

JAERI - M
92-078

原子炉照射用プラスチックキャプセルの開発

1992年6月

有金 賢次・信田 重夫・藁谷 兵太
青山 功・瀬口 忠男・高橋 秀武

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 いばらき印刷(株)

原子炉照射用プラスチックキャプセルの開発

日本原子力研究所東海研究所研究炉部
有金 賢次・信田 重夫・藁谷 兵太⁺
青山 功・瀬口 忠男⁺⁺・高橋 秀武

(1992年5月7日受理)

耐放射線性高分子材料ポリエチレン-2,6-ナフタレート (Polyethylene-2,6-Naphthalate)を用い、原子炉照射用キャプセルを開発した。このキャプセルの特徴は、誘導放射能が少なく、射出成形により大量生産でき、JRR-4で最大12時間までの試料照射に用いることができる。この結果、従来アルミニウムキャプセルでしかできなかった数時間の照射が本キャプセルで可能となるとともに、照射後直ちに試料の取り扱いができ、JRR-4における共同利用照射がさらに安全かつ簡便に行えるようになった。

本報告は、本キャプセルの開発と照射試験の結果をまとめたものである。

Development of Plastic Capsule for
Research Reactor Irradiation

Kenji ARIGANE, Shigeo SHIDA, Heita WARAGAI⁺
Isao AOYAMA, Tadao SEGUCHI⁺⁺ and Hidetake TAKAHASHI

Department of Research Reactor
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May 7, 1992)

New irradiation capsule for the research reactor was developed using a radiation resistant polymer, Polyethylene-2,6-Naphthalate (PEN). This capsule has several merits such as low activity after irradiation, low price by mass production using injection moulding, and good irradiation performance for application to 12 hours irradiation in Japan Research Reactor No.4(JRR-4).

Using this capsule, more efficient irradiation can be done because the samples can be taken off from the capsule immediately after irradiation, and this PEN capsule can be replaced with ordinary aluminum capsule for JRR-4 irradiation.

This report describes the development of PEN capsule and the irradiation tests.

Keywords: Radiation Resistant Polymer, PEN, Irradiation Capsule,
Development, Research Reactor, JRR-4, Low Activity,
Injection Moulding, Irradiation Performance

⁺ Department of Hot Laboratories

⁺⁺ Department of Material Development, Takasaki Radiation Chemistry
Research Establishment

目 次

1. はじめに	1
2. PEN キャプセルの開発	2
2.1 PEN キャプセルの概要	2
2.2 キャプセル材料の選定	2
2.3 PEN キャプセルの開発試験	2
3. PEN の特性	6
3.1 分子構造	6
3.2 密度	6
3.3 不純物	6
3.4 耐熱性	7
3.5 機械的特性	7
4. キャプセルの照射試験	14
4.1 照射条件	14
4.2 キャプセルの健全性	14
4.3 キャプセルの誘導放射能	14
4.4 キャプセルの圧縮破壊強度	14
5. まとめ	21
6. 結論	22
謝 辞	22
参考文献	22

Contents

1. Introduction	1
2. Development of PEN Capsule	2
2.1 Outline of PEN Capsule	2
2.2 Selection of Capsule Material	2
2.3 Development Tests of PEN Capsule	2
3. Characteristics of PEN	6
3.1 Molecular Structures	6
3.2 Density	6
3.3 Impurity	6
3.4 Heat Resisting Properties	7
3.5 Mechanical Properties	7
4. Capsule Irradiation Tests	14
4.1 Irradiation Conditions	14
4.2 Irradiation Effect of Capsule	14
4.3 Activities of Irradiated Capsule	14
4.4 Compression Fracture Test of Capsule	14
5. Summaries	21
6. Conclusion	22
Acknowledgment	22
References	22

1. はじめに

研究炉における中性子照射用キャプセルに求められる条件は、耐熱・耐放射線性に優れ、誘導放射能が少なく、安価であることである。しかし、これまでこのような条件を全て満たす材料は見当たらず、ポリエチレン、アルミニウムおよびポリイミドが用いられ、材質に応じて照射時間に制限を設け使い分けている。

ポリエチレンは安価で成形加工性に優れ、誘導放射能が少いが、耐熱・耐放射線性が劣っている。このためJRR-4では、短時間の照射、すなわち、窒素ガスでキャプセルを搬送する気送管照射装置で20分、水力照射装置（Tパイプ）および簡易照射筒（SおよびDパイプ）など水中における照射の場合で40分までの照射に使用している。アルミニウムは、原子炉の構造材として広く使われているように耐熱・耐放射線性に優れた特性を持っているが、照射直後の誘導放射能が高く、数時間の照射後2～3日の放射能減衰期間が必要である。従って、照射後直ちに試料の取り扱いを必要としない試料の照射、あるいはサイクル照射のように長時間の照射に使用している。一方、ポリイミドは、誘導放射能は低く、100時間程度の原子炉照射に耐える耐熱・耐放射線性を有するが、材料そのものが高価であり、その加工は切削加工によるため、高価なキャプセルとなる。このため、その使用は特殊な場合に限定されている。

以上の理由により、40分以下の照射にはポリエチレンキャプセルを、それ以上の照射にはアルミニウムあるいはポリイミドキャプセルを用い、種々の照射に対応してきた。しかし、年々照射が多様化・高度化するなかで、数時間の照射後直ちに試料の取り扱いを必要とする照射試験が増えており、これに対応できる新たなキャプセルの開発が望まれていた。このため、平成元年度に、耐放射線性高分子材料 Polyethylene-2,6-Naphthalate（以下「PEN」という。）によりキャプセルを試作し、平成2年度に実用化のための照射試験を行った。その結果、PENを材料としたキャプセル（以下「PENキャプセル」という。）は、JRR-4で6～12時間の照射に十分耐える照射健全性を持っていることが確認され、共同利用照射に使用できる見通しを得た。そして平成3年10月、「東海研究所キャプセル等設計・製作基準」に登録し、本キャプセルによる共同利用照射を開始した。

本報告では、第2章にキャプセルの概要とキャプセル材料の選定について述べ、第3章にPENの特性、第4章にPENキャプセルの照射試験について述べる。

2. PENキャプセルの開発

2.1. PENキャプセルの概要

誘導放射能が少なく、大量生産ができ、JRR-4で6時間程度の照射が可能なキャプセルを開発することを目的とし、Fig.1 に示すキャプセルを開発することとした。このキャプセルはJRR-4のTパイプ用のネジ式キャプセルと同形状で、Sパイプの照射にも使用できるものである。キャプセルは、キャプセル本体とキャップから構成され、全長137mmのL型と、全長67mmのS型の2種類である。キャプセル本体は、外径32mm、肉厚2.5mmの底付き円筒体で、開口部にネジが設けてある。本体長さは、L型が130mm、S型が60mmである。キャップは、外径32mm、厚さ17mmのネジ式で、上面にはキャップを遠隔操作で取り外すためのリブがある。キャップの密封性は考慮されていない。キャプセル重量は、L型が48g、S型が25gである。

2.2 キャプセル材料の選定

機械的強度および耐熱性が飛躍的に改善されたスーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれる高性能樹脂が相次いで開発され¹⁾、中には数時間の原子炉照射に耐え得ると認められる熱可塑性高分子材料が出現した。英国ICI社が開発したPEEK (Poly Ether Ether Ketone) は、融点が345℃、ガラス転移点が143℃、連続使用温度が235℃、耐放射線性が20MGyといわれる材料で、エレクトロニクス関連、絶縁材料、航空宇宙等の用途として使用されている^{2) 3) 4) 5)}。

(株)帝人がビデオテープ、フロッピーデスク、絶縁材料等のフィルム材として開発したPENは、耐熱・耐放射性はPEEKに比べやや低い⁶⁾、それでも12MGyの耐放射線性を持っている^{6) 7)}。これら2つの材料を比較検討した結果、ポリマーの不純物調整ができ、価格も安いPENを新たなキャプセル材料の候補とし、開発試験を実施した。

2.3 PENキャプセルの開発試験

材料の特性、キャプセルの照射効果、原子炉照射キャプセルとしての健全性の確認のため、以下に示す開発試験を実施した。試験の詳細については、第4章および第5章で述べている。

2.3.1 試験項目

(1) 材料に関する試験等

- ① 放射化分析による不純物分析
- ② 誘導放射能の測定
- ③ 引張試験
- ④ 衝撃試験

(2) キャプセルに関する試験等

- ① キャプセルの健全性の確認
- ② 誘導放射能の測定
- ③ 圧縮破壊試験

2.3.2 照射場の特性

材料およびキャプセルの照射は、JRR-4（最大熱出力3.5MW：スイミングプール型研究用原子炉）の気送管およびT、S、Dパイプで行った。Fig.2 にJRR-4の炉心配置を、Table 1 に各照射筒の高速中性子束（ $E \geq 0.18\text{MeV}$ ）、熱中性子束、 γ 線線量当量率を示す。なお、本報告で材料およびキャプセルの照射量を表す場合、照射場の γ 線吸収線量をグレイ（Gy）で表す。

Table 1 Fast and thermal neutron flux, and γ -rays dose rate in JRR-4 irradiation pipes as shown in Fig. 2.

Irradiation Pipe	Fast Neutron ($E \geq 0.18\text{MeV}$) ($10^{13}\text{n/cm}^2/\text{s}$) [*]	Thermal Neutron ($10^{13}\text{n/cm}^2/\text{s}$)	γ -Rays (10^6Sv/h)
T(A)**	1.5	6.0	3.2
T(B)**	1.3	5.1	1.9
S	1.2	5.3	2.4
D	1.2	4.2	2.3
L	0.4	2.0	0.7
Pn(Pneumatic Tube)	1.4	2.4	2.1

* Calculation value by SRAC code system

** T-Pipe has two irradiation positions as T(A) and T(B)

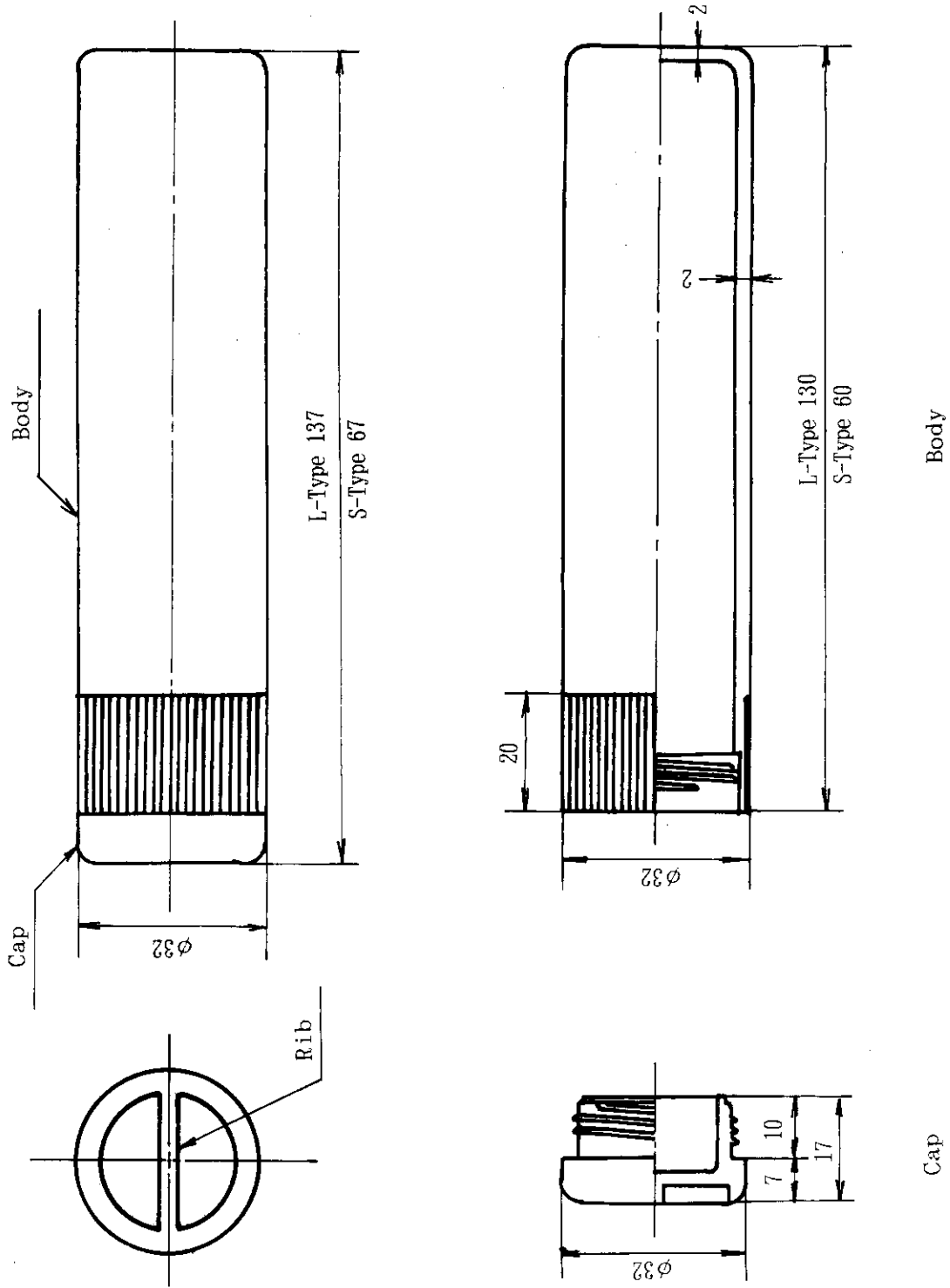


Fig. 1 PEN capsule

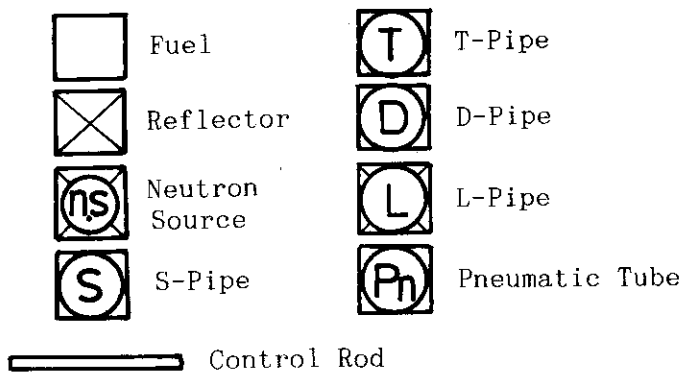
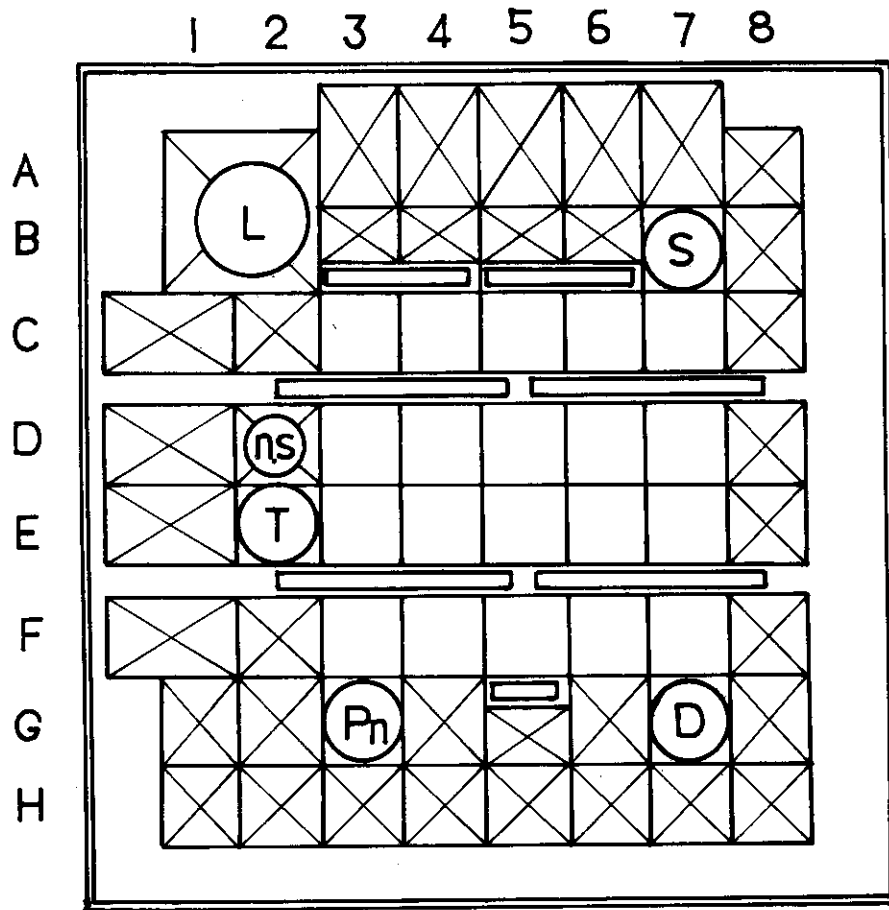


Fig. 2 JRR-4 core configuration

3. PENの特性

3.1 分子構造

PENの分子構造をFig.3に示す⁴⁾。PENはナフタレンジカルボン酸とエチレングリコールから成るポリエステル樹脂の一種で、分子鎖中にナフタレン環を持つため分子の剛直性が高く、機械的強度と耐熱・耐放射線性に優れた特性を持っている¹⁾⁶⁾。以下に、PENの主な特性を原子炉照射用キャプセルとの関連で示す。

3.2 密度

PENの密度は 1.36g/cm^3 で⁶⁾、ポリエチレン (0.95g/cm^3) より約40%大きい。このことは、JRR-4のTパイプ、Sパイプのように水中でキャプセルを扱わなければならない場合、照射済試料を収納したキャプセルが水面に浮き上がりにくく、放射線作業上より安全である。

3.3 不純物

高分子材料には一般的に触媒残渣、添加剤等が不純物として含まれる。PENにはその不純物によってPEN-1からPEN-4までの4種類がある。本キャプセルの開発に使用したPENは、触媒残渣としてチタニウムを約15ppm含むPEN-4である。

3.3.1 放射化分析による不純物分析

Fig.4 に、気送管で2分照射、3分冷却後のPEN-4の γ 線スペクトルを、Fig.5 に、Sパイプで12時間照射、5日冷却後のそれを示す。2分照射からはNa、Al、Cl、Ar、Ti、V、Mnが検出され、12時間照射からはNa、Cr、Co、Zn、Br、Sn、Sbが検出された。武蔵工業大学が立教大学原子炉 (TRIGA-II型：最大熱出力100kW) を用いて行った放射化分析による定量分析の結果では、Tiの含有量は12ppm、Mnは約1ppmで、他は1ppm以下であった⁷⁾。これらの元素のうち、Tiは触媒残渣で、他はポリマー製作またはキャプセル成型時に混入した不純物と考えられる。

3.3.2 誘導放射能

Fig.6 に、ポリエチレンとPEN-4の単位重量あたりの放射能の減衰を示す。試料照射は、Tパイプでそれぞれ40分照射し、放射能は試料表面から5cmの所の γ 線線量当量率をテレテクタ (FAG FH40F4) で測定した。その結果、照射直後 (5分後) の放射能はほぼ同じで、両者の線量当量率には大きな差はなかった。しかしその後の減衰はやや異なる傾向を示し、PENは照射直後から約140分で半減し、ポリエチレンは照射後1時間まではやや急速に、その後は約80分で半減した。この結果から、PENの放射能の減衰はポリエチレンよりやや遅いが、照射直後の放射

能はポリエチレンとほぼ同じであることが確認できた。

3.4 耐熱性

PENの融点は273℃、ガラス転移点は113℃、長期使用温度は155℃である³⁾。JRR-4における原子炉照射中の雰囲気温度は、T、S、Dパイプで約40℃、気送管で約90℃であり、使用条件下においてPENは十分耐熱性を有している。また、熱膨張係数がポリエチレンの約1/10の $1.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ であることから⁶⁾、キャプセルの寸法変化が少なく、キャプセルを管路内で移動させる水力照射装置や気送管に対しては、搬送の確実性において優れている。

3.5 機械的特性

PENの機械的特性について、PENフィルム(厚さ75 μm と25 μm)の真空中における γ 線照射試験の結果から、引張強さおよび破断伸びが未照射時の50%に減ずる照射量はそれぞれ42MGy、12MGyと報告されている⁸⁾。42MGyの照射量はTパイプで約13時間、Sパイプで約18時間の照射量に相当する。成型材の原子炉照射下における機械的特性を把握するため、Fig.7に示したPEN-4の小形試験片を照射し、引張試験およびシャルピー衝撃試験を実施した。試験片の照射時間は、40分(1.3MGy)、6時間(14.2MGy)、12時間(28.4MGy)、24時間(56.8MGy)の4種類で、40分照射はTパイプ、他はSパイプで照射した。試験片の数は、引張試験、衝撃試験とも各照射時間に対して3個である。

3.5.1 引張試験

Fig.8に、引張強さおよび伸びの変化を示す。引張強さは降伏点の値⁹⁾、伸びは破断伸びおよび弾性伸びである。試験は米倉製作所製の電子式万能試験機を用い、引張速度19mm/min、室温で行った。その結果、引張強さは6時間照射までは増加する傾向を示したが、12時間照射では未照射時の93%、24時間照射では55%に低下した。引張強さが未照射時の50%に減ずる照射量は約60MGyである。一方弾性伸びについては、照射量の増加とともに減少し、12時間照射で弾性伸びはゼロとなったが、破断伸びは24時間照射で約10%を保持している。

3.5.2 衝撃試験

Fig.9に衝撃試験の結果を示す。試験はひょう量40kg-cmの東京試験機製作所製のプラスチック衝撃試験機を用い、室温で行った。その結果、衝撃値は6時間照射では未照射時の58%に、その後はゆるやかに低下し、24時間照射では未照射時の45%になった。衝撃値が未照射時の50%に減ずる照射量は約55MGyである。

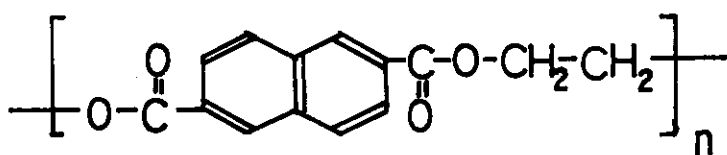


Fig. 3 Molecular structure of PEN

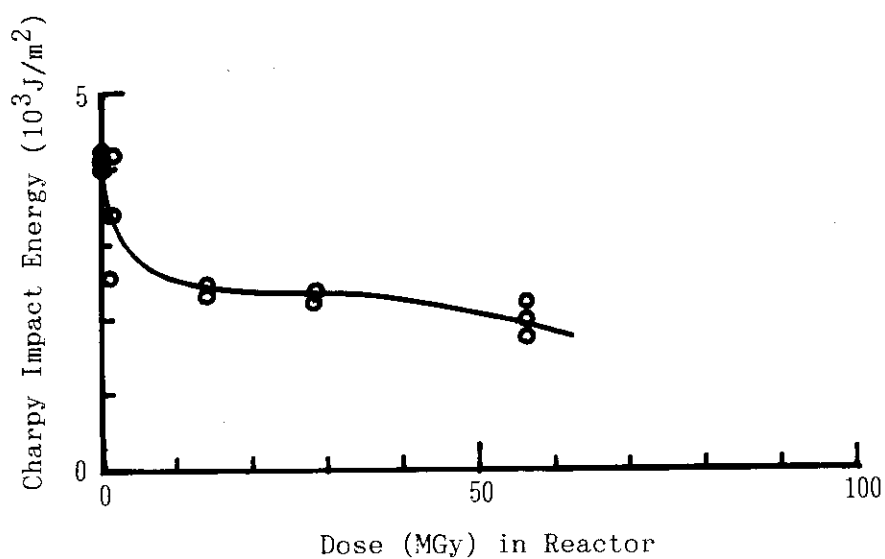


Fig. 9 Charpy impact energy of PEN test piece irradiated in JRR-4

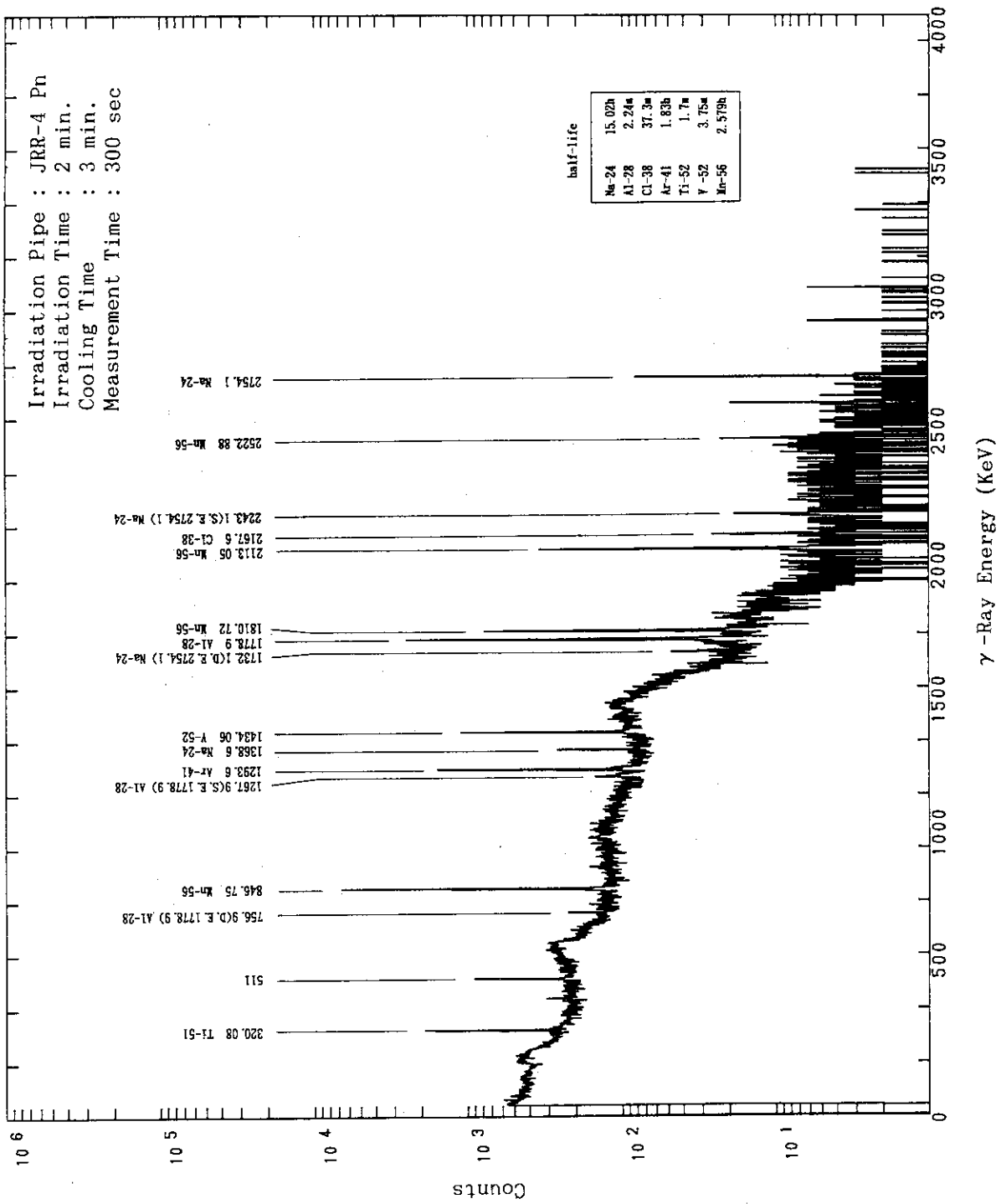


Fig. 4 Gamma ray spectrum of PEN (short life nuclides)

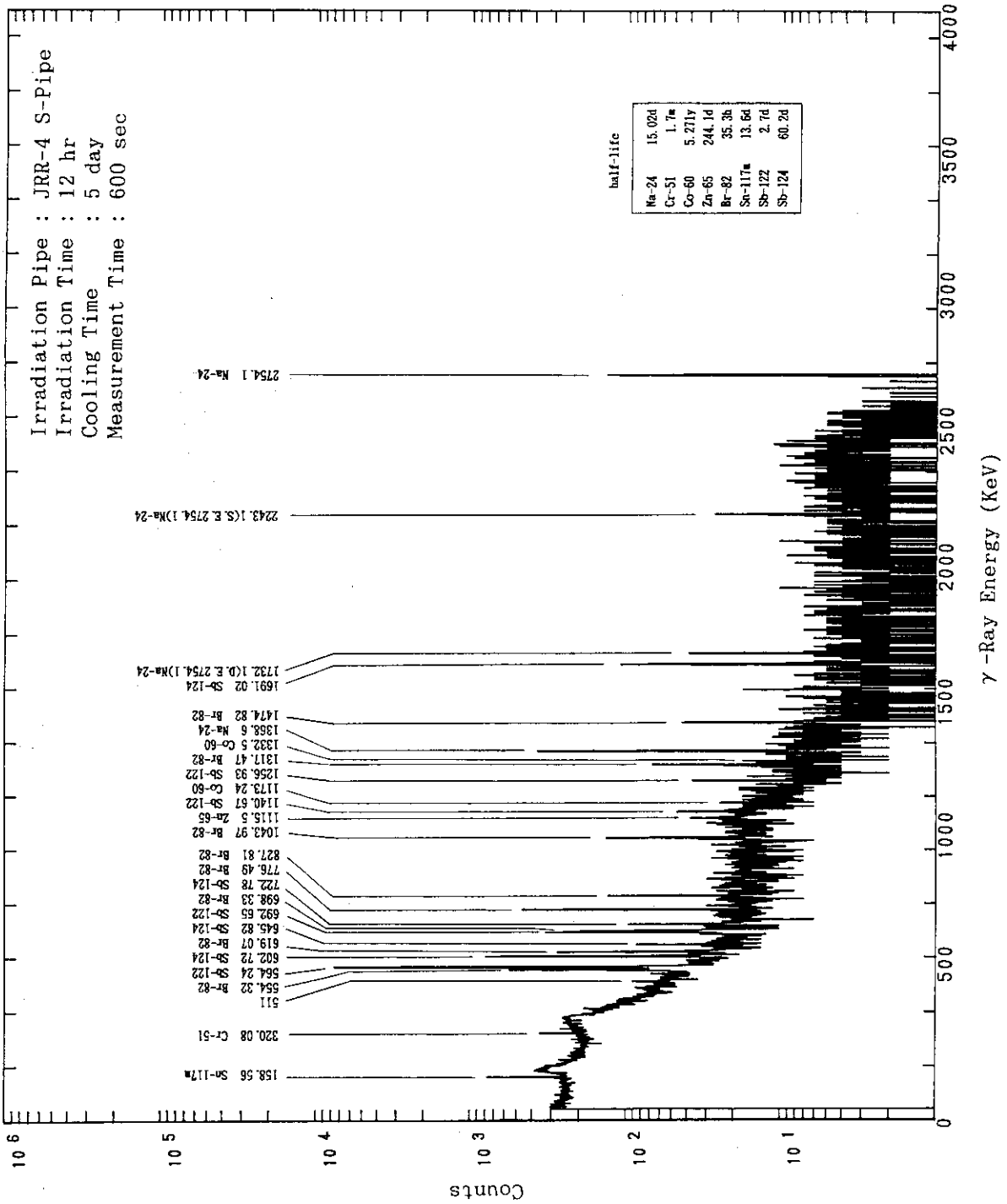


Fig. 5 Gamma ray spectrum of PEN (long life nuclides)

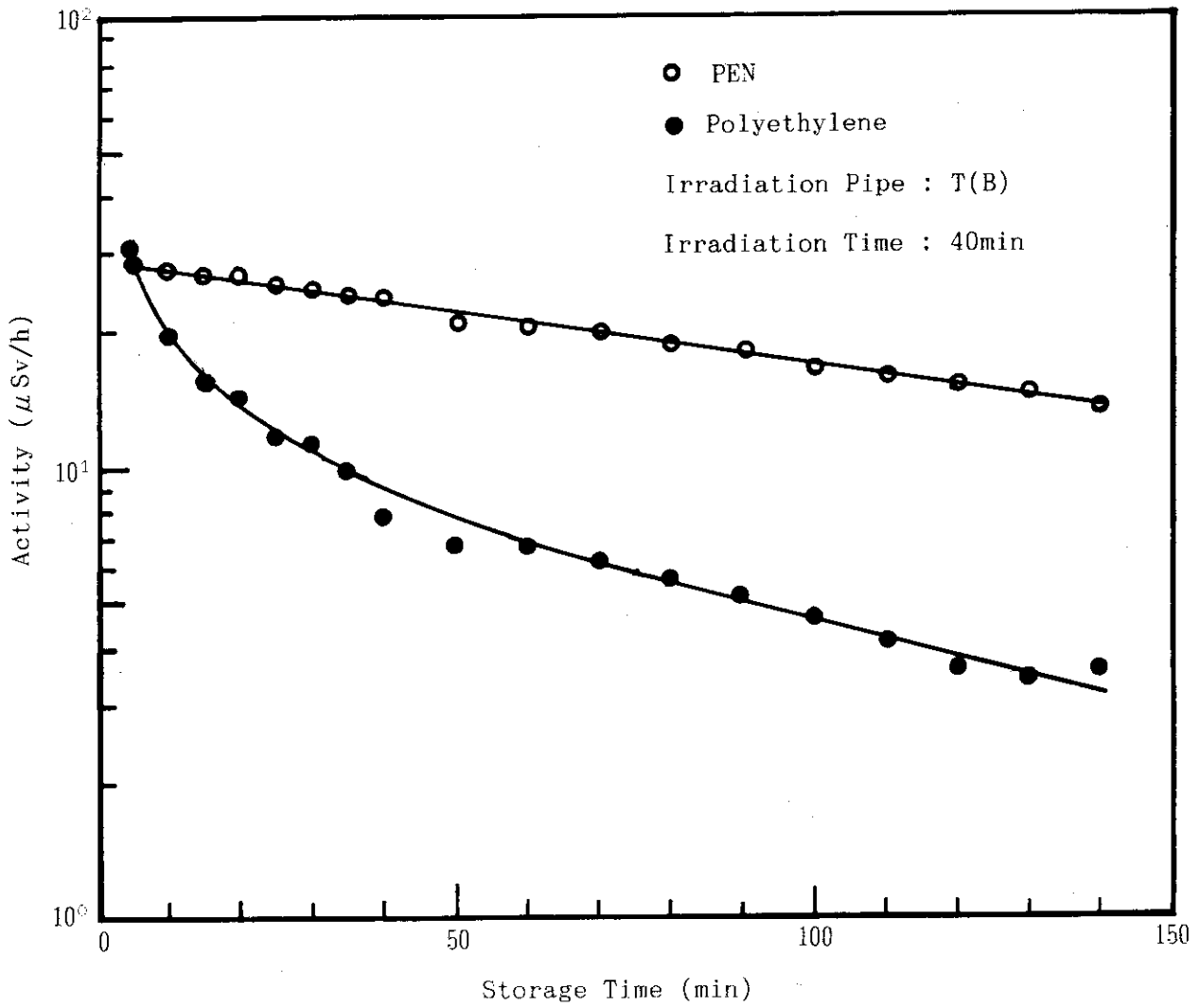
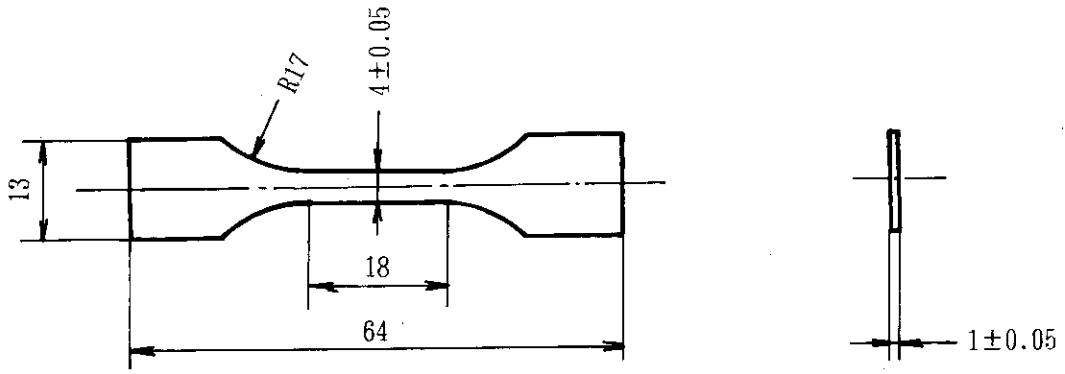
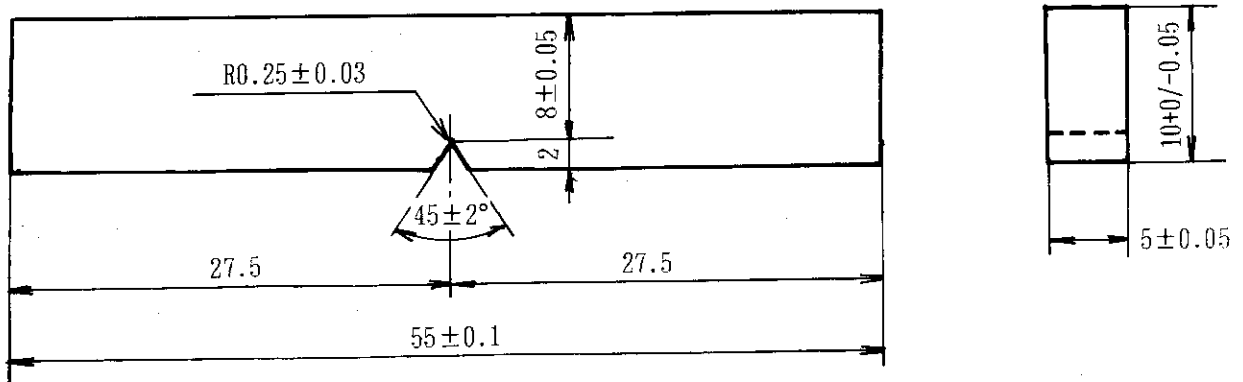


Fig. 6 Activities of PEN and polyethylene after irradiation in JRR-4



Test Piece for Tensile Test



Test piece for charpy impact test

Fig. 7 Test pieces for tensile test and charpy impact test

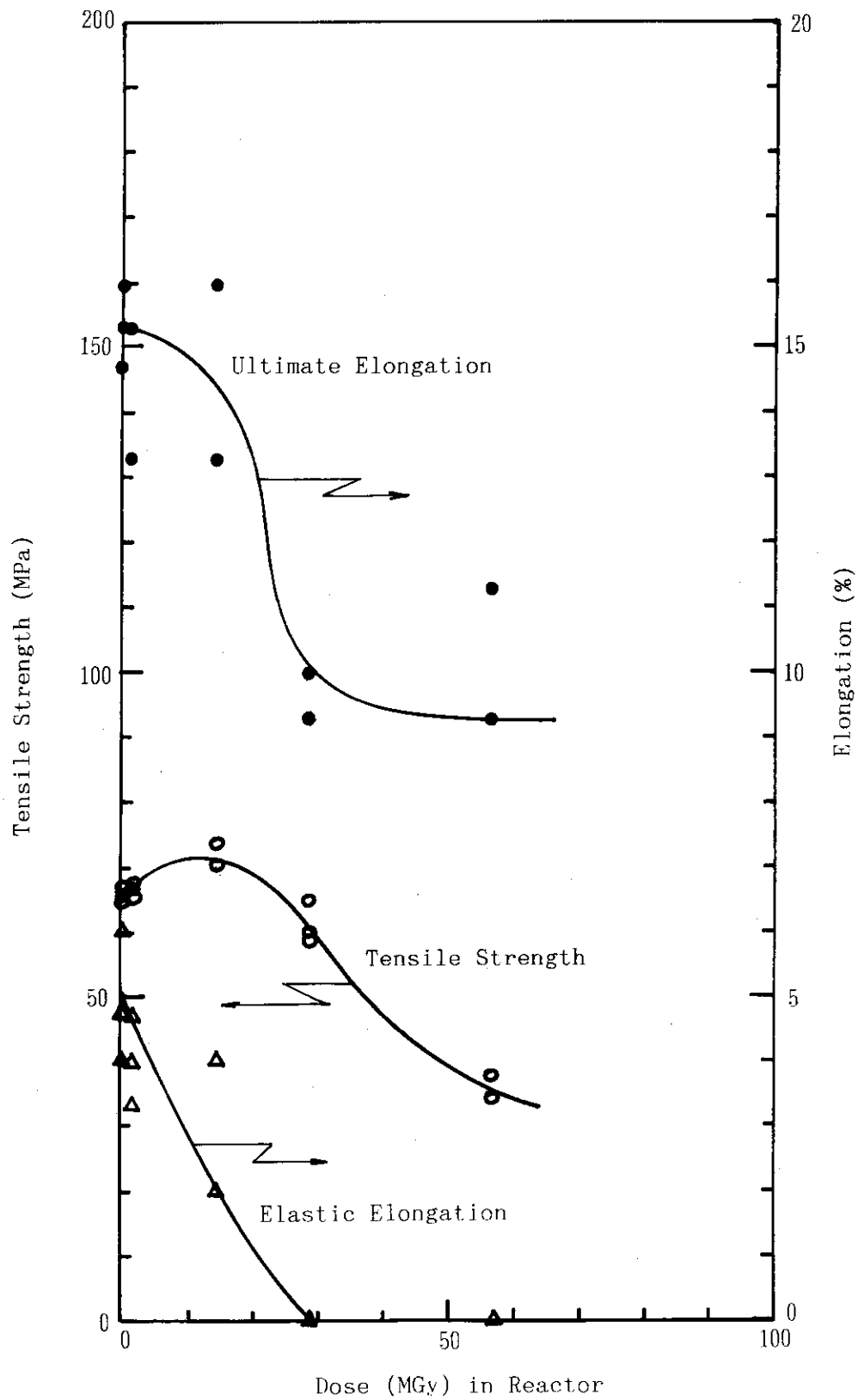


Fig. 8 Tensile strength and elongation of PEN test piece irradiated in JRR-4

4. キャプセルの照射試験

原子炉照射時におけるキャプセルの健全性、誘導放射能並びにその圧縮破壊強度を確認するため、キャプセルの照射試験を実施した。キャプセルの製作は、PENの製造元である(株)帝人が射出成型法で製作した。

4.1 照射条件

キャプセルの照射は、T、S、Dパイプで行った。照射時間は最大24時間である。Table 2に、照射時間、照射量、照射キャプセル数を示す。

4.2 キャプセルの健全性

未照射キャプセルの色調は黄色透明である。原子炉照射によってキャプセルは黒褐色に変色し、その程度は照射量に応じて増加した。しかし形状については、24時間照射でも変形は見られず、キャップの開封性についても異常は見られなかった。Fig.10に、未照射および照射済キャプセルを示す。

4.3 キャプセルの誘導放射能

Fig.11に、S型キャプセルをTパイプで1～6時間照射した照射直後のキャプセル表面の線量当量率を示す。線量当量率は鉛セル内の電離箱式線量計で測定した。その結果、キャプセルの線量は照射時間に比例して増加し、6時間照射の線量当量率は19mSv/hであった。L型キャプセルの重量はS型キャプセルの約1.9倍であり、これから推定した線量当量率は約36mSv/hとなる。しかしこれは通常の操作で取り扱い可能な範囲であり、これによって照射直後の試料の取り扱いを妨げることはない。

4.4 キャプセルの圧縮破壊強度

未照射および照射済キャプセルの圧縮破壊試験をINSTRON 4301型引張・圧縮試験機を用いて行った。試験は、Fig.12、Fig.13に示すように、クロスヘッドをキャプセルの長手方向と直角にセットし、ロードセル500kg、圧縮速度5mm/minの条件で行った。Fig.14、Fig.15に試験後のキャプセルの破壊状態を示す。また、Fig.16に、照射量に対する圧縮破壊荷重および破壊までのキャプセルの変形量を示す。

4.4.1 未照射キャプセル

SおよびL型キャプセルとも、荷重450kg、変形量19.8mm（変形率56%）までの圧縮荷重でも破壊せず、荷重除去後、キャプセルの変形は徐々に回復し、S型キャプセルで試験前の95%まで、L型キャプセルで同じく98%まで回復した。

4.4.2 照射済キャプセル

Tパイプで1時間（3MGy）照射したS型キャプセルは、荷重447kg、変形量19.8mm（変形率62%）までの圧縮でも破壊せず、未照射キャプセルと同様に、その変形は試験前の93%まで回復した。2～6時間（6～19MGy）照射したS型キャプセルは、1.1～1.8mm（変形率3%～6%）の変形の後、荷重66～100kgで破壊し、原子炉照射による材料の脆化を示した。しかし、照射量による破壊荷重および変形量の顕著な差は見られなかった。また、SおよびDパイプで6～24時間（14～55MGy）照射したL型キャプセルも、S型キャプセルとほぼ同じ71～105kgで破壊した。しかし変形については、照射量が増えると変形が小さくなる、いわゆる脆化の進展が見られた。この脆化現象は、キャプセルの破壊状況からも観察された。

Table 2 Irradiation time, number of capsules and total γ -rays dose for capsule irradiation test

Capsule	Irradiation Pipe	Irradiation Time (hr)	Number of Capsule	γ -Rays Dose (MGy)
S-Type	T(A)	0	1	0.0
	T(A)	1	1	3.2
	T(A)	2	1	6.4
	T(A)	4	1	12.8
	T(A)	6	1	19.2
L-Type	S	0	2	0.0
	S	6	2	14.4
	S	12	2	28.8
	D	18	2	41.4
	D	24	2	55.2

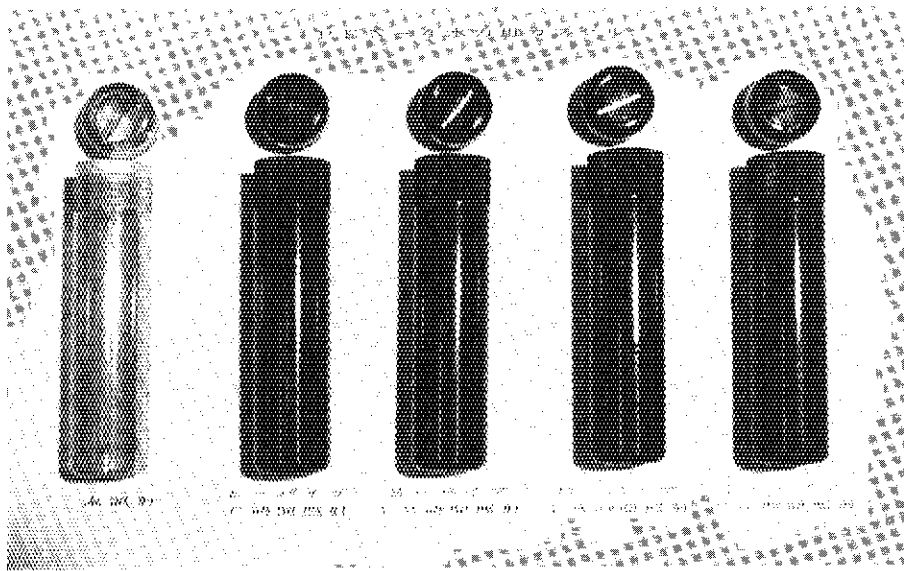


Fig. 10 External appearance of irradiated and un-irradiated PEN capsules (un-irradiated, 6, 12 hours irradiation in S-Pipe, and 18, 24 hours in D-Pipe from left side to right)

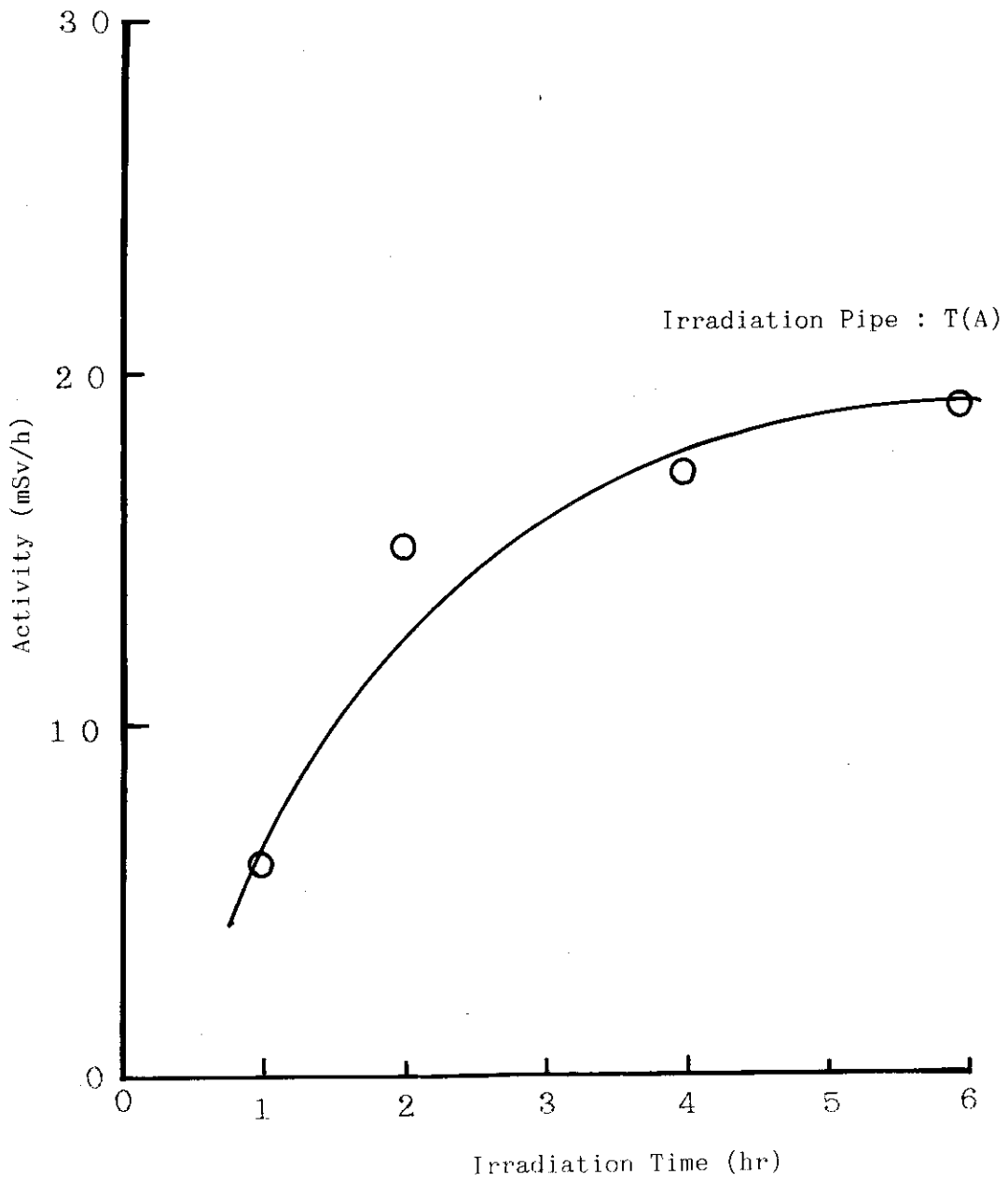


Fig. 11 Surface gamma dose rate of PEN capsule vs. irradiation time

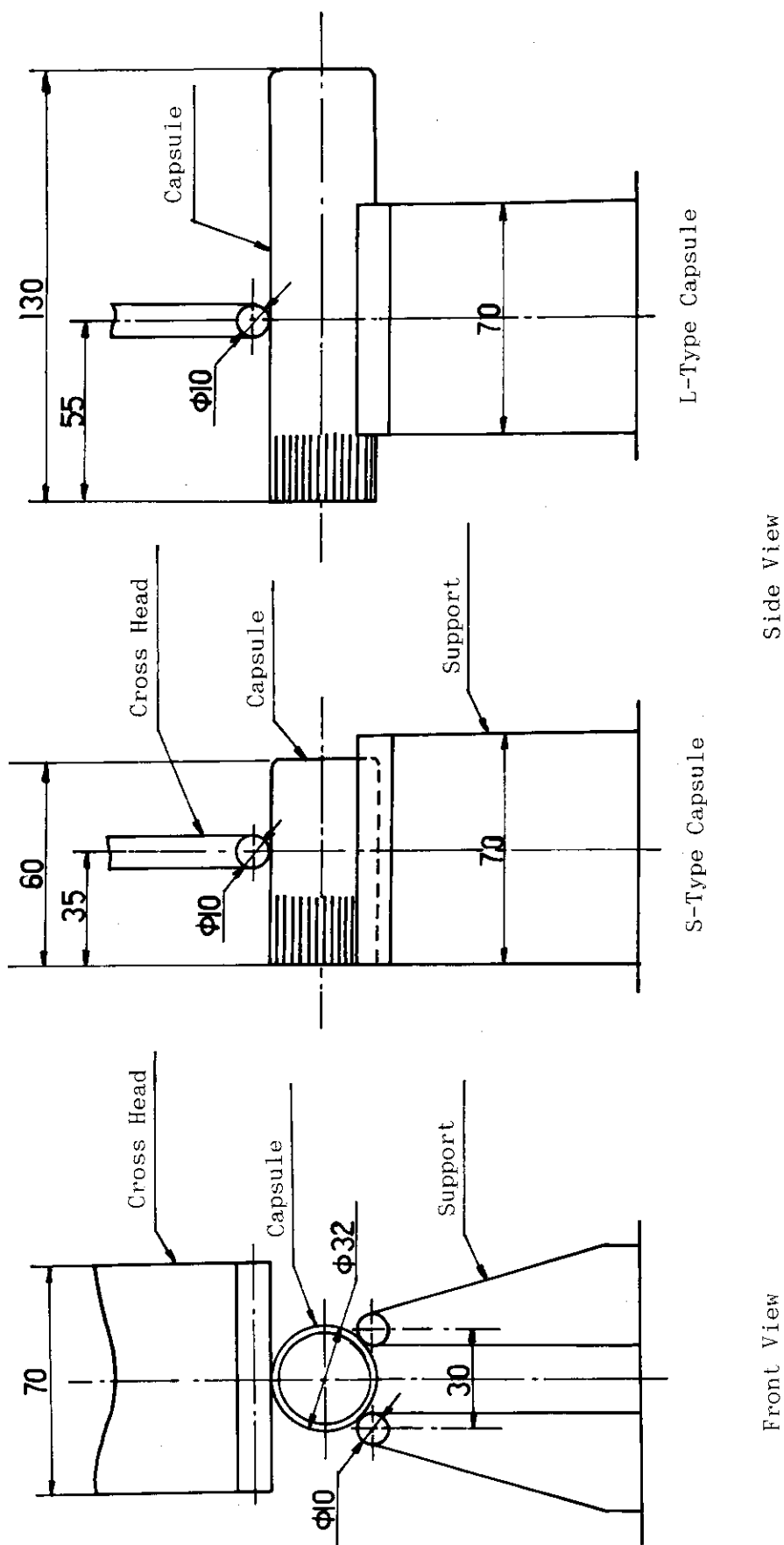


Fig. 12 Arrangement of capsule and cross head for compression fracture test

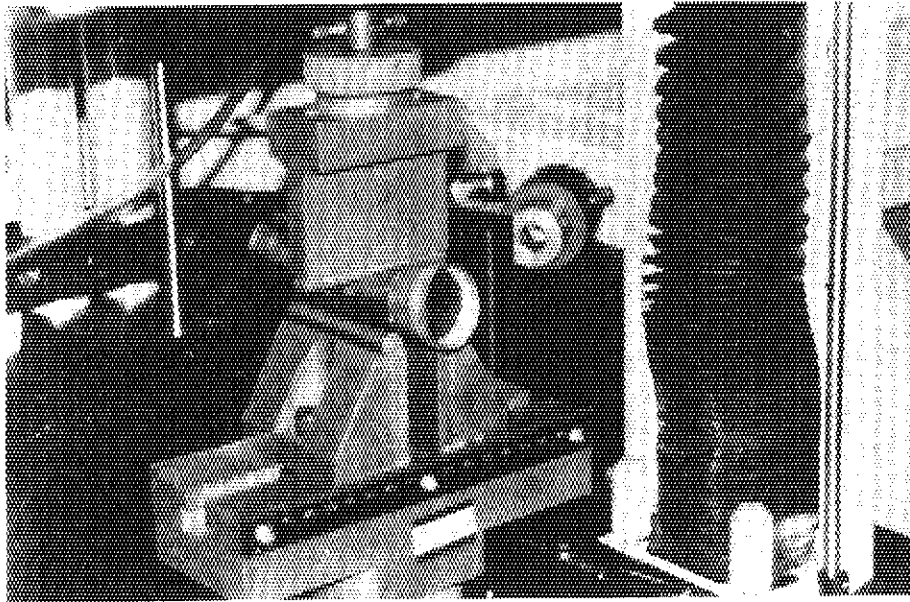


Fig. 13 Capsule compression fracture test
(un-irradiated capsule)

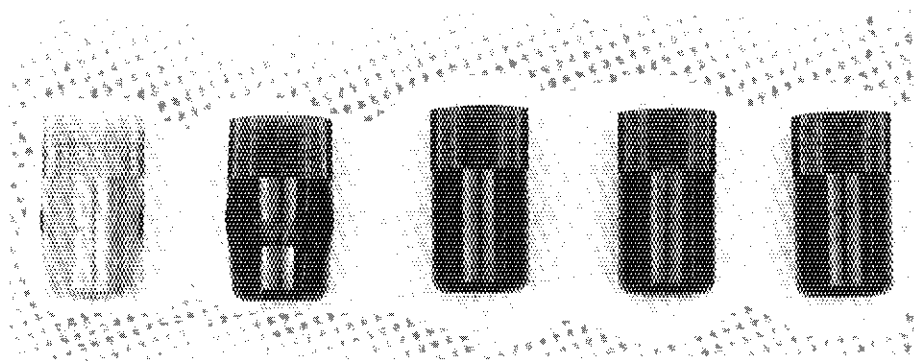


Fig. 14 External appearance of S-Type PEN capsules
after compression fracture test
(un-irradiated, and 1, 2, 4, 6 hours
irradiation in T-Pipe from left side to right)

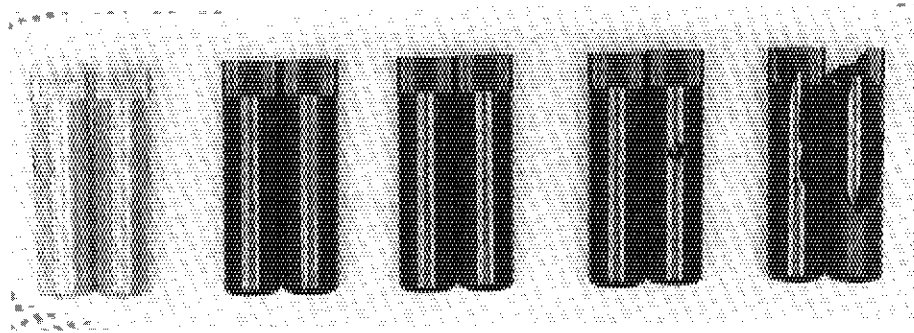


Fig. 15 External appearance of L-Type PEN capsules after compression fracture test (un-irradiated, 6, 12 hours irradiation in S-pipe, and 18, 24 hours in D-pipe from left side to right)

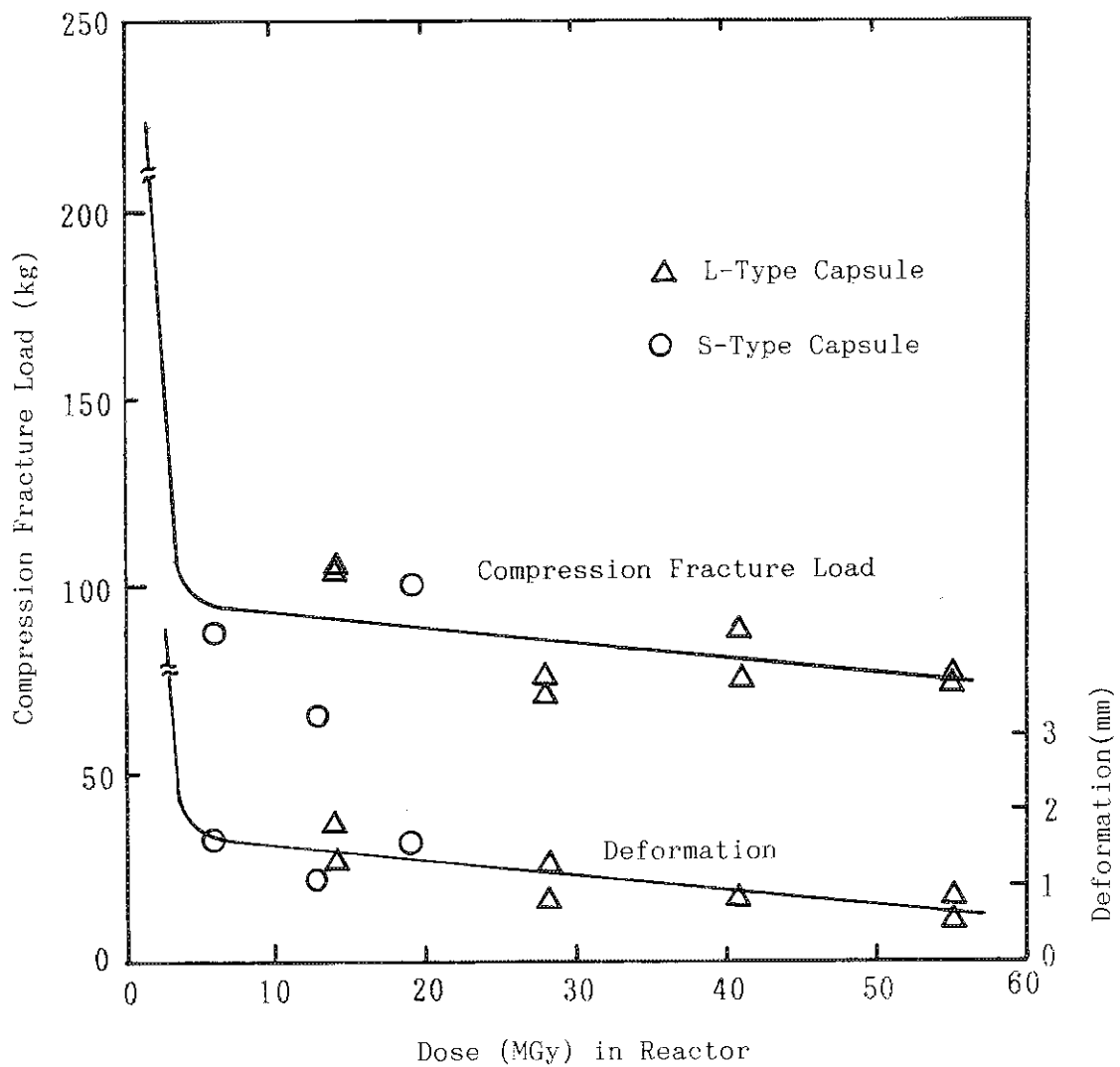


Fig. 16 Result of PEN capsule compression fracture test

5. まとめ

誘導放射能が少なく、大量生産が可能で、数時間の原子炉照射に耐え得るキャプセルの開発を目的とし、材料およびキャプセルの開発試験を実施した。その結果、以下に示す結果を得た。

- (1) PENには触媒残渣の他、ポリマーおよびキャプセル製作時に混入したと思われる不純物が微量混入している。しかしこれら不純物によるキャプセル表面の線量当量率は、6時間照射であっても約36mSv/hであり、これによって照射直後の取り扱いを妨げることはない。
- (2) 照射直後のPENの誘導放射能はポリエチレンとほぼ同等である。放射能の減衰はポリエチレンよりやや遅く、約140分で半減する。
- (3) 原子炉照射によってPENは黒褐色に変色し、その程度は照射量に応じて増加する。しかし24時間照射の場合であってもキャプセルの変形はなく、キャップの開封性にも異常はない。
- (4) PENの引張強さは照射初期にやや増加し、その後は減少した。引張強さが未照射時の50%に減ずる照射量は約60MGyである。
- (5) PENの衝撃値は照射初期に約60%に減少し、その後はゆるやかに低下した。衝撃値が未照射時の50%に減ずる照射量は約55MGyである。
- (6) キャプセルの圧縮破壊強度および破壊までの歪は照射量とともに減少した。24時間照射の圧縮破壊強度は約70kgであり、通常の使用条件下において十分な強度を有する。

以上の結果およびキャプセルの使用条件、照射装置の特徴等を考慮し、本キャプセルを「東海研究所キャプセル等設計・製作基準」で定める標準キャプセルとして共同利用照射に用いるための条件を検討した結果、最大照射時間を以下のように制限することにより、安全かつ確実な照射が行い得るとの結論を得た。

- (1) キャプセルをキャプセルホルダーに入れ照射するSおよびDパイプについては、キャプセルに直接外力が作用しない。この場合の安全余裕を試験最大照射時間の50%とし、最大照射時間を12時間とする。この時の引張強さ、衝撃値は、Fig.8, Fig.9から明らかなように、それぞれ未照射時の93%、56%であり、キャプセルの圧縮破壊強度は71kgである。
- (2) Tパイプは水力照射装置であり、キャプセルは水流によって約1m/sの速度で管路内を移動する。この場合安全余裕をさらに考慮し、最大使用時間を試験最大時間の25%の6時間とする。この時の引張強さ、衝撃値は、Fig.8, Fig.9から明らかなように、それぞれ未照射時の101%、58%であり、キャプセルの圧縮破壊強度は100kgである。

6. 結 論

誘導放射能が少なく、射出成型で大量生産でき、JRR-4で24時間までの照射において約70 kgの圧縮破壊強度を持つキャプセルを高分子材料PENを用いて開発し、所期の目的を達成した。照射後の観察、圧縮破壊試験の結果、本キャプセルは試験条件の範囲内において原子炉照射に十分耐え得る耐熱・耐放射線性および照射健全性を持つことが確認された。照射装置、使用条件等を考慮し、本キャプセルの最大使用時間をSおよびDパイプについては12時間、Tパイプについては6時間とした。本キャプセルの誘導放射能はポリエチレンとほぼ同等であることからその線量当量率は低く、照射直後の試料の取り扱いが可能である。本キャプセルは、数時間の照射を必要とする放射化分析等の研究に貢献するものと考えられる。

謝 辞

PENキャプセルの開発にあたり、(株)帝人から試験片の提供を頂いた。研究炉部研究炉利用課鯉淵 薫、市村茂樹の両氏には試料の照射、放射化分析等に多くの御協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) NIKKEI NEW MATERIALS, 1990年4月16日号, P.77
- 2) 青柳 全編,; “新素材用語事典”, 日刊新聞社, P.227
- 3) “2軸延伸PEEKフィルム技術資料”, 帝人株式会社, 昭和63年6月
- 4) 長谷川欣治,; “新しいフィルムの開発とその展開”, 高分子学会第7回繊維材料研究会講座講演要旨集, 1989年2月9日
- 5) 貴家恒男他,; “全芳香族ポリマーの放射線照射効果”, 電気学会, 絶縁材料研究会資料, EIM-83-130
- 6) “帝人Qフィルム技術資料”, 帝人株式会社, 昭和63年6月
- 7) 平井昭司,; “PENカプセル中の微量元素の放射化分析”, 分析結果報告書第2022号, 平成4年2月5日
- 8) 斉藤敏夫他, “ポリ(エチレン-2,6-ナフタレート)およびポリ(エチレン-テレフタレート)の放射線照射効果”, JAERI-M 89-096, 1989.8
- 9) “プラスチック試験ハンドブック”, プラスチック標準試験方法研究会編, 日刊工業新聞社, P.45

6. 結 論

誘導放射能が少なく、射出成型で大量生産でき、JRR-4で24時間までの照射において約70 kgの圧縮破壊強度を持つキャプセルを高分子材料PENを用いて開発し、所期の目的を達成した。照射後の観察、圧縮破壊試験の結果、本キャプセルは試験条件の範囲内において原子炉照射に十分耐え得る耐熱・耐放射線性および照射健全性を持つことが確認された。照射装置、使用条件等を考慮し、本キャプセルの最大使用時間をSおよびDパイプについては12時間、Tパイプについては6時間とした。本キャプセルの誘導放射能はポリエチレンとほぼ同等であることからその線量当量率は低く、照射直後の試料の取り扱いが可能である。本キャプセルは、数時間の照射を必要とする放射化分析等の研究に貢献するものと考えられる。

謝 辞

PENキャプセルの開発にあたり、(株)帝人から試験片の提供を頂いた。研究炉部研究炉利用課鯉淵 薫、市村茂樹の両氏には試料の照射、放射化分析等に多くの御協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) NIKKEI NEW MATERIALS, 1990年4月16日号, P.77
- 2) 青柳 全編, ; “新素材用語事典”, 日刊新聞社, P.227
- 3) “2軸延伸PEEKフィルム技術資料”, 帝人株式会社, 昭和63年6月
- 4) 長谷川欣治, ; “新しいフィルムの開発とその展開”, 高分子学会第7回繊維材料研究会講座講演要旨集, 1989年2月9日
- 5) 貴家恒男他, ; “全芳香族ポリマーの放射線照射効果”, 電気学会, 絶縁材料研究会資料, EIM-83-130
- 6) “帝人Qフィルム技術資料”, 帝人株式会社, 昭和63年6月
- 7) 平井昭司, ; “PENカプセル中の微量元素の放射化分析”, 分析結果報告書第2022号, 平成4年2月5日
- 8) 斉藤敏夫他, “ポリ(エチレン-2,6-ナフタレート)およびポリ(エチレン-テレフタレート)の放射線照射効果”, JAERI-M 89-096, 1989.8
- 9) “プラスチック試験ハンドブック”, プラスチック標準試験方法研究会編, 日刊工業新聞社, P.45

6. 結 論

誘導放射能が少なく、射出成型で大量生産でき、JRR-4で24時間までの照射において約70 kgの圧縮破壊強度を持つキャプセルを高分子材料PENを用いて開発し、所期の目的を達成した。照射後の観察、圧縮破壊試験の結果、本キャプセルは試験条件の範囲内において原子炉照射に十分耐え得る耐熱・耐放射線性および照射健全性を持つことが確認された。照射装置、使用条件等を考慮し、本キャプセルの最大使用時間をSおよびDパイプについては12時間、Tパイプについては6時間とした。本キャプセルの誘導放射能はポリエチレンとほぼ同等であることからその線量当量率は低く、照射直後の試料の取り扱いが可能である。本キャプセルは、数時間の照射を必要とする放射化分析等の研究に貢献するものと考えられる。

謝 辞

PENキャプセルの開発にあたり、(株)帝人から試験片の提供を頂いた。研究炉部研究炉利用課鯉淵 薫、市村茂樹の両氏には試料の照射、放射化分析等に多くの御協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) NIKKEI NEW MATERIALS, 1990年4月16日号, P.77
- 2) 青柳 全編, “新素材用語事典”, 日刊新聞社, P.227
- 3) “2軸延伸PEEKフィルム技術資料”, 帝人株式会社, 昭和63年6月
- 4) 長谷川欣治, “新しいフィルムの開発とその展開”, 高分子学会第7回繊維材料研究会講座講演要旨集, 1989年2月9日
- 5) 貴家恒男他, “全芳香族ポリマーの放射線照射効果”, 電気学会, 絶縁材料研究会資料, EIM-83-130
- 6) “帝人Qフィルム技術資料”, 帝人株式会社, 昭和63年6月
- 7) 平井昭司, “PENカプセル中の微量元素の放射化分析”, 分析結果報告書第2022号, 平成4年2月5日
- 8) 斉藤敏夫他, “ポリ(エチレン-2,6-ナフタレート)およびポリ(エチレン-テレフタレート)の放射線照射効果”, JAERI-M 89-096, 1989.8
- 9) “プラスチック試験ハンドブック”, プラスチック標準試験方法研究会編, 日刊工業新聞社, P.45