

JAERI-M

5787

Package irradiation におけるウィンナー
ソーセージの吸収線量分布
(ウィンナーソーセージの放射線保蔵に関する研究
第1報)

1974年7月

久米 民和・青木 章平・伊藤 均
渡辺 宏・佐藤友太郎

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.

Package irradiation におけるウィンナーソーセージの吸収線量分布

(ウィンナーソーセージの放射線保蔵に関する研究, 第1報)

日本原子力研究所高崎研究所食品照射開発試験室

久米民和 青木章平 伊藤 均

渡辺 宏 佐藤友太郎

(1974年7月2日受理)

ウィンナーソーセージを package に詰めて, 0.5 Mrad の γ 線照射を行なう場合, package 内の吸収線量分布に不均一性が生じるという問題点がある。そこでウィンナーソーセージを詰めた package 内の吸収線量分布を測定し, package irradiation における大量の試料の照射条件の確立および均一に照射するための諸条件の検討を行なった。

安全性試験用試料の照射は, 線量率 $5 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の位置で線源両側に $10 \times 30 \times 30 \text{ cm}$ の package を計8箱並べ30分で反転して1時間照射することとした。このときの Package 内の吸収線量は $0.43 \sim 0.54 \text{ Mrad}$ であり, 線量均一性は1.26であった。

また $20 \times 30 \times 30 \text{ cm}$ の package を用いて均一照射方法の検討を行なった結果, Y 方向 (線源と平行方向) では吸収線量はほぼ均一であったが, Z 方向 (高さ方向) では照射野における照射線量分布が不均一であったので, 線源の比放射能分布の組み替えによって Z 方向の吸収線量の均一性を増すことができると考えられた。X 方向 (深さ方向) に関しては, なるべく大線源を用いて低線量率の位置で照射することにより吸収線量の均一性を増すことができ, $140,000 \text{ Ci}$ の線源を用いて $1.7 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の位置で照射した場合, $\pm 6\%$ 程度の均一度で照射することが可能であることが認められた。

Dose Distribution of Vienna Sausage on Package Irradiation
(Radiation preservation of vienna sausage, Part 1)

Tamikazu KUME, Shohei AOKI, Hitoshi ITO
Hiroshi WATANABE and Tomotaro SATO

Food Irradiation Develop., Takasaki, JAERI

(Received July 2, 1974)

The gamma irradiation of vienna sausages has been investigated in extending their shelf-life. Package irradiation is suitable for irradiation of vienna sausages in large quantity; however unevenness of dose in the irradiation occurs. The dose distribution in a 20 x 30 x 30cm package of vienna sausages ($\rho = 0.27\text{g/cm}^3$) was measured with a Fricke or PMMA dosimeter, to examine the irradiation conditions for reducing the unevenness.

Four packages of wholesomeness test vienna sausages were placed in parallel with source rod, and irradiated at the $5 \times 10^5\text{R/hr}$ dose position for 1 hr with inversion at 30 minutes. The dose uniformity in this 10 x 30 x 30cm package was found to be 1.26.

The unevenness in the y direction (horizontal) was only little. The variation in exposure in the z direction (vertical) contributes largely to the overall unevenness. The unevenness in the z direction decreases by alteration of the specific activity ratio in this direction of the source rod. The unevenness in the x direction (depth) can be decreased by irradiation at a low dose rate using the high activity source. The dose uniformity in the 20 x 30 x 30cm package was 1.13 at dose rate $1.7 \times 10^5\text{R/hr}$ with the 140,000Ci source.

目 次 な し

1. 緒 言

ウィンナーソーセージ(以下V・Sと略す)のネットの発生を防止し、貯蔵期間の延長をはかることを目的とした γ 線照射処理法が食品照射特定総合研究の一環としてとりあげられている。V・Sのネット防止効果に関しては、0.5 Mradの γ 線を照射することにより1週間以上ネットの発生を抑制することができることがこれまでに明らかにされている。⁽¹⁾⁽²⁾

V・Sの安全性試験用試料の照射および照射技術の検討は当研究所で行なうことになっている。大量のV・Sの γ 線照射処理を行なうには、packageを用いて照射する方法が適していると考えられるが、packageには一定の厚みがあり、照射試料中に吸収線量分布の不均一性が生じるといふ問題点がある。反転照射を行なうことにより、この吸収線量分布の不均一性をある程度小さくすることができるが、反転照射を行なっても完全に均一な線量を試料にあてることはできない。したがってpackage中の試料の吸収線量をなるべく均一にする照射方法を検討することが必要である。そこで実際にV・Sをpackageに詰めて、 γ 線を照射したときのpackage内の吸収線量分布を測定して安全性試験用試料の照射条件を確立し、さらに均一に照射するための諸条件の検討を行なった。

2. 実 験 方 法

2.1 照射条件

線源としては、高崎研Co棟第2照射室の長さ120 cm、高さ30 cmの⁶⁰Co板状線源(70,000 Ciおよび140,000 Ci)を用い、20 (巾)×30×30 cmのダンボール箱に20.5×11.5 cm、150 g入の市販小袋包装のV・Sを30袋詰めて(平均密度0.27 g/cm³)、その中に線量計を入れて照射した。

2.2 線量測定

線量計としては鉄線量計(Fricke dosimeter)およびpolymethylmethacrylate(以下PMMAと略す)を用いた。鉄線量計は比較的精度が高く、エネルギー依存性の小さい線量計であり、また食品は一般に大部分が水であるので試料中の吸収線量測定に適していると考え、本実験では主として鉄線量計を用いた。しかし鉄線量計は酸素飽和の場合測定限界が 2×10^5 radと低く⁽³⁾、V・Sの0.5 Mrad照射の線量チェックに用いることができない。蒸留水の精製等操作が面倒であり、また10(直径)×150 mm(長さ)と大きいためpackage内に数多く入れることができないなどの理由により、これにかわる線量計として、比較的小さく測定操作が簡単なPMMAをpackage内多数の点の線量測定等に用いた。

2.2.1 鉄線量計による吸収線量測定⁽⁴⁾

3回精製水を用いて調製した硫酸第1鉄溶液(鉄濃度 4×10^{-2} M、食塩濃度 10^{-3} Mの0.8 N硫酸酸性水溶液)を酸素飽和して、10×150 mm、肉厚1 mmの共栓付バイレックス試験管にとり、照射後

直ちに日立139型分光光度計により304 m μ における吸光度変化を測定し、次式により換算して吸収線量を求めた。

$$\text{吸収線量 (rad)} = 9.65 \times 10^8 \frac{\Delta E}{G \rho \epsilon \left\{ 1 + \frac{k}{100} (t - 20) \right\}} \quad (1)$$

- ΔE : 吸光度変化
 G : 放射線収率 (15.6)
 ρ : 溶液の比重 (1.025)
 ϵ : 分子吸光係数 (2130 at 20°C)
 k : 温度補正係数 (0.806)
 t : 測定時の温度 (°C)

2.2.2 PMMAによる吸収線量測定⁽⁵⁾

市販の三菱アクリライト(厚さ1mm)を45×15mmの大きさに切断し、アルミ箔に包んで光を遮断して照射後、290 m μ における吸光度変化を測定した。鉄線量計による吸収線量と290 m μ における吸光度変化との関係はFig.1に示したようになり、この結果よりPMMAによる吸収線量の計算は次式に従って行なった。

$$D = 2.67 \Delta E + 0.05$$

- D : 吸収線量 (Mrad)
 ΔE : 290 m μ における吸光度変化

3. 実験結果および考察

3.1 安全性試験用試料の照射条件の検討

V.Sの安全性試験用試料の照射は当研究所で行なうことになっているので、まずpackageを用いて大量の試料を照射するための条件の検討を行なった。

70,000 Ciの線源を用いたときの照射室内における空間線量分布を鉄線量計で測定した結果をFig.2に示した。鉄線量計により線量測定を行なう場合、係数は実験方法の項に記した文献値を用いたが、分子吸光係数は分光光度計によって異なる可能性のあるものなので、次に示す方法で分子吸光係数を測定した⁽⁴⁾。鉄線一定量を0.8N硫酸に加熱溶解し、30%過酸化水素5 mlを加えて、Fe²⁺をFe³⁺に酸化し、加熱して過剰の過酸化水素を除去して、0.8N硫酸で1 lとし、304 m μ における吸光度を測定した。Fig.3に示したFe³⁺と吸光度との関係より求められた分子吸光係数は2120であり、このときの測定温度は18.2°Cであった。この値を用いて(1)式より求めた線量は、文献値2130(20°C)を用いた場合と比較して約1%の相異であり、鉄線量計の誤差範囲内である。したがってここでは文献値をそのまま使用することにした。

またV.Sは現在ネットの発生を抑えるために、10°C以下で保存されている。5°Cで貯蔵していたV.Sを室温(20~21°C)で照射したときのpackage中心部の温度変化を宝工業

製サーミスタTYPE STR-52で測定した結果、照射直前の品温が6℃であったのに対し、3時間後で約10℃であった。しかし渡辺ら⁽⁶⁾の結果によると、室温(20~22℃)で1袋を $5 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の位置で照射したとき、照射前の品温が10~12℃であったのに対し、1時間照射後では18℃になったと報告している。packageを用いた場合には、30袋のV・Sの中心の品温を測定しているため温度変化が小さかったものと考えられ、外側のV・Sの品温はかなり上昇していることも考えられる。したがって品温変化の余りない状態で照射するには短時間で照射することが望ましいので、安全性試験用試料の照射は $5 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の線量率で30分で反転照射することとした。Fig. 2に示した結果より求められた線量率 $5 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の位置すなわち線源より23cmの位置にV・Sを詰めたpackageの中心をあわせて照射したときの高さ15cmにおける吸収線量分布を測定した。なおpackageは線源に対してFig. 4に示したように置き、各面の名称は図中に示した記号で以下呼ぶこととする。X方向に関してはFig. 5に示したような吸収線量分布が得られ、Y方向に関しては吸収線量のバラッキはほとんど認められなかった。また鉄線量計とPMMAによる測定値はよく一致した。この結果よりY方向の吸収線量のバラッキが認められなかったので、次にこの大きさのpackageを何箱並列して照射することが可能か検討した。用いた線源はFig. 6に示したように両端のCi数を高くして、なるべく線源と平行方向の線量分布が均一になるように組まれている。Fig. 7に示したようにこの線源の中心線より3箱並列して30分で反転照射した場合の吸収線量分布を測定した。Fig. 8に示した結果より、package 1, 2では平均線量が各々0.47, 0.46 Mradとなりほぼ期待した線量があっていたが、package 3では平均線量が0.32 Mradとかなり低かった。したがってこの線源を用いてこの大きさのpackageを照射する場合、線源の中心線より2箱ずつ、すなわち4箱まで並列して照射することが可能であると考えられ、大量照射のときには片側4箱、線源の両側で計8箱同時に照射することにした。

Fig. 4に示した各コーナー27点にPMMAを入れ、packageの中心線量が0.5 Mradになるような位置で30分反転照射したときの吸収線量を測定し、package表面(I, III面)におけるY方向の吸収線量分布はFig. 9に、またXおよびZ方向の分布はFig. 10に示した。Y方向でのバラッキはほとんど認められないが、XおよびZ方向では吸収線量にかなりのバラッキが認められた。またこの結果より求められた吸収線量の範囲は0.42~0.59 Mradであり、package全体における最大・最小吸収線量の比(以下 D_{\max}/D_{\min} と略す)は1.40であった。この場合吸収線量分布に±17%程度とかなり大きな不均一性があり、安全性試験用試料として望ましくないので、厚さを薄くした $10 \times 30 \times 30 \text{ cm}$ のpackageを用いて照射した。この場合Fig. 11に示したように吸収線量分布の不均一性はかなり小さくなっており、線量範囲は0.43~0.54 Mrad、 D_{\max}/D_{\min} は1.26であった。厚さ10cmのpackageを用いた場合、厚さ20cmの場合と比べ処理量は半分になるが、線量分布の不均一性を小さくするため安全性試験用試料の照射は $10 \times 30 \times 30 \text{ cm}$ のpackageを用いることにした。なお最低線量が0.5 Mrad必要なときには、同じ線量率位置で時間補正を行なって最低線量が0.5 Mradとなるように照射した。

3.2 均一照射方法の検討

安全性試験用試料の照射において、package 内の吸収線量分布にかなり大きな不均一性が認められたので、 $20 \times 30 \times 30 \text{ cm}$ の package を用いて吸収線量分布の不均一性を小さくするための諸条件の検討を行なった。なお線源が $70,000 \text{ Ci}$ から $140,000 \text{ Ci}$ に増強されたため、以下の実験は主として $140,000 \text{ Ci}$ の線源を用いた。

Y方向の吸収線量分布に関しては、線源中心付近で照射した場合には Fig. 9 に示した場合と同様ほとんど不均一性は認められなかった。またコンベアを用いて package irradiation を行なう場合には、package を Y 方向に移動することになり、Y 方向の吸収線量分布は均一となるので、Y 方向に関しては問題はあまりないと考えられる。

Z 方向における吸収線量分布を測定した結果を Fig. 12 に示した。これは $5 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の位置で反転照射したときの結果であり、package の高さの中心 (15 cm) の位置で最も高く、両端が低くなっていた。本実験で用いた線源は高さ 30 cm で、Fig. 13 に示したように両端部分の比放射能を高くして、Z 方向の線量分布がなるべく均一になるように調整してある。しかし各線量率位置での Z 方向の空間線量分布 (照射線量分布) は Fig. 13 に示したように高さの中心 15 cm の位置で最も高く、両端の線量は低くなっていた。このような空間線量分布が V、S を詰めた package 内の吸収線量分布に大きな影響を示しているものと考えられる。またこの各線量率位置における Z 方向の $D_{\text{max}}/D_{\text{min}}$ は Fig. 14 に示したように線量率に対して直線関係が得られ、線量率が低い所ほど小さな値を示した。したがって線源の比放射能分布、長さ等を変えて Z 方向の空間線量分布がなるべく均一になるようにすれば、package 内の Z 方向の分布を小さくして照射することが可能であると考えられる。また本実験で用いた線源をそのまま使用する場合には、線量率の低い所あるいは線源の高さよりも低い package を用いることにより、Z 方向の分布を小さくすることができると考えられる。

X 方向に関しては、V・S 試料による吸収のために、吸収線量分布の不均一性をなくすることができないので、均一照射を行なうためには X 方向の吸収線量分布をいかに小さくするかというところが最大の問題である。

$140,000 \text{ Ci}$ および $60,000 \text{ Ci}$ の線源を用いたときの空間線量分布を Fig. 15 に示した。線量率 $5 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の位置は $140,000 \text{ Ci}$ では線源から 38 cm 、 $60,000 \text{ Ci}$ では 15 cm のところであり、またこの位置に package の中心をあわせて置いたときの package 前面から後面までの空間線量率範囲は各々 $0.69 \sim 0.37 \text{ R/hr}$ 、 $0.78 \sim 0.34 \text{ R/hr}$ である。このように同じ線量率領域を用いても線源の放射能が小さくなると、線源との距離が近くなり、package 前面から後面までの空間線量分布範囲が大きくなるので、試料を入れた package 中の吸収線量分布の不均一性も大きくなることが予想される。そこで $140,000 \text{ Ci}$ および $60,000 \text{ Ci}$ の線源を用いて、 $5 \times 10^5 \text{ R/hr}$ の位置で 1 時間照射したときの package 内の X 方向における吸収線量分布を測定した。この結果は Fig. 16 に示した。またこのときの空間線量分布も同時に示した。この結果より反転照射した場合の X 方向における $D_{\text{max}}/D_{\text{min}}$ を求めると、 $140,000 \text{ Ci}$ では 1.12 、 $60,000 \text{ Ci}$ では 1.23 となり、同じ線量率を用いて照射する場合大線源を用いると X 方向における吸収線量の均一性がかなりよくなった。

また同一線源を用いる場合、線量率をかえて照射すると、線源からの距離が異なるため線源の放射能をかえた場合と同様の効果があると考えられる。140,000Ciの線源を用いて線量率を 1×10^6 , 5×10^5 , 2.5×10^5 , 1.7×10^5 R/hr とかえた位置で各々15分, 30分, 1時間, 1.5時間で反転して0.5 Mrad 照射したときの吸収線量分布を測定した。このときのpackage 前面から後面までの空間線量率範囲はFig. 15 に示したように、線量率が高い位置ほど空間線量分布範囲が大きくなっている。各々の線量率位置で照射したときのpackage 内X方向およびpackage 全体における D_{max}/D_{min} を測定した結果はFig. 17 に示した。この結果、線量率に対する D_{max}/D_{min} はX方向、package 全体とも直線関係を示し、線量率が低いほど均一性がよいという結果が得られた。またこのX方向の D_{max}/D_{min} の値とFig. 14に示した空間におけるZ方向の D_{max}/D_{min} の値との積が、package 全体の D_{max}/D_{min} の値にほぼ一致することから、package 内の吸収線量分布にはX方向の吸収線量分布と、Z方向の空間線量分布(package 内のZ方向の吸収線量分布とほぼ一致する)が寄与していると考えられる。

照射試料package の前にもう一箱V・Sを詰めたpackage を置いて照射した場合の吸収線量分布をFig. 18 に示した。この結果より反転照射した場合のX方向における D_{max}/D_{min} を求めると1.08となり、照射試料package だけを照射した場合の1.12に比べ幾分均一性をよくすることができた。このように照射試料の前に適当なダミーを置くことによって線量均一性をよくすることができると考えられるが、この場合散乱線のエネルギー等を考慮すると、なるべく試料と同一の元素組成のものをダミーに用いることが望ましいと考えられる。

以上の結果より、なるべく大線源を用いて低線量率の位置でX方向の分布を小さくし、しかもZ方向の空間線量のバラツキをなくすように線源を組んで照射すれば、package 内の吸収線量分布の不均一性を小さくすることが可能である。140,000Ciの線源を用いた場合、線量率 1.7×10^5 R/hr の位置で照射すれば、 $20 \times 30 \times 30$ cmのpackage 内のバラツキを D_{max}/D_{min} 1.13すなわち±6%程度におさえることができる。ただしこの場合には照射に3時間かかり、処理量が少なくなることや品温上昇等の問題点がある。また線源の高さよりも低いpackage の使用、あるいは高さ方向の線量分布が均一になるように線源を組み変えるなどZ方向の空間線量分布の不均一性をなくした状態で照射したとすれば、 5×10^5 R/hr の位置でも D_{max}/D_{min} 1.12すなわち±6%程度の均一度で照射することが可能であると考えられる。

4. 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、有益な御助言をいただいた照射施設課の田中隆一氏に感謝致します。

5. 引用文献

- (1) 高坂和久, 堀田 武, 矢野幸男, 檀原 宏: 食品工誌., 15, 507 (1968)
- (2) H. Ito and T. Sato : Agr. Biol. Chem., 37, 233 (1973)
- (3) 雨宮綾夫編: 放射線化学入門(上), 丸善, P.119 (1962)
- (4) 寺川 彰: 線量測定講習会テキスト, 東京, P.66 (1960)
- (5) 田中隆一, 三友昭市, 大島裕之助: JAERI-memo (公開) 4121 (1970)
- (6) 渡辺 宏, 青木章平, 佐藤友太郎: JAERI-M5609 (1974)

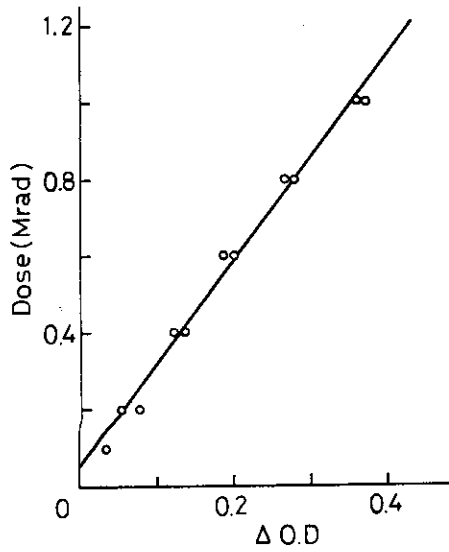


Fig. 1. Relationship between Dose and Optical Density Change at 290m μ of Irradiated PMMA

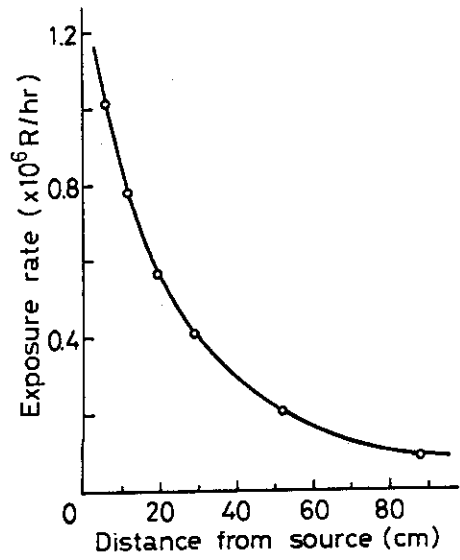


Fig. 2. Exposure Rate as a Function of Distance from Source

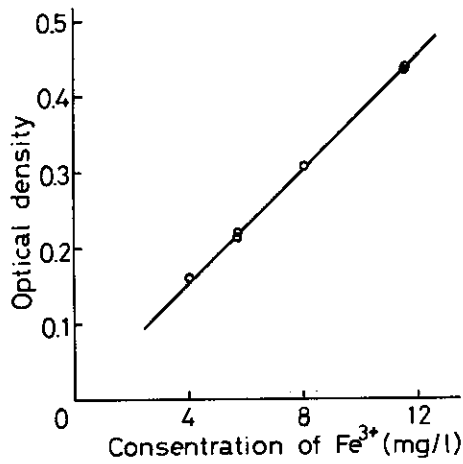


Fig. 3. Relationship between Concentration of Fe³⁺ and Optical Density at 304m μ

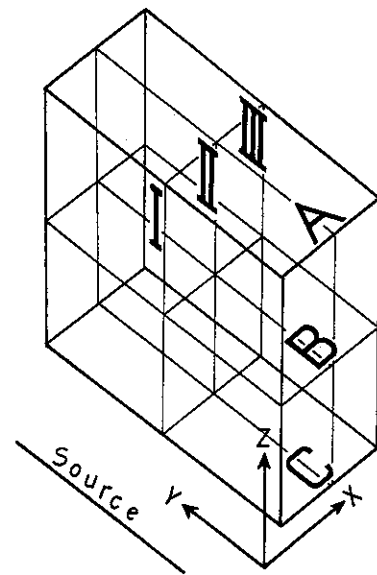


Fig. 4. Schematic Diagram of Irradiation Package

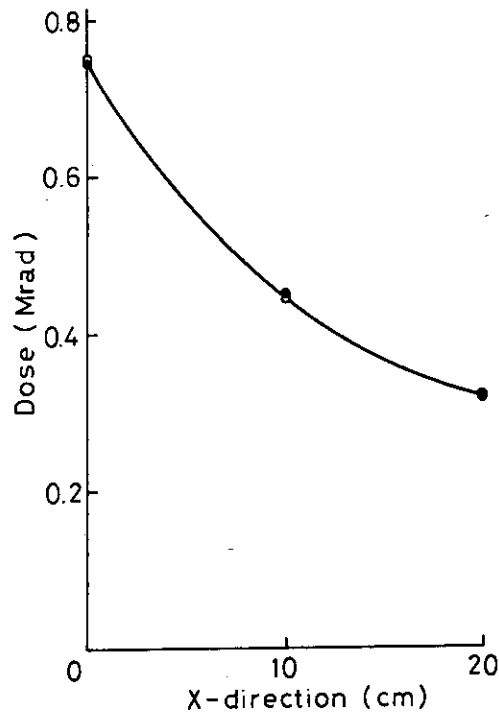


Fig. 5. Dose Distribution in Irradiated Package Filled with Vienna Sausage

○ Fricke dosimeter ● PMMA.

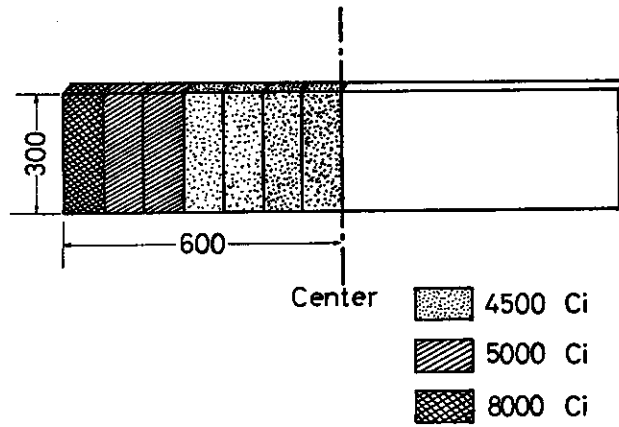


Fig. 6. Arrangement of Cobalt-60 Used as Radiation Source

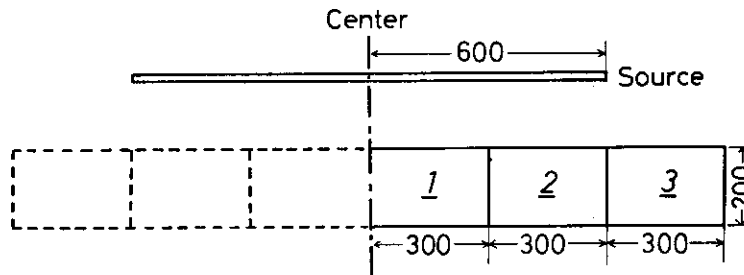


Fig. 7. Position of Irradiation Packages

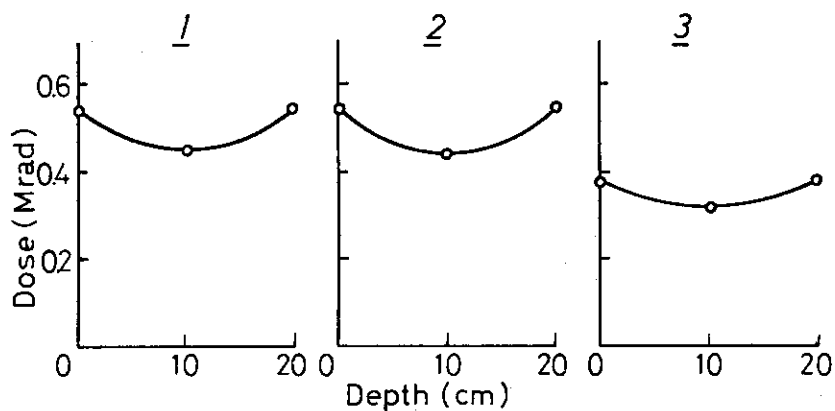


Fig.8. Dose Distribution in the Packages Aligned Along the Source

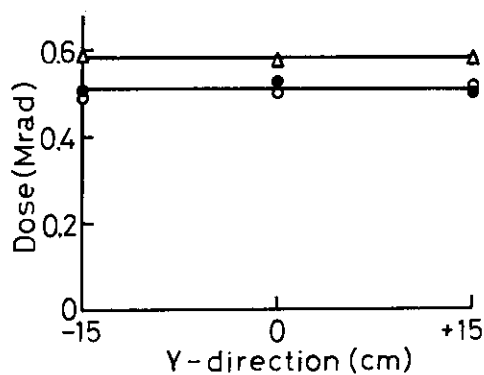


Fig.9. Dose Distribution in Y-direction of Surface(Plane I or III) of the Irradiated Package (20 x 30 x 30cm) Filled with Vienna Sausage

- height 30cm
- Δ 15cm
- 0cm

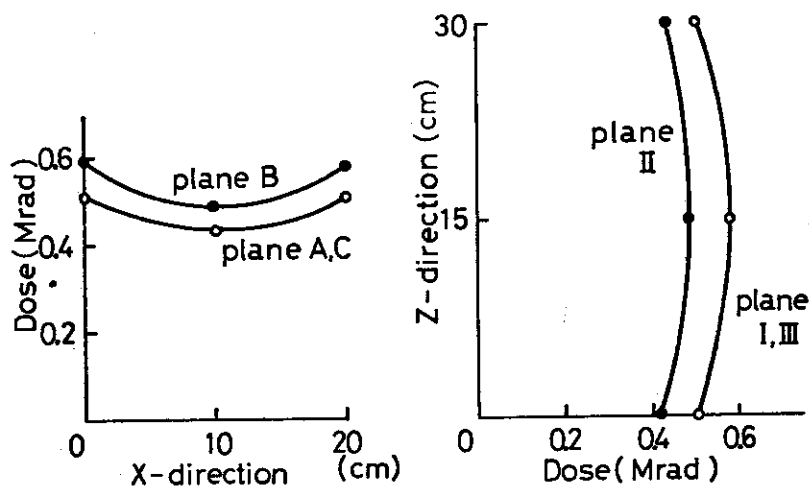


Fig.10. Dose Distribution in the Irradiated Package (20 x 30 x 30cm) Filled with Vienna Sausage

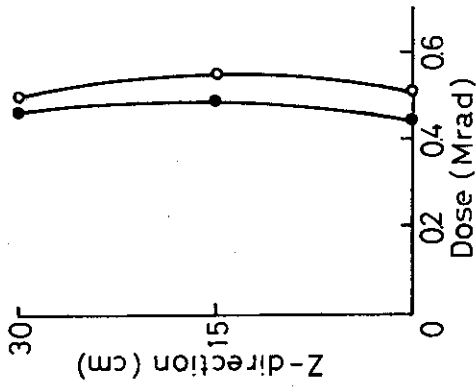


Fig. 12. Dose Distribution of Z-direction in the Package

○ plane I and III, ● plane II

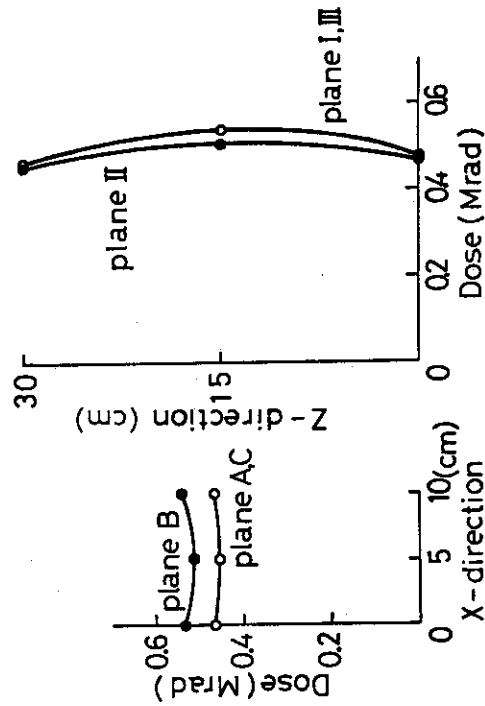


Fig. 11. Dose Distribution in the Irradiated Package (10 x 30 x 30cm) Filled with Vienna Sausage

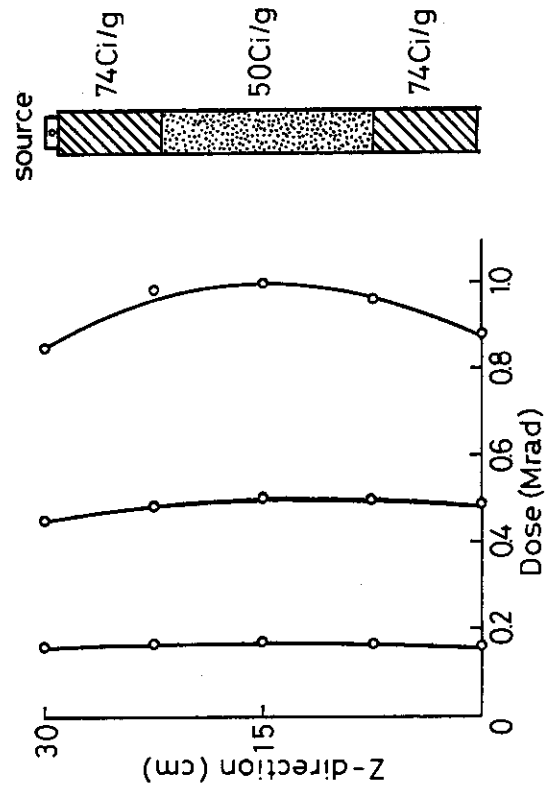


Fig. 13. Distribution of Exposure Dose in Z-direction

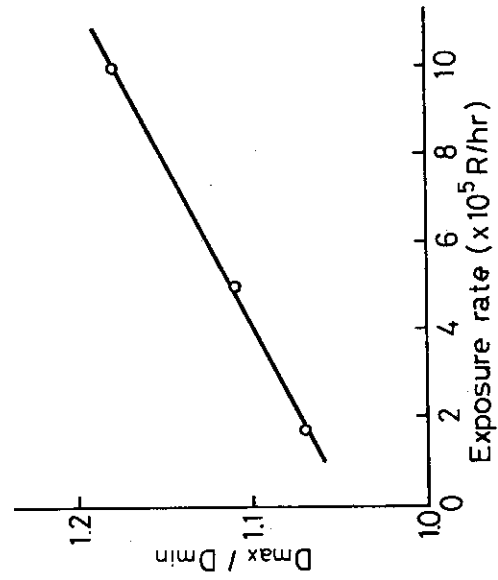


Fig. 14. D_{max} / D_{min} of Exposure Dose in Z-direction at Various Exposure Rate

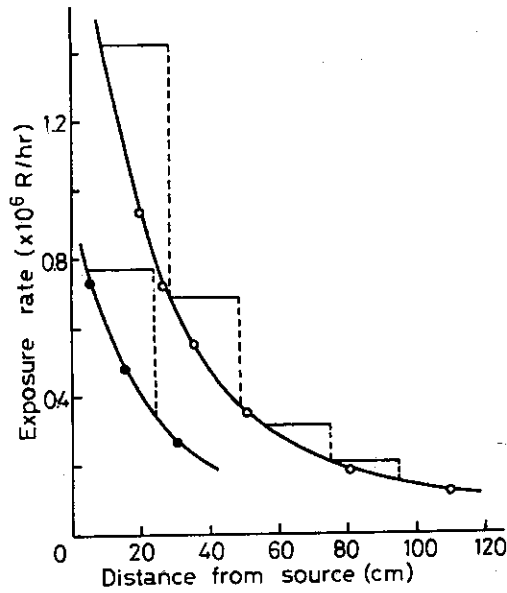


Fig. 15. Distribution of Exposure Rate in Irradiation Field
 ○ 140,000Ci, ● 60,000Ci

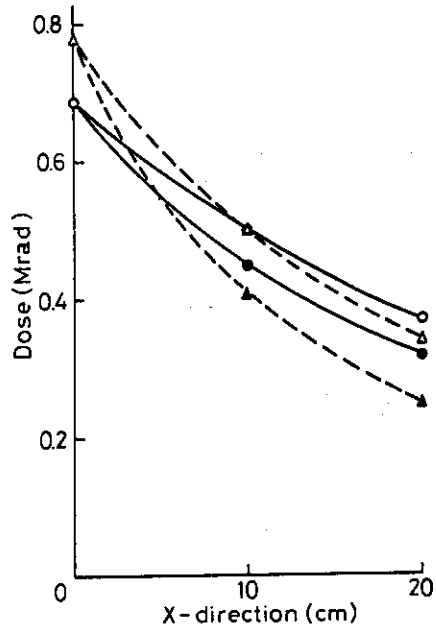


Fig. 16. Changes in Dose Distribution of X-direction by Difference of Total Source Activity
 ▲--▲ 60,000Ci, without V.S. ○--○ 140,000Ci, without V.S.
 ▲--▲ 60,000Ci, with V.S. ●--● 140,000Ci, with V.S.

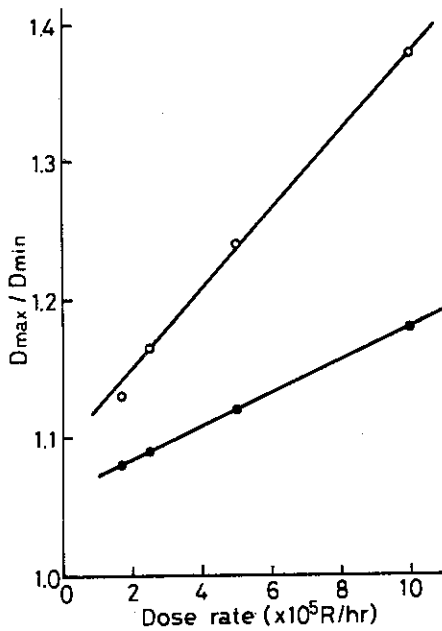


Fig. 17. D_{max} / D_{min} in Irradiation Package at Various Dose Rate
 ○ whole package, ● only X-direction

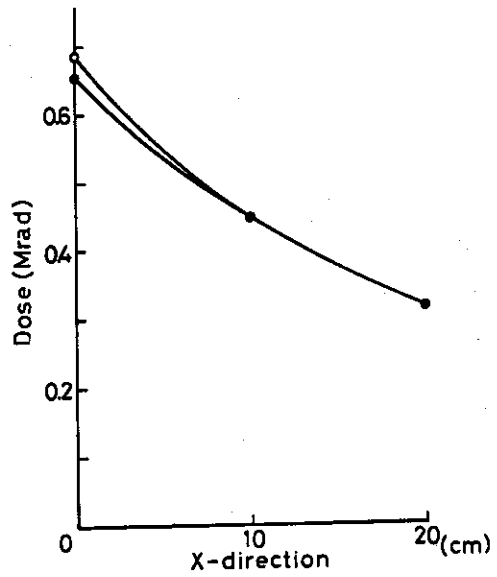


Fig. 18. Dose Distribution in Package Irradiated with γ -ray through Another Package
 ● through another package, ○ one package