った。他の落下姿勢および水吹き付け試験では何ら影響はなかった。

この鉛容器を収納する外箱は、落下時の衝撃に耐えるよう、堅固な蝶番と蓋止金具にした。（研究所内で13 mの高さから落下させたところ、蝶番と蓋止金具が破壊し、本体と蓋が離脱した）封印用の金具をとりつけた。水吹き付け試験に対しては、蓋部にネオプレンパッキングをつけた。落下試験では、角が斜め落下時に少しへこんだ位で他にはまったく影響はなかった。

鉛容器および外箱付容器について、 $^{60}\text{Co}$ 線源で放射線漏洩試験を実施し、落下試験の前と後で有意の差がなかったことを確認した。

以上の結果から、鉛容器のみでも、また外箱付容器でもA型輸送容器の基準を満足していることを確かめた。

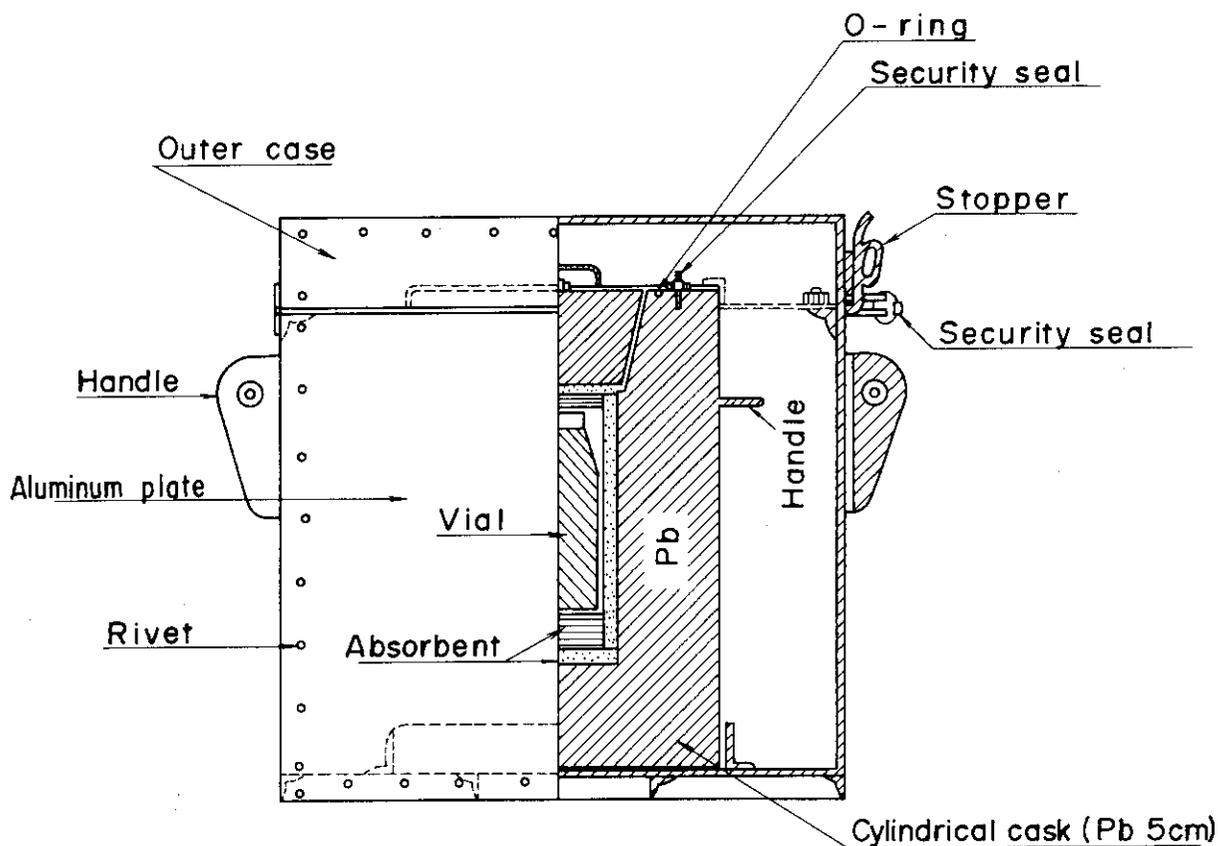


Fig.18 Construction of A type package

Table 10 Specifications of absorbent

No	Absorbing materials	Size (m/m)	Weight of absorber (g)	Capacity of absorption (ml)
1	*a No.84 Cylinder filter paper	<sup>ID</sup> 28 ϕ x 75 <sup>h</sup>	4.4	8
2	*b Hard cushion	35 ϕ	1.1	3
3	*c Soft cushion	35 ϕ	1.3	11

\* a ) made in TOYO K.K

\* b.c ) made in HOSOKAWA K.K

## 附録 2. A型輸送容器の製作（その2）

本報告書で述べた引出型容器のA型輸送容器を設計製作した。

本A型輸送容器は、各原子炉施設からの照射物のR1棟への搬入や製造したR1製品を出荷輸送するために使用する。製造部では現在35種類のR1を製造しているが、 $^{32}\text{P}$ および $^{192}\text{Ir}$ を除くとほとんどがA型適用核種であるため、規則にしたがったA型輸送容器の整備が急務であった。

基本の型としては、引出型容器を衝撃から保護する外枠緩衝体（以下外枠と略す）を用いることにし、下記の事を設計方針とした。

- (1) 軽量で小型である。
- (2) 安価である。
- (3) 線源収納容器の脱着作業が簡単である。
- (4) 外枠は十分に衝撃に耐えられる。
- (5) 引出型容器自身で気密を維持できる。

これを考慮に入れて、BM型輸送容器を製作した経験をもとに、① 鋼製パイプを用いたもの（外枠A）、② 鋼製パイプと木材を共用したもの（外枠B）、③ 木材のみのも（外枠C）と3種類の外枠試験体を作った。この試験体を用いて運搬規則が定める基準にしたがった実証試験を行い、その中から最も設計の方針にしたがったものを1個選ぶ方法を取った。この3種類の試験体をPhoto. 8の(A)~(C)にしめす。引出型容器は810kgであり、外枠(A)157kg、外枠(B)178kg、外枠(C)185kgでいずれも総重量は1000kg以下であった。

実証試験では、運搬規則にしたがって水吹きつけ試験、1.2m落下試験（正、水平、斜め、逆さの順で4姿勢）、貫通試験および圧縮試験を行った。

引出型容器に対しては、気密を保持するために、シリコンゴムパッキングをFig. 19にしめすように扉や上部プラグその他につけた。また、気密性能を確かめるために、 $1.0\text{ kg/cm}^2$ に加圧して石鹼水テストを行って合格後、1.5m浸漬試験を行った。これらの一連の試験方法は、本報告に述べられているので省略する。

### (I) 輸送容器に関する試験結果

水吹きつけ試験、貫通試験、圧縮試験はまったく3種類の試験体に変化はなかった。

次に1.2m落下試験についてのべる。

#### (1) 外枠(A)

逆さ、正落下においては、底面および上面の寸法と形状に変化はなかった。

斜め落下では、衝突面のパイプが幅30cmにわたってつぶれ、溶接面の境界で1ヶ所きれつを生じた。この状態をPhoto. 9にしめす。

水平落下では、衝突側の扉部を衝撃から保護するための中空パイプが半分つぶれた。

衝突時において、引出型容器はほとんど動くことはなかった。

#### (2) 外枠(B)

外枠(A)と同様の結果となった。(A)との差は、Photo. 9の(B)にしめすように引出型容器を

円筒の積層したベニヤ板で上下をサンドイッチしたものの寸法精度がゆるやかであった。このため容器との間に隙間が生じ落下時に、引出型容器が振動および回転などの複雑な動きをした。

### (3) 外枠(C)

外枠(C)は、Photo. 9 の(C)のように完全な箱型である。このため、正および逆さ落下では何ら変化はなかった。

逆さ斜め落下試験では、上部の角材が飛び、内部の木材も引出型容器が衝突した部分はこわれた。しかし、水平および逆さ落下試験はそのまま続行した。試験後、引出型容器はまったく影響はなかった。

### (II) 引出型容器に関する結果

シリコンゴムパッキングを装備した引出型容器は、浸漬および加圧発泡試験に合格し、気密を維持できることがわかった。

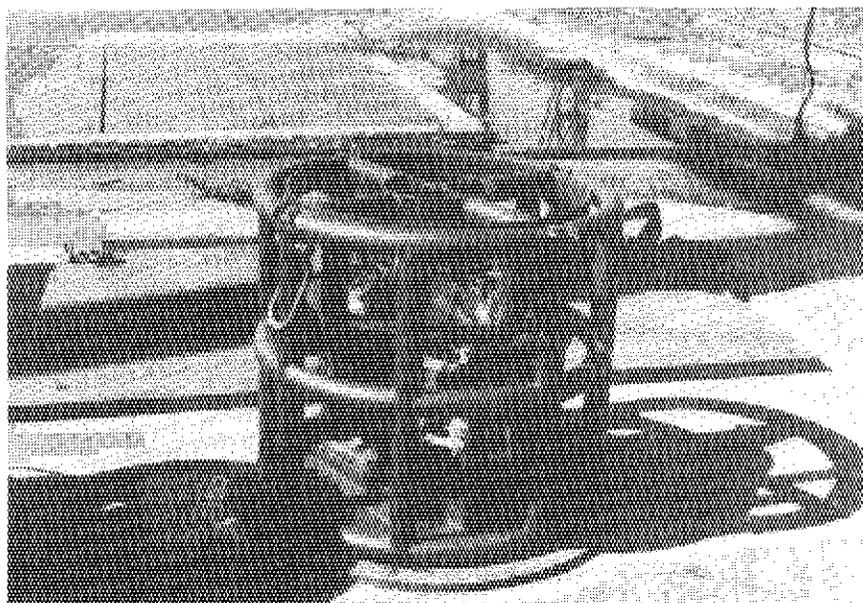
問題としては、パッキングの老化による交換時期の決め方の方法などが残った。

### (III) 総合評価

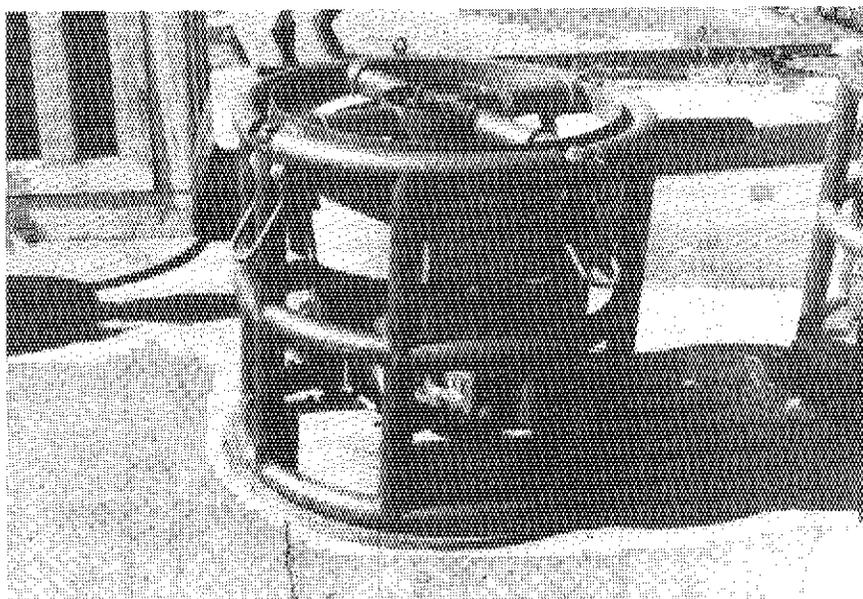
小型で軽量である面からは外枠(A)がすぐれている。また、脱着作業の面では、外枠(C)を除くと(A)および(B)に差はない。経済的な面で外枠(C)、(B)、(A)と安価になる。

緩衝体としては、外枠(A)と(B)は差がなく、(C)は完全に破損した。

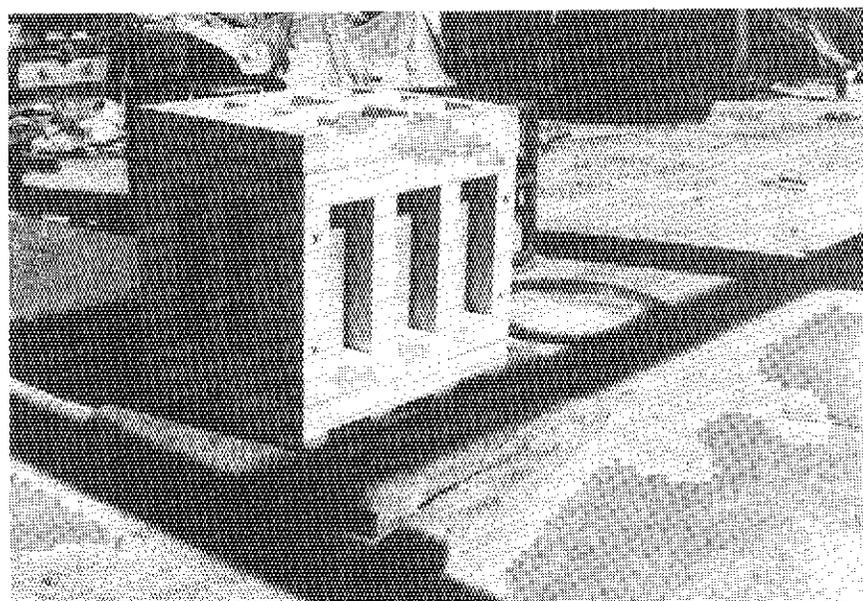
これらの結果から、外枠(A)を選び、A型輸送容器を製作した。



(1)  
Cask is covered  
in a steel pipe



(2)  
Cask is covered  
in a steel pipe  
and play wood



(3)  
Cask is covered  
in a play wood  
case

Photo. 8 The appearance of the trial A type packages before 1.2m-drop test

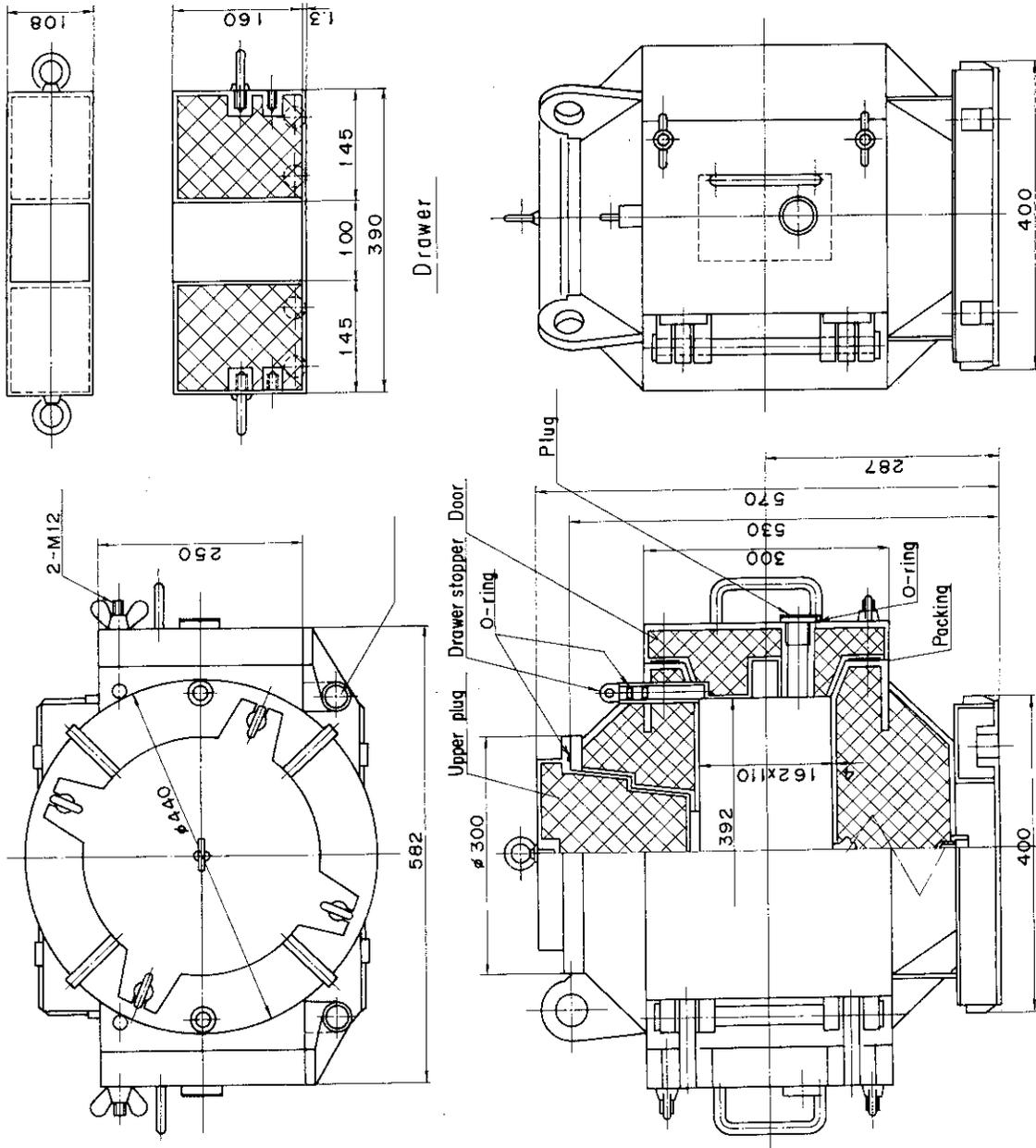


Fig. 19 Drawer type container ( Pb 15cm thick )

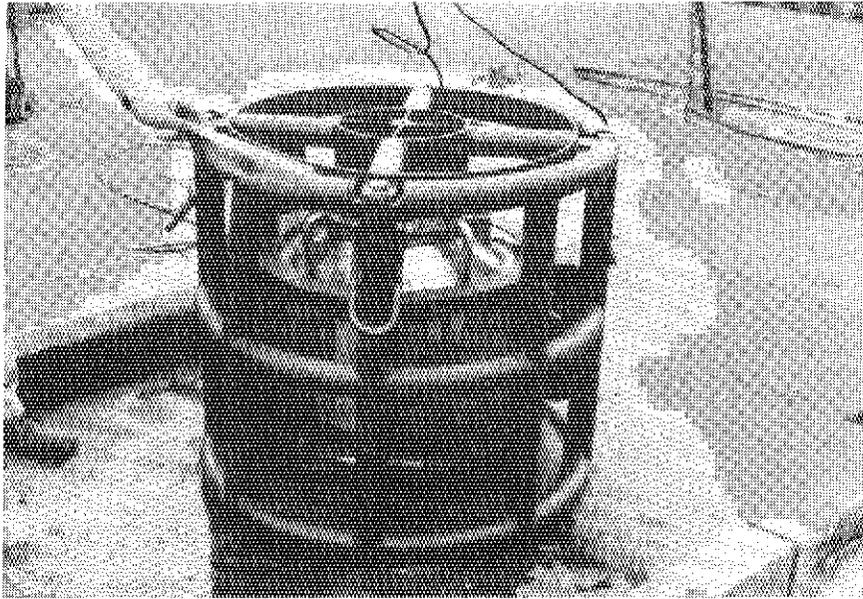


Photo. 9 Deformation of steel pipe by corner  
1.2m-drop test