

JAERI-M
7305

^{90}Sr セラミック β 線源の安全性試験

1977年9月

前田 頌・妹尾 宗明・榎本 茂正

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.

^{90}Sr セラミック β 線源の安全性試験

日本原子力研究所アイソトープ事業部利用開発室

前田 頌・妹尾 宗明・榎本 茂正

(1977 年 9 月 1 日 受 理)

利用開発室において開発した ^{90}Sr セラミック β 線源について、カプセルの構造および封入法の要点を述べ、さらに線源ペレットのかわりに非放射性 TiO_2 ペレットを用いて各種安全性試験を行ない、その結果をISOが提案している性能基準と比較した。試験項目は、機械的耐用試験として圧力試験、衝撃試験およびパンク試験、熱的耐用試験として最高温度試験、熱保持試験および熱衝撃試験である。

Safety Testing of Ceramic Strontium-90 β -Ray Source

Shō MAEDA, Muneaki SENOO, and Shigemasa ENOMOTO

Application and Development Section,
Radioisotope Center, JAERI

(Received September 1, 1977)

In a ceramic strontium-90 titanate β -ray source developed in Application and Development Section, capsule structure and welding are described. Safety tests were made with the dummy sources containing a nonradioactive titanium dioxide pellet; external pressure, impact force, puncture, maximum temperature, operating temperature and thermal shock. Results are compared with the performance requirements proposed by ISO.

Keywords: Ceramics, Capsule Structure, Strontium-90,
 β -Ray Source, Safety testing

目 次

1. まえがき	1
2. 試験項目および試験用線源	1
2.1 試験項目	1
2.2 試験用線源	1
2.3 試験用線源の調製	2
2.3.1 二酸化チタン・ペレットの調製	2
2.3.2 線源カプセルおよび封入法	2
3. 機械的耐用試験	2
3.1 圧力試験	2
3.1.1 方 法	2
3.1.2 結 果	3
3.2 衝撃試験	3
3.2.1 装 置	3
3.2.2 方 法	3
3.2.3 結 果	3
3.3 パンク試験	3
3.3.1 装 置	3
3.3.2 方 法	4
3.3.3 結 果	4
3.4 機械的耐用試験のまとめ	4
4. 熱的耐用試験	4
4.1 最高温度試験	4
4.1.1 方 法	4
4.1.2 結 果	4
4.2 熱保持試験	4
4.2.1 方 法	4
4.2.2 結 果	5
4.3 熱衝撃試験	5
4.3.1 方 法	5
4.3.2 結 果	5
4.4 熱的耐用試験のまとめ	5
5. あとがき	5

1. ま え が き

新しい調製法による ^{90}Sr β 線源ペレットを開発し、その調製法および線源特性についてさきに報告した⁽¹⁾。密封線源は利用性能と同時に安全性をも含めて評価されるべきであるが密封線源の場合、安全性を大きくすることと利用性能を高めることは相反する要求である場合がしばしばあり、線源設計上工夫を要するところである。

本報告においては、 ^{90}Sr β 線源用に設計した線源カプセルについて、その構造および封入法について述べ、さらに線源密封後の安全性について各種試験を行ない、その結果をISO (International Standard Organization)⁽²⁾が提案している密封線源の安全基準と比較し、検討した^{(3)~(7)}。試験の方法については末尾に挙げた文献を参考にした。

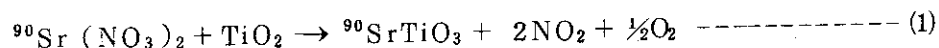
2. 試験項目および試験用線源

2.1 試験項目

機械的耐用試験として、圧力試験、衝撃試験およびパンク試験を行ない、温度試験としては、最高温度試験、熱保持試験および熱衝撃試験を行なった。

2.2 試験用線源

二酸化チタン (TiO_2) 粉末を $20\text{mm}\phi$ の金型で加圧成形したディスク状ペレットの上にPHを調製した放射性硝酸ストロンチウム ($^{90}\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) 溶液を 0.1ml 滴下し、表面付近に薄い ^{90}Sr の吸着層をつくり乾燥後これを電気炉で 1400°C 、4時間焼成する。このときペレット表面で(1)式に示す反応が起り、放射性チタン酸ストロンチウム ($^{90}\text{SrTiO}_3$) が合成される⁽⁸⁾。同時に二酸化チタン・ペレットも焼成されてセラミックとなる。



すなわち、焼結された二酸化チタン・ペレット表面に厚さ $0.1\text{mm} \sim 0.2\text{mm}$ の層状の $^{90}\text{SrTiO}_3$ が形成される。このペレットをステンレス・カプセルに封入して ^{90}Sr β 線源とする。この方法は調製が簡単でかつ線源部分が薄いため利用性能の高いことが特徴である。

本試験には、実線源と同じ条件で焼成した二酸化チタン・ペレットをダミーとして用いた。またカプセルの窓には 30μ および 40μ のステンレス箔を用いて比較した。いずれも密封後各試験を行なう前に漏洩試験(湯気泡試験)を行なって漏洩のないことを確認した。

1. ま え が き

新しい調製法による ^{90}Sr β 線源ペレットを開発し、その調製法および線源特性についてさきに報告した⁽¹⁾。密封線源は利用性能と同時に安全性をも含めて評価されるべきであるが密封線源の場合、安全性を大きくすることと利用性能を高めることは相反する要求である場合がしばしばあり、線源設計上工夫を要するところである。

本報告においては、 ^{90}Sr β 線源用に設計した線源カプセルについて、その構造および封入法について述べ、さらに線源密封後の安全性について各種試験を行ない、その結果をISO (International Standard Organization)⁽²⁾が提案している密封線源の安全基準と比較し、検討した^{(3)~(7)}。試験の方法については末尾に挙げた文献を参考にした。

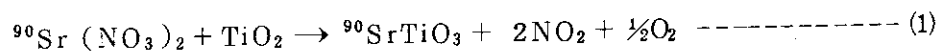
2. 試験項目および試験用線源

2.1 試験項目

機械的耐用試験として、圧力試験、衝撃試験およびパンク試験を行ない、温度試験としては、最高温度試験、熱保持試験および熱衝撃試験を行なった。

2.2 試験用線源

二酸化チタン (TiO_2) 粉末を $20\text{mm}\phi$ の金型で加圧成形したディスク状ペレットの上にPHを調製した放射性硝酸ストロンチウム ($^{90}\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) 溶液を 0.1ml 滴下し、表面付近に薄い ^{90}Sr の吸着層をつくり乾燥後これを電気炉で 1400°C 、4時間焼成する。このときペレット表面で(1)式に示す反応が起り、放射性チタン酸ストロンチウム ($^{90}\text{SrTiO}_3$)⁽⁸⁾が合成される。同時に二酸化チタン・ペレットも焼成されてセラミックとなる。



すなわち、焼結された二酸化チタン・ペレット表面に厚さ $0.1\text{mm} \sim 0.2\text{mm}$ の層状の $^{90}\text{SrTiO}_3$ が形成される。このペレットをステンレス・カプセルに封入して ^{90}Sr β 線源とする。この方法は調製が簡単でかつ線源部分が薄いため利用性能の高いことが特徴である。

本試験には、実線源と同じ条件で焼成した二酸化チタン・ペレットをダミーとして用いた。またカプセルの窓には 30μ および 40μ のステンレス箔を用いて比較した。いずれも密封後各試験を行なう前に漏洩試験(湯気泡試験)を行なって漏洩のないことを確認した。

2.3 試験用線源の調製

2.3.1 二酸化チタン・ペレットの調製

二酸化チタン粉末に粘結剤としてポリビニール・アルコールを1%混合し、蒸留水を加えてボールミルで24時間粉碎した。このスラリー状の試料を吸引口過し、さらに乾燥後擂塊機で造粒し、 $140\mu - 180\mu$ のフルイで粒径をそろえた。この顆粒状の粉末試料を3gとり、 $20\text{mm}\phi$ の円形のダイスを用いて、 $\sim 0.5 \text{ ton/cm}^2$ の圧力で成形した。さらに電気炉で 1400°C 、4時間焼成することにより、約 $16\text{mm}\phi \times 4\text{mm}$ の黒灰色の二酸化チタン・ペレットを調製した。Fig. 1(a)(b)はそれぞれ焼成前および後の二酸化チタン・ペレットである。

2.3.2 線源カプセルおよび封入法

線源カプセルの構造は、封入が容易であることのほか安全上機械的強度が大きいことおよび耐熱性の優れていることが必要である。さらに安全性能を強化するために使用性能の低下をもたらさないことも重要である。これらの条件を考慮して検討した結果、Fig. 2に示す構造とした。材料にはステンレス(SUS 304)を用い、窓部分は β 線の吸収損失と安全性を勘案して 40μ 厚さとした。封入法は、窓部分を溶接した後、線源ペレットを入れ、後部のふたをして溶接封入する。方法はアルゴン・アーク溶接法で、電極を固定し試料を回転させながら自動的に溶接を行なう。窓部分のステンレス箔の溶接には、 $1\text{mm}\phi$ の電極の先端をさらに細く研磨して用い、溶接電流は10A程度に押える。Fig. 3に溶接封入後のカプセルを示す。ここでカプセルの構造上とくに注意をした箇所を以下に列挙する。

- (1) 一般に箔の溶接は技術的に困難であり、そのために溶接部分を突状にし、熱が局所にとどまるようにする。
- (2) 耐衝撃力および耐圧力を大きくするために、線源ペレットと窓との間に隙間をつくらない。
- (3) 衝撃力に対して窓部分の破壊を防ぐための、ステンレス箔に直角に当る部分をつくらない。
- (4) 圧延したままのステンレス箔は衝撃にもろいので、一旦真空中 1050°C 附近の温度で焼なまししたものを用いる。

3. 機械的耐用試験

3.1 圧力試験

3.1.1 方法

試料を圧力容器に入れ、これにプランジャーポンプを接続し、 $1 \sim 300\text{kg/cm}^2$ の水圧をかけて各試料の耐圧限界を検討した。装置をFig. 4に示す。さらに真空ポンプを用いて常圧から $1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ に減圧してその耐性を調べた。加圧試験、減圧試験ともに所定の圧力で15分間

2.3 試験用線源の調製

2.3.1 二酸化チタン・ペレットの調製

二酸化チタン粉末に粘結剤としてポリビニール・アルコールを1%混合し、蒸留水を加えてボールミルで24時間粉碎した。このスラリー状の試料を吸引口過し、さらに乾燥後擂塊機で造粒し、 $140\mu - 180\mu$ のフルイで粒径をそろえた。この顆粒状の粉末試料を3gとり、 $20\text{mm}\phi$ の円形のダイスを用いて、 $\sim 0.5 \text{ ton/cm}^2$ の圧力で成形した。さらに電気炉で 1400°C 、4時間焼成することにより、約 $16\text{mm}\phi \times 4\text{mm}$ の黒灰色の二酸化チタン・ペレットを調製した。Fig. 1(a)(b)はそれぞれ焼成前および後の二酸化チタン・ペレットである。

2.3.2 線源カプセルおよび封入法

線源カプセルの構造は、封入が容易であることのほか安全上機械的強度が大きいことおよび耐熱性の優れていることが必要である。さらに安全性能を強化するために使用性能の低下をもたらさないことも重要である。これらの条件を考慮して検討した結果、Fig. 2に示す構造とした。材料にはステンレス(SUS 304)を用い、窓部分は β 線の吸収損失と安全性を勘案して 40μ 厚さとした。封入法は、窓部分を溶接した後、線源ペレットを入れ、後部のふたをして溶接封入する。方法はアルゴン・アーク溶接法で、電極を固定し試料を回転させながら自動的に溶接を行なう。窓部分のステンレス箔の溶接には、 $1\text{mm}\phi$ の電極の先端をさらに細く研磨して用い、溶接電流は10A程度に押える。Fig. 3に溶接封入後のカプセルを示す。ここでカプセルの構造上とくに注意をした箇所を以下に列挙する。

- (1) 一般に箔の溶接は技術的に困難であり、そのために溶接部分を突状にし、熱が局所にとどまるようにする。
- (2) 耐衝撃力および耐圧力を大きくするために、線源ペレットと窓との間に隙間をつくらない。
- (3) 衝撃力に対して窓部分の破壊を防ぐための、ステンレス箔に直角に当る部分をつくらない。
- (4) 圧延したままのステンレス箔は衝撃にもろいので、一旦真空中 1050°C 附近の温度で焼なまししたものを用いる。

3. 機械的耐用試験

3.1 圧力試験

3.1.1 方法

試料を圧力容器に入れ、これにプランジャーポンプを接続し、 $1 \sim 300\text{kg/cm}^2$ の水圧をかけて各試料の耐圧限界を検討した。装置をFig. 4に示す。さらに真空ポンプを用いて常圧から $1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ に減圧してその耐性を調べた。加圧試験、減圧試験ともに所定の圧力で15分間

保持した後常圧にもどし、この操作を4回くり返した。圧力試験後の試料の破壊の有無は、試験前後の試料の重量の増加によって判定した。また湯気泡試験すなわち92°C-95°Cの湯中深さ10cmに試料を入れ、気泡の発生で漏洩を調べる方法によって行なった。

3.1.2 結 果

窓厚30 μ および40 μ の各線源とも、300kg/cm²の加圧および 1×10^{-1} Torrの減圧において外觀に変化なく、湯気泡試験にも合格した。

3.2 衝撃試験

3.2.1 装 置

試験装置は、Fig. 5に示すように、ハンマー、金床およびハンマーを試験線源の所定の部位に衝撃を与えるためのガイドより構成されている。ハンマーは直径25mm、縁は半径3mmのまるみを持ち、打撃面は平たんで、焼入れ焼もどしにより硬さをRc=58~60とし、各種重量の錘に固定した。金床の重量は落下錘重量の10倍以上を目標としたため、100kgの鋼材を用い、その中央部を焼入れ、焼もどしによりRc=58~60にした鋼片を固定し、この上に試験体をのせハンマーを落下させて衝撃を与えた。ガイドは金床に垂直に固定した2本の鉄アングルで、このアングル間に各種重量の錘をつるし、ハンマー打撃面が試験体に垂直に当るようにした。

3.2.2 方 法

試験線源を金床中央の高硬度部に設置し、各種重量のハンマーを落下させて試験を行なった。打撃面は、線源の窓面、裏面および側面の3方向とし、打撃終了後目視および湯気泡試験により破壊の有無を調べた。

3.2.3 結 果

試験結果をTable. 1に示す。○および×印は判定の結果を示す。試験後の線源の1例をFig. 6に示した。

3.3 パンク試験

3.3.1 装 置

試験装置は、衝撃試験装置と同様、ハンマー、金床およびハンマーを所定の位置に落下させるためのガイドから構成されている。ハンマーの先端は直径3mm、底面は球状をなし、焼入れ、焼もどしにより硬さRc=58~60とし、各種重量に分れている。金床は落下錘の10倍以上にするために15kgの鋼材を用い、中央部に焼入れ、焼もどしにより硬さRc=58~60にした鋼片を固定した。この上に試験体を設置し、ハンマーを落下させて試験を行なった。ハンマーのガイドは内面の滑らかな内径25mmの鋼管を用い、ハンマーの直径はこの内径に合わせて製作し、滑らかに落下するようにした。パンク試験装置をFig. 7に示した。

3.3.2 方 法

試験線源を金床中央部の高硬度部にのせ、各種重量のハンマーを落下させて試験を行なった。打撃面はいずれも強度的に弱い窓面についてのみ行なった。打撃後の判定は衝撃試験と同様に行なった。

3.3.3 結 果

試験結果をTable. 2に示す。また結果の1例をFig. 8に示す。

3.4 機械的耐用試験のまとめ

圧力試験は 300kg/cm^2 の加圧において全試料に異常は認められなかった。 300kg/cm^2 が試験装置の限界でありそれ以上の圧力試験はできなかった。

衝撃試験は打撃面を窓面、裏面および側面の3方向について行なった。目視では側面打撃の場合がもっとも大きく変形し破壊を受けやすいように見えるが、カプセルの漏洩については有意な差はみられなかった。これはカプセルの溶接がほぼ完全であることと窓に用いたステンレス箔の延性が大きいためであろう。強いていえば窓面打撃の場合がやや弱いように見える。また窓厚さ 30μ と 40μ の場合では、強度的にはっきりと差が認められた。

パンク試験においては他の部分に比較して強度がはるかに低い窓部分についてのみ行なったが、窓厚 30μ と 40μ の場合では強度差はみられなかった。

4. 熱的耐用試験

4.1 最高温度試験

4.1.1 方 法

加熱には電気炉を用い、 1000°C 、 1075°C 、 1100°C 、 1200°C についてそれぞれ行なった。昇温時間は5分以内、熱保持時間は1時間とし、熱保持後室温で自然放冷した。破壊の判定は目視および湯気泡試験により行なった。

4.1.2 結 果

試験結果をTable. 3に示す。窓部分は黒く酸化しているが、 30μ および 40μ の場合ともそれぞれ 1100°C まで漏洩は認められなかった。しかし 1200°C においては両者とも箔部分が酸化し破れた。結果の1例をFig. 9に示す。

4.2 熱保持試験

4.2.1 方 法

3.3.2 方 法

試験線源を金床中央部の高硬度部にのせ、各種重量のハンマーを落下させて試験を行なった。打撃面はいずれも強度的に弱い窓面についてのみ行なった。打撃後の判定は衝撃試験と同様に行なった。

3.3.3 結 果

試験結果をTable. 2に示す。また結果の1例をFig. 8に示す。

3.4 機械的耐用試験のまとめ

圧力試験は 300kg/cm^2 の加圧において全試料に異常は認められなかった。 300kg/cm^2 が試験装置の限界でありそれ以上の圧力試験はできなかった。

衝撃試験は打撃面を窓面、裏面および側面の3方向について行なった。目視では側面打撃の場合がもっとも大きく変形し破壊を受けやすいように見えるが、カプセルの漏洩については有意な差はみられなかった。これはカプセルの溶接がほぼ完全であることと窓に用いたステンレス箔の延性が大きいためであろう。強いていえば窓面打撃の場合がやや弱いように見える。また窓厚さ 30μ と 40μ の場合では、強度的にはっきりと差が認められた。

パンク試験においては他の部分に比較して強度がはるかに低い窓部分についてのみ行なったが、窓厚 30μ と 40μ の場合では強度差はみられなかった。

4. 熱的耐用試験

4.1 最高温度試験

4.1.1 方 法

加熱には電気炉を用い、 1000°C 、 1075°C 、 1100°C 、 1200°C についてそれぞれ行なった。昇温時間は5分以内、熱保持時間は1時間とし、熱保持後室温で自然放冷した。破壊の判定は目視および湯気泡試験により行なった。

4.1.2 結 果

試験結果をTable. 3に示す。窓部分は黒く酸化しているが、 30μ および 40μ の場合ともそれぞれ 1100°C まで漏洩は認められなかった。しかし 1200°C においては両者とも箔部分が酸化し破れた。結果の1例をFig. 9に示す。

4.2 熱保持試験

4.2.1 方 法

900°Cおよび1000°Cで24時間保持した後、常温まで放冷した。昇温、降温および判定法とも4.1.1と同じ方法によった。

4.2.2 結果

試験結果をTable.4に示した。1000°Cでは窓部分のステンレス箔は酸化して内部のペレットが見られた。900°Cでは表面は黒く酸化しているものの漏洩は認められなかった。結果の1例をFig.10に示す。

4.3 熱衝撃試験

4.3.1 方法

1000°Cおよび1100°Cに15分間保持した後、5秒以内に0°Cの水中に投入した。水の容量は試料のその20倍以上とした。結果の判定は4.1.1と同じ方法で行なった。

4.3.2 結果

試験結果はTable.5に示すように、1000°Cおよび1100°Cいずれの場合においても漏洩は認められなかった。

4.4 温度試験のまとめ

温度試験として、最高温度試験、熱保持試験および熱衝撃試験を行ない、それぞれについて破壊限界を検討した。漏洩試験により合格と判定された試験体でも目視により窓部分の酸化がひどく、わずかな衝撃でも破壊する可能性の高いものが多い。したがって温度試験を行なった試験体については、これにさらに機械的耐用試験を加えることが必要と思われる。

5. あとがき

ISOは密封線源の安全性について、用途に対する性能条件および等級別性能基準⁽²⁾(Appendix)を提案している。いまこれに従った場合の本線源の満たすべき性能条件と本試験で得られた実際の安全性能との比較を行なうとTable.6に示すようになるが、すべての項目においてISOの基準を上まわっている。なお利用性能については従来の同種類の⁹⁰Srβ線源に比較して遜色ないことはすでに破認⁽¹⁾されている。またいずれの試験においても、破壊は窓部分に生じているが、β線源の安全性の良否は当然のことながら窓部分の設計(材料、構造、溶接方法)にかかっているといえる。

本線源のカプセルおよび封入法は、試作-安全性試験-改良の過程をくり返し行ない最終的に決定したものである。

900°Cおよび1000°Cで24時間保持した後、常温まで放冷した。昇温、降温および判定法とも4.1.1と同じ方法によった。

4.2.2 結果

試験結果をTable.4に示した。1000°Cでは窓部分のステンレス箔は酸化して内部のペレットが見られた。900°Cでは表面は黒く酸化しているものの漏洩は認められなかった。結果の1例をFig.10に示す。

4.3 熱衝撃試験

4.3.1 方法

1000°Cおよび1100°Cに15分間保持した後、5秒以内に0°Cの水中に投入した。水の容量は試料のその20倍以上とした。結果の判定は4.1.1と同じ方法で行なった。

4.3.2 結果

試験結果はTable.5に示すように、1000°Cおよび1100°Cいずれの場合においても漏洩は認められなかった。

4.4 温度試験のまとめ

温度試験として、最高温度試験、熱保持試験および熱衝撃試験を行ない、それぞれについて破壊限界を検討した。漏洩試験により合格と判定された試験体でも目視により窓部分の酸化がひどく、わずかな衝撃でも破壊する可能性の高いものが多い。したがって温度試験を行なった試験体については、これにさらに機械的耐用試験を加えることが必要と思われる。

5. あとがき

ISOは密封線源の安全性について、用途に対する性能条件および等級別性能基準⁽²⁾(Appendix)を提案している。いまこれに従った場合の本線源の満たすべき性能条件と本試験で得られた実際の安全性能との比較を行なうとTable.6に示すようになるが、すべての項目においてISOの基準を上まわっている。なお利用性能については従来の同種類の⁹⁰Srβ線源に比較して遜色ないことはすでに破認⁽¹⁾されている。またいずれの試験においても、破壊は窓部分に生じているが、β線源の安全性の良否は当然のことながら窓部分の設計(材料、構造、溶接方法)にかかっているといえる。

本線源のカプセルおよび封入法は、試作-安全性試験-改良の過程をくり返し行ない最終的に決定したものである。

参 考 文 献

- (1) "New method for preparation of a ceramic strontium-90 titanate β -ray source"
Enomoto S., Senoo M. and Maeda S. : Int. J. Appl. Radiat. Isot., 26, 363-366(1965)
- (2) ISO/TC45/SC4/WG1, Draft ISO sealed radioactive sources-classification (1972)
- (3) "Radioisotope source safty testing"
Haff K.W. et al : ORNL 4092 (1967)
- (4) "Leak testing encapsulated radioactive sources"
Niemeyer R.G. : ORNL-4529 (1972)
- (5) "密封線源の安全性に関する研究 (I) — 汚染・漏洩検査法の検討 — "
大野 明, 滝島延雄, 野尻利明, 前橋陽一, 前田 頌, 谷 彰, 鎌田敏正, 鈴木英世
: Radioisotopes, 22, 395-403 (1973)
- (6) "密封線源の安全性に関する研究 (II) — 線源の耐用試験(1) — "
大野 明, 滝島延雄, 野尻利明, 前橋陽一, 前田 頌, 谷 彰, 鎌田敏正, 鈴木英世
: Radioisotopes, 23, 250-259 (1974)
- (7) "密封線源の安全性に関する研究 (II) — 線源の耐用試験(3) — "
大野 明, 滝島延雄, 野尻利明, 前橋陽一, 前田 頌, 谷 彰, 鎌田敏正, 鈴木英世
: Radioisotopes, 24, 805-820 (1975)
- (8) "New method for synthesis of strontium titanate"
Motojima K., Enomoto S., Hoshino A., Shimooka K. and Iso S. : J.
Nucl. Sci. Technol., 10, 685-688 (1973)

Table. 1 Results of impact force resistance test

Momentum (kg·m)		1.5		2.0		3.0		4.0		5.0	
Judging method ¹⁾		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Window thickness	Impact side										
30 μ	Front	○	○	○	○	○	×	○	×		
	Rear			○	○	○	○	○	×	○	×
	Side			○	○	○	×	×	×		
40 μ	Front					○	○	○	×	○	×
	Rear					○	○	○	○	○	×
	Side					○	○	○	○	×	×

1) A : Visual, B : Hot water bubble test

2) ○ : No damage or no leaks, × : Damaged or leaked

Table. 2 Results of puncture resistance test

Momentum (kg·m)		0.03		0.05		0.075		0.08		0.12	
Judging method ¹⁾		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Window thickness	Test part										
30 μ	Window			○	○	○	○	○	×		
40 μ	Window		○	○	○	○	○	○	×	○	×

1) A : Visual, B : Hot water bubble test

2) ○ : No damage or no leaks, × : Damaged or leaked

Table. 3 Results of maximum temperature resistance test, heating time
time : 1 hr

Temperature (°C)	1000		1050		1100		1200	
Window thickness	Judging ¹⁾ method		Judging ¹⁾ method		Judging ¹⁾ method		Judging ¹⁾ method	
	A	B	A	B	A	B	A	B
30 μ			○	○	○	×	×	×
40 μ	○	○			○	○	×	×

- 1) A : Visual, B : Hot water bubble test
 2) ○ : No damage or no leaks, × : Damaged or leaked

Table. 4 Results of operating temperature resistance
test, heating time : 24 hr

Temperature (°C)	900		1000	
Window thickness	Judging ¹⁾ method		Judging ¹⁾ method	
	A	B	A	B
30 μ	○	○	×	×
40 μ	○	○	×	×

- 1) A : Visual, B : Hot water bubble test
 2) ○ : No damage or no leaks, × : Damaged or leaked

Table. 5 Results of thermal shock resistance test, heating time : 15 min

Temperature (°C)	1000→0		1100→0	
Window thickness	Judging ¹⁾ method			
	A	B	A	B
30 μ	○	○	○	○
40 μ	○	○	○	○

1) A : Visual, B : Hot water bubble test

2) ○ : No damage or no leaks, × : Damaged or leaked

Table. 6 Safety test results of the ⁹⁰Sr β-ray source

Type of test	Test results	Class	Performance requirement for ⁹⁰ Sr β-ray source
Temperature resistance	900°C, 24 hr. 1100 → 0	6	3
Exaternal pressure	300 kg/cm ²	4	3
Impact force resistance	3 kg·m	4	3
Puncture resistance	75 g·m	4	3

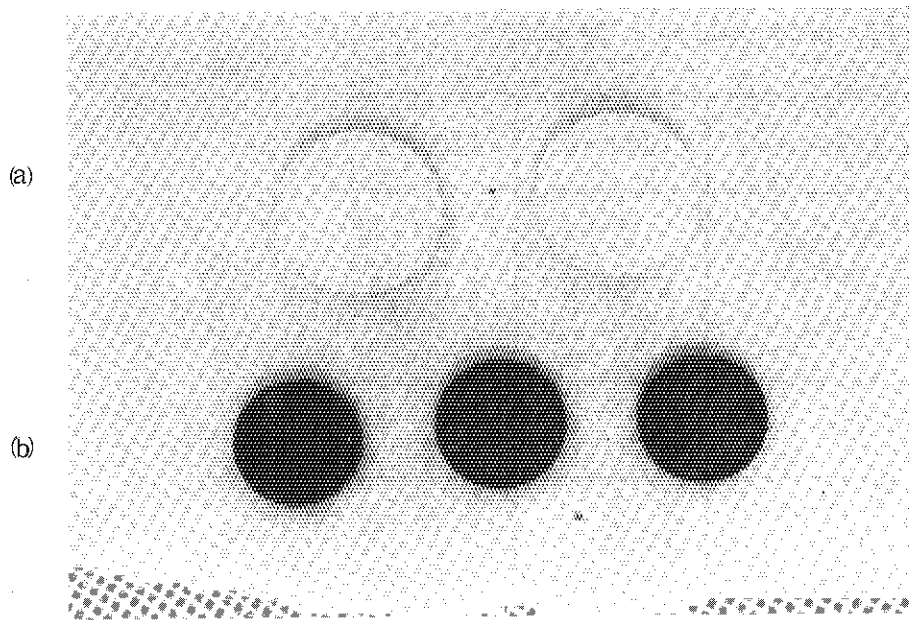


Fig. 1 TiO_2 pellets, (a) : before heating,
(b) : after heating for 24 hr.

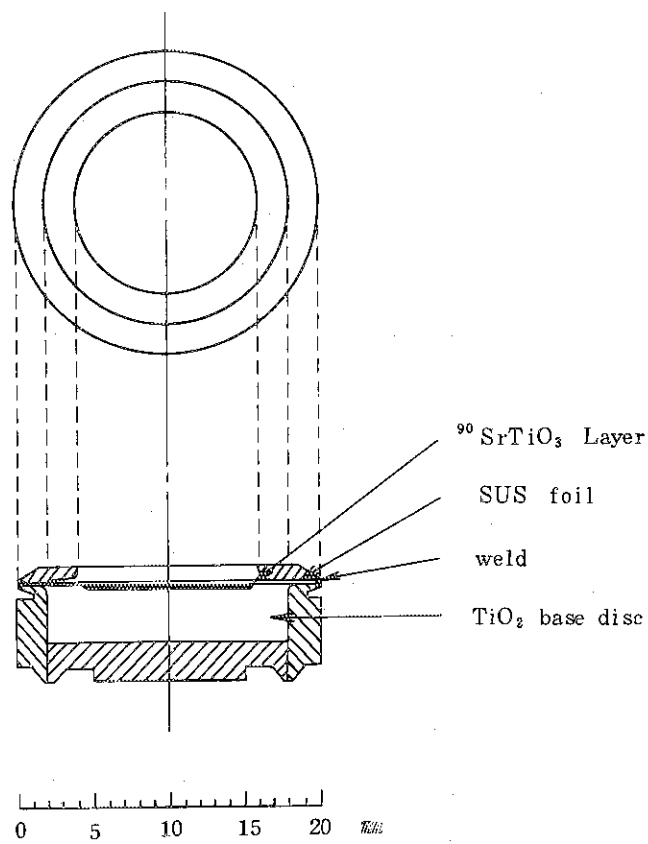


Fig. 2 Cross section view of the ^{90}Sr β -ray source

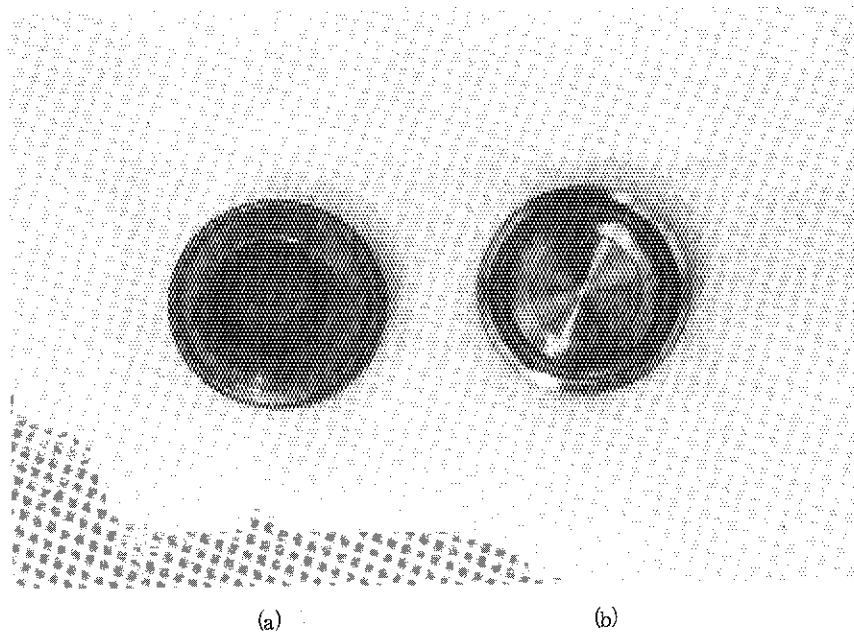


Fig. 3 The ^{90}Sr β -ray source capsul after welding,
(a) : front, (b) : rear

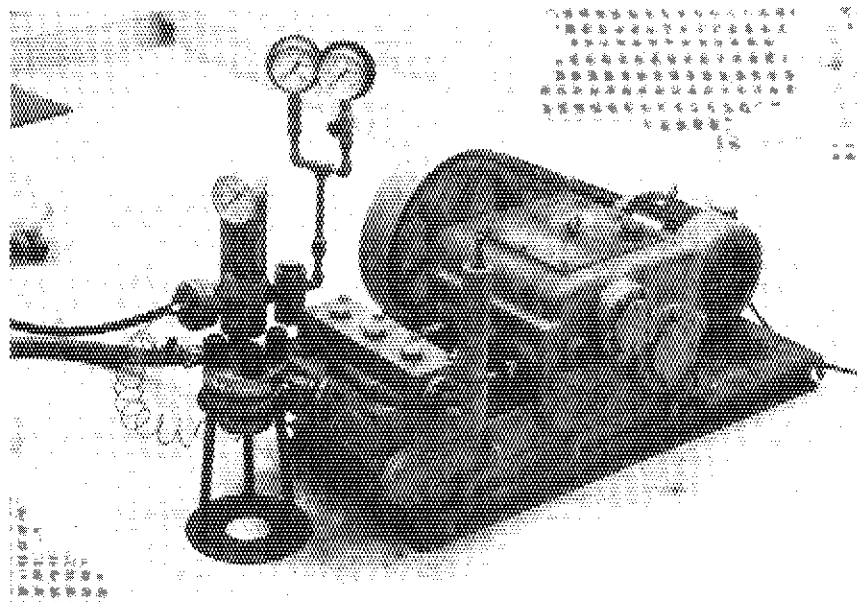


Fig. 4 Equipment used for external pressure resistance test

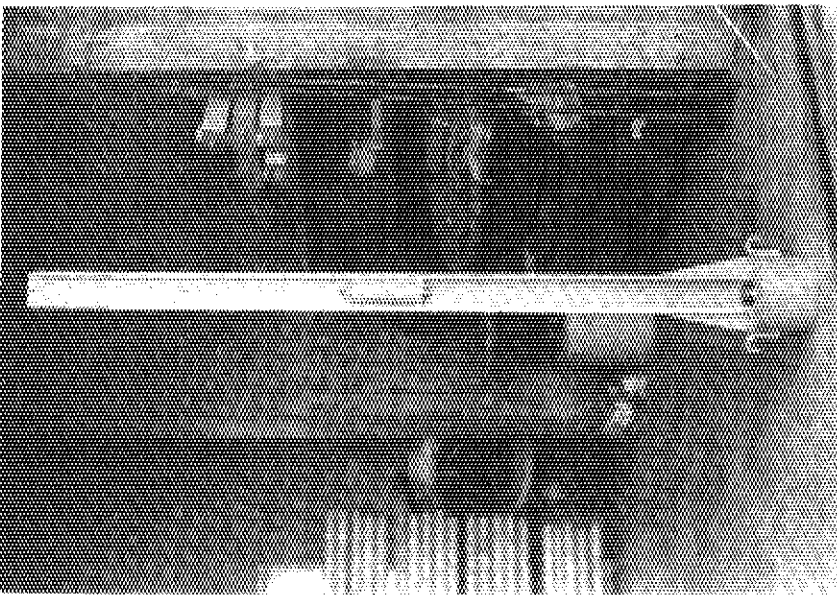


Fig. 5 Equipment used for impact force resistance test

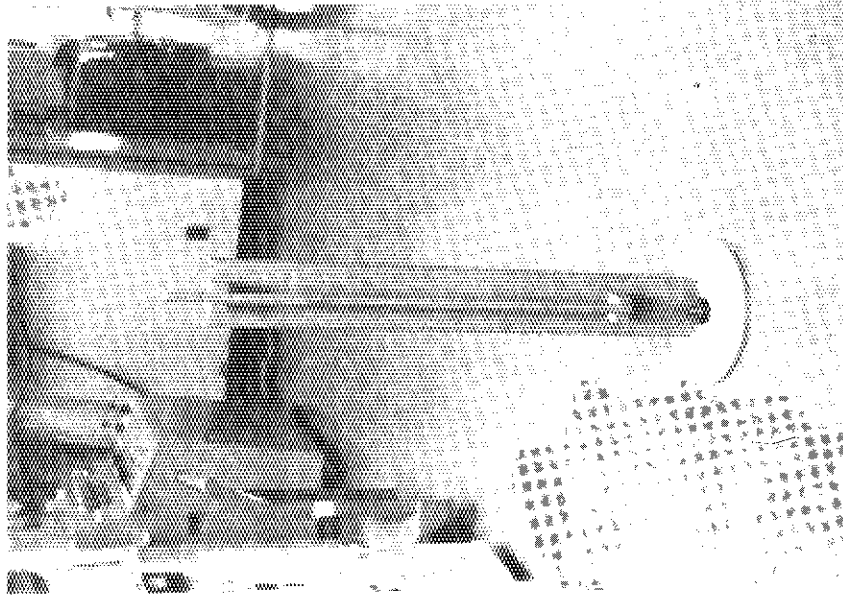


Fig. 7 Equipment used for puncture resistance test

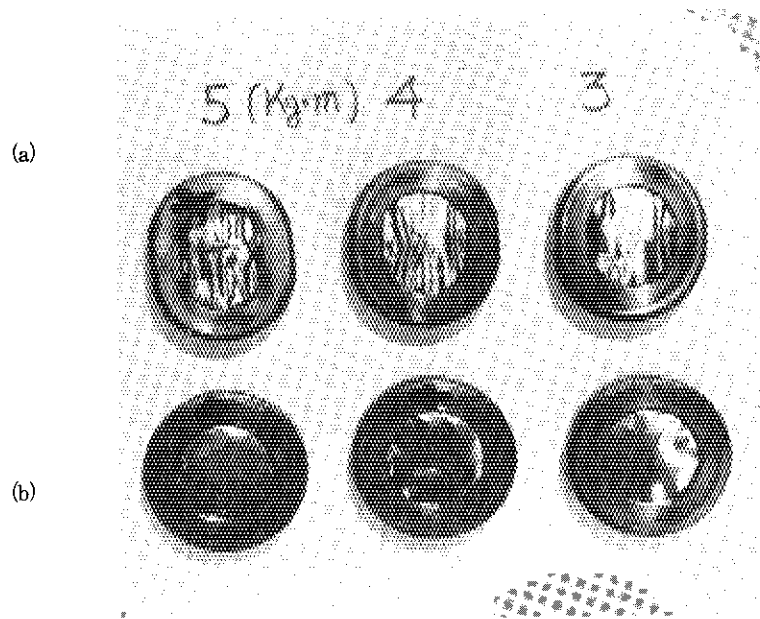


Fig. 6 The sources after impact force resistance test,
impact side, (a) : side, (b) : front
window thickness : 40μ

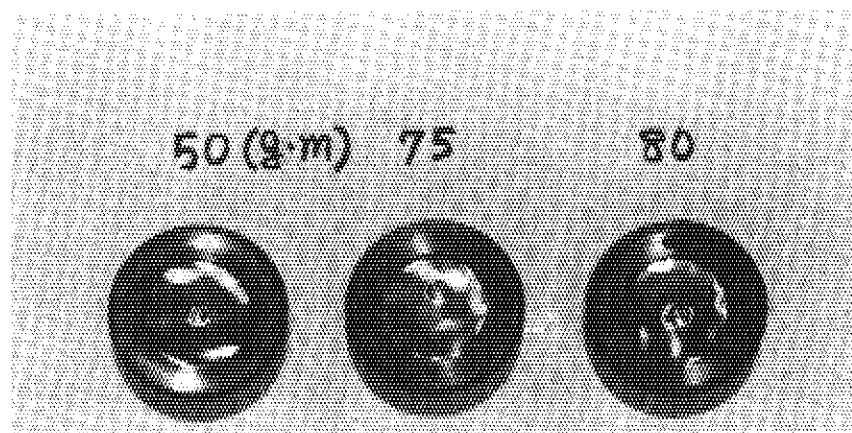


Fig. 8 The sources after puncture resistance test,
window thickness : 40μ

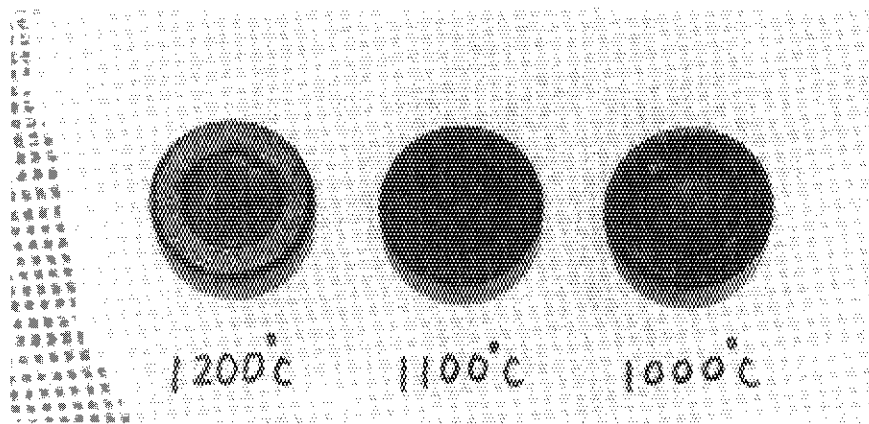


Fig. 9 The sources after maximum temperature resistance test,
heating time : 1 hr, window thickness : 40 μ

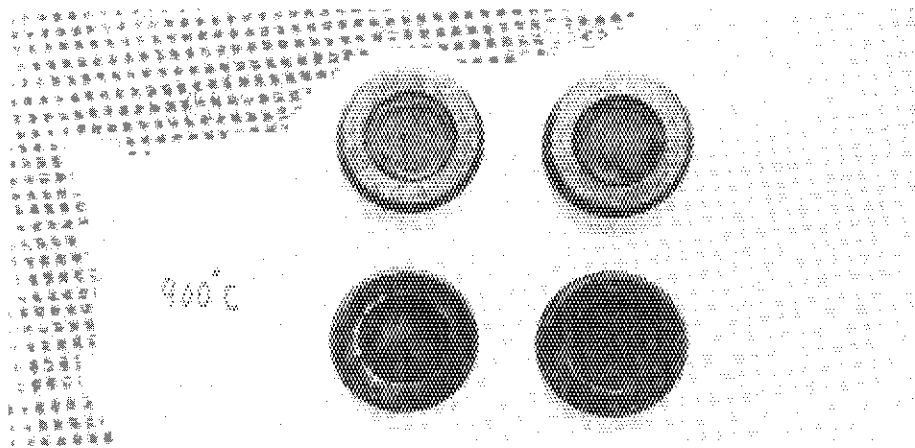


Fig. 10 The sources after operating temperature resistance test,
heating time : 24 hr, window thickness : 40 μ

Appendix 1 Sealed source performance requirement for typical usage

Sealed source usage	Sealed source test and class				
	Temperature	Pressure	Impact	Vibration	Puncture
Radiography-Industrial	4 4	3 3	5 3	1 1	5 3
Medical	3 5 5 4	2 3 3 3	3 5 2 3	1 2 1 1	2 3 1 2
Gamma gauges (medium and high energy)	4 4	3 3	3 2	3 3	2 2
Beta gauges and sources for low energy gamma gauges or X-ray fluorescence analysis (excluding gas filled sources)	3	3	2	2	3
Oil well logging	5	6	5	2	2
Portable moisture and density gauge (including hand held or dolly transported)	4	3	3	3	3
General neutron source application (excluding reactor start-up)	4	3	3	2	3
Calibration sources-Activity greater than 30μCi	2	2	2	1	2
Gamma irradiation sources	4 4	3 3	4 3	2 2	4 3
Ion generators ¹⁾	3 2 3	2 2 2	2 2 2	1 2 2	1 2 2

1) Source-device combination may be tested

Appendix 2 Classification of sealed source performance standards

Test	CLASS						
	1	2	3	4	5	6	7
Temperature	-75°C (20min) +60°C (1h)	-75°C (20min) +80°C (1h)	-70°C (20min) +180°C (1h)	-75°C (20min) +400°C (1h) and thermal shock 400°C to 20°C	-75°C (20min) +600°C (1h) and thermal shock 600°C to 20°C	-75°C (20min) +900°C (1h) and thermal shock 800°C to 20°C	Special test
External pressure	No test	25 kN/m ² (3.6 lbf/in ²) to atmosphere	25 kN/m ² 2 MN/m ² (290 lbf/in ²) abs.	25 kN/m ² abs to 7 MN/m ² (1015 lbf/in ²) abs.	25 kN/m ² abs to 70 MN/m ² (10153 lbf/in ²) abs.	25 kN/m ² abs to 170 MN/m ² (24656 lbf/in ²) abs.	Special test
Impact	No test	50g (1.8 oz) from 1 m (3.28 ft)	200g (7 Oz) from 1 m	2kg (4.4 lb) from 1 m	5kg (11 lb) from 1 m	20kg (44 lb) from 1 m	Special test
Vibration	No test	30 min 25 to 500 Hz at 5g peak amp. 5g peak amp.	30 min 25 to 50 Hz at 5g peak amp. and 50 to 90 Hz at 0.635 mm smp. peak to peak and 90 to 500 Hz at 10g	90 min 25 to 80 Hz at 1.5 mm amp. peak to peak and 80 to 2000 Hz at 20g			Special test
Puncture	No test	1g (15.4 gr) from 1 m (3.28 ft)	10g (154 gr) from 1 m	50g (1.76 Oz) from 1 m	300g (10.6 oz) from 1 m	1kg (2.2 lb) from 1 m	Special test