

JAERI-M  
93-222

トリア管の試作試験

1993年11月

中村 武彦・橋本和一郎・上塙 寛  
西野 泰治・鈴木 信幸\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

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。  
入手の問合せは、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）で複写による実費頒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, 1993

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷株

## トリア管の試作試験

日本原子力研究所東海研究所原子炉安全工学部

中村 武彦・橋本和一郎・上塙 寛

西野 泰治<sup>+</sup>・鈴木 信幸\*

(1993年10月14日受理)

原研では軽水炉の立地評価事故ソースタームの評価あるいはシビアアクシデント時の影響評価に重要な高温の燃料から放出される核分裂生成物（F P）の放出挙動を調べる実験を計画し、現在その準備を進めている。同実験では実際に軽水炉で照射され燃焼の進んだ燃料を誘導加熱し、F Pの放出挙動を温度・加熱雰囲気等をパラメータに調べる。酸化あるいは還元雰囲気で燃料を2800°Cを越える高温にする実験では加熱炉の構造材として高温安定性の非常に高い材料が必要である。酸化トリウム（ThO<sub>2</sub>）は高融点（3370°C）物質であり、高温においても化学的に非常に安定であり有望な候補である。しかし、トリウムは核燃料物質であり、放射能も高いことから工業的にはあまり使われておらず、製作実績は限られている。本試作試験では、酸化トリウム構造物の製作に必要な条件を明らかにするために、酸化トリウム粉末をラバープレスにより成型し燃結することにより管状の成型体の試作を行い、外径約35mm／内径約24mm／長さ約145mm／密度約90% TDの試作体の製作に成功した。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

+ ホット試験室

\* 原子燃料工業（株）

Fabrication Test of Thoria Tube

Takehiko NAKAMURA, Kazuichiro HASHIMOTO, Hiroshi UETSUKA  
Yasuhiro NISHINO<sup>+</sup> and Nobuyuki SUZUKI<sup>\*</sup>

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

(Received October 14, 1993)

An experimental research on fission product release from Light Water Reactor (LWR) fuels under accident conditions at high temperatures is planned and being prepared in Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), which is important for evaluating the impacts of the design base events and the severe accidents of the LWRs. Short segments of irradiated LWR fuels will be induction-heated in the tests. The release behavior of the fission products is going to be studied as a function of temperature under various atmospheres. Very stable material is required for the induction furnace which stands for high temperatures exceeding 2800°C under oxidizing or reducing atmospheres. Thorium dioxide (Thoria) which has a very high melting point of 3370°C and chemically stable at high temperatures is a strong candidate. However, because thorium is controlled by the government as nuclear fuel material, experiences of fabricating thoria components are very limited except for the uses as the nuclear fuels. Fabrication tests of thoria tubes from thoria powder were conducted to clarify the fabrication parameters. A thoria tube of outer diameter of about 35mm, inner diameter of about 24mm, length of about 145mm at density of about 90% to the theoretical, was successfully fabricated from the powder by rubber pressing and sintering.

Keywords: Thorium Dioxide (Thoria), Rubber Press, Fission Product Release, Thoria Tube

---

+ Department of Hot Laboratories

\* Nuclear Fuel Industries

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. トリアの性質 .....	2
2.1 物性 .....	2
2.2 放射能 .....	3
3. トリア管試作 .....	3
3.1 金型成型 .....	4
3.2 ラバープレス成型 .....	6
4. 試 験 .....	9
5. ま と め .....	9
謝 辞 .....	10
参 考 文 献 .....	11
付録 I ORIGEN-2によるトリアの放射線強度の計算結果 .....	39

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Properties of Thorium Dioxide (Thoria) .....	2
2.1 Material Properties .....	2
2.2 Radio Activity .....	3
3. Fabrication of Thoria Tube .....	3
3.1 Pellet Fabrication .....	4
3.2 Tube Fabrication by Rubber Pressing .....	6
4. Test .....	9
5. Summary .....	9
Acknowledgements .....	10
References .....	11

Appendix I Radio Activities of Thoria estimated with  
ORIGEN-2 Code ..... 39

## 1. はじめに

軽水炉の立地評価では、仮想的に炉心から放出される核分裂生成物（Fission Product : F P）の量を想定し、例えばヨウ素の化学形としては、大部分が単体ヨウ素であると仮定し、保守的な仮定の基にソースタームの評価を行っている。しかし、T M I - 2 事故後に行われた多くの実験等から、主要なヨウ素の化学形はC s I の可能性が高いことが指摘されており、米国ではこれらの知見に基づいて立地評価用ソースタームの改訂が行われる事になっている。わが国においても、この改訂により立地評価事故用ソースタームの見直しが要求される可能性は高い。

これらの評価の基になっているデータは、主に米国で行われたF P放出実験から得られたものであり、主に高揮発性F Pの酸化雰囲気中での放出を調べた実験が多い。低揮発性のSrや短半減期の<sup>131</sup>Iの放出データあるいは、還元雰囲気での放出データ、2400°Cを超える高温での放出データ等はあまり得られていない。ところが、近年のシビアアクシデント研究の結果から、これらのデータが事故のシナリオによってはソースターム評価上極めて重要であることが明かとなっている。

シビアアクシデント時のソースタームを評価するためには、燃料からのF Pの放出、放出されたF Pの原子炉容器、1次冷却系、格納容器中の物理的および化学的挙動を精度よく評価する必要がある。これまでに、原子炉を用いた総合実験が米国SFD計画の中で、PBF、ACRR、NRU等で行われてきた。また、燃料からのF P放出挙動だけに注目した個別効果実験としては、燃料を炉外で誘導加熱等により電気加熱する実験が米国ORN (Oak Ridge National Laboratory) やCRNL (Chalk River National Laboratories) 等で行われている。

原子炉を用いた総合実験では、燃料温度は2800°C程度まで上昇しているが、燃料の温度が不均一であったり、測定系までの経路が複雑であったりするため実験結果の評価は簡単ではない。一方、炉外個別効果実験では、実験体系は単純化されており評価は比較的容易であるものの、加熱方法の困難さ等の理由により、実験の最高温度は2400°C程度に留まっている。

原研では燃料からのF P放出挙動について、上記のようなデータの不足している部分を補うための実験を計画し、その準備を進めている。実験は、軽水動力炉等で照射され燃焼した燃料棒の一部をホットセル内で誘導加熱し、酸化及び還元雰囲気で2800°Cを超える高温まで加熱し、F P放出挙動を調べる事を目的としている。このため、Fig. 1に示す構成の実験装置をホットセル内に配置するための、検討および装置の基本設計を進めている。この装置の中核となる高周波加熱炉 (Fig. 2) は、①熱的に2800°C以上を達成出来る熱出力および断熱性能を持つ必要があると共に、②加熱炉中心部の試料を内包する管は酸化あるいは還元性雰囲気で2800°C以上の高温に耐え、周囲の黒鉛の発熱体を酸化させないための密封境界として機能しなくてはならない。一般的に使われている高温材料のタンクスチン (W) は2800°C以上には耐えるが、酸化雰囲気等の活性な雰囲気では使用できず、アルミナ ( $Al_2O_3$ ) やジルコニア ( $ZrO_2$ ) といったセラミックは化学的には安定であるものの目的とする高温に耐えられない。これらの、技術的問題点を解決するために、①タンクスチンを使った試作炉により、不

活性な雰囲気で2800°C以上を達成し、熱的に必要な仕様を確認する、②高融点セラミックの酸化トリウム（トリア： $\text{ThO}_2$ 、融点3370°C）の試作を行い、トリア製の加熱炉構造材の製作方法を開発する、事とした。本報告書は上記②の目的で行ったトリア管の試作試験の結果と、文献等により得られたトリアの性質をまとめたものである。

## 2. トリアの性質

天然に産出されるトリウム $^{232}\text{Th}$ は、これ自身は核分裂性ではないが、原子炉で照射すると( $n, \gamma$ )反応により生成した $^{233}\text{Th}$ が2度 $\beta^-$ 崩壊することにより $^{233}\text{U}$ となる。この核種 $^{233}\text{U}$ が核分裂性であるため原子力基本法等によりトリウムも核燃料物質とされている。また、 $^{232}\text{Th}$ は中性子照射をしなくとも $\alpha$ 崩壊するため、精製後時間の経過につれて娘核種により $\gamma$ 線強度が強くなるためにある程度の量を使用する場合にはしゃへい等の措置が必要となる。このため金属トリウム、酸化トリウム（トリア、 $\text{ThO}_2$ ）、炭化トリウム（ $\text{ThC}$ 、 $\text{ThC}_2$ ）等が原子炉燃料としてその特性が調べられている[1]ものの、その他の工業用品として使用例はほとんど無い。しかし、Table 1にまとめた上記トリウム化合物の主要な特性に示されるとおり、トリウム化合物の中でもトリア（ $\text{ThO}_2$ ）は融点が3370°Cと非常に高く、化学的にも非常に安定であることから、実験室用の高温加熱用るつぼ等が一部実用化されている。ただし、製作例は加国A E C L (Atomic Energy of Canada Limited) のC R N Lによる皿状／るつぼ状の物、米国ORNLにより以前に製作された管、等に限られている。トリアについてその物性を文献[1]に報告されている値を中心に、以下にまとめる。

### 2. 1 物性

酸化トリウム（トリア）は、融点が高く（3370°C）、しかも結晶構造が単相であるためジルコニア（ $\text{ZrO}_2$ ）のように安定剤を添加する必要がなくアルミナに似た特性を有している。また、化学的に非常に安定であり、酸化および還元雰囲気で高温まで使用できる。トリア粉末は、通常、トリウムの硝酸溶液中にアンモニアを加え沈殿させて、脱水・焙焼して得られる白色の粉末である。

トリアの性質を二酸化ウラン（ $\text{UO}_2$ ）と比較して、Table 2に示す。トリアは $\text{UO}_2$ と同じ結晶構造を持つが、融点、熱伝導度は大きく、比熱、熱膨張係数は同程度かやや小さい[2~6]。 $\text{Th}$ と $\text{ThO}_2$ の相図はBenz[7]によってFig. 3の様に提案されている。トリアの熱伝導度を温度の関数としてFig.4に示す。トリアの熱伝導度は $\text{UO}_2$ に比べて室温では約2倍大きいが、温度が高くなるにつれてその差は小さくなって行き、727°C (1,000K) では約20%大きいだけに留まっている。

活性な雰囲気で2800°C以上を達成し、熱的に必要な仕様を確認する、②高融点セラミックの酸化トリウム（トリア： $\text{ThO}_2$ 、融点3370°C）の試作を行い、トリア製の加熱炉構造材の製作方法を開発する、事とした。本報告書は上記②の目的で行ったトリア管の試作試験の結果と、文献等により得られたトリアの性質をまとめたものである。

## 2. トリアの性質

天然に産出されるトリウム $^{232}\text{Th}$ は、これ自身は核分裂性ではないが、原子炉で照射すると( $n, \gamma$ )反応により生成した $^{233}\text{Th}$ が2度 $\beta^-$ 崩壊することにより $^{233}\text{U}$ となる。この核種 $^{233}\text{U}$ が核分裂性であるため原子力基本法等によりトリウムも核燃料物質とされている。また、 $^{232}\text{Th}$ は中性子照射をしなくとも $\alpha$ 崩壊するため、精製後時間の経過につれて娘核種により $\gamma$ 線強度が強くなるためにある程度の量を使用する場合にはしゃへい等の措置が必要となる。このため金属トリウム、酸化トリウム（トリア、 $\text{ThO}_2$ ）、炭化トリウム（ $\text{ThC}$ 、 $\text{ThC}_2$ ）等が原子炉燃料としてその特性が調べられている[1]ものの、その他の工業用品として使用例はほとんど無い。しかし、Table 1にまとめた上記トリウム化合物の主要な特性に示されるとおり、トリウム化合物の中でもトリア（ $\text{ThO}_2$ ）は融点が3370°Cと非常に高く、化学的にも非常に安定であることから、実験室用の高温加熱用るつぼ等が一部実用化されている。ただし、製作例は加国A E C L (Atomic Energy of Canada Limited) のC R N Lによる皿状／るつぼ状の物、米国ORNLにより以前に製作された管、等に限られている。トリアについてその物性を文献[1]に報告されている値を中心に、以下にまとめる。

### 2. 1 物性

酸化トリウム（トリア）は、融点が高く（3370°C）、しかも結晶構造が単相であるためジルコニア（ $\text{ZrO}_2$ ）のように安定剤を添加する必要がなくアルミナに似た特性を有している。また、化学的に非常に安定であり、酸化および還元雰囲気で高温まで使用できる。トリア粉末は、通常、トリウムの硝酸溶液中にアンモニアを加え沈殿させて、脱水・焙焼して得られる白色の粉末である。

トリアの性質を二酸化ウラン（ $\text{UO}_2$ ）と比較して、Table 2に示す。トリアは $\text{UO}_2$ と同じ結晶構造を持つが、融点、熱伝導度は大きく、比熱、熱膨張係数は同程度かやや小さい[2~6]。 $\text{Th}$ と $\text{ThO}_2$ の相図はBenz[7]によってFig. 3の様に提案されている。トリアの熱伝導度を温度の関数としてFig.4に示す。トリアの熱伝導度は $\text{UO}_2$ に比べて室温では約2倍大きいが、温度が高くなるにつれてその差は小さくなって行き、727°C (1,000K) では約20%大きいだけに留まっている。

トリアは高温においても水蒸気との反応性は小さく[8]、金属ともほとんど反応しない。ニオブ、タンタル、タングステンについては1540°C (1,813K) で1,000h以上接触をしていても反応しない事が知られている[9]。

## 2. 2 放射能

天然にあるトリウムは、そのほぼ100%が<sup>232</sup>Thである。<sup>232</sup>Thは $\alpha$ 崩壊核種で、その半減期は $1.41 \times 10^{10}$ 年と非常に長くこの核種自身の比放射能は大きくない。しかし、<sup>232</sup>ThはFig.5[10]に示すトリウム系列（4n系列）で崩壊する。この系列に含まれる娘核種は半減期数日以下の短半減期の核種が多いが、<sup>228</sup>Raおよび<sup>228</sup>Tlがそれぞれ半減期5.76年および1.91年と長く、これらが蓄積して行くことによって放射能が上昇して行く。ORIGEN-2コードによる計算の結果、100gのトリウムを含む酸化トリウムは精製直後、つまり100%<sup>232</sup>Thの場合、その放射能は約11μCi ( $4.1 \times 10^5$ Bq) に過ぎないが、Fig. 4に示すように時間と共に上昇し、50年後に約10倍になりほぼ飽和する。崩壊に伴って発生する中性子は毎秒1個程度と極わずかであり無視できるが、 $\gamma$ 線については高エネルギーの $\gamma$ 線を放出する<sup>208</sup>Tl等の娘核種が増えることから、放射能増加率を上回る増加率で $\gamma$ 線の強度が上昇し、50年後には初期強度の約2000倍に達する(Fig. 6)。発生する $\gamma$ 線のエネルギー分布は、Fig. 7に示す様に精製後短時間には娘核種の発生により大きく変化するが、3カ月以降はさらに時間が経過しても大きくは変化しない。ORIGEN-2コード[10]によるトリウム100gの放射能および放出放射線の時間変化の計算結果を付録1に示す。

照射済み燃料からのFP放出挙動を調べる実験では、1000g程度のThO<sub>2</sub>を使用する計画であり、精製後10年以上を経過したトリウムを使用する可能性も高い。従って、ホットセル外での取扱に於いては $\gamma$ 線による被曝を小さくするための措置が必要となる。

## 3. トリア管試作

トリア管を試作するに先立って、金型成形により直径約10mm高さ約10mmのペレットを作製し、成形性、焼結性を調べた。ここでは、トリアの粉末処理、成形圧、焼結温度、焼結雰囲気をパラメータとした。この結果を踏まえて、ラバープレス成形による管の試作を行った。ここでは、粉末処理(バインダー効果を含む)、ゴム型形状、成形圧、焼結条件をパラメータに成形性、焼結性を調べた。

試作に用いたトリア原料は、伝熱流動研究室が絶縁断熱材料として原研・東海研の核燃料倉庫に保管していたトリア粉末約4.9kgを使用した。試作作業のうち、粉末の調整、金型プレス、焼結、試験検査は原子燃料工業・東海製造所で、ラバープレスは原研東海の融体・燃料プロ

トリアは高温においても水蒸気との反応性は小さく[8]、金属ともほとんど反応しない。ニオブ、タンタル、タングステンについては1540°C (1,813K) で1,000h以上接触をしていても反応しない事が知られている[9]。

## 2. 2 放射能

天然にあるトリウムは、そのほぼ100%が<sup>232</sup>Thである。<sup>232</sup>Thは $\alpha$ 崩壊核種で、その半減期は $1.41 \times 10^{10}$ 年と非常に長くこの核種自身の比放射能は大きくない。しかし、<sup>232</sup>ThはFig.5[10]に示すトリウム系列（4n系列）で崩壊する。この系列に含まれる娘核種は半減期数日以下の短半減期の核種が多いが、<sup>228</sup>Raおよび<sup>228</sup>Tlがそれぞれ半減期5.76年および1.91年と長く、これらが蓄積して行くことによって放射能が上昇して行く。ORIGIN-2コードによる計算の結果、100gのトリウムを含む酸化トリウムは精製直後、つまり100%<sup>232</sup>Thの場合、その放射能は約11μCi ( $4.1 \times 10^5$ Bq) に過ぎないが、Fig. 4に示すように時間と共に上昇し、50年後に約10倍になりほぼ飽和する。崩壊に伴って発生する中性子は毎秒1個程度と極わずかであり無視できるが、 $\gamma$ 線については高エネルギーの $\gamma$ 線を放出する<sup>208</sup>Tl等の娘核種が増えることから、放射能増加率を上回る増加率で $\gamma$ 線の強度が上昇し、50年後には初期強度の約2000倍に達する(Fig. 6)。発生する $\gamma$ 線のエネルギー分布は、Fig. 7に示す様に精製後短時間には娘核種の発生により大きく変化するが、3カ月以降はさらに時間が経過しても大きくは変化しない。ORIGIN-2コード[10]によるトリウム100gの放射能および放出放射線の時間変化の計算結果を付録1に示す。

照射済み燃料からのFP放出挙動を調べる実験では、1000g程度のThO<sub>2</sub>を使用する計画であり、精製後10年以上を経過したトリウムを使用する可能性も高い。従って、ホットセル外での取扱に於いては $\gamma$ 線による被曝を小さくするための措置が必要となる。

## 3. トリア管試作

トリア管を試作するに先立って、金型成形により直径約10mm高さ約10mmのペレットを作製し、成形性、焼結性を調べた。ここでは、トリアの粉末処理、成形圧、焼結温度、焼結雰囲気をパラメータとした。この結果を踏まえて、ラバープレス成形による管の試作を行った。ここでは、粉末処理(バインダー効果を含む)、ゴム型形状、成形圧、焼結条件をパラメータに成形性、焼結性を調べた。

試作に用いたトリア原料は、伝熱流動研究室が絶縁断熱材料として原研・東海研の核燃料倉庫に保管していたトリア粉末約4.9kgを使用した。試作作業のうち、粉末の調整、金型プレス、焼結、試験検査は原子燃料工業・東海製造所で、ラバープレスは原研東海の融体・燃料プロ

ロセス研究室で行った。

試作試験に用いたトリア粉末はそれぞれ約1 kgの4つのロットに分かれており、それらのかさ密度を求めた。粉末の外観写真をPhoto. 1に、かさ密度をTable 3に示す。なお、かさ密度はトリア粉末40gをそのまま処理せずに体積測定をして求めた。

### 3. 1 金型成型

トリア粉末の成型性、焼結性の概略を知るために、以下に示すパラメータでスコーピング試験を行った。さらに、焼結密度を上げるため、ボールミル粉碎による粉末処理を加えた試験を行った。

#### 試作条件

金型成型では直径約10mm、高さ約10mmのペレット状の成型体を製作した。試作パラメータとして、成型圧を2~4 t/cm<sup>2</sup>、焼結温度を1300~1600°C、焼結雰囲気を空気あるいは窒素として試作を行った。焼結時には、約320°C/hで昇温し、焼結温度に2 h保持した後降温した。試作条件をTable 4にまとめた。また、試験の一部においてはボールミルで2~24 h粉碎した粉末を材料に使用した。試作に使用したプレス装置の外観をPhoto. 2に、金型の外観をPhoto. 3に、ボールミルの外観をPhoto. 4に示す。また、以降の記述で成型後の密度は寸法重量法で求めた。なお、焼結後等でペレットがつづみ型等に変形している場合は上中下3箇所で測定した直径の平均値を代表寸法として体積を求めた。

#### 未粉碎粉末を使用した試作試験の結果

プレス成型したトリアペレットの外観をPhoto. 5に示す。今回の試作試験に使用したトリア粉末はかさ密度が平均で、0.89 g/cm<sup>3</sup>であり、軽水炉燃料の原料として使用するUO<sub>2</sub>粉末のかさ密度約2 g/cm<sup>3</sup>に比べて1/2以下と小さく、成型により大きな圧力を必要とした。粉末調整を行わないそのままのトリア粉末を使用した場合、成型圧3 t/cm<sup>2</sup>で成型密度は約5 g/cm<sup>3</sup>とかさ密度の5倍以上となった。未調整粉末について成型圧を2~4 t/cm<sup>2</sup>と変化させたときの成型密度をFig. 8に示す。成型圧が大きくなると成型密度もやや大きくなるが、成型圧をあまり大きくしても成型密度の増え方は小さい。この傾向はUO<sub>2</sub>粉末の場合と同じである。なお、成型後のペレットには欠陥は認められなかった。成型後のトリアペレットの外観をPhoto. 5に示す。

上述の成型体を空気雰囲気中で1500°C、あるいは窒素雰囲気中で1300°Cおよび1600°Cで2 h焼結した。焼結後のトリアペレットの外観をPhoto. 6に示す。焼結後、空気雰囲気で1500°Cおよび窒素雰囲気で1300°Cで焼結したもの一部にクラックが発生していた。クラックの発生と成型圧および成型密度との間には特に関係は認められず、原因は成型をハンドプレスで行ったことによるペレット中の密度勾配によるものと考えられる。ハンドプ

レス成型では一定の成型速度で成型が出来ず、どうしてもステップ状に加圧することになるため、ペレットの高さ方向に不連続な密度勾配ができ、これが焼結時のクラック発生の原因になっていると考えられる。

焼結後、ペレットの密度は  $9 \text{ g/cm}^3$  程度まで上昇した。Fig.9に焼結条件による成型密度と焼結密度の関係を示す。この図から、成型密度が大きいほど、焼結温度が高いほど焼結密度が大きくなることが分かる。また、空气中で  $1500^\circ\text{C}$  で焼結したペレットは窒素中で  $1300^\circ\text{C}$  で焼結したペレットと比べて焼結密度は若干大きいものの大差なく、高密度のペレットを製作するためには窒素雰囲気が望ましいことが分かる。なお、空気雰囲気で焼結したペレットについては若干変色が見られた。焼結後のペレット重量は約 5 % 減少しており、水分を主とした不純物の揮発によるものと考えられる。

以上の結果、 $90\% \text{ TD}$  ( $9 \text{ g/cm}^3$ ) 以上のペレット焼結密度を得るために成型圧  $3 \text{ t/cm}^2$  以上で成型し、窒素雰囲気中で  $1600^\circ\text{C} \cdot 2 \text{ h}$  焼結する事が必要であることが分かった。

### 粉碎粉末を使用した試作試験の結果

ボールミルによりトリア粉末を粉碎し、粉碎による成型性、焼結性の変化を調べた。粉碎は  $500 \text{ cc}$  のめのう製乳鉢にトリア粉末  $160 \text{ g}$  とめのう製直径  $20 \text{ mm}$  のボール 15 個を入れ (Photo. 7 参照)、乳鉢を回転させて最長  $24 \text{ h}$  行った。Fig.10に粉碎時間とかさ密度の関係を示す。かさ密度は粉碎時間につれて増加し、粉碎  $2 \text{ h}$  で約 2 倍になった。その後も、若干増加はするものの  $2 \text{ g/cm}^3$  に留まった。

粉碎を  $2 \text{ h}$  行った粉末と  $24 \text{ h}$  行った粉末をプレス成型した結果を Fig.11 に示す。成型圧力と成型密度は未粉碎粉を使用した場合と大差ない。粉碎時間  $10 \text{ h}$  および  $15 \text{ h}$  の結果も同様の傾向を示し、 $2 \text{ h}$  と  $24 \text{ h}$  の中間の値を示した。

粉碎粉を成型したペレットの焼結試験の結果を Fig.12 に示す。粉碎時間  $2 \text{ h}$  の結果は未粉碎粉を使った場合と同様に、成型密度が高いほど焼結密度が高くなる傾向を示しているが、粉碎時間  $24 \text{ h}$  の場合は成型密度によらずほぼ一定の焼結密度となっている。焼結密度そのものは  $90\% \text{ TD}$  を若干上回るに留まり、未粉碎粉を使用した場合と大差無かった。しかし、粉碎粉を使用した場合は成型密度が低くても高い焼結密度が得られている。空气中  $1500^\circ\text{C}$  で焼結する試験も行ったが未粉碎粉を使用した場合と同じく  $90\% \text{ TD}$  を超える焼結密度は得られなかった。なお、粉碎粉を使用した場合においても焼結の結果、一部のペレットに系統的でないクラックが発生した。

以上の結果から、 $90\% \text{ TD}$  ( $9 \text{ g/cm}^3$ ) 以上のペレット焼結密度を得るために未粉碎粉を使用する場合、成型圧  $3 \text{ t/cm}^2$  以上で成型し、窒素雰囲気中で  $1600^\circ\text{C} \cdot 2 \text{ h}$  焼結する事が必要であることが分かった。粉碎粉を使用することにより焼結密度は成型密度にあまり依存しなくなり、成型圧は  $2 \text{ t/cm}^2$  程度まで下げられるが、得られる最高焼結密度は未粉碎粉を使用した場合と大差なく  $9.3 \text{ g/cm}^3$  程度であることが分かった。金型成型試験の結果を得られた密度

のうち主なものをTable 5にまとめた。

### 3. 2 ラバープレス成型

金型成型試験で得られた結果を基にラバープレス成型試験を行った。試験ではゴム型の形状、トリア粉末の調整、プレス圧力等をパラメータに10回の試作を行った。また、トリア管の試作に先だってアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 粉末によるラバープレス予備試作を行った。

#### 試作条件

トリア管の試作に当たっては、まずアルミナ管の試作を行い、ゴム型、プレス装置および手順等に問題が無いことを確認した。

試作用にシリコンゴム製のゴム型4種類を用いて、粉末調整、成型圧等Table 6に示す項目をパラメータに10回の試作を行った。10回の試作条件をTable 7に整理した。また、ゴム型の構造をFig. 13に、ラバープレス装置の外観をPhoto. 8に示す。ゴム型は内径50mmのシリコンゴムの円筒にやや硬度の高いゴム製の上下端栓を取り付ける構造であり、中心には直径10～30mmのステンレス鋼製の心棒が入る。心棒はI～IIIタイプのゴム型ではゴム製の円筒より5mm短く、プレス時には半径方向のみならず長さ方向にも圧縮される構造となっている。タイプIVのゴム型は長さ方向のプレスのない形状とした。また、ラバープレス装置は円筒状の加圧容器を持ち、直径約20cm長さ約50cmまでの試料に対し、潤滑用の油を混ぜた水をポンプで加圧容器に注入し、2t/cm<sup>2</sup>までの加圧を行うことが出来る。

#### アルミナ管試作結果

アルミナ291gを外径50mm/内径30mm/長さ190mmのタイプIのゴム型に充填し、2t/cm<sup>2</sup>で5分間ラバープレスした。成型後の寸法は両端部近傍で外径43mm、中央部で41mm、内径30mm、長さ190mmであった。成型体が中央部でくびれているのはゴム型両端はゴム製端栓により潰れにくい構造となっているためであり、肉厚変化の無い完全な管を作るためにはプレス成型後に旋盤等による加工を行う必要がある。アルミナ管の成型密度は約2.3g/cm<sup>3</sup>であり、理論密度のほぼ60%に達していた。この試験により、ゴム型の気密性、硬さ、構造、さらにラバープレス装置の運転等に特に問題が無いことが確認できた。

#### トリア管試作結果

トリア粉末のラバープレス試験10回は5日に分けて行った。第1日目は主としてプレス圧をパラメータに1～3回の試作を、第2日は剥離剤を用いて4、5回の試作を行った。ここまで試作の結果から、成型体の管厚が小さいことが判明したので、心棒を細くしたタイプIIのゴム型を用いて第3日に試作6および7を行った。第4日には、さらに造粒粉を用いてかさ密

度を上げた試作8を行った。造粒粉を用いることにより十分なかさ密度および管厚が得られる見通しが得られたため最終の第5日に行った試作9および10では、心棒の太さを30mmに戻した。しかし、試作7および8による成型体に見られた周方向のクラックを防ぐため軸方向の圧縮を行わないタイプIVのゴム型を試作9および10には用いた。それぞれの試作における条件はTable 7にまとめた。

第1日に行った試作1～3では、 $2\text{t}/\text{cm}^2$ の成型圧を加えた試作2および3では、Photo.9に示すように成型体がステンレス鋼製心棒から剥離していた。成型圧 $1\text{t}/\text{cm}^2$ で行った試作1では、ゴム型解体時には形を保持していた(Photo. 9)ものの、心棒を抜くときに分裂してしまった。なお、試作1、2では長さ190mmの短尺ゴム型Ⅰを、試作3では長さ300mmのゴム型Ⅲを用いた。この結果から成型圧は低い方がよいこと、心棒と成型体の分離を良くするための剥離剤の使用が必要であることが明かとなった。

第2日に行った試作4、5では、このため成型圧をさらに下げ、それぞれ0.3、0.4t/cm<sup>2</sup>とした。さらに、心棒にステアリン酸亜鉛の粉末をエチルアルコールに分散させたものを塗布した。この結果、Photo.10に示す様にプレス終了時には試作4、5共に試作1～3に比べて良い形状を保っている。しかし、試作5では下部にクラックが見え、中央部でトリア管壁の剥離が見られる。試作4ではあまり欠陥はないが、心棒を引き抜くときにPhoto.11に示す通り、4分割してしまった。この結果から、剥離剤の効果が十分でないこと、低い圧力による成型では成型体の強度が十分でないことが明かとなった。

第3日には試作6、7を行った。これらの試作から心棒にはテフロンをスプレーコーティングした。また、これまでの試作結果から、これまでの試作条件ではプレス後のトリア管の肉圧は3～4mmに過ぎず、薄く脆いことが分かってきたため、心棒の直径を30mmから10mmへと細くしたゴム型Ⅱを用い、トリア粉末の充填量を増し、厚肉化を図った。試作7では、さらにかさ密度を上げるために2時間粉碎した粉を用いた。この結果試作7では充填密度が従来の試作での1.3～1.5g/cm<sup>3</sup>に比べて30%以上上昇し、2.0g/cm<sup>3</sup>になった。また、充填量は試作6では500g、試作7では700gと、ゴム型Ⅰを使用した従来の試作に比べて50～100%上昇した。これらの充填物を試作6、7においてそれぞれ圧力1および0.3t/cm<sup>2</sup>で成型した結果、試作7では成型後の肉厚約1.2mmと、これまでの成型体3～4mmの3倍以上の厚肉の管が得られた。ただし、成型体には周方向のクラックが見られた。試作6の成型体は、軸方向の割れにより心棒を引き抜くときに3片に分裂した(Photo.12)。試作7の成型体については、窒素雰囲気で2時間1600℃に保持する焼結(昇温速度約100℃/h)を行った。この結果、焼結体は成型時に生じた周方向応力を加えて、軸方向にもクラックが生じ、Photo.13に示す外観となった。この焼結によりトリア管の外径は34.5mmから29.5mmへ、内径は10mmから8mmへ、長さは144mmから120mmへと収縮した。収縮率は80～85%であり、焼結体の密度は理論密度の70%に当たる7g/cm<sup>3</sup>となった。これらの試作の結果、粉碎粉を用いれば高い充填密度が得られ、欠陥の少ない成型体が得られるものの、

強度に問題があり焼結に耐えないことが分かった。

第4日に行った試作8では、さらに成型体の強度を高めるため、一度加圧成型したトリアを再び粉碎、造粒した粉末を用いてゴム型成型を行った。この結果充填密度は、粉末調整を行わないオリジナル粉末を使用した場合の約2倍の $2.8 \text{ g/cm}^3$ に達した。これを、 $0.3 \text{ t/cm}^2$ で5分間、さらに $1.0 \text{ t/cm}^2$ で30分間加圧成型した。この結果、Photo. 14に示すように中央部の周方向のクラックにより2つに分裂してはいるものの、比較的欠陥の少ない成型体が出来た。しかし、成型体の管厚は約15mmもあり、造粒粉をゴム型Ⅱに充填すると、管の肉厚が過大となる事がわかった。成型体の外径／内径／長さはそれぞれ39.1mm／10mm／89.3mmであった。

第5日には試作9および10を行った。前回の試作結果から、①一度加圧成型した後再粉碎した造粒粉を使用する場合には、ゴム型Ⅰタイプの充填厚み10mmのゴム型で十分な管厚が得られるであろう事、②周方向の亀裂は、成型圧を開放するときにゴム型は半径方向および軸方向に伸びるが、ゴムの強度の関係からまず軸方向に伸びること、さらに成型体が上下端で膨らんだつづみ型をしていることによって軸方向に引っ張られて中央部で亀裂を生じ分裂している可能性が高い事、が分かったので以下の対策を講じたゴム型Ⅳを製作し、これを試作9、10に用いた。対策は、①心棒を30mmにする、②心棒の長さをゴム型と同じにし軸方向に5mmあった圧縮代を無くす、の2点である。また、試作10では成型体の強度をさらに高めるため造粒粉にバインダーとして重量比3%のポリビニルアルコール(PVA)粉末を添加した。試作8と同じ条件の、 $0.3 \text{ t/cm}^2$ で5分間／ $1.0 \text{ t/cm}^2$ で30分間の圧縮成型の結果、試作9、10とも欠陥のない成型体が出来た。これを窒素雰囲気中で、試作9では通常の半分の昇温速度( $50^\circ\text{C}/\text{h}$ )で、試作10では通常の昇温速度( $100^\circ\text{C}/\text{h}$ )でそれぞれ $1600^\circ\text{C}$ まで昇温し、2時間保持する焼結を行った。焼結後の外観写真をPhoto.15に示す。添加物を入れていない試作9では、表面は滑らかで焼結も進んでおり、表面は灰色がかった白色をしている。他方、PVAを3%添加した試作10は表面が荒く脆い感じで焼結も余り進んでいない。試作10の焼結体は、全体がクリーム色に着色されている。これは焼結時に気化／分解したPVAとの反応によるものと考えられる。

以上ラバープレスによるトリア管の試作試験の結果の概略をTable 8にまとめた。これらの結果から、一度プレスしたトリア粉末を粉碎して得られた造粒粉を使用することによって、充填密度は $2.7 \text{ g/cm}^3$ 程度が得られ、成型圧 $1 \text{ t/cm}^2$ でプレスすることにより十分な強度を有する加圧成型体が得られた。この時、軸方向に加圧する構造のゴム型では、減圧時に軸方向に成型体を引きちぎろうとする力が働くため、プレスは半径方向のみとするほうが良いことが分かった。焼結条件は、ペレットと同じ窒素雰囲気で $1600^\circ\text{C}$ で十分な焼結結果が得られた。粉末にバインダーとしてPVAを添加した試作では、加圧成型までは問題がなかったが、焼結はうまく進まない結果となった。

## 4. 試験

前節で述べた10回の試作の内、最も良くできた試作9の成型体と焼結体について、詳しい寸法・重量検査を行い、結果をTable 9にまとめた。Photo. 15に見られるようにトリア管は、上下端が局部的に膨らんだつづみ型をしている。従って、中間部と上下端の寸法を同じ重み付けて平均して得られた半径を用いて得られた体積は過大評価になっている。したがってこの体積から評価された、密度 $8.2 \text{ g/cm}^3$ は過小評価になっていると考えられる。ちなみに、中間部の外径を代表値として評価した密度は $9.4 \text{ g/cm}^3$ であり、実際の密度は $9.0 \text{ g/cm}^3$ 前後であると考えられる。なお、水浸法による体積測定も行ったが、メスシリンダーの精度不足により満足のいく結果は得られなかった。

F P放出実験に用いるトリア管は当面、外径 $30 \text{ mm}$ 、肉厚 $3 \text{ mm}$ 、長さ $300 \text{ mm}$ の物を考えている。今回の試作9による焼結後のトリア管の肉厚は中間部においても $4.85 \text{ mm}$ あり試作目標であった $3 \text{ mm}$ に比べてやや厚い。しかし、焼結後の寸法を加熱炉の組立に必要な精度に仕上げるためにはプレス後／焼結前に旋盤加工等による仕上げが必要であると考えられ、この程度肉厚に余裕があることが必要である。内径は $24.2 \text{ mm}$ で、予定していた $24 \text{ mm}$ とほぼ一致した。長さに付いては $145.1 \text{ mm}$ と予定の約半分であるが、ゴム型の長尺化により問題なく対応できるものと考えられる。ただし、加圧成型体の旋盤等による加工性については、さらに試験が必要と考えられる。

試作したトリア管の機械的強度を調べる目的で、試作9の焼結体をPhoto.16に示す様に、直徑 $80 \text{ mm}$ の加圧面を持つハンドプレスにはさみ、ゆっくりと加圧して破壊強度を調べた。焼結管は加圧量約 $150 \text{ kg/cm}^2$ で破壊した。

また、質量約 $600 \text{ g}$ の試作9の試作体は、その表面で約 $65 \mu\text{Sv/h}$ の線量当量率であった。

## 5. まとめ

金型成型試験の結果から、 $90\% \text{ TD}$  ( $9 \text{ g/cm}^3$ ) 以上のペレット焼結密度を得るために未粉碎粉を使用する場合、成型圧 $3 \text{ t/cm}^2$ 以上で成型し、窒素雰囲気中で $1600^\circ\text{C} \cdot 2 \text{ h}$ 焼結する事が必要であることが分かった。粉碎粉を使用することにより焼結密度は成型密度にあまり依存しなくなり、成型圧を $2 \text{ t/cm}^2$ 程度まで下げても未粉碎粉を成型圧 $3 \text{ t/cm}^2$ 以上で成型した場合と同程度の焼結密度が得られるが、最高焼結密度は未粉碎粉を使用した場合と大差なく $9.3 \text{ g/cm}^3$ 程度であることが分かった。

さらに、トリア粉末をラバープレスにより成型し焼結することによって外径約 $35 \text{ mm}$ /内径約 $24 \text{ mm}$ /長さ約 $145 \text{ mm}$ /密度約 $90\% \text{ TD}$ トリア管の試作に成功した。この結果、F P放出実験に使用する管形状のトリア構造物を製作できる目途が得られると共に、粉末調整、プレス、焼結等の工程での必要な条件が明かとなった。つまり、一度プレスしたトリア粉末を粉碎して

## 4. 試験

前節で述べた10回の試作の内、最も良くできた試作9の成型体と焼結体について、詳しい寸法・重量検査を行い、結果をTable 9にまとめた。Photo. 15に見られるようにトリア管は、上下端が局部的に膨らんだつづみ型をしている。従って、中間部と上下端の寸法を同じ重み付けて平均して得られた半径を用いて得られた体積は過大評価になっている。したがってこの体積から評価された、密度 $8.2 \text{ g/cm}^3$ は過小評価になっていると考えられる。ちなみに、中間部の外径を代表値として評価した密度は $9.4 \text{ g/cm}^3$ であり、実際の密度は $9.0 \text{ g/cm}^3$ 前後であると考えられる。なお、水浸法による体積測定も行ったが、メスシリンダーの精度不足により満足のいく結果は得られなかった。

FP放出実験に用いるトリア管は当面、外径 $30 \text{ mm}$ 、肉厚 $3 \text{ mm}$ 、長さ $300 \text{ mm}$ の物を考えている。今回の試作9による焼結後のトリア管の肉厚は中間部においても $4.85 \text{ mm}$ あり試作目標であった $3 \text{ mm}$ に比べてやや厚い。しかし、焼結後の寸法を加熱炉の組立に必要な精度に仕上げるためにはプレス後／焼結前に旋盤加工等による仕上げが必要であると考えられ、この程度肉厚に余裕があることが必要である。内径は $24.2 \text{ mm}$ で、予定していた $24 \text{ mm}$ とほぼ一致した。長さに付いては $145.1 \text{ mm}$ と予定の約半分であるが、ゴム型の長尺化により問題なく対応できるものと考えられる。ただし、加圧成型体の旋盤等による加工性については、さらに試験が必要と考えられる。

試作したトリア管の機械的強度を調べる目的で、試作9の焼結体をPhoto.16に示す様に、直徑 $80 \text{ mm}$ の加圧面を持つハンドプレスにはさみ、ゆっくりと加圧して破壊強度を調べた。焼結管は加圧量約 $150 \text{ kg/cm}^2$ で破壊した。

また、質量約 $600 \text{ g}$ の試作9の試作体は、その表面で約 $65 \mu\text{Sv/h}$ の線量当量率であった。

## 5. まとめ

金型成型試験の結果から、 $90\% \text{ TD}$  ( $9 \text{ g/cm}^3$ ) 以上のペレット焼結密度を得るために未粉碎粉を使用する場合、成型圧 $3 \text{ t/cm}^2$ 以上で成型し、窒素雰囲気中で $1600^\circ\text{C} \cdot 2 \text{ h}$ 焼結する事が必要であることが分かった。粉碎粉を使用することにより焼結密度は成型密度にあまり依存しなくなり、成型圧を $2 \text{ t/cm}^2$ 程度まで下げても未粉碎粉を成型圧 $3 \text{ t/cm}^2$ 以上で成型した場合と同程度の焼結密度が得られるが、最高焼結密度は未粉碎粉を使用した場合と大差なく $9.3 \text{ g/cm}^3$ 程度であることが分かった。

さらに、トリア粉末をラバープレスにより成型し焼結することによって外径約 $35 \text{ mm}$ /内径約 $24 \text{ mm}$ /長さ約 $145 \text{ mm}$ /密度約 $90\% \text{ TD}$ トリア管の試作に成功した。この結果、FP放出実験に使用する管形状のトリア構造物を製作できる目途が得られると共に、粉末調整、プレス、焼結等の工程での必要な条件が明かとなった。つまり、一度プレスしたトリア粉末を粉碎して

得られた造粒粉を使用することによって、充填密度は $2.7\text{ g/cm}^3$ 程度が得られ、成型圧 $1\text{ t/cm}^2$ でプレスすることにより十分な強度を有する加圧成型体が得られることが分かった。この時、軸方向に加圧する構造のゴム型では、減圧時に軸方向に成型体を引きちぎろうとする力が働くため、加圧は半径方向のみとするほうが良かった。焼結条件は、ペレットと同じ窒素雰囲気で $1600^\circ\text{C}$ で十分な焼結結果が得られた。粉末にバインダーとしてPVAを添加した試作では、加圧成型までは問題がなかったが、焼結はうまく進まない結果となった。

### 謝 辞

本研究を行うに当たっては、伝熱流動研究室の村尾良夫室長のご厚意によりトリア粉末を提供して頂きました。また、ラバープレスの使用に当たっては、融体・燃料プロセス研究室の高橋良寿氏、山岸滋氏、ならびに小川徹室長の協力を得ました。記して感謝します。さらに、数回に及ぶトリアの受払いについては、沼田和義氏をはじめとして核燃料課諸氏の協力を得ました。また、トリア粉末の調整、焼結等の作業においては高野文夫氏をはじめとする原子燃料工業・新型炉燃料部の諸氏の協力を得ました。ここに、記して感謝します。

得られた造粒粉を使用することによって、充填密度は $2.7\text{ g/cm}^3$ 程度が得られ、成型圧 $1\text{ t/cm}^2$ でプレスすることにより十分な強度を有する加圧成型体が得られることが分かった。この時、軸方向に加圧する構造のゴム型では、減圧時に軸方向に成型体を引きちぎろうとする力が働くため、加圧は半径方向のみとするほうが良かった。焼結条件は、ペレットと同じ窒素雰囲気で $1600^\circ\text{C}$ で十分な焼結結果が得られた。粉末にバインダーとしてPVAを添加した試作では、加圧成型までは問題がなかったが、焼結はうまく進まない結果となった。

### 謝 辞

本研究を行うに当たっては、伝熱流動研究室の村尾良夫室長のご厚意によりトリア粉末を提供して頂きました。また、ラバープレスの使用に当たっては、融体・燃料プロセス研究室の高橋良寿氏、山岸滋氏、ならびに小川徹室長の協力を得ました。記して感謝します。さらに、数回に及ぶトリアの受払いについては、沼田和義氏をはじめとして核燃料課諸氏の協力を得ました。また、トリア粉末の調整、焼結等の作業においては高野文夫氏をはじめとする原子燃料工業・新型炉燃料部の諸氏の協力を得ました。ここに、記して感謝します。

## 参考文献

- [1] M. Kanno, "Physical and Chemical Properties of Thorium Fuel".
- [2] Ohnysty and Rose, J. Am. Chem. Soc. 47, p. 398, 1964.
- [3] WAPD-TM-618 Add. I, p.11, (402).
- [4] 軽水炉燃料のふるまい編集委員会、"軽水炉燃料のふるまい"、実務テキストシリーズNo.3, NEN-ANSEN No.13, 財団法人 原子力安全研究協会、1985.
- [5] D. L. Hagrman et al., "MATPRO Version 11 (Revision 2), A Hand Book of Material Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior", NUREG/CR-0479, TREE-1280, Rev.2 R3 and R4, EG&G Idaho, 1981.
- [6] T. Tachibana, et al., "Dependence on Strain Rate and Temperature Shown by Yield Stress of Uranium Dioxide", J. Nucl. Sci. Technol. 13[9], pp. 497~502, 1976.
- [7] R. Benz, "Thorium-Thorium Dioxide Phase Equilibria", J. Nucl. Mater. 29, 43, 1969.
- [8] J. M. Markowitz and J. C. Clayton, "Corrosion of Oxide Nuclear Fuels in High Temperature Water", Bettis Atomic Power Lab. WAPD-TM-909, 1970.
- [9] S. Peterson and C. E. Curtis, "Thorium Ceramic Data Manual", Vol. I, p. 22, ORNL-4503, 1970.
- [10] 村上悠紀雄 他、"放射線データブック"、地人書館、1982.
- [11] A. G. Croff, et al., "Revised Uranium-Plutonium Cycle PWR and BWR Models for the ORIGEN Computer Code", ORNL/TM-6051, 1978.

Table 1 Physical properties of thorium compounds<sup>[1]</sup>

Chemical Form	Metal	Oxide	Carbide	
	Th	ThO <sub>2</sub>	ThC	ThC <sub>2</sub>
Crystal Structure	FCC (<1360°C) BCC (>1360°C)	FCC CaF <sub>2</sub> type	FCC NaCl type	α Monoclinic β Tetragonal γ FCC
Density, g/cm <sup>3</sup>	11.72 (25°C)	10.00 (27°C)	10.63	α 9.6 β 8.76 γ 8.68
Melting Point, °C	1750	3370	2500	α 1440 β 1490 γ 2610
Thermal Conductivity, W/cm K	—	0.140 (27°C)	—	—
Elastic Modulus, MPa	7.24×10 <sup>4</sup>	2×10 <sup>5</sup>	—	—

Table 2 Properties of ThO<sub>2</sub> and UO<sub>2</sub>

	ThO <sub>2</sub> <sup>1),2),3)</sup>	UO <sub>2</sub> <sup>4),5),6)</sup>
<b>Crystal Structure</b>	FCC	FCC
<b>Lattice Constant, Å</b>	CaF <sub>2</sub> type 5.5971 (300K)	CaF <sub>2</sub> type 5.469
<b>Density, g/cm<sup>3</sup></b>	10.001 (300K)	10.96
<b>Melting Point, °C</b>	3,300~3,370	2,805~2,865
<b>Thermal Conductivity, W/m K</b>	14.0 (300K) 4.0 (1,000K)	8.0 (300K) 3.5 (1,000K) 2.2 (2,000K)
<b>Specific Heat, J/kg K</b>	225 (300K) 290 (1,000K) 325 (1,800K)	230 (300K) 310 (1,000K) 375 (2,000K)
<b>Coefficient of Thermal Expansion, 1/K</b>	$8 \times 10^{-6}$ (300K) $1 \times 10^{-5}$ (1,000K) $1.2 \times 10^{-5}$ (2,000K)	$8 \sim 6 \times 10^{-6}$ (300K) $1.1 \times 10^{-5}$ (1,000K) $1.6 \times 10^{-5}$ (2,000K)
<b>Vapor Pressure, Pa</b>	$\sim 0.3$ (2,600K)	$\sim 0.1$ (2,000K) 20 (2,600K) 1000 (3,000K)
<b>Tensile Strength, MPa</b>	$1 \times 10^2$ (300K)	$3 \times 10^2$ (1,200K) $1 \times 10^2$ (2,000K)
<b>Elastic Modulus, MPa</b>	$2 \times 10^5$ (300K)	$2.1 \times 10^5$ (300K) $1.9 \times 10^5$ (1,000K) $1.2 \times 10^5$ (2,000K)

Table 3 Bulk density of original ThO<sub>2</sub> powder

Rot No.	Density, g/cm <sup>3</sup>
1	0.87
2	0.83
3	0.94
4	0.91

Table 4 Summary of ThO<sub>2</sub> pellet fabrication test conditions

Powder	Milling Time, h	Pressing Pressure, t/cm <sup>3</sup>	Sintering Conditions
Original	-	2	1500°C, for 2h, in Air, (320°C/h)
Ball Milled	2	3	1300°C, for 2h, in N <sub>2</sub> , (320°C/h)
	24	4	1600°C, for 2h, in N <sub>2</sub> , (320°C/h)

Table 5 Green and sintered densities obtained in pellet fabrication tests

Powder	Sintering Condition	Green Density		
		Sintered Density, g/cm <sup>3</sup>		
		Pressing Pressure		
Original	1500°C, Air	2 t/cm <sup>2</sup>	3 t/cm <sup>2</sup>	4 t/cm <sup>2</sup>
		<u>4.54</u> 8.18	<u>4.92</u> 8.67	<u>5.07</u> 8.84
	1300°C, N <sub>2</sub>	<u>4.54</u> 7.88	<u>4.92</u> 8.69	<u>5.07</u> 8.74
		<u>4.54</u> 8.63	<u>4.92</u> 9.29	<u>5.07</u> 9.11
	1500°C, Air	<u>4.53</u> 8.91	<u>4.86</u> 8.58	<u>4.98</u> 8.83
		—	—	—
		<u>4.53</u> 8.93	<u>4.88</u> 9.11	<u>4.95</u> 9.29
Milled 2h	1500°C, Air	—	—	—
	1300°C, N <sub>2</sub>	—	—	—
	1600°C, N <sub>2</sub>	<u>4.66</u> 9.29	<u>4.89</u> 9.18	<u>5.08</u> 9.20
Milled 24h	1500°C, Air	—	—	—
	1300°C, N <sub>2</sub>	—	—	—
	1600°C, N <sub>2</sub>	<u>4.66</u> 9.29	<u>4.89</u> 9.18	<u>5.08</u> 9.20

Table 6 Rubber press test parameters

	Type	I	II	III	IV
Rubber	Outer Dia., mm	50 (30)	50 (30)	50 (30)	50 (30)
	Inner Dia., mm	30 (24)	10 (8)	30 (24)	30 (24)
	Length, mm	190 (150)	190 (150)	300 (240)	190 (150)
	Axial Pressing Stroke, mm	5	5	5	0
Powder	$\text{Al}_2\text{O}_3$				
	$\text{ThO}_2$ original				
	$\text{ThO}_2$ milled, 2h				
	$\text{ThO}_2$ granulated				
	$\text{ThO}_2$ granulated with PVA				
Pressing Pressure, t/cm <sup>2</sup>	0.3				
	0.4				
	1.0				
	2.0				
Separator	Zinc stearate coated stem				
	Teflon coated stem				
Pressing Direction	Radial & Axial (Rubber type I, II, III)				
	Radial (Rubber type IV)				

Dimensions of the rubber molds under atmospheric pressure are listed.

Figures in ( ) are those expected after sintering.

Table 7 Summary of rubber press test conditions

Test No.	Rubber Type	Powder Type	Thoria Mass, g	Separator	Pressing Condition	Sintering Condition
1	I	Original	348	no	1 t/cm <sup>2</sup> , 5m	-
2	I	Original	348	no	2 t/cm <sup>2</sup> , 5m	-
3	III	Original	486	no	2 t/cm <sup>2</sup> , 5m	-
4	I	Original	312	Zinc Stearate	0.3 t/cm <sup>2</sup> , 5m	
5	I	Original	301	Zinc Stearate	0.4 t/cm <sup>2</sup> , 5m	-
6	II	Original	500	Teflon	1 t/cm <sup>2</sup> , 5m	-
7	II	Milled, 2h	700	Teflon	0.4 t/cm <sup>2</sup> , 5m	1600°C, 2h in N <sub>2</sub> (100°C/h)
8	II	Granulated	990	Teflon	0.3 t/cm <sup>2</sup> , 5m 1 t/cm <sup>2</sup> , 30m	-
9	IV	Granulated	624.3	Teflon	ditto	1600°C, 2h in N <sub>2</sub> (50°C/h)
10	IV	Granulated with PVA		Teflon	ditto	1600°C, 2h in N <sub>2</sub> (100°C/h)

Table 8 Summary of rubber press test results

Test No.	Test Conditions	Filled Density, g/cm <sup>3</sup>	As Pressed	As Sintered	Rubber Type
1	Original Powder 1 t/cm <sup>2</sup>	1.5	4.3 g/cm <sup>3</sup> , 4mm thick (Photo. 9)	-	I
2	Original Powder 2 t/cm <sup>2</sup>	1.5	(Photo. 9)	-	I
3	Original Powder 2 t/cm <sup>2</sup> , 300l	1.3	5.2 g/cm <sup>3</sup> , 3mm thick (Photo. 9)	-	III
4	Zinc stearate 0.3 t/cm <sup>2</sup>	1.3	4.1 g/cm <sup>3</sup> , 4mm thick (Photo. 10, 11)	Cracked	II
5	Zinc stearate 0.4 t/cm <sup>2</sup>	1.3	(Photo. 10)	-	II
6	Inner Dia. 10mm Teflon	1.4	2 axial cracks (Photo. 12)	-	II
7	Milled Powder I.D. 10mm Teflon	2.0	4.3 g/cm <sup>3</sup> O.D. 34.5mm I.D. 10mm Length 144mm Round Crack	7.0 g/cm <sup>3</sup> O.D. 29.5mm I.D. 8mm Length 120mm (Photo. 13)	I
8	Granulated I.D. 10mm	2.8	4.8 g/cm <sup>3</sup> O.D. 39.1mm I.D. 10mm Length 144mm Round Crack (Photo. 14)	-	I
9	Granulated No Axial Press	2.7	624.3 g 4.6 g/cm <sup>3</sup> O.D. 42.9mm I.D. 30mm Length 182.3mm	609.9 g 8.2 g/cm <sup>3</sup> O.D. 35.2mm I.D. 24.2mm Length 145.1mm (Photo. 15)	IV
10	Granulated with PVA No Axial Press	2.7	-	(Photo. 15)	IV

Table 9 Dimensional measurement results of ThO<sub>2</sub> tube  
fabricated in test No.9

	Dimension, mm			Weight, g	Density, g/cm <sup>3</sup>
	Outer Diameter top x, y middle x, y bottom x, y	Inner Diameter top x, y bottom x, y	Length max. min.		
As Pressed	45.0, 44.0	30.0, 30.0	185.0	624.3	4.6
	42.7, 41.9	- , -			
	41.8, 42.1	30.0, 30.0	179.5		
	ave. 42.9	ave. 30.0	ave. 182.3		
As Sintered	35.8, 36.0	24.1, 24.2	147.1	609.9 (98%)	8.2
	33.8, 34.0	- , -			
	37.3, 34.0	24.0, 24.3	143.1		
	ave. 35.2 (82%) <sup>a</sup>	ave. 24.2 (81%) <sup>a</sup>	ave. 145.1 (80%) <sup>a</sup>		

<sup>a</sup> (As sintered)/(As pressed)\*100

# Fission Product Release Test Facility

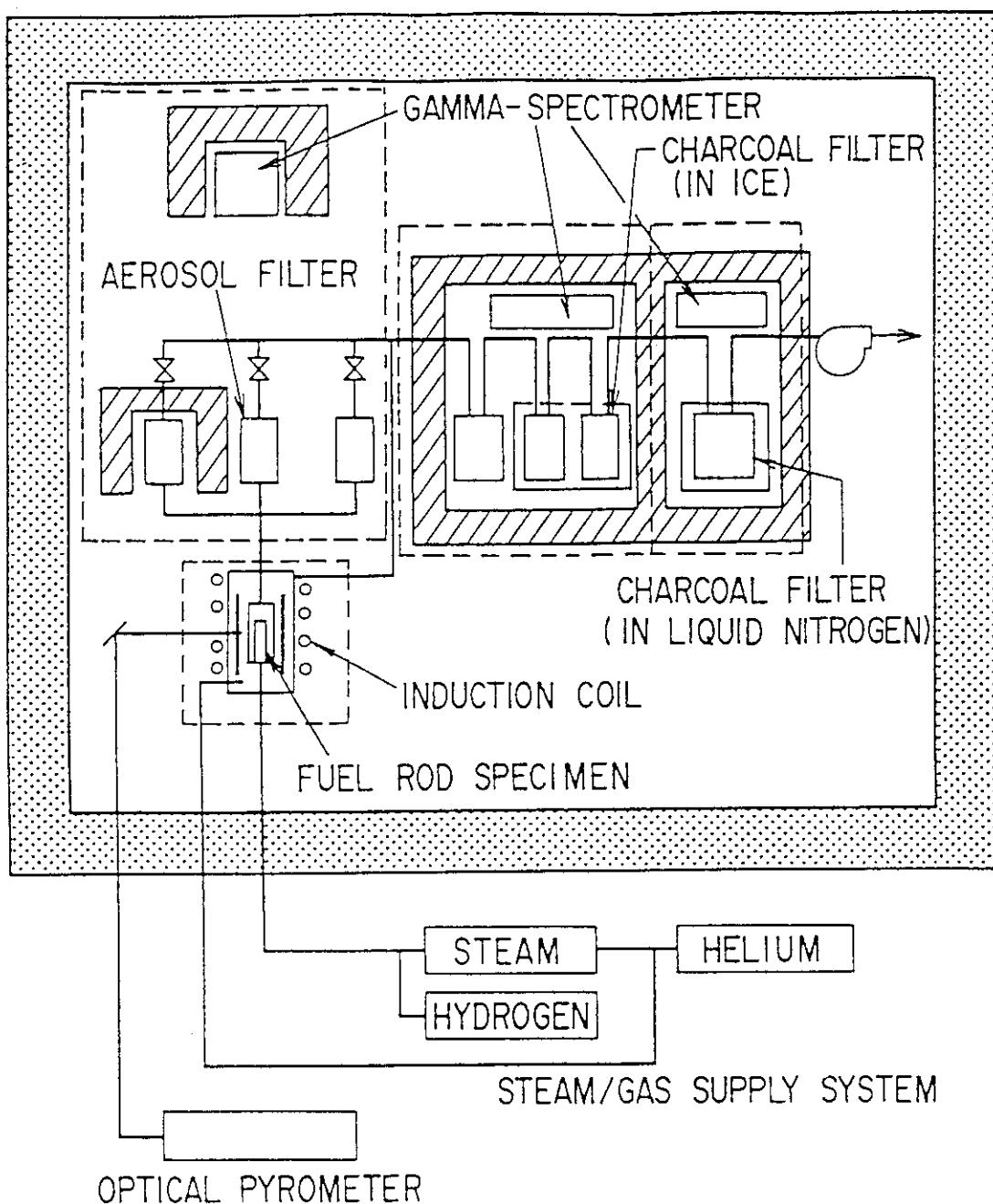


Fig. 1 Schematic of fission product release test facility

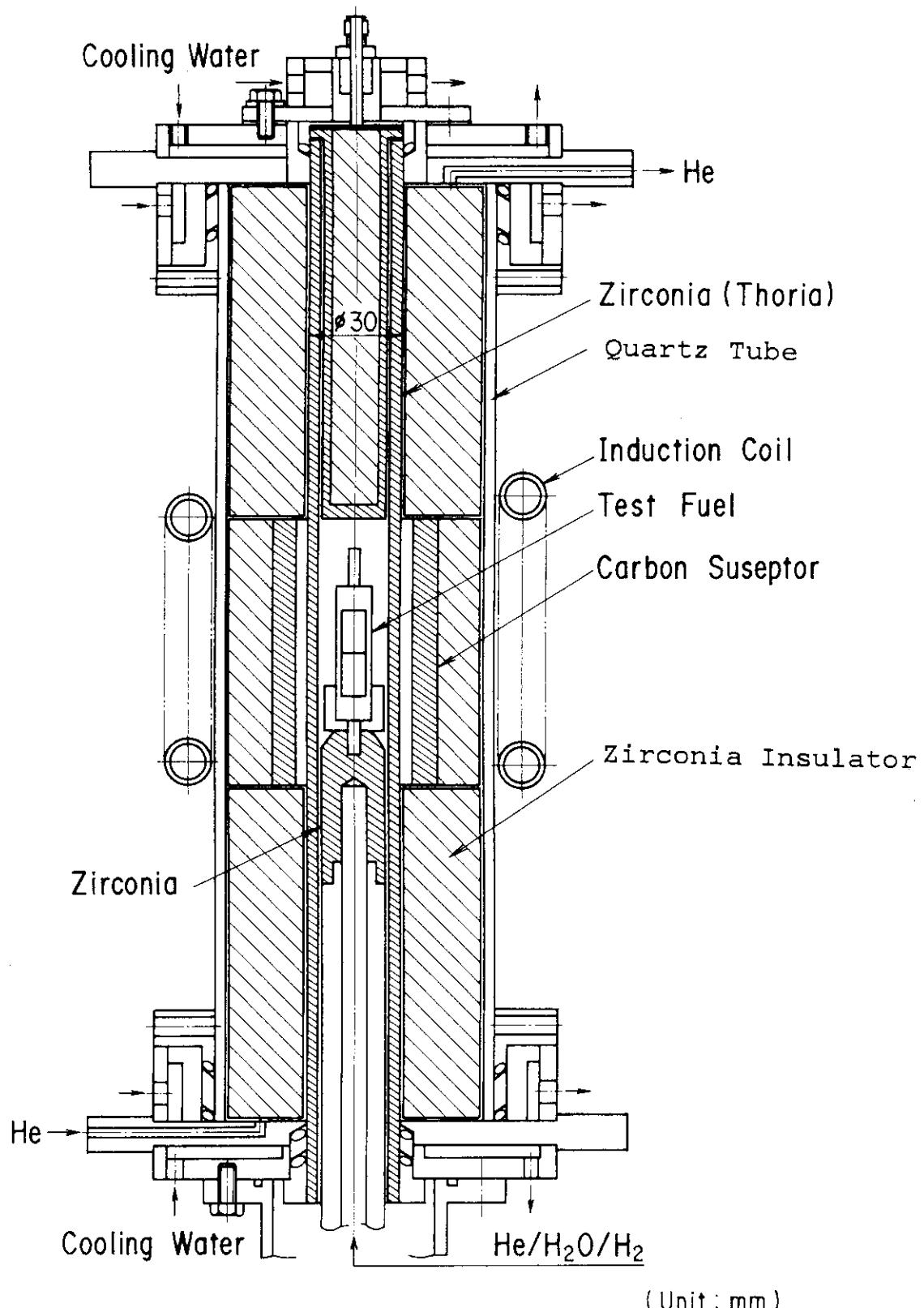
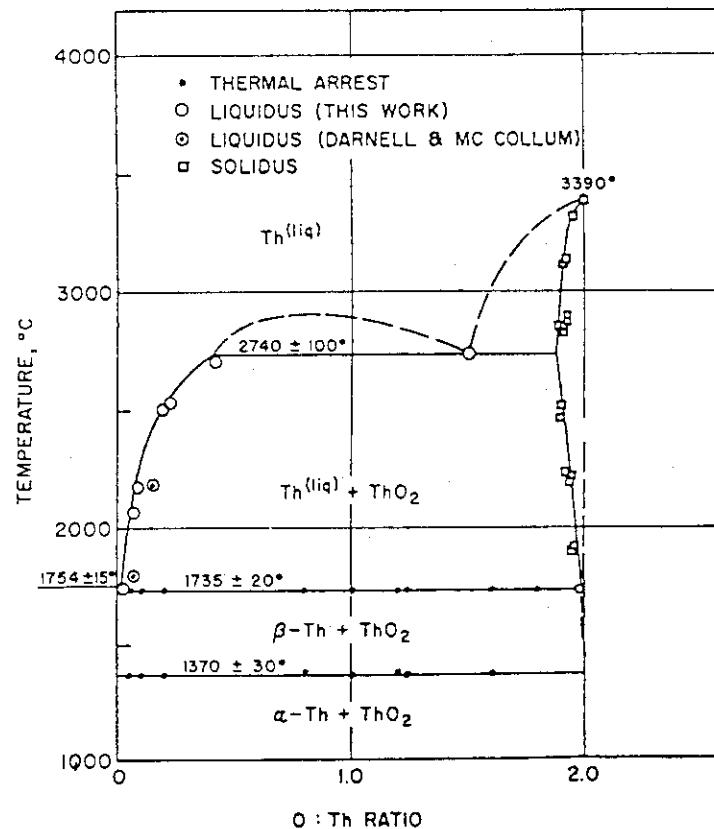
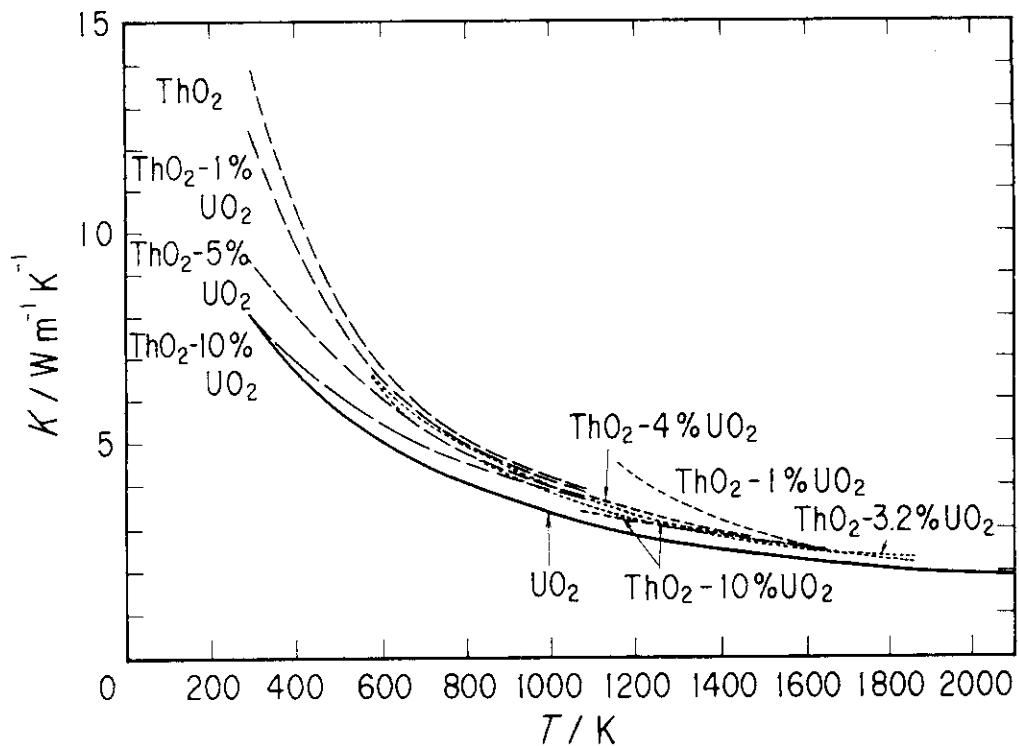


Fig. 2 Schematic of induction heater for the fission product release test

Fig. 3 The Th-ThO<sub>2</sub> phase diagram<sup>[7]</sup>Fig. 4 Thermal conductivity of ThO<sub>2</sub> and ThO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> solid solutions<sup>[1]</sup>

Th 90	$^{232}\text{Th},\text{Th}$ $1.41 \times 10^{10} \text{y}$		$^{228}\text{Th},\text{RdTh}$ 1.913y		
Ac 89	$\alpha$ ( $\gamma$ )	$^{228}\text{Ac},\text{MsTh}_2$ 6.13h	$\beta$ ( $\gamma$ )	$\alpha,\gamma$	
Ra 88	$^{228}\text{Ra},\text{MsTh}_1$	$\beta$	$^{224}\text{Ra},\text{ThX}$		
Fr 87				$\alpha(\gamma)$	
Rn 86			$^{220}\text{Rn},\text{Tn}$ 55.6s		
At 85				$\alpha(\gamma)$	
Po 84			$^{216}\text{Po},\text{ThA}$ 0.15s		$^{212}\text{Po},\text{ThC}'$ $3.05 \times 10^{-7} \text{s}$
Bi 83			$\alpha$	$^{212}\text{Bi},\text{ThC}$ 60.60m	$\beta(64.0\%)$ $\gamma$ $\alpha$
Pb 82			$^{212}\text{Pb},\text{ThB}$ 10.64h	$\alpha$ (36.0%)	$^{208}\text{Pb},\text{ThD}$ 安定
Tl 81				$^{208}\text{Tl},\text{ThC}'$ 3.053m	$\beta$ $\gamma$

Fig. 5 Decay chain of  $^{232}\text{Th}$ [10]

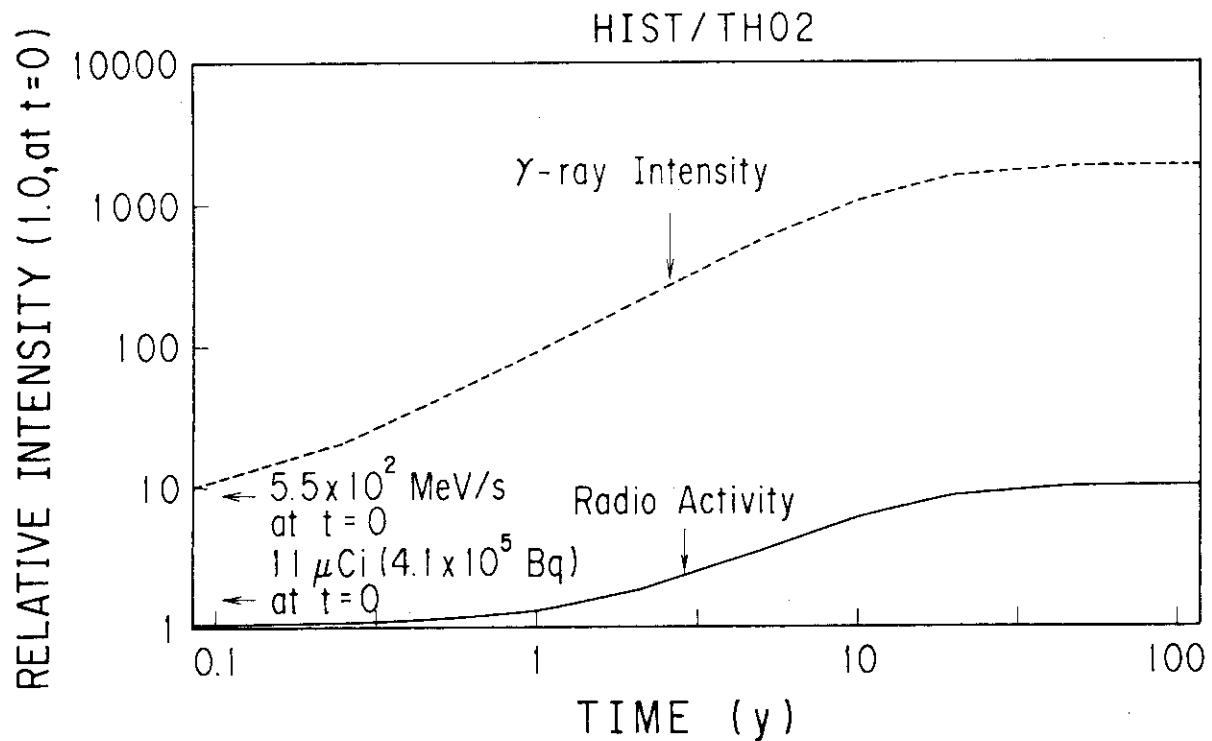


Fig. 6 Gamma-ray intensity and ratio activity of thorium dioxide (Thoria) as a function of time

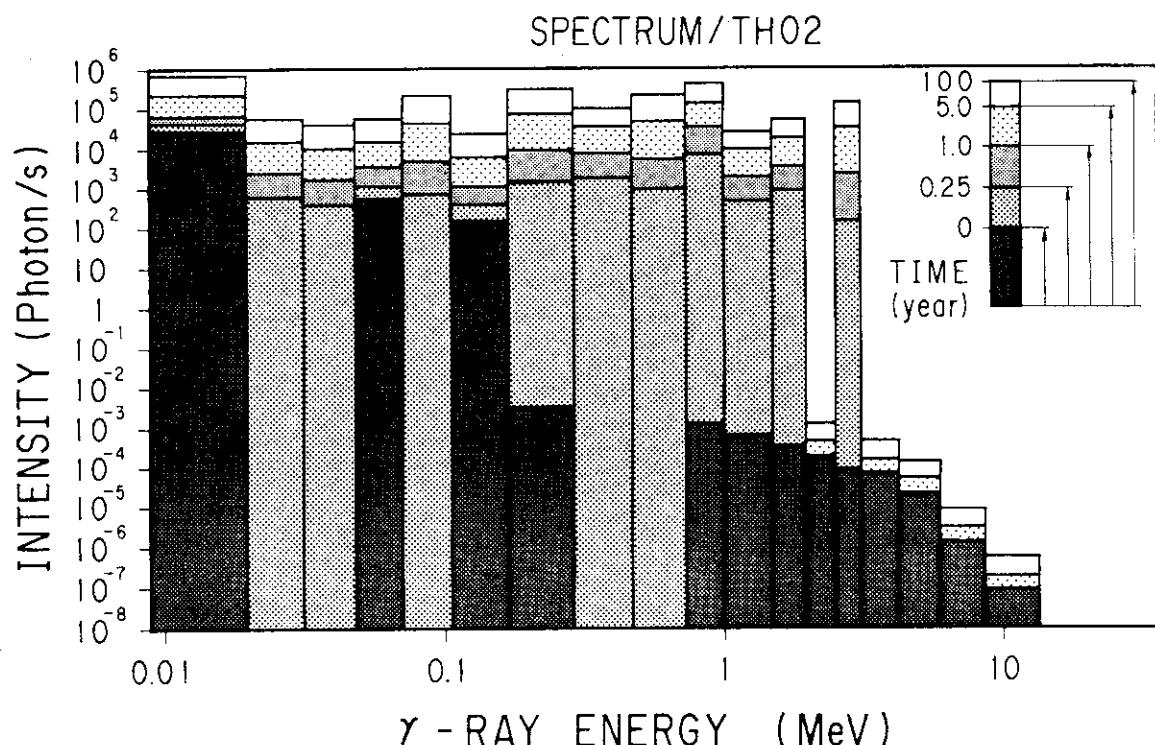


Fig. 7 History of  $\gamma$ -ray spectrum emitted from thorium dioxide (Thoria)

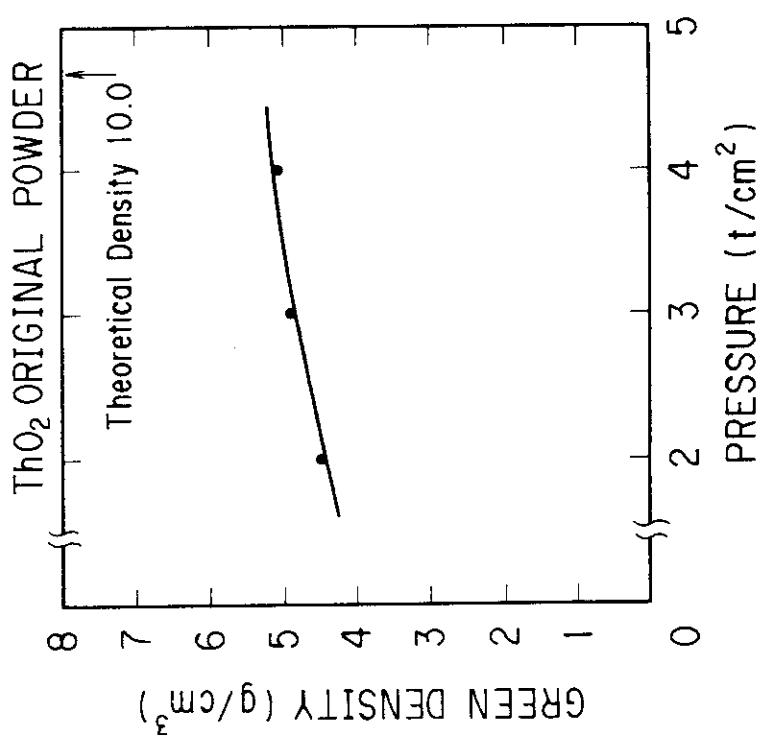


Fig. 8 Pressing pressure and green density of  
 $\text{ThO}_2$  pellets made of original powder

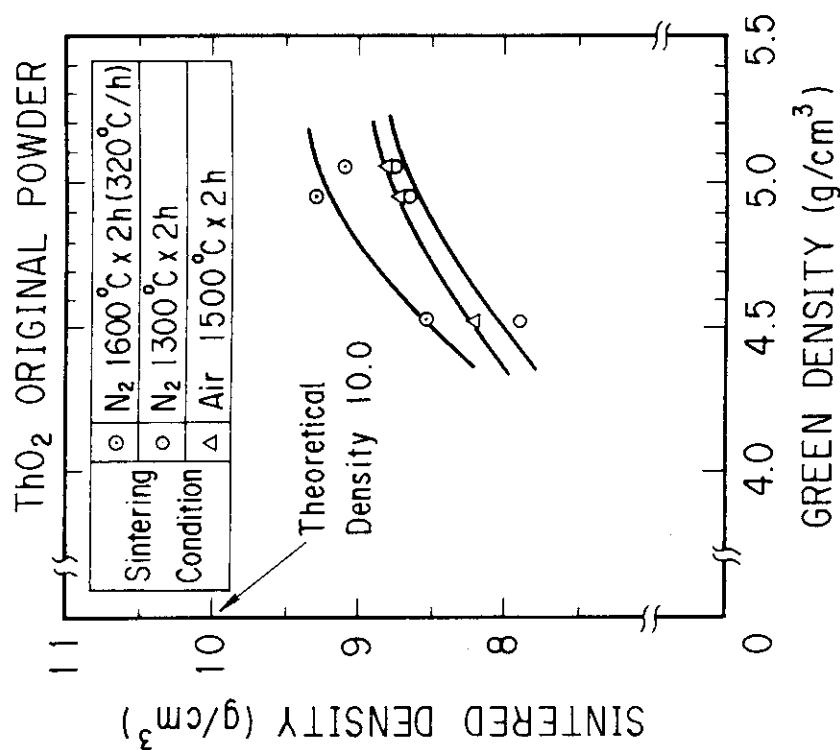


Fig. 9 Sintered and green density by various  
sintering conditions

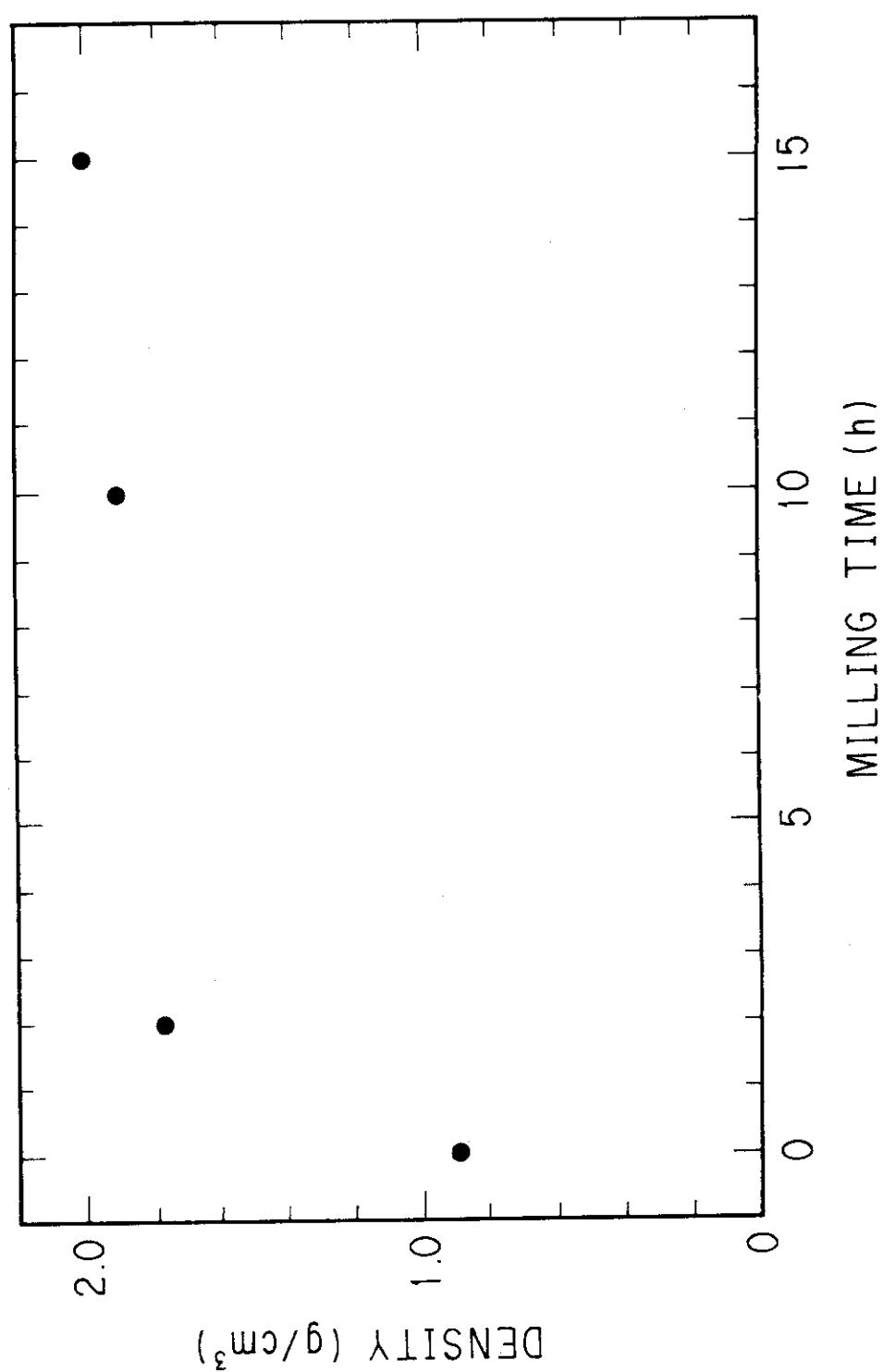


Fig. 10 Bulk density of  $\text{ThO}_2$  as a function of milling time

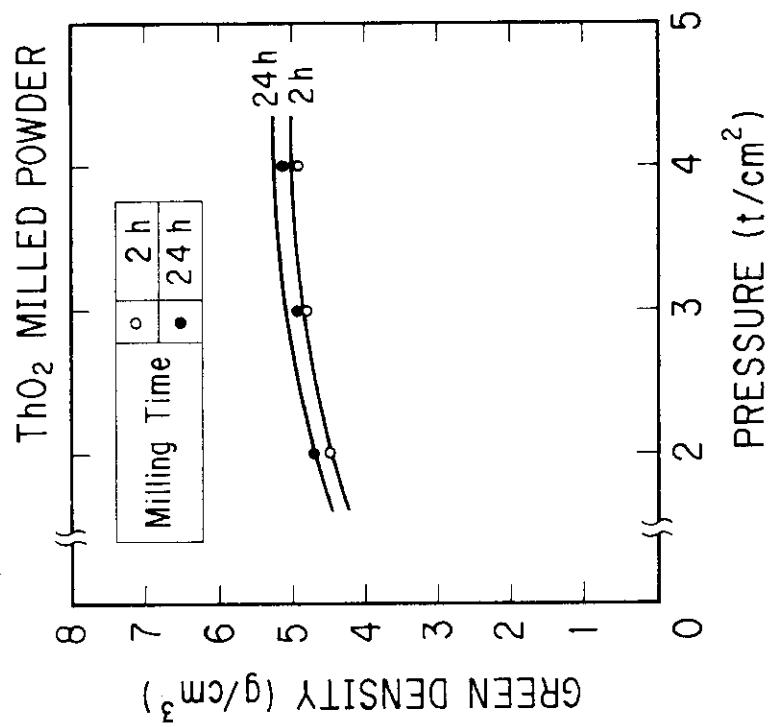
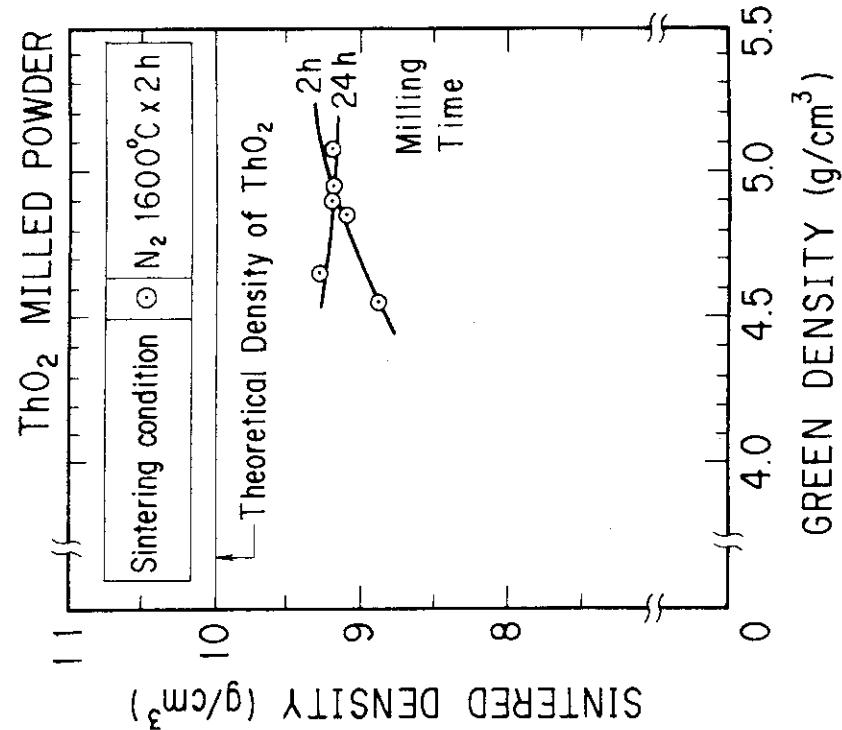


Fig. 11 Pressing pressure and green density of  
 $\text{ThO}_2$  pellets made of milled powder

Fig. 12 Sintered and green density of  $\text{ThO}_2$   
pellets made of milled powder

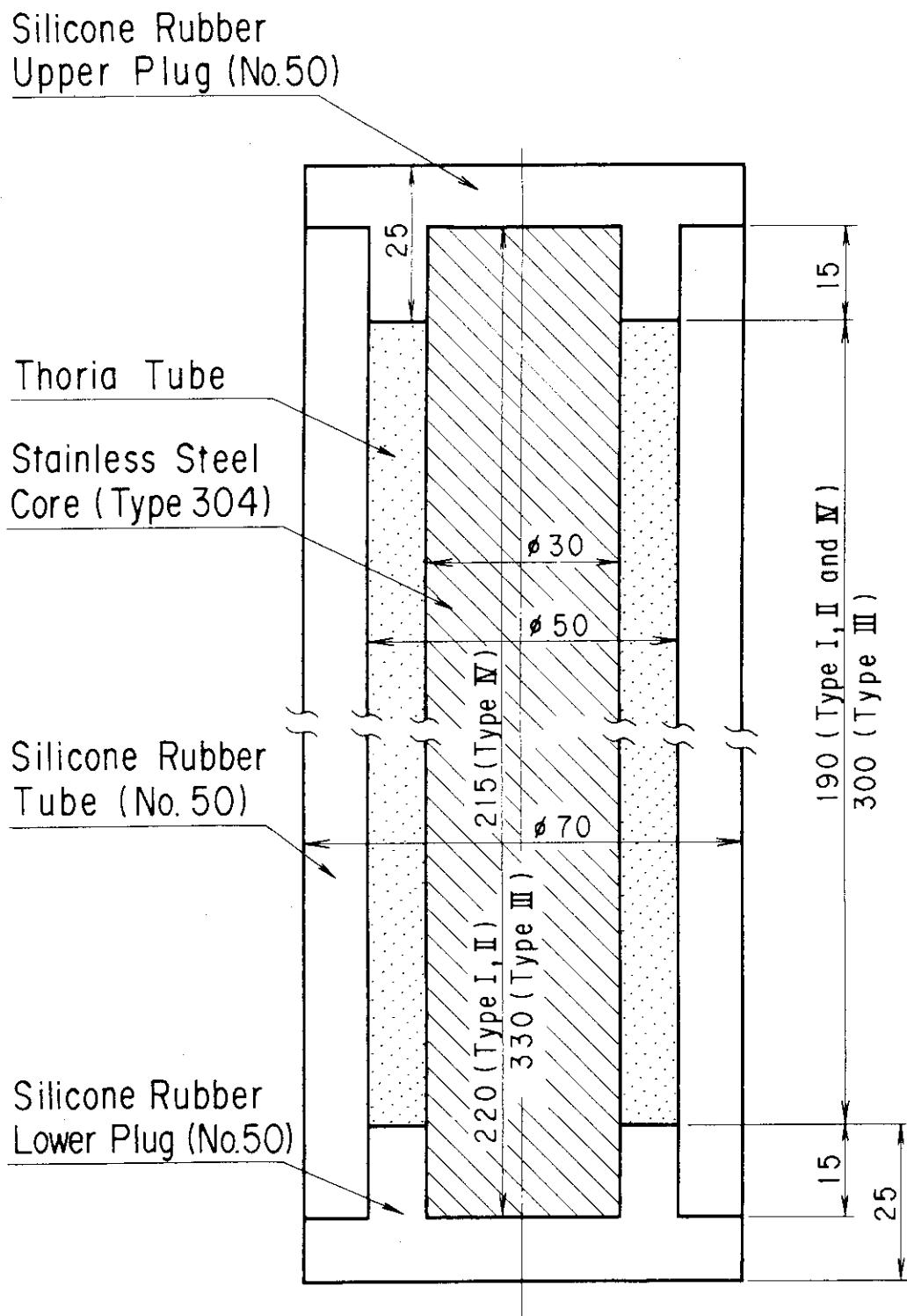


Fig. 13 Design of silicone rubber molds

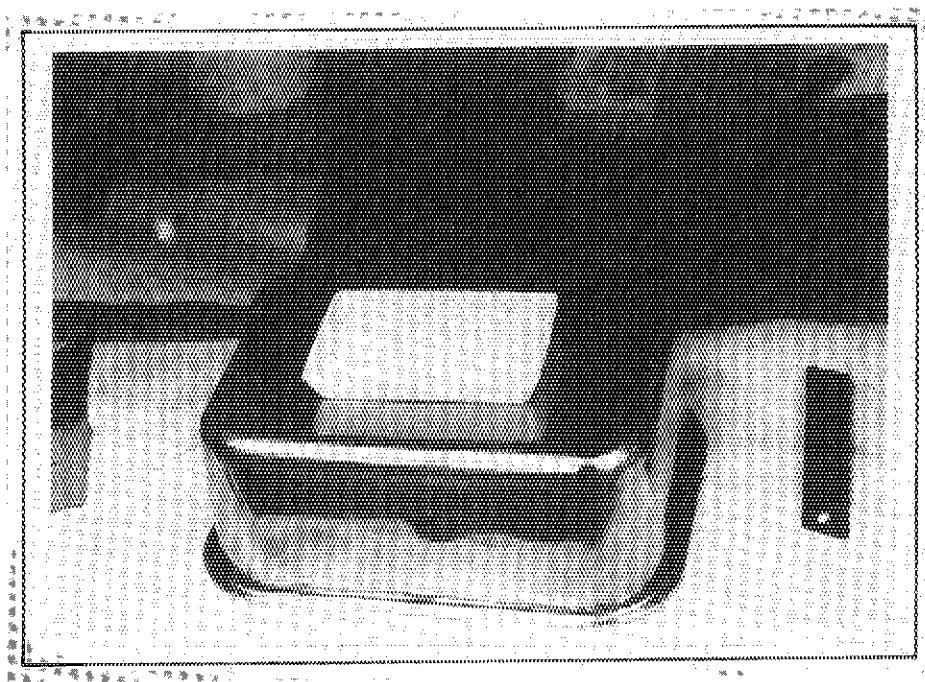


Photo. 1 Appearance of the original thoria powder.

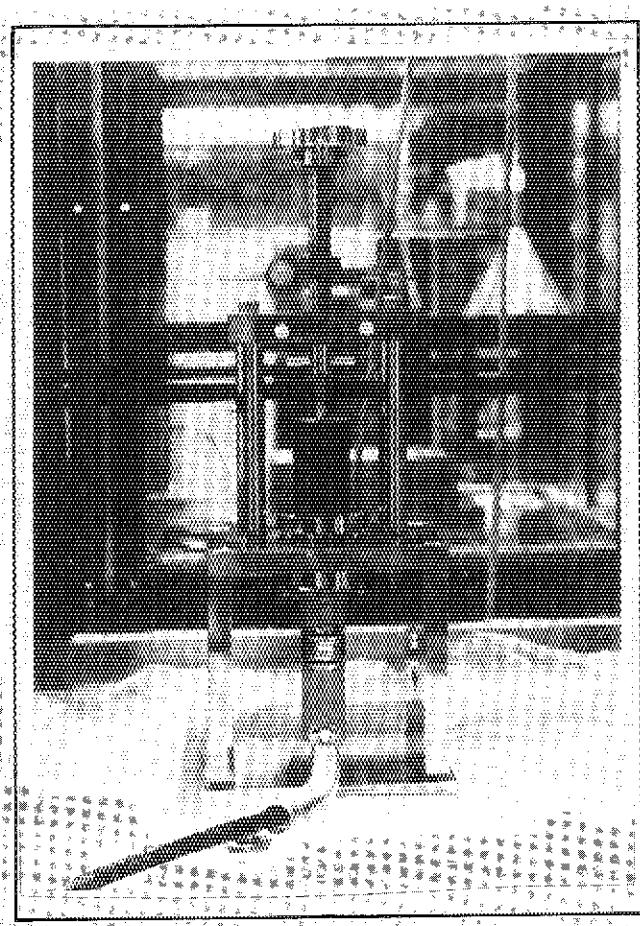


Photo. 2 Compressor and mold for pellet fabrication tests.

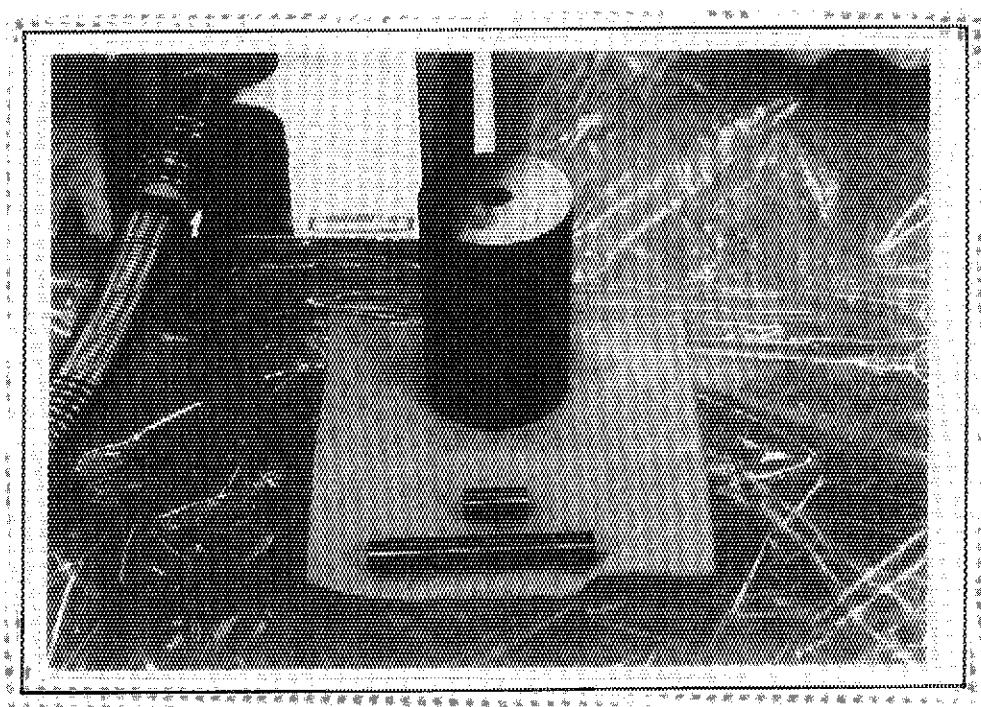


Photo. 3 Mold for pellet fabrication tests.

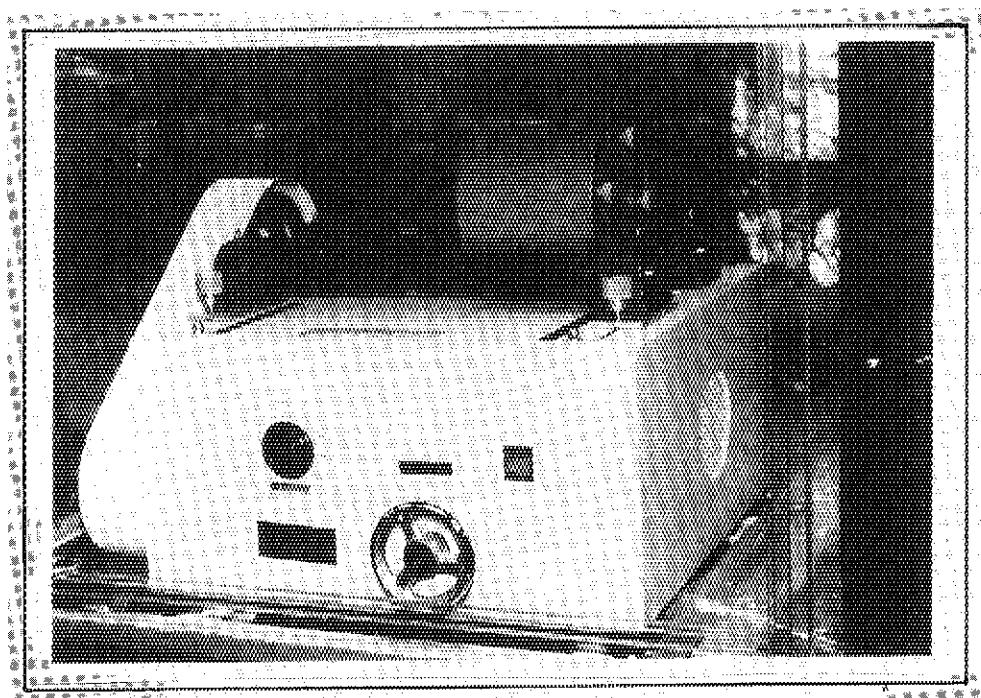


Photo. 4 Milling machine for thoria powder.

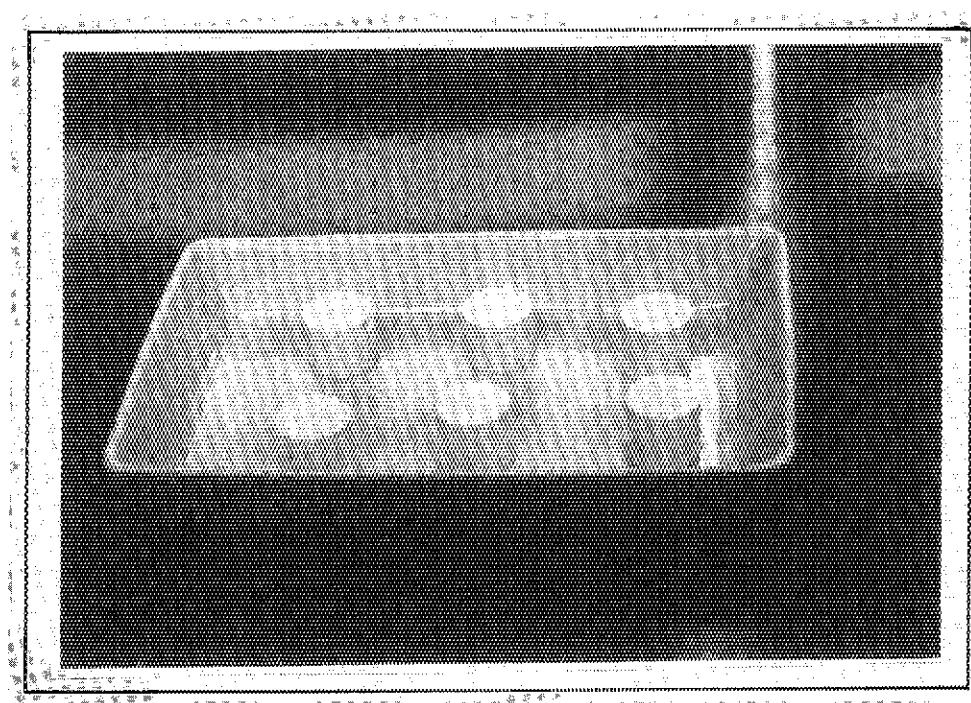


Photo. 5 Thoria pellets as pressed.

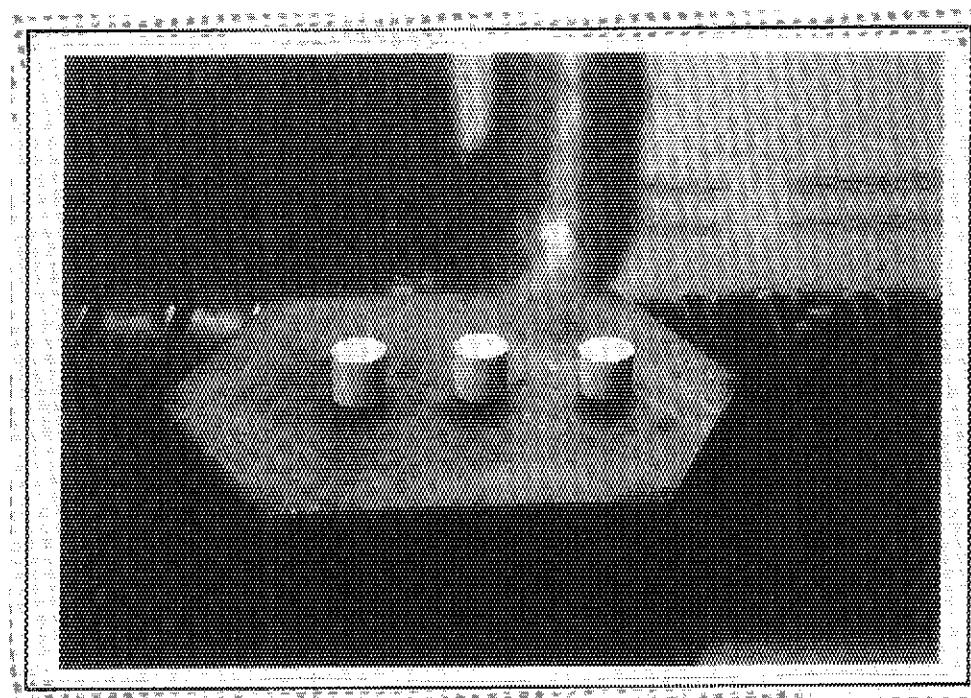


Photo. 6 Thoria pellets as sintered.

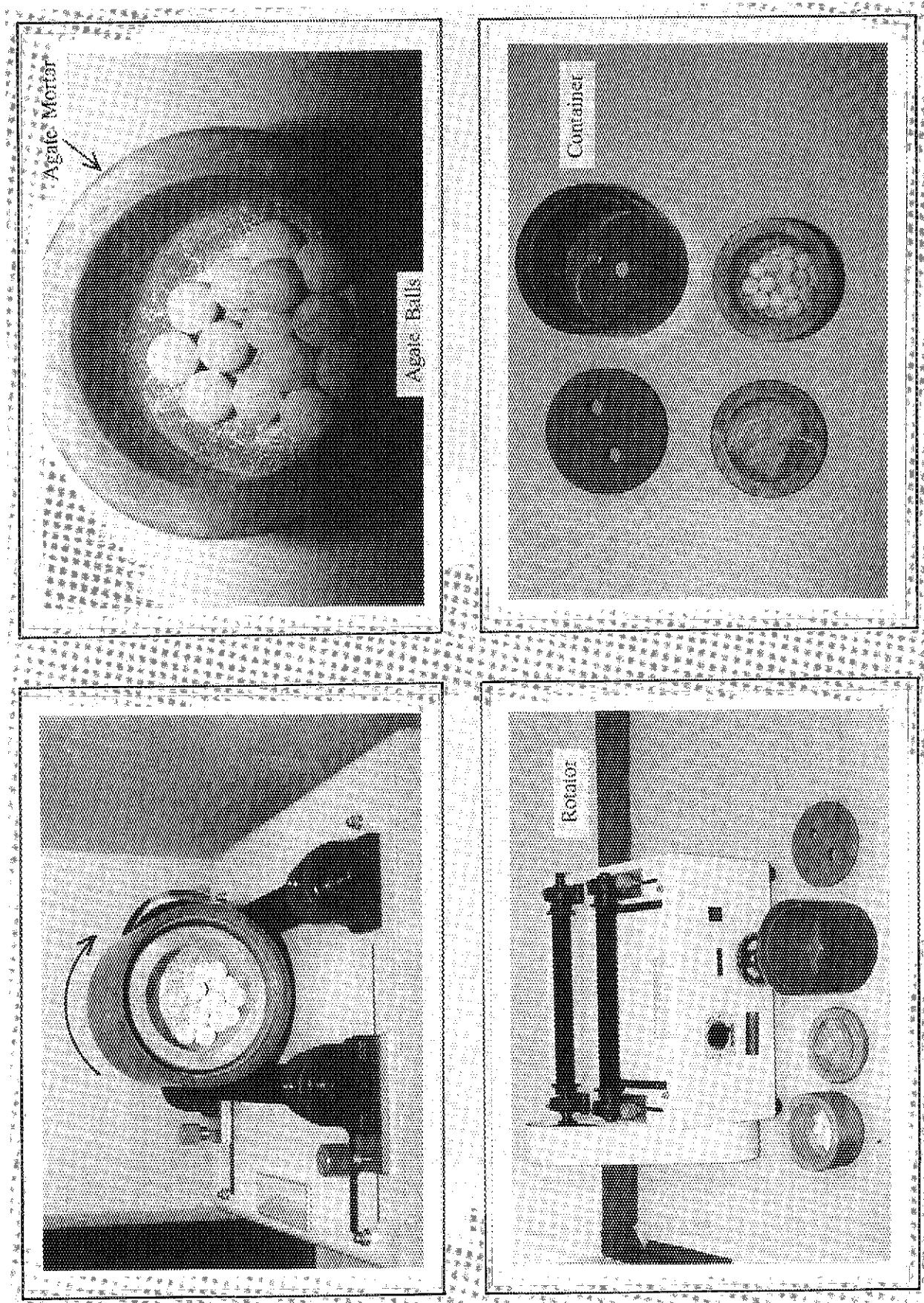


Photo. 7 Agate mortar and agate balls for the ball milling of the thorium powder.

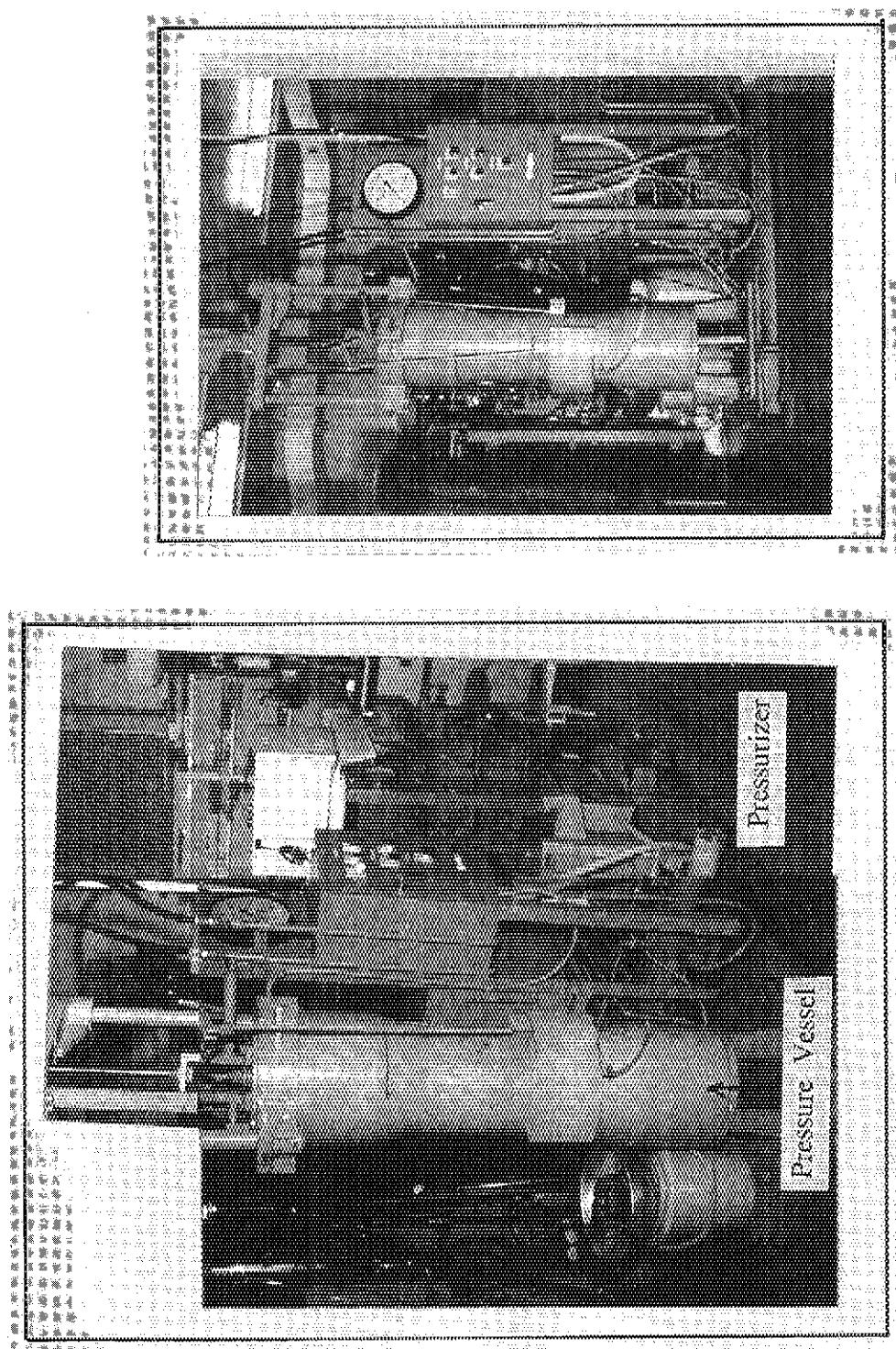


Photo. 8 Pressing machine for rubber pressing tests.

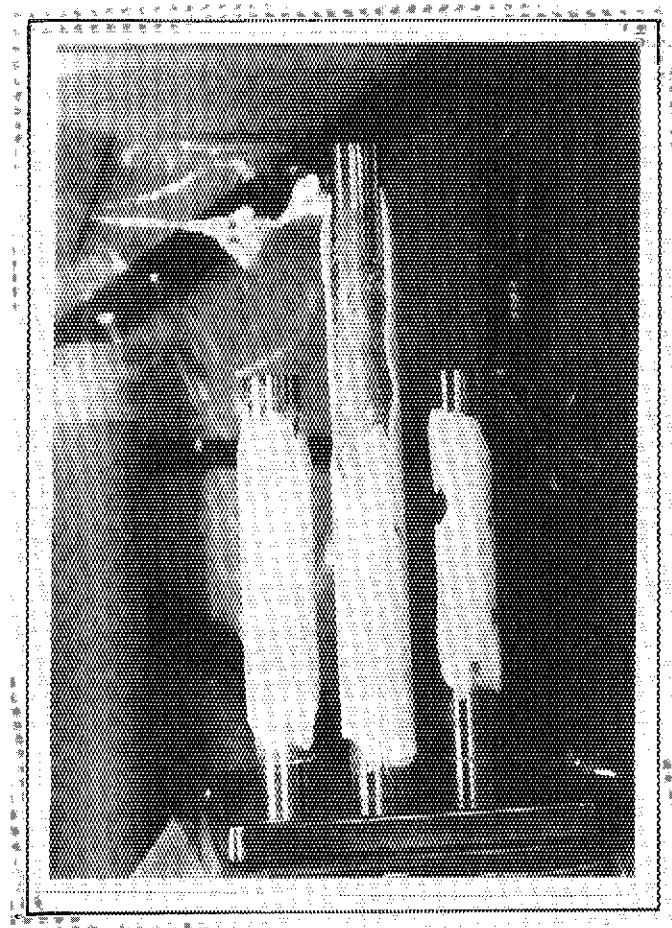


Photo. 9 Appearance of pressed thoria tubes in fabrication tests No.1 (left), No.2 (right) and No.3 (center). The rubber mold type III is seen behind them.

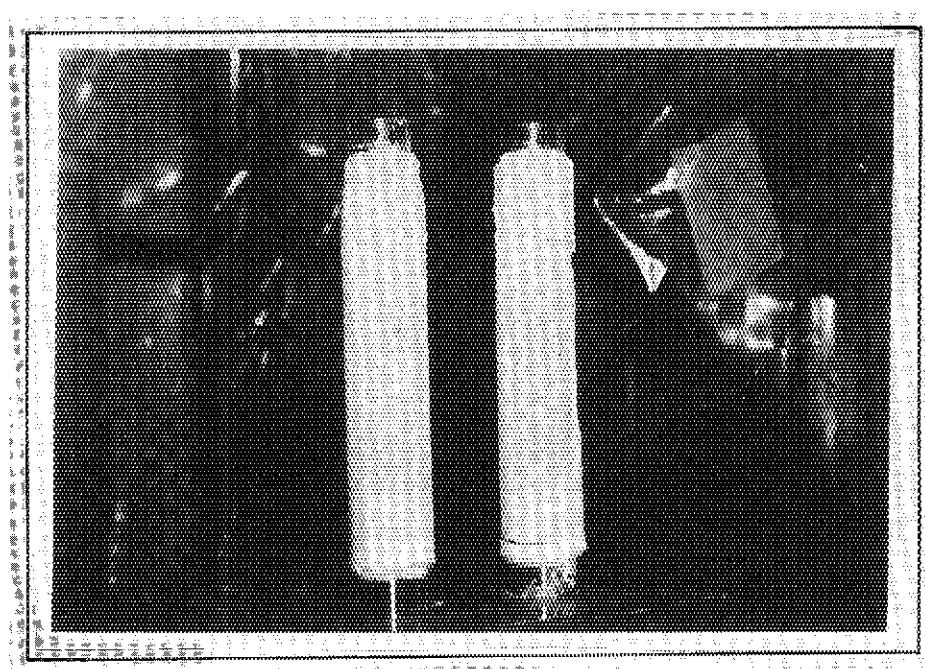


Photo. 10 Appearance of pressed thoria tubes in fabrication tests No.4 (left) and No.5 (right).

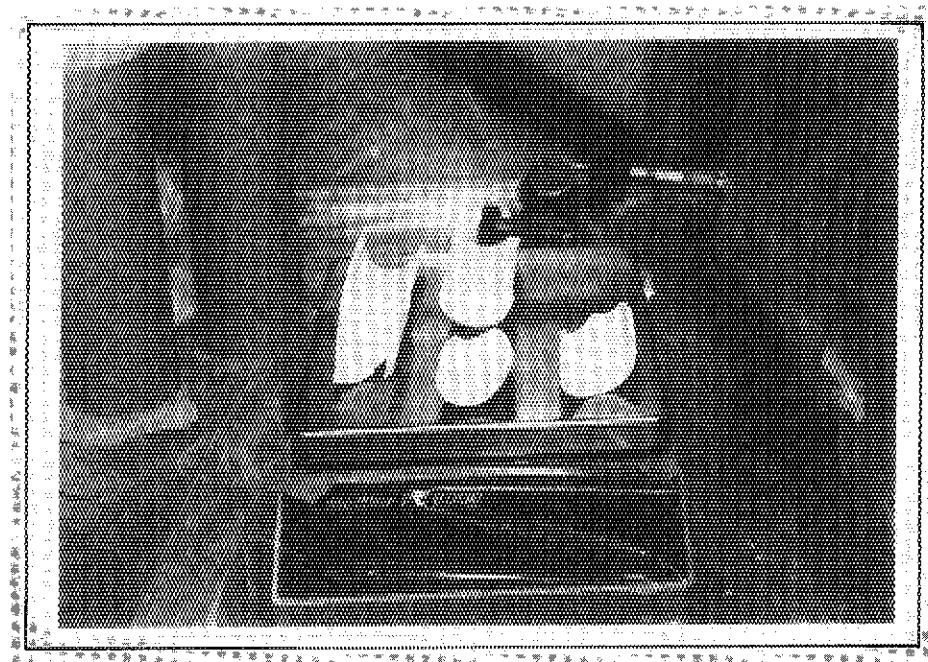


Photo. 11 Pressed thoria tube disassembled from the core in fabrication test No.4. The tube was cracked into 4 pieces during the disassembling. The rubber molds type I are seen behind.

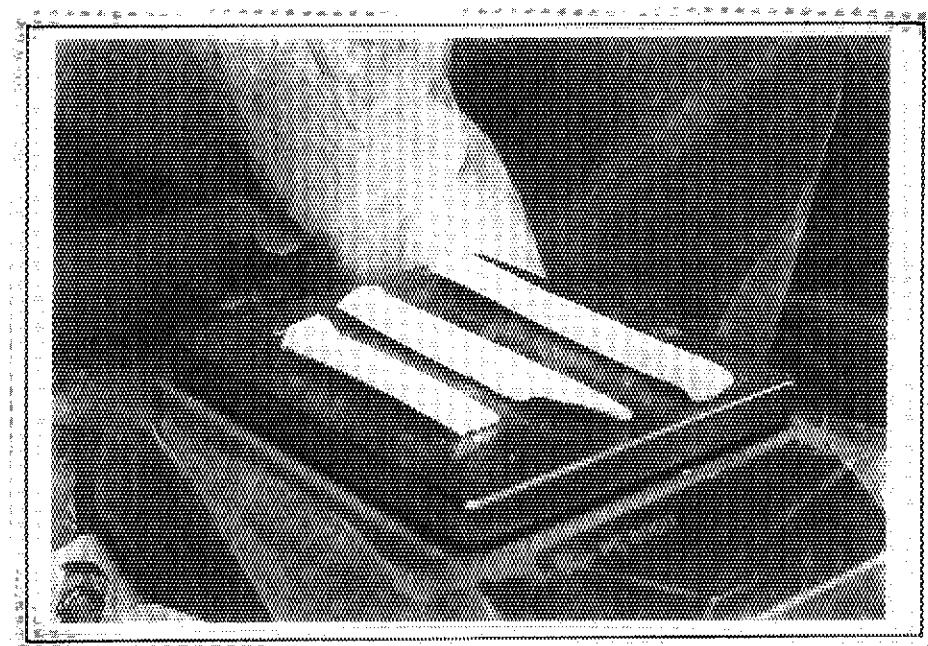


Photo. 12 Appearance of pressed thoria tube in fabrication test No.6.

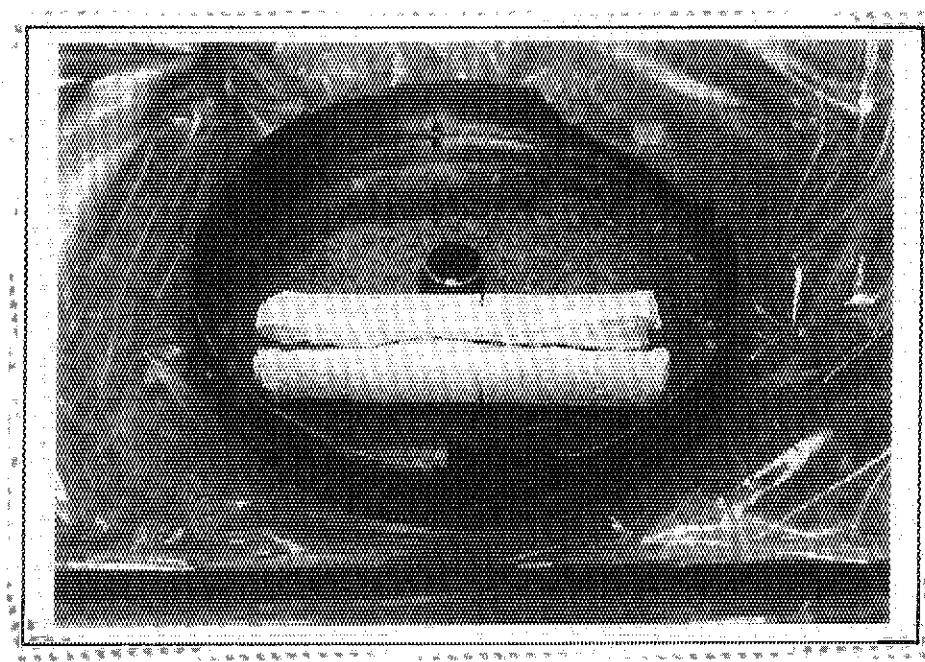


Photo. 13 Appearance of sintered thoria tube in fabrication test No.7. The longitudinal crack was generated during the sintering at 1600°C for 2h in N<sub>2</sub> atmosphere, in addition to the radial cracks which were generated during the pressing stage.

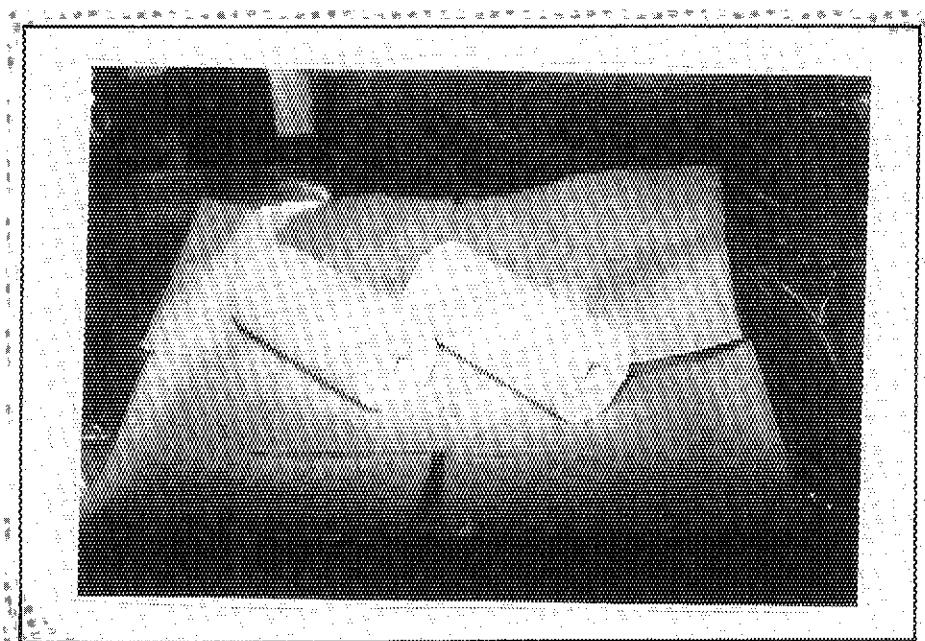


Photo. 14 Appearance of pressed thoria tube in fabrication test No.8.

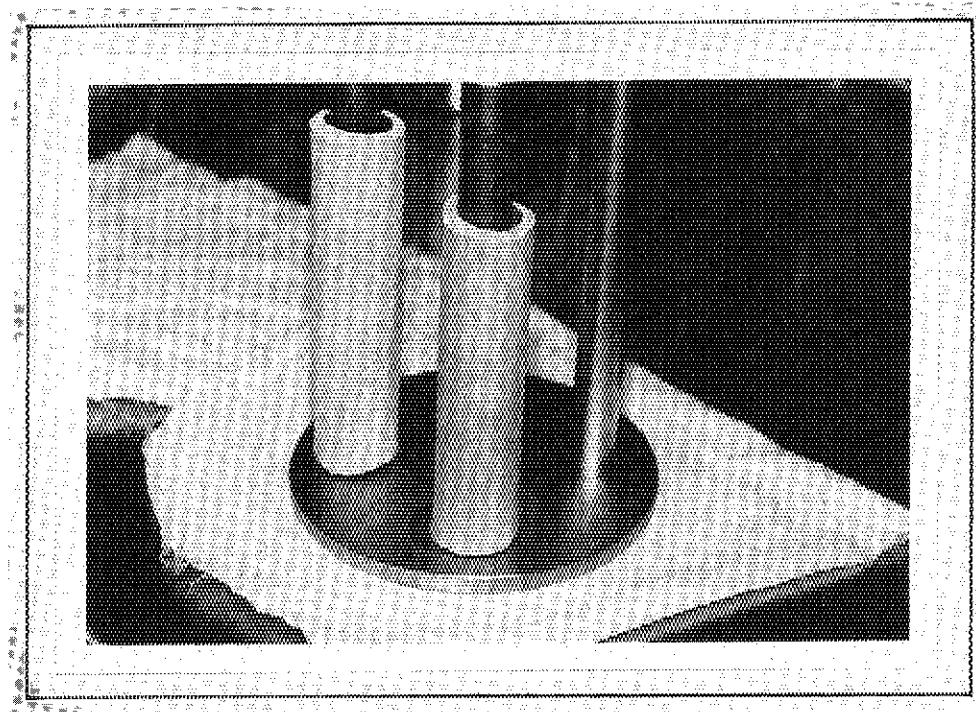


Photo. 15 Appearance of sintered thoria tubes fabricated  
in tests No.9 (right) and No.10 (left).

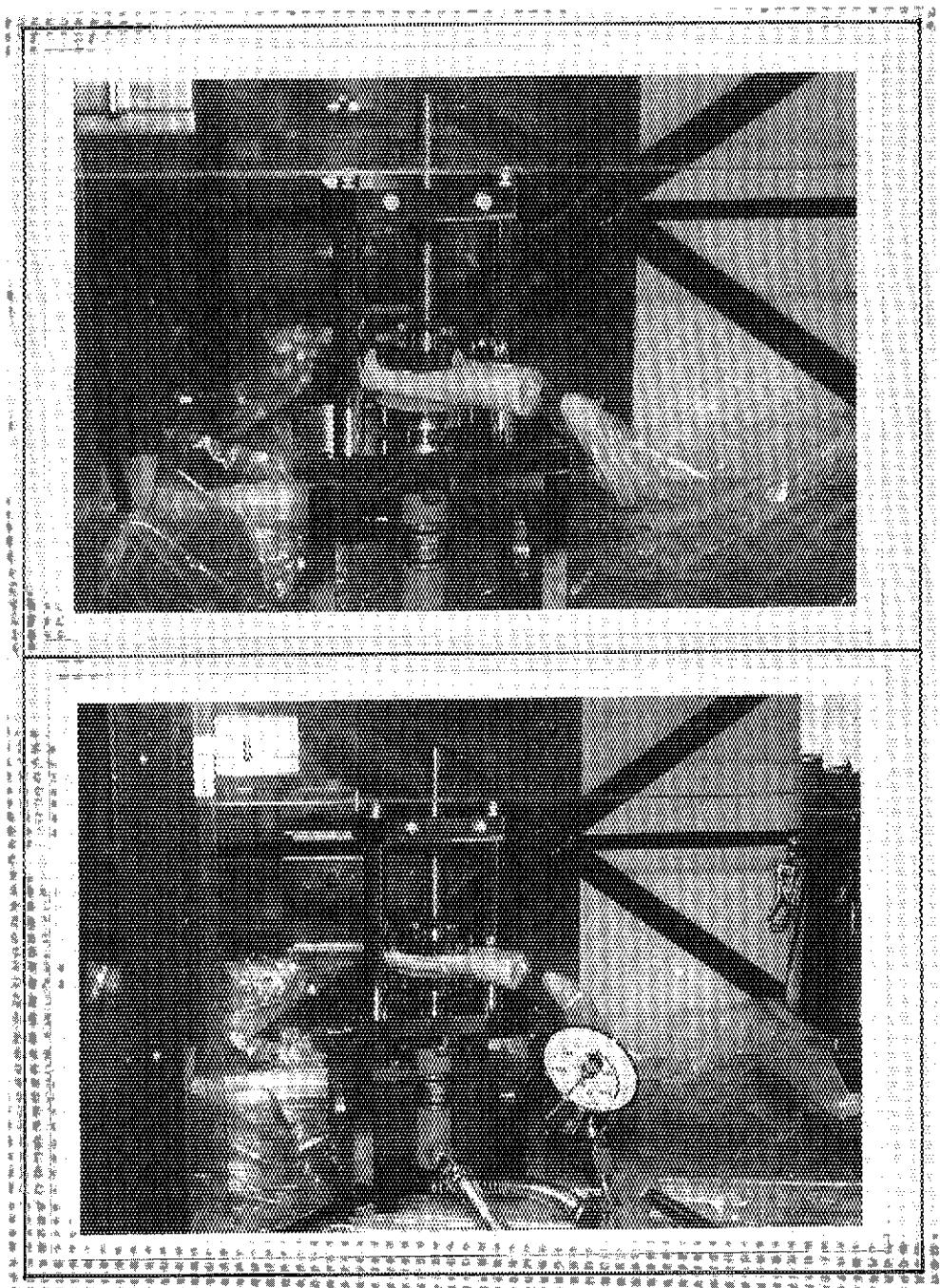


Photo. 16 Compression test of thoria tube fabricated in test No.9.

付録 I ORIGEN-2によるトリアの放射線強度の計算結果

J E S J O B L O G -- S Y S T E M S Y S B -- N O D E S U N

```

18.24.22 JOB 9545 SENO ' 9545 F3933057 JOB ACCEPTED ',USER=(J3933),LOGON
18.24.28 JOB 9545 KDS40613I USER(J3933) LAST ACCESS DATE(1993.07.14),TIME(18:23:24)
18.24.28 JOB 9545 JEM3731 F3933057 STARTED - INIT 2 - CLASS B - SYS SYSC
18.24.28 JOB 9545 ACT1400 JOB (F3933057) START. TIME=18:24:28
18.24.50 JOB 9545 ACT1401 CODE=0100 STEP (ORIGEN2 ) END. PGM =TEMPNAME
18.24.50 JOB 9545 ACT1402 CODE=0100 JOB (F3933057) END. TIME=18:24:50 << TA.NAKAMURA >>
18.24.50 JOB 9545 JEM395I F3933057 ENDED

```

&lt;&lt;&lt; JCL STATEMENTS LIST &gt;&gt;&gt; DATE 07/14/93 TIME 18:24

```

1 //F3933057 JOB ('552239330919.01      ',                   JOB 9545
1 //          'T.02W.04C.03I.02E.00','SRP
1 //          'TA.NAKAMURA ',CLASS=B,PRTY=01,TIME=(0000,30),
1 //          MSGCLASS=S,MSGLEVEL=(2,0,1),
1 //          USER=J3933,GROUP=G0919,PASSWORD=
1 ***JOBPARM   S=ANY,R=3933,L=0008,C=0000000
*****LIST OF PRIVATE PROC *
*****LIST OF USER JCL *
*****LIST OF SYSTEM JCL *
2 //ORIGEN2 EXEC PGM=TEMPNAME           00000700
3 //STEPLIB DD DSN=J3933.ORIGEN2.LOAD,DISP=SHR        00000800
4 //SYSPRINT DD SYSOUT=*
5 //FT12F001 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043) 00001000
6 //FT06F001 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043) 00001100
7 //FT15F001 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043) 00001200
8 //FT16F001 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043) 00001300
9 //FT13F001 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043) 00001400
10 //FT11F001 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043) 00001500
11 //FT09F001 DD DSN=J3631.ORIGEN2.LIB.DATA(DECALIB),DISP=SHR, 00001600
11 //          LABEL=(,,,IN)                                00001700
12 //          DD DSN=J3631.ORIGEN2.LIB.DATA(LIB9),DISP=SHR,LABEL=(,,,IN) 00001800
13 //FT10F001 DD DSN=J3631.ORIGEN2.LIB.DATA(LIB24),DISP=SHR,LABEL=(,,,IN) 00001900
14 //FT07F001 DD DUMMY                           00002000
15 //FT50F001 DD DSN=&&AGC,UNIT=WK10, 00002100
15 //          DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,BLKSIZE=3200),SPACE=(3200,(50,50),RLSE) 00002200
16 //FT05F001 DD *                                00002300
17 //FT03F001 DD *                                00015600
17 //                                     00015800

```

&lt;&lt;&lt; SYSTEM MESSAGES LIST &gt;&gt;&gt;

```

KDS40613I USER(J3933) LAST ACCESS DATE(1993.07.14),TIME(18:23:24)
JDJ142I F3933057 ORIGEN2 - STEP WAS EXECUTED - COND CODE 0100
JDJ373I STEP/ORIGEN2 / START 93195.1824
JDJ374I STEP/ORIGEN2 / STOP 93195.1824 CPU      0MIN 08.82SEC SRB      0MIN 00.03SEC VIRT    880K ERGN    4K
ACT0611     SYSTEM ( SYSC M-780 ) EXCP      366TIMES
JDJ375I JOB/F3933057/ START 93195.1824
JDJ376I JOB/F3933057/ STOP 93195.1824 CPU      0MIN 08.82SEC SRB      0MIN 00.03SEC
D
*****USER NAME <<TA.NAKAMURA >> SECTION NO << G0919 >> ***
*****USER NAME <<TA.NAKAMURA >> SECTION NO << G0919 >> ***
*****JOB NUMBER ... 9545 RUNNING DATE ... 1993/07/14 ***
*****JOB NAME ... F3933057 USER-ID ... J3933 ***
*****JOB CLASS ... B JOB PRIORITY ... 01 ***
*****TOTAL JOB STEPS ... 1 COMPLETION CODE ... 0100 ***
*****CPU TIME ... OH OM 8582 I I/O ACCESS FILES ACCESS ***
*****SRB TIME ... OH OM 0503 I DISK ... 7 366 ***
*****JOB START DATE ... 1993/07/14 I TAPE ... 0 0 ***
*****TIME ... 18H24M28S77 I TOTAL ..... 366 ***
*****JOB END DATE ... 1993/07/14 I VIO PAGE IN ... 0 ***
*****TIME ... 18H24M50S08 I VIO PAGE OUT ... 0 ***
*****ELAPSED TIME ... OH OM21S31 I
*****PAGE IN ... 2 STORAGE REQ'D(MAX) ... 3136 KB ***
*****PAGE OUT ... 0 STORAGE USED (MAX) ... 880 KB ***
*****ROOM-LIMIT-CPU ROOM-USED-CPU USER-LIMIT-CPU USER-USED-CPU ***
*****5965H13M56S47 26H38M12S42 29H OM 0S 0 1K OM26S42 ***

```

PAGE TABLE OF CONTENTS ON UNIT = 12 FOR OUTPUT UNIT = 6

1	ORIGEN2 OVERVIEW AND DOCUMENTATION	
3	INPUT ECHO; READ ON 5 LIST ON 6 COPY TO 50	
5	NEUTRON YIELD PER NEUTRON-INDUCED FISSION	
6	(ALPHA,N) NEUTRON YIELD PER FISSION	
7	SPONTANEOUS FISSION NEUTRON YIELD PER FISSION	
8	INDIVIDUAL ELEMENT FRACTIONAL RECOVERIES	
10	GROUP ELEMENTAL FRACTIONAL RECOVERIES	
11	ELEMENTAL ASSIGNMENT TO FRAC RECOVERY GROUP	
12	ELEMENTAL CHEMICAL TOXICITIES	
13	ORIGEN INSTRUCTIONS FOR THIS CASE	
14	OUTPUT TABLES--TITLE= IRRADIATION OF NSRR FUEL AT A NATURAL PULSE REACTIVITY AND BURNUP DATA *ACTIVATION PRODUCTS****ACTIVATION PRODUCTS****ACTIVATION PRODUCTS**** *ACTINIDES + DAUGHTERS****ACTINIDES + DAUGHTERS****ACTINIDES + DAUGHTERS*** 15 ALPHA RADIOACTIVITY FRACTIONAL CURIES SUMMARY TABLE: *FISSION PRODUCTS****FISSION PRODUCTS****FISSION PRODUCTS****FISSION PRODUCTS**** 16 (ALPHA,N) NEUTRON SOURCE SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE ACTIVATION PRODUCT PHOTON TABLE ACTINIDE NUCLIDE PHOTON TABLE FISSION PRODUCT NUCLIDE PHOTON TABLE	00004300      RECYCLE # = 0
17	ORIGEN INSTRUCTIONS FOR THIS CASE	
18		
20		
24		
26		
27	OUTPUT TABLES--TITLE= COOLING TIME STEP CNSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR REACTIVITY AND BURNUP DATA *ACTIVATION PRODUCTS****ACTIVATION PRODUCTS****ACTIVATION PRODUCTS**** *ACTINIDES + DAUGHTERS****ACTINIDES + DAUGHTERS****ACTINIDES + DAUGHTERS*** 28 CONCENTRATIONS, GRAMS SUMMARY TABLE: 30 RADIOACTIVITY, CURLES SUMMARY TABLE: *FISSION PRODUCTS****FISSION PRODUCTS****FISSION PRODUCTS****FISSION PRODUCTS**** 32 (ALPHA,N) NEUTRON SOURCE SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE ACTIVATION PRODUCT PHOTON TABLE ACTINIDE NUCLIDE PHOTON TABLE FISSION PRODUCT NUCLIDE PHOTON TABLE	00014400      RECYCLE # = 0
33		
34		
36		
42		

OUTPUT UNIT = 6

PAGE 1

## JAERI-M 93-222

### INTRODUCTION

THIS TEXT IS INTENDED TO BE A BRIEF OUTLINE OF THE ORIGEN2 COMPUTER CODE, WHICH IS A REVISED AND UPDATED VERSION OF THE ORIGEN DOCUMENTED IN REPORT ORNL-628 (MAY 1973). INCLUDED HERE ARE A BRIEF DESCRIPTION OF THE FUNCTIONS OF ORIGEN2, A LISTING OF THE MAJOR DATA SOURCES, A LISTING OF THE PUBLISHED DOCUMENTATION CONCERNING ORIGEN2, AND AN OUTLINE OF THE ORIGEN2 OUTPUT ORGANIZATION. ORIGEN2 IS AVAILABLE FROM THE ORNL RADIATION SHIELDING INFORMATION CENTER (RSIC) AT THE FOLLOWING ADDRESS:

CODES COORDINATOR  
RADIATION SHIELDING INFORMATION CENTER

BLDG. 6025  
OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY  
OAK RIDGE, TENNESSEE 37830

PHONE: (615) 574-6176

QUESTIONS CONCERNING ORIGEN2 SHOULD BE ADDRESSED TO RSIC.

### DESCRIPTION

ORIGEN2 IS A REVISION AND UPDATE OF THE ORIGEN COMPUTER CODE. SPECIFICALLY, THE INPUT, OUTPUT, CONTROL, AND DATA BASE ASPECTS OF ORIGEN HAVE BEEN SIGNIFICANTLY REVISED AND UPDATED TO REFLECT CURRENT INFORMATION AND NEEDS. IT SHOULD BE NOTED THAT THE MATHEMATICAL METHODS USED TO SOLVE THE NUCLIDE BUILDUP, DEPLETION, AND DECAY EQUATIONS ARE ESSENTIALLY UNCHANGED. FROM THAT IN ORIGEN, ORIGEN2 IS A COMPUTER CODE DESIGNED TO CALCULATE THE COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF NUCLEAR MATERIALS AS A FUNCTION OF DECAY TIME AND THE CHANGES THE MATERIALS UNDERGO DURING VARIOUS FUEL CYCLE OPERATIONS. INPUT AND OUTPUT FEATURES HAVE BEEN DESIGNED TO FACILITATE FLEXIBILITY IN THE TYPE OF CASES THAT CAN BE CONSIDERED AND IN CONTROLLING THE DETAIL OF THE OUTPUT. FOR FURTHER INFORMATION, THE USER IS REFERRED TO THE DOCUMENTATION LISTED BELOW.

### MAJOR DATA SOURCES

VIRTUALLY ALL ASPECTS OF THE DATA INPUT TO ORIGEN2 HAVE BEEN UPDATED OR REVISED TO REFLECT CURRENT INFORMATION. THE PRINCIPAL SOURCES OF CROSS SECTION DATA WERE THE ENDF/B-IV, ENDF/B-V, AND LEND COMPILATIONS. DECAY AND PHOTON INFORMATION WERE PRIMARILY BASED ON THE EVALUATED NUCLEAR STRUCTURE DATA FILE (CENSOF) AT ORNL AND ENDF/B-IV. DATA CONCERNING REACTOR AND FUEL CHARACTERISTICS WERE OBTAINED FROM REFERENCE SAFETY ANALYSIS REPORTS AND, WHERE POSSIBLE, THE COMMERCIAL REACTOR VENDORS.

### DOCUMENTATION

THE FOLLOWING ITEMS CONSTITUTE THE ORIGEN2 DOCUMENTATION PUBLISHED AS OF THE DATE OF THIS CODE PACKAGE:  
A.G. CROFFE, "ORIGEN2 - A REVISED AND UPDATED VERSION OF THE OAK RIDGE ISOTOPE GENERATION AND DEPLETION CODE", ORNL-5621 (JULY 1980).

A.G. CROFFE, "A USER'S MANUAL FOR THE ORIGEN2 COMPUTER CODE", ORNL/TM-7175 (JULY 1980).

A.G. CROFFE, M.A. BJERKE, G.W. MORRISON, AND L.M. PETRIE, "REVISED URANIUM-PLUTONIUM CYCLE PWR AND BWR MODELS FOR THE ORIGEN COMPUTER CODE", ORNL/TM-6051 (SEPTEMBER 1978).

A.G. CROFFE AND M.A. BJERKE, "ALTERNATIVE FUEL CYCLE PWR MODELS FOR THE ORIGEN COMPUTER CODE", ORNL/TM-7005 (FEB 1980).

A.G. CROFFE, R.L. HAASE, AND N.B. GOVE, "UPDATED DECAY AND PHOTON LIBRARIES FOR THE ORIGEN CODE", ORNL/TM-6055 (FEB 1979).

A.G. CROFFE, "ORIGEN2: A REVISED AND UPDATED VERSION OF ORIGEN", TRANS. AM. NUCL. SOC., VOL. 34, P. 349-50 (JUNE 1980).

OUTPUT UNIT = 6 PAGE 2

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\* ORIGEN2: A REVISED AND UPDATED VERSION OF THE ORIGEN COMPUTER CODE \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

ORGANIZATION OF ORIGEN2 OUTPUT  
 PAST EXPERIENCE HAS INDICATED THAT MANY USERS ENCOUNTER CONSIDERABLE DIFFICULTY IN FINDING THE DESIRED INFORMATION IN A  
 ORIGEN2 OUTPUT WHICH IS SOMETIMES RATHER MASSIVE. THIS SECTION IS INTENDED AS A BRIEF OUTLINE OF THE ORGANIZATION OF  
 ORIGEN2 OUTPUT. FOR DETAILS REFER TO THE USER'S MANUAL (ORNLM-7175, SECT. 8.2). THE ORIGEN2 OUTPUT IS EXTREMELY  
 HIERARCHICAL, AND IS ORGANIZED AS FOLLOWS:

CARD INPUT ECHO

MISCELLANEOUS INPUT DATA (NEUTRON YIELDS, REPROCESSING LOSSES, ELEMENT CHEMICAL TOXICITIES

LISTING OF ORIGEN2 COMMANDS CURRENTLY BEING EXECUTED

LISTING OF ORIGEN2 DATA LIBRARIES (IF SPECIFIED)

DECAY LIBRARY

ACTIVATION PRODUCTS

ACTINIDES

Fission products

CROSS SECTION/FISSION PRODUCT YIELD LIBRARY

ACTIVATION PRODUCTS, ACTINIDES, AND FISSION PRODUCTS

PHOTON LIBRARY

ACTIVATION PRODUCTS, ACTINIDES, AND FISSION PRODUCTS

REACTIVITY AND BURNUP DATA

ACTIVATION PRODUCT TABLES

GRAM TABLES (NUCLIDE, ELEMENT, NUCLIDE SUMMARY, ELEMENT SUMMARY)

CORIE TABLES (NUCLIDE, ELEMENT, NUCLIDE SUMMARY, ELEMENT SUMMARY)

ETC. DEPENDING ON THE OUTPUT OPTIONS SPECIFIED, MANY OF THESE TABLES MAY BE OMITTED

ACTINIDE TABLES

SAME SUBHEADINGS POSSIBLE AS UNDER ACTIVATION PRODUCT TABLES

FISSION PRODUCT TABLES

SAME SUBHEADINGS POSSIBLE AS UNDER ACTIVATION PRODUCT TABLES

NEUTRON PRODUCTION RATE TABLES: (ALPHA, N) AND SPONTANEOUS FISSION

PHOTON TABLES

ACTIVATION PRODUCTS (SUMMATION AND PRINCIPAL CONTRIBUTORS)

ACTINIDES (SUMMATION AND PRINCIPAL CONTRIBUTORS)

FISSION PRODUCTS (SUMMATION AND PRINCIPAL CONTRIBUTORS)

OUTPUT 2

SAME GENERAL CONTENT AND ORDER AS OUTPUT 1

OUTPUT N  
 SAME GENERAL CONTENT AND ORDER AS OUTPUT 1  
 TABLE OF CONTENTS (UNIT 12) FOR THE ABOVE (UNIT 6) OUTPUT  
 VARIABLE CROSS SECTION INFORMATION OUTPUT (UNIT 16)  
 DEBUGGING AND OTHER INTERNAL INFORMATION OUTPUT (UNIT 15)

THE SCENARIO LISTED ABOVE CONSTITUTES A TYPICAL ORIGEN2 OUTPUT FOR MANY CASES. ONE POSSIBLE MODIFICATION IS THE USE OF AN  
 STOP COMMAND TO EXECUTE AN ADDITIONAL SET OF INSTRUCTIONS AFTER THE FIRST SET HAS BEEN EXECUTED. IF THIS IS DONE, THE OUTPUT  
 WILL BEGIN WITH "MISCELLANEOUS INPUT DATA" IF NSPP=1, "ORIGEN COMMANDS CURRENTLY BEING EXECUTED" IF NSPP=2, OR "OUTPUT 1"  
 FOR NSPP=3. ANOTHER OFTEN-USED OPTION IS TO EMPLOY BOTH THE PRIMARY (UNIT 6) AND ALTERNATE (UNIT 11) OUTPUT UNITS. IF BOTH  
 ARE ROUTED TO PAPER, THE TABLE OF CONTENTS FOR UNIT 11, WHICH IS ON UNIT 13, WILL IMMEDIATELY FOLLOW THE DEBUGGING AND  
 INTERNAL INFORMATION (UNIT 15) OUTPUT. THE "OUTPUT N" TABLES FOR UNIT 11 WILL BE PRINTED FOLLOWING THE TABLE OF CONTENTS.

LISTING OF INPUT DATA ON UNIT = 5

LISTING OF INPUT DATA ON UNIT = 5

INPUT UNIT	WRITE UNIT	CARD NUMBER	CARD IMAGE
5	50	50	00014901
5	50	51	00014902
5	50	52	00014903
5	50	53	00014900
5	50	54	00014901
5	50	55	00014902
5	50	56	00014910
5	50	57	00014920
5	50	58	00014930
5	50	59	00014940
5	50	60	00015400
5	50	61	00015500
5.0	DEC	5.0	00014901
10.0	DEC	10.0	00014902
20.0	DEC	20.0	00014903
50.0	DEC	50.0	00014900
100.0	DEC	100.0	00014901
200.0	DEC	200.0	00014902
8.8	OPTL	8.8	00014910
8.8	OPTA	8.8	00014920
8.8	OPTF	8.8	00014930
OUT	12	1 -1 0	00014940
END			00015400
			00015500

## NEUTRON YIELD PER NEUTRON-INDUCED FISSION

NUCLIDE	YIELD												
832090	0.0	882230	0.0	882260	0.0	882280	0.0	892270	0.0	902270	0.0	902270	0.0
902280	0.0	902290	2.0490	902300	0.0	902320	2.4180	902330	0.0	902340	0.0	902340	0.0
912310	0.0	912320	0.0	912330	2.6630	912341	0.0	912340	0.0	922300	0.0	922300	0.0
922310	0.0	922320	0.0	922330	2.4990	922340	2.6310	922350	2.4210	922360	2.7340	922360	2.7340
922370	0.0	922380	2.8010	922390	0.0	922400	0.0	932360	0.0	932370	3.0050	932370	3.0050
932380	0.0	932390	0.0	942360	2.8700	942370	0.0	942380	2.8330	942390	2.8750	942390	2.8750
942400	3.1350	942410	2.9340	942420	3.2800	942430	0.0	952410	3.2770	952421	3.1620	952421	3.1620
952420	3.3600	952430	3.7320	952441	0.0	952440	0.0	962420	3.7460	962430	3.4340	962430	3.4340
962440	3.7250	962450	3.8320	962460	3.8580	962470	3.5920	962480	3.7960	962490	0.0	962490	0.0
972490	3.7600	982490	4.0620	982500	3.9700	982510	4.1400	982520	4.1260	982530	4.1500	982530	4.1500
982540	0.0	992530	0.0	992541	0.0	992540	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

PAGE 5

OUTPUT UNIT = 6

(ALPHA,N) NEUTRON YIELD IN OXIDE FUELS  
UNITS ARE NEUT/SEC-G ATOM(ALPHA,N) NEUTRON YIELD IN OXIDE FUELS  
UNITS ARE NEUT/SEC-G ATOM

PAGE 6

OUTPUT UNIT = 6

NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE
942380	4.76E+06	942390	1.08E+04	942400	4.08E+04	942420	6.53E+02
962440	1.40E+08					952410	9.64E+05

THE REMAINING (ALPHA,N) NEUTRON ACTIVITIES ARE CALCULATED FROM THE EQUATION :

NEUTRONS/SEC-G ATOM = (FRACTION ALPHA DECAY)\*(DECAY CONSTANT)\* 2.152E-18\*(Q\*\* 1.401E+01)

## SPONTANEOUS FISSION NEUTRON YIELD, NEUT/FISSION

PAGE 7

OUTPUT UNIT = 6

NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE	NUCLIDE
922350 1.6950	922360 1.6500	922370 1.8720	922380 2.0000	922390 2.0480
932360 1.7830	932370 1.8730	932380 1.9630	932390 2.0530	942360 2.2200
942380 2.2800	942390 2.2400	942400 2.1600	942410 2.2500	942420 2.4240
942440 2.3000	952400 2.2900	952410 2.3830	952420 2.4750	952421 2.5900
952440 2.6570	952441 2.6650	962410 2.5000	962420 2.5900	962430 2.6870
962450 2.8720	962460 3.0000	962480 3.3200	962500 3.5600	972490 3.7200
982500 3.5600	982520 3.7250	982540 3.9000	992530 3.9200	992540 4.0400

THE REMAINING NEUTRON YIELDS ARE CALCULATED FROM THE EQUATION: NEUT/FISSION = (2.84\*0.1225\*(AT WT=244))



INDIVIDUAL ELEMENT FRACTIONAL RECOVERIES

## GROUP FRACTIONAL RECOVERIES

OUTPUT UNIT = 6

PAGE 10

GROUP	SET NUMBER										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.9950000	1.0000000	0.0005000	0.9990000	1.0000000	0.2000000	0.6000000	1.0000000	0.0	0.0	0.0
5	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	0.0500000	0.0500000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.9950000	1.0000000	0.0005000	0.9999000	1.0000000	0.0200000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	0.0010000	0.0010000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	0.0010000	0.0010000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	0.0010000	0.0010000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	0.0010000	0.0010000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	1.0000000	0.0005000	0.0	0.0010000	0.0010000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0010000	0.0005000	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0005000	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0005000	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## ELEMENT ASSIGNMENTS TO FRACTIONAL RECOVERY GROUPS

OUTPUT UNIT = 6

PAGE 11

| ELEM GROUP |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|            | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         |            |
| 1          | 14         | 2          | 13         | 3          | 1          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          |
| 10         | 13         | 11         | 1          | 12         | 1          | 13         | 14         | 15         | 16         | 17         | 12         |
| 19         | 1          | 20         | 1          | 21         | 1          | 22         | 1          | 23         | 1          | 24         | 1          |
| 28         | 1          | 29         | 1          | 30         | 1          | 31         | 1          | 32         | 1          | 33         | 1          |
| 37         | 1          | 38         | 1          | 39         | 1          | 40         | 1          | 41         | 1          | 42         | 1          |
| 46         | 1          | 47         | 1          | 48         | 1          | 49         | 1          | 50         | 1          | 51         | 1          |
| 55         | 1          | 56         | 1          | 57         | 1          | 58         | 1          | 59         | 1          | 60         | 1          |
| 64         | 1          | 65         | 1          | 66         | 1          | 67         | 1          | 68         | 1          | 69         | 1          |
| 73         | 1          | 74         | 1          | 75         | 1          | 76         | 1          | 77         | 1          | 78         | 1          |
| 82         | 1          | 83         | 1          | 84         | 1          | 85         | 1          | 86         | 1          | 87         | 1          |
| 91         | 3          | 92         | 4          | 93         | 5          | 94         | 6          | 95         | 7          | 96         | 8          |

PAGE 12

CHEMICAL TOXICITIES, GRAMS PER M\*\*3 WATER  
OUTPUT UNIT = 6

NUCLIDE	TOXICITY														
1	3.50E-03	2	2.00E-01	3	5.00E+00	4	1.00E+00	5	1.00E+00	6	4.00E+02				
7	1.00E-02	8	9.45E+05	9	1.00E+00	10	1.00E+00	11	1.00E+03	12	1.00E+01				
13	1.00E-02	14	5.00E+00	15	1.00E-02	16	5.00E+01	17	1.50E-01	18	1.00E+01				
19	1.00E+03	20	3.00E+01	21	5.00E-01	22	1.00E-01	23	1.00E-01	24	2.00E-02				
25	1.00E-02	26	5.00E-02	27	5.00E-02	28	5.00E-02	29	1.00E-02	30	5.00E-02				
31	2.00E-01	32	5.00E-01	33	1.00E-02	34	1.00E-02	35	3.00E+00	36	4.00E+01				
37	5.00E+01	38	1.00E+01	39	1.00E-03	40	1.00E+00	41	2.00E-02	42	5.00E-01				
43	1.00E+02	44	1.00E+00	45	1.00E-02	46	5.00E-02	47	1.00E-03	48	1.00E-02				
49	2.00E+02	50	5.00E-02	51	5.00E-02	52	2.00E-01	53	1.00E+01	54	1.50E+02				
55	5.00E+00	56	5.00E-01	57	1.00E+00	58	2.00E+00	59	1.00E+00	60	2.00E-01				
61	1.00E+00	62	2.00E-01	63	2.00E-01	64	2.00E-01	65	5.00E-01	66	1.00E+00				
67	1.00E+00	68	1.00E-01	69	2.00E-01	70	1.00E-01	71	1.00E-01	72	5.00E-02				
73	1.00E+00	74	1.00E+02	75	1.00E+01	76	1.00E+00	77	8.00E-01	78	3.00E-01				
79	2.00E+02	80	2.00E-03	81	5.00E-03	82	1.00E-02	83	1.00E-01	84	2.00E-01				
85	1.00E+01	86	5.00E+02	87	5.00E+00	88	1.00E-03	89	2.00E-02	90	5.00E-04				
91	5.00E-03	92	5.00E-01	93	8.00E-03	94	8.00E-04	95	4.00E-02	96	5.00E-01				
97	5.00E-03	98	1.00E-02	99	1.00E-02										

PAGE 13

```

OUTPUT UNIT = 6
000007000*
0000028000*
0000029000*
0000030000*
0000031000*
0000032000*
0000033000*
0000034000*
0000035000*
0000036000*
0000037000*
0000038000*
0000039000*
0000040000*
0000041000*
0000042000*
0000043000*
0000044000*
0000045000*
0000046000*
0000047000*
0000048000*
0000049000*
0000050000*
0000051000*
0000052000*
0000124000*
0000125000*
0000126000*
0000127000*
0000128000*
0000129000*
0000129000*

```

NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )

-1 = MAX FUEL FOR NSRR FBR TEST ( 70 G. METAL )

-2 = FRESH FUEL IMPURITIES ( 1 MT )

-3 = STAINLESS STEEL COMPOSITION ( 1 FUEL ROD )

-4 = CUT %

-5 = LIP %

-6 = LPU %

-7 = LIB %

-8 = PHO %

-9 = TIT %

-10 = YTR %

-11 = INP %

-12 = RDA %

-13 = MCY %

-14 = ADD %

-15 = HED %

-16 = BUP %

-17 = ROA %

-18 = IRP %

-19 = OPTL %

-20 = OPTA %

-21 = OPTF %

-22 = SPT %

-23 = CHARGE

INITIAL COMPOSITIONS OF UNIT AMOUNTS OF FUEL AND STRUCTURE MATERIALS

READ FUEL COMPOSITION ( 1 NSRR FUEL ROD )

-1 -1 -1 1

READ FUEL IMPURITY COMPOSITION ( 1 MT )

-2 1 -1 -1 1 1

READ ZIRCALLOY-4 COMPOSITION ( 1 NSRR FUEL ROD )

-3 1 -1 -1 1

IRRADIATION OF NSRR FUEL AT A NATURAL PULSE

-4 1 0 1.00

FUEL ELEMENT

-5 1 0 0.00098

FUEL IMPURITY

-6 1 0 1.0 SUS

TRANSIENT IRRADIATION

1 CYCLE

2 CYCLE

THE USE OF VARIOUS SOILS FOR EACH ELEMENT ISOTYPE:

RECENTES END WHICH VIELDS ARE EXPLICITLY ACCOUNTED FOR: 902320 922330 922350 922380 942390 942410 962450 982520

PAGE 26

OUTPUT UNIT = 6

		COLDING TIME STEP	NSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR	
1	0 TIT *			00014400*
2	0 DEC *	0.25	2 3 5 4	00014600*
3	0 DEC *	0.5	3 4 5 0	00014700*
4	0 DEC *	1.0	4 5 5 0	00014800*
5	0 DEC *	2.0	5 6 5 0	00014900*
6	0 DEC *	5.0	6 7 5 0	00014901*
7	0 DEC *	10.0	7 8 5 0	00014902*
8	0 DEC *	20.0	8 9 5 0	00014903*
9	0 DEC *	50.0	9 10 5 0	00014900*
10	0 DEC *	100.0	10 11 5 0	00014901*
11	0 DEC *	200.0	11 12 5 0	00014902*
12	0 OPTL *	OPTL	8 8	00014910*
13	0 OPTA *	OPTA	8 8 8 8 7 8 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	00014920*
14	0 OPTF *	OPTF	8 8	00014930*
15	0 OUT *	OUT	12 1 -1 0	00014940*
16	0 END *	END		00015400*

PAGE 27

Cooling Time Step CNSRR Fuel Rod Irradiated In The NSRR  
 POWER= 1.00000E+00MW, BURNUP= 1.000E+00MW, FLUX= 1.00E+00N/CM\*\*2 SEC

## REACTIVITY AND BURNUP DATA

	BASIS= MSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )	000002700
CHARGE	2.0S 0.3YR 0.5YR 1.0YR 2.0YR 5.0YR 10.0YR 20.0YR 50.0YR 100.0YR 200.0YR	
TIME, SEC	0.0	7.89E+06 1.58E+07 3.16E+07 6.31E+07 1.58E+08 3.16E+08 6.31E+08 1.58E+09 3.16E+09 6.31E+09
NEUT. FLUX	0.0	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
SP. POW. MW	0.0	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
BURNUP, MWD	0.0	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
K INFINITY	0.0	0.01065 0.01065 0.01065 0.01065 0.01065 0.01065 0.01065 0.01065 0.01065 0.01065 0.01065
NEUT. PRODN	0.0	1.32E-02
NEUT. DESIN	0.0	1.24E+00
TOT BURNUP	0.0	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
AVG N FLUX	0.0	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
AVG SP. POW	0.0	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

SIZE OF MMAX(1): MMAX= 1 #= 848 MMAX= 2 #= 437 MMAX= 3 #= 143 MMAX= 4 #= 49 MMAX= 5 #= 108 MMAX= 6 #= 68  
 MMAX= 7 #= 14 MMAX= 8 #= 0 MMAX= 9 #= 0 MMAX=10 #= 0 MMAX=11 #= 0 MMAX=12 #= 0 MMAX= 6 #= 68

THE NUMBER OF NON-ZERO TERMS IN A=9578  
 THE NUMBER OF NON-ZERO FISSION PRODUCT YIELDS=6482  
 ILITE= 684 LACT= 129 IFP= 858 ITOT=1671  
 THE NUMBER OF NON-ZERO NATURAL ABUNDANCES:: 434  
 THE NUMBER OF NON-ZERO PHOTON YIELDS= 7807  
 THE MAXIMUM NUMBER OF TERMS IN AP= 419

COOLING TIME STEP (NSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR  
 POWER= 1.00000E+00MW, BURNUP= 1.00000E+00W, FLUX= 1.00E+00N/cm\*\*2 - SEC  
 00014400  
 ACTINIDES+DAUGHTERS PAGE 28

## SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS

CHARGE	2.0S	NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )	0.3YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	00002700	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TH232	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								
SUMTOT	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								
TOTAL	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								

COOLING TIME STEP (NSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR  
 POWER= 1.00000E+00MW, BURNUP= 1.00000E+00W, FLUX= 1.00E+00N/cm\*\*2 - SEC  
 00014400  
 ACTINIDES+DAUGHTERS PAGE 29

## SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS

CHARGE	2.0S	NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )	0.3YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	00002700	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TH	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								
SUMTOT	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								
TOTAL	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								

COOLING TIME STEP (NSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR  
 POWER= 1.00000E+00MW, BURNUP= 1.00000E+00W, FLUX= 1.00E+00N/cm\*\*2 - SEC  
 00014400  
 ACTINIDES+DAUGHTERS PAGE 29

## SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS

CHARGE	2.0S	NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )	0.3YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	00002700	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TH	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								
SUMTOT	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								
TOTAL	1.000E+02	1.0000E+02	1.000E+02								

## CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+02										
AP+ACT+FP	1.000E+02										

COOLING TIME STEP (NSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR  
POWER= 1.00000E+00MW, BURNUP= 1.00000E+00MWD, FLUX= 1.00E+00N/cm\*\*2 SEC  
OUTPUT UNIT = 6 ACTINIDES+DAUGHTERS PAGE 30

SUMMARY TABLE: RADIODACTIVITY, CURIES

	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	000002700	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	4.425E-09	1.709E-08	6.345E-08	2.192E-07	9.105E-07	2.024E-06	3.247E-06	3.920E-06	3.942E-06	3.942E-06	3.942E-06
P8212	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	6.102E-07	2.534E-07	9.036E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
B1212	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	1.766E-07	6.102E-07	2.534E-06	5.633E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
P0212	0.0	0.0	7.891E-09	3.048E-08	1.131E-07	3.910E-07	1.624E-06	3.609E-06	5.789E-06	6.990E-06	7.029E-06	7.030E-06	7.030E-06
P0216	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	1.766E-07	6.102E-07	2.534E-06	5.633E-06	9.036E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
RN220	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	1.766E-07	6.102E-07	2.534E-06	5.633E-06	9.036E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
RA224	0.0	0.0	7.194E-14	2.801E-07	5.531E-07	1.078E-06	2.051E-06	4.431E-06	7.073E-06	9.586E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05
AC228	0.0	0.0	2.801E-07	5.531E-07	1.078E-06	2.051E-06	4.431E-06	7.073E-06	9.586E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
TH228	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	1.766E-07	6.102E-07	2.534E-06	5.633E-06	9.036E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
TR232	0.0	0.0	1.097E-05										
SUMTOT		1.097E-05	1.097E-05	1.162E-05	1.241E-05	1.436E-05	1.934E-05	3.757E-05	6.455E-05	9.339E-05	1.092E-04	1.097E-04	1.097E-04
TOTAL		1.097E-05	1.097E-05	1.162E-05	1.241E-05	1.436E-05	1.934E-05	3.757E-05	6.455E-05	9.339E-05	1.092E-04	1.097E-04	1.097E-04

	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	000002700	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL	0.0	0.0	4.425E-09	1.709E-08	6.345E-08	2.192E-07	9.105E-07	2.024E-06	3.247E-06	3.920E-06	3.942E-06	3.942E-06	3.942E-06
PB	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	1.766E-07	6.102E-07	2.534E-06	5.633E-06	9.036E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
B1	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	1.766E-07	6.102E-07	2.534E-06	5.633E-06	9.036E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
P0	0.0	0.0	2.021E-08	7.804E-08	2.897E-07	1.001E-06	4.158E-06	9.242E-06	1.790E-05	1.800E-05	1.800E-05	1.800E-05	1.800E-05
RN	0.0	0.0	1.232E-08	4.757E-08	1.766E-07	6.102E-07	2.534E-06	5.633E-06	9.036E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
RA	0.0	0.0	7.194E-14	2.924E-07	6.007E-07	1.235E-06	2.661E-06	6.965E-06	1.271E-05	1.862E-05	2.182E-05	2.194E-05	2.194E-05
AC	0.0	0.0	2.801E-07	5.531E-07	1.078E-06	2.051E-06	4.431E-06	7.073E-06	9.586E-06	1.091E-05	1.097E-05	1.097E-05	1.097E-05
TH	1.097E-05	1.097E-05	1.098E-05	1.102E-05	1.115E-05	1.158E-05	1.350E-05	1.662E-05	2.001E-05	2.188E-05	2.194E-05	2.194E-05	2.194E-05
SUMTOT		1.097E-05	1.097E-05	1.162E-05	1.241E-05	1.436E-05	1.934E-05	3.757E-05	6.455E-05	9.339E-05	1.092E-04	1.097E-04	1.097E-04
TOTAL		1.097E-05	1.097E-05	1.162E-05	1.241E-05	1.436E-05	1.934E-05	3.757E-05	6.455E-05	9.339E-05	1.092E-04	1.097E-04	1.097E-04
CUMULATIVE TABLE TOTALS													
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.097E-05	1.097E-05	1.162E-05	1.241E-05	1.436E-05	1.934E-05	3.757E-05	6.455E-05	9.339E-05	1.092E-04	1.097E-04	1.097E-04	1.097E-04
AP+ACT+FP	1.097E-05	1.097E-05	1.162E-05	1.241E-05	1.436E-05	1.934E-05	3.757E-05	6.455E-05	9.339E-05	1.092E-04	1.097E-04	1.097E-04	1.097E-04

TOTALS	$3.180E-04$	$3.180E-04$	$1.606E-02$	$6.111E-02$	$2.260E-01$	$7.802E-01$	$3.239E+00$	$7.200E+00$	$1.155E+01$	$1.394E+01$	$1.402E+01$
TABLE	$3.180E-04$	$3.180E-04$	$1.606E-02$	$6.111E-02$	$2.260E-01$	$7.802E-01$	$3.239E+00$	$7.200E+00$	$1.155E+01$	$1.394E+01$	$1.402E+01$
ACTUAL	$3.180E-04$	$3.180E-04$	$1.606E-02$	$6.111E-02$	$2.260E-01$	$7.802E-01$	$3.239E+00$	$7.200E+00$	$1.155E+01$	$1.394E+01$	$1.402E+01$

PAGE 33

COOLING TIME STEP (NSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR	OUTPUT UNIT = 6
SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC	00014400
BASIS= NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )	00002700
CHARGE 2.05 0.3YR 0.5YR 1.0YR 2.0YR 5.0YR 10.0YR 20.0YR 50.0YR 100.0YR 200.0YR	

## PHOTON SPECTRUM FOR ACTIVATION PRODUCTS

OUTPUT UNIT = 6 PAGE 34

COOLING TIME STEP (NSRR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR  
 POWER= 1.00 MW, BURNUP= 1. MWD, FLUX= 1.00E+00 N/CM\*\*2 SEC

18 GROUP PHOTON RELEASE RATES, PHOTONS/SECOND  
 BASIS= NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )

EMEAN	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.YR	10.YR	20.YR	50.YR	100.YR	200.YR
1.500E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.500E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.750E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.750E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.500E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.250E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.250E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.750E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.750E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.500E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.250E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.250E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.750E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.750E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.500E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.250E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MEV/SEC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

18 GROUP SPECIFIC ENERGY RELEASE RATES, MEV/WATT SEC  
 BASIS= NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )

EMEAN	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.YR	10.YR	20.YR	50.YR	100.YR	200.YR
1.500E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.500E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.750E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.750E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.500E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.250E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.250E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.750E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.750E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.500E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.250E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.750E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.750E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.500E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.250E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GAM POW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## PHOTON SPECTRUM FOR ACTINIDES + DAUGHTERS

OUTPUT UNIT = 6 PAGE = 36

CLOUDING TIME STEP CNSAR FUEL ROD IRRADIATED IN THE NSRR 00014400  
 POWER= 1.00 MW, BUINUP= 1. MW, FLUX= 1.00E+00 N/cm\*\*2 SEC

18 GROUP PHOTON RELEASE RATES, PHOTONS/SECOND  
 BASIS= NSRR FUEL ( 1 FUEL ROD )

EMEAN	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
1.500E-02	3.304E+04	3.304E+04	4.165E+04	5.068E+04	6.972E+04	1.103E+05	2.330E+05	3.953E+05	5.623E+05	6.558E+05	6.559E+05	
2.500E-02	0.0	3.905E-08	5.926E+02	1.232E+03	2.626E+03	5.772E+03	1.562E+04	3.081E+04	5.122E+04	5.123E+04		
3.750E-02	0.0	4.683E-10	3.871E+02	8.142E+02	1.768E+03	3.951E+03	1.115E+04	2.121E+04	3.175E+04	3.769E+04	3.770E+04	
5.750E-02	6.250E+02	6.250E+02	1.193E+03	1.843E+03	2.162E+03	3.191E+03	4.837E+04	8.162E+04	1.496E+04	4.907E+04	4.907E+04	
8.500E-02	0.0	0.0	7.281E+02	1.799E+03	4.810E+03	1.341E+04	4.787E+04	1.011E+05	1.588E+05	1.904E+05	1.915E+05	
1.250E-01	1.757E+02	1.757E+02	3.983E+02	6.421E+02	1.182E+03	2.408E+03	6.409E+03	1.319E+04	1.977E+04	1.778E+04	2.106E+04	
2.250E-01	3.401E-03	3.401E-03	1.595E+03	3.657E+03	8.960E+03	2.303E+04	7.628E+04	1.564E+05	2.426E+05	2.888E+05	2.914E+05	
3.750E-01	0.0	0.0	1.926E+03	1.490E+04	7.613E+03	3.409E+04	6.687E+04	1.925E+04	9.167E+04	9.167E+04	9.167E+04	
5.750E-01	0.0	0.0	9.902E+02	2.293E+03	5.688E+03	1.480E+04	4.964E+04	1.023E+05	1.590E+05	1.900E+05	1.911E+05	
8.500E-01	1.356E-03	1.356E-03	7.481E-03	1.493E-04	2.967E+04	5.828E+04	1.341E+05	2.248E+05	3.141E+05	3.617E+05	3.638E+05	
1.250E+00	7.711E-04	7.711E-04	5.083E+02	1.013E+03	2.007E+03	3.922E+03	8.944E+03	1.489E+04	2.072E+04	2.383E+04	2.396E+04	
1.750E+00	3.864E-04	3.864E-04	8.193E+03	1.715E+03	3.623E+03	7.244E+03	1.715E+04	4.866E+04	1.155E+04	4.834E+04	4.844E+04	
2.250E+00	1.936E-04	1.936E-04	1.947E+04	1.980E+04	2.099E+04	2.501E+04	4.283E+04	7.154E+04	1.031E+03	1.210E+03	1.210E+03	
2.750E+00	9.700E-05	9.700E-05	1.553E+02	5.939E+02	7.696E+03	2.227E+03	7.196E+04	7.104E+04	1.140E+05	1.376E+05	1.3784E+05	
3.500E+00	7.143E-05	7.143E-05	7.183E-05	7.298E-05	7.718E-05	9.129E-05	1.539E-04	2.548E-04	3.656E-04	4.266E-04	4.266E-04	
5.000E+00	2.127E-05	2.127E-05	2.173E-05	2.298E-05	2.173E-05	4.582E-05	7.582E-05	1.088E-04	1.276E-04	1.276E-04	1.276E-04	
7.000E+00	1.380E-06	1.380E-06	1.388E-06	1.410E-06	1.491E-06	2.973E-06	4.921E-06	7.061E-06	8.237E-06	8.278E-06	8.279E-06	
1.100E+01	8.726E-08	8.726E-08	8.775E-08	8.915E-08	9.428E-08	1.880E-07	3.115E-07	4.465E-07	5.210E-07	5.235E-07	5.235E-07	
TOTAL		3.384E+04	3.384E+04	5.853E+04	8.515E+04	1.431E+05	2.718E+05	6.818E+05	1.243E+06	1.827E+06	2.143E+06	2.155E+06
MEV/SEC		5.534E+02	5.534E+02	1.148E+04	2.351E+04	5.026E+04	1.113E+05	3.116E+05	5.910E+05	8.836E+05	1.048E+06	1.048E+06

EMEAN	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
1.500E-02	4.955E-04	4.955E-04	6.248E-04	7.602E-04	1.046E-03	1.654E-03	3.494E-03	5.930E-03	8.433E-03	9.785E-03	9.837E-03	9.838E-03
2.500E-02	0.0	9.912E-16	1.481E-05	3.081E-05	6.566E-05	1.472E-04	3.905E-04	7.294E-04	1.082E-03	1.272E-03	1.281E-03	1.281E-03
3.750E-02	0.0	1.756E-17	1.514E-05	1.482E-04	1.482E-04	1.481E-04	1.481E-04	7.957E-04	1.191E-03	1.406E-03	1.414E-03	1.414E-03
5.750E-02	3.594E-05	3.594E-05	6.977E-05	1.060E-04	1.842E-04	3.500E-04	8.967E-04	1.631E-04	2.809E-03	2.821E-03	2.821E-03	
8.500E-02	0.0	0.0	6.189E-05	1.529E-04	4.089E-04	1.140E-03	4.069E-03	8.599E-03	1.150E-02	1.619E-02	1.628E-02	1.628E-02
1.250E-01	2.197E-05	2.197E-05	4.979E-05	8.027E-05	1.478E-04	3.010E-04	8.011E-04	1.496E-03	2.223E-03	6.617E-03	6.632E-03	6.632E-03
2.250E-01	7.652E-10	7.652E-10	3.228E-04	8.228E-04	1.764E-04	3.519E-04	8.519E-04	1.518E-03	2.518E-03	6.556E-03	6.556E-03	6.556E-03
3.750E-01	0.0	0.0	7.221E-04	1.433E-03	2.855E-03	5.589E-03	1.278E-02	2.132E-02	2.972E-02	3.418E-02	3.438E-02	3.438E-02
5.750E-01	0.0	0.0	5.694E-04	1.318E-03	3.711E-03	8.511E-03	2.854E-02	5.888E-02	9.142E-02	1.093E-01	1.099E-01	1.099E-01
8.500E-01	1.152E-09	1.152E-09	6.359E-03	1.265E-02	2.522E-02	4.956E-02	1.140E-01	1.911E-01	2.670E-01	3.075E-01	3.092E-01	3.092E-01
1.250E-00	9.639E-10	9.639E-10	6.534E-04	1.254E-04	2.500E-04	4.903E-03	1.186E-02	1.864E-02	2.590E-02	2.978E-02	2.995E-02	2.995E-02
1.750E-00	6.761E-10	6.761E-10	1.574E-03	6.341E-03	1.266E-02	3.001E-02	5.138E-02	7.271E-02	8.411E-02	8.411E-02	8.469E-02	8.469E-02
2.250E-00	4.356E-10	4.356E-10	4.356E-10	4.455E-10	4.724E-10	5.622E-10	9.633E-10	1.610E-09	2.319E-09	2.710E-09	2.723E-09	2.723E-09
2.750E-00	2.667E-10	2.667E-10	4.272E-04	1.650E-03	6.125E-03	2.116E-02	8.789E-02	1.957E-02	3.134E-01	3.778E-01	3.805E-01	3.805E-01
3.500E-00	2.500E-10	2.500E-10	2.500E-10	2.554E-10	2.701E-10	3.193E-10	5.387E-10	8.911E-09	1.279E-09	1.493E-09	1.500E-09	
5.000E-00	1.063E-10	1.063E-10	1.063E-10	1.069E-10	1.086E-10	1.149E-10	1.359E-10	2.591E-10	3.792E-10	5.441E-10	6.339E-10	
7.000E-00	9.559E-12	9.659E-12	9.713E-12	9.868E-12	1.044E-11	1.233E-11	2.081E-11	3.443E-11	5.766E-11	8.943E-11	11.5795E-11	
1.100E+01	9.598E-13	9.598E-13	9.652E-13	9.809E-13	1.037E-12	1.227E-12	2.068E-12	3.423E-12	4.911E-12	5.731E-12	5.758E-12	
TOTAL		5.534E-04	5.534E-04	1.148E-02	2.351E-02	5.026E-02	1.113E-01	3.116E-01	5.910E-01	8.836E-01	1.048E+00	1.048E+00
GAM PW		8.872E-11	8.872E-11	1.840E-09	3.768E-09	8.056E-09	1.784E-08	4.996E-08	9.473E-08	1.416E-07	1.671E-07	1.681E-07

OUTPUT UNIT = 6

PAGE 37

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 1, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.015MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	6.007E+01	2.320E+02	8.614E+02	2.976E+03	1.236E+04	2.747E+04	4.407E+04	5.372E+04	5.351E+04	5.352E+04
PB212	0.0	0.0	1.016E+02	3.924E+02	1.457E+03	5.033E+03	2.090E+04	4.646E+04	7.433E+04	8.999E+04	9.050E+04	9.051E+04
BI212	0.0	0.0	1.184E+02	4.575E+02	1.698E+03	5.869E+03	2.437E+04	5.417E+04	8.650E+04	1.055E+05	1.055E+05	1.055E+05
AC228	0.0	0.0	8.209E+02	3.633E+03	1.183E+04	3.189E+04	1.308E+05	2.088E+05	2.810E+05	3.220E+05	3.238E+05	3.239E+05
RA228	0.0	0.0	5.235E+01	2.038E+02	7.569E+02	2.616E+03	1.087E+04	2.416E+04	3.877E+04	4.681E+04	4.708E+04	4.708E+04
TH232	3.304E+04											

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 2, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.025MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR	
TL208	0.0	0.0	1.147E+01	4.432E+01	1.645E+02	5.685E+02	2.361E+03	5.248E+03	8.418E+03	1.016E+04	1.016E+04	1.022E+04	1.022E+04
PB212	0.0	0.0	4.428E+00	1.710E+01	6.349E+01	2.194E+02	9.111E+02	2.025E+03	3.249E+03	3.922E+03	3.945E+03	3.945E+03	3.945E+03
BI212	0.0	0.0	1.699E+01	6.563E+01	2.437E+02	8.419E+02	3.486E+03	7.772E+03	1.247E+04	1.505E+04	1.514E+04	1.514E+04	1.514E+04
RA228	0.0	3.965E-08	1.544E-01	3.068E-01	5.943E-01	1.130E+00	2.442E+00	3.898E+00	5.288E+00	6.013E+00	6.047E+00	6.047E+00	6.047E+00
AC228	0.0	0.0	5.595E+02	1.105E+03	2.154E+03	4.096E+03	8.851E+03	1.413E+04	1.915E+04	2.179E+04	2.191E+04	2.192E+04	2.192E+04

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 3, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.038MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR	
TL208	0.0	0.0	7.464E+00	2.883E+01	1.070E+02	3.698E+02	1.536E+03	3.414E+03	5.476E+03	6.612E+03	6.649E+03	6.650E+03	6.650E+03
PB212	0.0	0.0	2.551E+00	9.851E+00	3.658E+01	1.264E+02	5.249E+02	1.167E+03	1.872E+03	2.260E+03	2.273E+03	2.273E+03	2.273E+03
BI212	0.0	0.0	1.645E+01	6.352E+01	2.358E+02	8.148E+02	3.496E+03	7.722E+03	1.207E+04	1.465E+04	1.465E+04	1.465E+04	1.465E+04
RA228	0.0	4.683E-10	1.824E-03	3.601E-03	7.020E-03	1.335E-03	2.885E-02	4.604E-02	6.241E-02	7.102E-02	7.143E-02	7.143E-02	7.143E-02
AC228	0.0	0.0	3.606E+02	7.120E+02	1.388E+03	2.640E+03	5.704E+03	9.104E+03	1.234E+04	1.442E+04	1.442E+04	1.442E+04	1.442E+04

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 4, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.058MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR	
TL208	0.0	0.0	1.066E+01	4.116E+01	1.528E+02	5.280E+02	2.192E+03	4.874E+03	7.818E+03	9.439E+03	9.492E+03	9.493E+03	9.493E+03
PB212	0.0	0.0	2.948E+00	1.136E+01	4.226E+01	1.460E+02	6.065E+02	1.348E+03	2.162E+03	2.611E+03	2.626E+03	2.626E+03	2.626E+03
BI212	0.0	0.0	1.622E+01	6.264E+01	2.326E+02	8.035E+02	3.337E+03	7.418E+03	1.190E+04	1.437E+04	1.445E+04	1.445E+04	1.445E+04
RA228	0.0	0.0	5.585E+02	1.105E+03	2.150E+03	4.089E+03	8.835E+03	1.110E+04	1.911E+04	2.175E+04	2.187E+04	2.188E+04	2.188E+04
AC228	0.0	6.250E+02											
TH232													

PAGE 38

OUTPUT UNIT = 6

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 5, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.085MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	1.686E+01	6.512E+01	2.417E+02	8.353E+02	3.469E+03	7.711E+03	1.237E+04	1.493E+04	1.502E+04	1.502E+04
PB212	0.0	0.0	1.563E-02	6.035E+02	2.241E+03	7.742E+03	3.215E+04	7.147E+04	1.146E+05	1.384E+05	1.392E+05	1.392E+05
B1212	0.0	0.0	1.093E+01	4.223E+01	1.508E+02	5.417E+02	2.250E+03	8.021E+03	9.685E+03	9.740E+03	9.741E+03	9.741E+03
AC228	0.0	0.0	5.367E+02	1.096E+03	2.066E+03	3.929E+03	8.490E+03	1.355E+04	2.090E+04	2.102E+04	2.102E+04	2.102E+04
TH228	0.0	0.0	5.376E+00	2.074E+01	7.695E+01	2.661E+02	1.106E+03	2.458E+03	3.944E+03	4.762E+03	4.789E+03	4.789E+03

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 6, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.125MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	4.092E+00	1.580E+01	5.868E+01	2.027E+02	8.420E+02	1.872E+03	3.002E+03	3.625E+03	3.645E+03	3.646E+03
PB212	0.0	0.0	3.048E+00	1.177E+01	4.370E+01	1.510E+02	6.271E+02	1.339E+03	2.236E+03	2.700E+03	2.715E+03	2.715E+03
B1212	0.0	0.0	6.060E+00	2.551E+01	9.477E+01	3.273E+02	1.359E+03	3.021E+03	4.846E+03	5.851E+03	5.884E+03	5.885E+03
AC228	0.0	0.0	2.033E+02	4.113E+02	8.018E+02	1.525E+03	3.295E+03	7.122E+03	8.111E+03	8.157E+03	8.158E+03	8.158E+03
TH228	0.0	0.0	5.376E+00	2.074E+01	7.695E+00	2.661E+01	1.106E+02	2.458E+02	3.944E+02	4.762E+02	4.789E+02	4.789E+02
TH232	1.757E+02											

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 7, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.225MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	2.112E+01	8.155E+01	3.028E+02	1.046E+03	4.345E+03	9.657E+03	1.549E+04	1.870E+04	1.881E+04	1.881E+04
PB212	0.0	0.0	2.157E+02	8.340E+02	3.096E+03	1.070E+04	4.443E+04	9.876E+04	1.586E+05	1.913E+05	1.924E+05	1.924E+05
B1212	0.0	0.0	1.101E+01	4.276E+01	1.796E+02	5.487E+02	2.278E+03	7.122E+03	8.122E+03	9.862E+03	9.862E+03	9.862E+03
RA224	0.0	0.0	1.909E+01	7.372E+01	2.737E+02	9.457E+02	3.927E+03	8.730E+03	1.400E+04	1.691E+04	1.701E+04	1.701E+04
AC228	0.0	0.0	1.326E+03	2.619E+03	5.106E+03	9.710E+03	2.098E+04	3.349E+04	4.539E+04	5.195E+04	5.195E+04	5.195E+04
TH232	3.401E-03											

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 8, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.375MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	2.013E+00	7.776E+00	2.887E+01	9.975E+01	4.142E+02	9.208E+02	1.477E+03	1.783E+03	1.794E+03	1.794E+03
PB212	0.0	0.0	1.253E+01	4.839E+01	1.796E+02	6.207E+02	2.578E+03	5.730E+03	9.191E+03	1.110E+04	1.116E+04	1.116E+04
B1212	0.0	0.0	4.524E+00	1.747E+01	6.487E+01	2.241E+02	9.318E+02	2.1669E+03	3.319E+03	4.007E+03	4.030E+03	4.030E+03
AC228	0.0	0.0	1.907E+03	3.765E+03	7.340E+03	1.396E+04	3.016E+04	4.814E+04	6.524E+04	7.425E+04	7.467E+04	7.468E+04

OUTPUT UNIT = 6

PAGE 39

JAERI-M 93-222

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 9, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.573MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	$1.751\text{E}+02$	$2.511\text{E}+03$	$8.678\text{E}+03$	$3.604\text{E}+04$	$8.010\text{E}+04$	$1.285\text{E}+05$	$1.551\text{E}+05$	$1.560\text{E}+05$	$1.560\text{E}+05$	$1.560\text{E}+05$
B1212	0.0	0.0	$3.301\text{E}+00$	$4.847\text{E}+01$	$1.675\text{E}+02$	$6.955\text{E}+02$	$1.546\text{E}+03$	$2.480\text{E}+03$	$2.994\text{E}+03$	$3.011\text{E}+03$	$3.011\text{E}+03$	$3.011\text{E}+03$
AC228	0.0	0.0	$8.113\text{E}+02$	$1.602\text{E}+03$	$3.123\text{E}+03$	$5.940\text{E}+03$	$1.283\text{E}+04$	$2.048\text{E}+04$	$2.776\text{E}+04$	$3.160\text{E}+04$	$3.178\text{E}+04$	$3.178\text{E}+04$
TH232												

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 10, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 0.850MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	$2.341\text{E}+01$	$9.040\text{E}+01$	$3.356\text{E}+02$	$1.160\text{E}+03$	$4.816\text{E}+03$	$1.071\text{E}+04$	$1.717\text{E}+04$	$2.073\text{E}+04$	$2.085\text{E}+04$	$2.085\text{E}+04$
B1212	0.0	0.0	$5.966\text{E}+01$	$2.305\text{E}+02$	$8.557\text{E}+02$	$2.957\text{E}+03$	$1.228\text{E}+04$	$2.729\text{E}+04$	$4.378\text{E}+04$	$5.286\text{E}+04$	$5.316\text{E}+04$	$5.316\text{E}+04$
AC228	0.0	0.0	$7.398\text{E}+03$	$1.461\text{E}+04$	$2.848\text{E}+04$	$5.416\text{E}+04$	$1.170\text{E}+05$	$1.868\text{E}+05$	$2.532\text{E}+05$	$2.881\text{E}+05$	$2.898\text{E}+05$	$2.898\text{E}+05$
TH232	$1.356\text{E}-03$											
TH232												

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 11, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 1.250MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	$6.973\text{E}-01$	$2.693\text{E}+00$	$9.999\text{E}+00$	$3.455\text{E}+01$	$1.435\text{E}+02$	$3.189\text{E}+02$	$5.116\text{E}+02$	$6.177\text{E}+02$	$6.177\text{E}+02$	$6.212\text{E}+02$
B1212	0.0	0.0	$4.059\text{E}+00$	$1.568\text{E}+01$	$5.820\text{E}+01$	$2.011\text{E}+02$	$8.352\text{E}+02$	$1.856\text{E}+03$	$2.978\text{E}+03$	$3.506\text{E}+03$	$3.616\text{E}+03$	$3.616\text{E}+03$
AC228	0.0	0.0	$5.038\text{E}+02$	$9.944\text{E}+02$	$1.939\text{E}+03$	$3.687\text{E}+03$	$7.966\text{E}+03$	$1.271\text{E}+04$	$1.725\text{E}+04$	$1.961\text{E}+04$	$1.972\text{E}+04$	$1.972\text{E}+04$
TH232	$7.711\text{E}-04$											
TH232												

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 12, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 1.750MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	$1.540\text{E}+01$	$5.947\text{E}+01$	$2.208\text{E}+02$	$7.629\text{E}+02$	$3.168\text{E}+03$	$7.042\text{E}+03$	$1.130\text{E}+04$	$1.364\text{E}+04$	$1.372\text{E}+04$	$1.372\text{E}+04$
B1212	0.0	0.0	$8.839\text{E}+02$	$1.715\text{E}+03$	$3.403\text{E}+03$	$6.471\text{E}+03$	$1.398\text{E}+04$	$2.232\text{E}+04$	$3.025\text{E}+04$	$3.442\text{E}+04$	$3.462\text{E}+04$	$3.462\text{E}+04$
AC228	$3.864\text{E}-04$											
TH232												

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 13, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 2.250MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
B1212	0.0	0.0	$1.326\text{E}-07$	$5.120\text{E}-07$	$1.901\text{E}-06$	$6.568\text{E}-06$	$2.728\text{E}-05$	$6.063\text{E}-05$	$9.726\text{E}-05$	$1.174\text{E}-05$	$1.181\text{E}-04$	$1.181\text{E}-04$
P0212	0.0	0.0	$1.392\text{E}-07$	$5.377\text{E}-07$	$1.996\text{E}-06$	$6.898\text{E}-06$	$2.865\text{E}-05$	$6.768\text{E}-05$	$1.021\text{E}-04$	$1.233\text{E}-04$	$1.240\text{E}-04$	$1.240\text{E}-04$
P0216	0.0	0.0	$2.173\text{E}-07$	$8.393\text{E}-07$	$3.116\text{E}-06$	$1.077\text{E}-05$	$4.471\text{E}-05$	$9.939\text{E}-05$	$1.594\text{E}-04$	$1.922\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$
R0220	0.0	0.0	$2.173\text{E}-07$	$8.393\text{E}-07$	$3.116\text{E}-06$	$1.077\text{E}-05$	$4.471\text{E}-05$	$9.939\text{E}-05$	$1.594\text{E}-04$	$1.925\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$
RA224	0.0	0.0	$2.173\text{E}-07$	$8.393\text{E}-07$	$3.116\text{E}-06$	$1.077\text{E}-05$	$4.471\text{E}-05$	$9.939\text{E}-05$	$1.594\text{E}-04$	$1.925\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$
TH228	0.0	0.0	$2.173\text{E}-07$	$8.382\text{E}-07$	$3.112\text{E}-06$	$1.076\text{E}-05$	$4.469\text{E}-05$	$9.935\text{E}-05$	$1.594\text{E}-04$	$1.925\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$	$1.936\text{E}-04$
TH232	$1.936\text{E}-04$											

OUTPUT UNIT = 6 PAGE 40

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 14, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 2.750MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
TL208	0.0	0.0	1.553E+02	5.999E+02	2.227E+03	7.696E+03	3.196E+04	7.104E+04	1.140E+05	1.376E+05	1.384E+05	1.384E+05
TH232		9.700E-05										

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 15, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 3.500MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
B1212	0.0	0.0	2.884E+08	1.114E-07	4.135E-07	1.429E-06	5.933E-06	1.319E-05	2.116E-05	2.254E-05	2.569E-05	2.569E-05
P0212	0.0	0.0	5.137E-08	1.984E-07	7.366E-07	2.545E-06	1.057E-05	3.769E-05	4.551E-05	4.576E-05	4.577E-05	
P0216	0.0	0.0	8.018E-08	3.097E-07	1.150E-06	3.667E-06	7.102E-05	5.892E-05	7.143E-05	7.143E-05		
RN220	0.0	0.0	8.018E-08	3.097E-07	1.150E-06	3.973E-06	1.650E-05	3.667E-05	5.882E-05	7.102E-05	7.143E-05	
RA224	0.0	0.0	8.018E-08	3.097E-07	1.150E-06	3.973E-06	1.650E-05	3.667E-05	5.882E-05	7.102E-05	7.143E-05	
TH228	0.0	0.0	8.018E-08	3.093E-07	1.148E-06	3.968E-06	1.649E-05	3.666E-05	5.882E-05	7.102E-05	7.143E-05	
TH232		7.143E-05										

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 16, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 5.000MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
B1212	0.0	0.0	8.565E-09	3.308E-08	1.228E-07	4.243E-07	1.762E-06	3.917E-06	6.283E-06	7.587E-06	7.630E-06	7.630E-06
P0212	0.0	0.0	1.529E-08	5.907E-08	2.193E-07	7.578E-07	3.147E-06	6.995E-06	1.122E-05	1.355E-05	1.362E-05	1.362E-05
P0216	0.0	0.0	2.387E-08	9.220E-08	3.423E-07	1.183E-06	4.912E-06	1.092E-05	1.751E-05	2.115E-05	2.122E-05	2.122E-05
RN220	0.0	0.0	2.387E-08	9.220E-08	3.423E-07	1.183E-06	4.912E-06	1.092E-05	1.751E-05	2.115E-05	2.122E-05	2.122E-05
RA224	0.0	0.0	2.387E-08	9.220E-08	3.423E-07	1.183E-06	4.912E-06	1.092E-05	1.751E-05	2.115E-05	2.122E-05	2.122E-05
TH228	0.0	0.0	2.387E-08	9.208E-08	3.419E-07	1.181E-06	4.910E-06	1.091E-05	1.751E-05	2.115E-05	2.122E-05	2.122E-05
TH232		2.127E-05										

PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 17, PHOTONS/SEC  
MEAN ENERGY= 7.000MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
B1212	0.0	0.0	5.558E-10	2.147E-09	7.970E-09	2.754E-08	1.144E-07	2.542E-07	4.078E-07	4.923E-07	4.951E-07	4.951E-07
P0212	0.0	0.0	9.924E-10	3.833E-09	1.423E-08	4.911E-08	2.042E-07	4.539E-07	7.281E-07	8.791E-07	8.840E-07	8.841E-07
P0216	0.0	0.0	1.549E-09	5.982E-09	2.221E-08	7.674E-08	3.187E-07	7.084E-07	1.136E-06	1.372E-06	1.380E-06	1.380E-06
RH220	0.0	0.0	1.549E-09	5.982E-09	2.221E-08	7.674E-08	3.187E-07	7.084E-07	1.136E-06	1.372E-06	1.380E-06	1.380E-06
RA224	0.0	0.0	1.549E-09	5.902E-09	2.221E-08	7.674E-08	3.187E-07	7.084E-07	1.136E-06	1.372E-06	1.380E-06	1.380E-06
TH228	0.0	0.0	1.549E-09	5.975E-09	2.218E-08	7.666E-08	3.186E-07	7.081E-07	1.136E-06	1.372E-06	1.380E-06	1.380E-06
TH232		1.380E-06										

OUTPUT UNIT = 6 PAGE 41

 PRINCIPAL PHOTON SOURCES IN GROUP 18, PHOTONS/SEC  
 MEAN ENERGY=11.000MEV

NUCLIDE	CHARGE	2.0S	0.3YR	0.5YR	1.0YR	2.0YR	5.0YR	10.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR	200.0YR
BI212	0.0	0.0	3.512E-11	1.357E-10	5.036E-10	1.740E-09	7.227E-09	1.606E-08	2.577E-08	3.111E-08	3.129E-08	3.129E-08
P0212	0.0	0.0	6.275E-11	2.424E-10	8.998E-10	3.109E-09	1.291E-09	2.870E-08	4.604E-08	5.559E-08	5.590E-08	5.591E-08
P0216	0.0	0.0	9.795E-11	3.783E-10	1.404E-09	4.853E-09	2.015E-09	4.480E-08	7.186E-08	8.676E-08	8.725E-08	8.726E-08
RN220	0.0	0.0	9.795E-11	3.783E-10	1.404E-09	4.853E-09	2.015E-09	4.480E-08	7.186E-08	8.676E-08	8.725E-08	8.726E-08
RA224	0.0	0.0	9.795E-11	3.783E-10	1.404E-09	4.853E-09	2.015E-09	4.480E-08	7.186E-08	8.676E-08	8.725E-08	8.726E-08
TH228	0.0	0.0	9.795E-11	3.778E-10	1.403E-09	4.848E-09	2.014E-09	4.478E-08	7.185E-08	8.676E-08	8.725E-08	8.726E-08
TH232	8.726E-08	3.726E-08	8.726E-08									