

JAERI - M  
94-029

NSRR実験におけるポリエチレンおよび  
水素化ジルコニウムの減速材としての特性

1994年3月

中村 武彦・山崎 利・傍島 真\*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費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, 1994

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 いばらき印刷(株)

NSRR実験におけるポリエチレンおよび水素化ジルコニウムの  
減速材としての特性

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・山崎 利・傍島 眞\*

(1994年1月31日受理)

原研では、NSRR (Nuclear safety Research Reactor) を用いた第Ⅰ期および第Ⅱ期実験として軽水発電炉の燃料棒の反応度事故時の挙動を調べる実験を行っている。この実験に続き、高速炉燃料をナトリウム冷却条件でパルス照射する第Ⅲ期実験を計画し、現在、ナトリウムを実験用カプセルに充填するためのナトリウム純化ループの建設および試作実験カプセルの製作を行っている。NSRRでのパルス照射実験において、実験燃料が破損する条件をカバーするまでの過渡過出力を実験燃料に与えるためにはNSRR炉心からの中性子束を十分に減速させる必要がある。従来の軽水炉燃料実験では実験カプセル内の軽水を冷却材/減速材として利用してきたが、ナトリウム冷却条件で行う高速炉燃料実験では、ポリエチレンあるいは水素化ジルコニウムを減速材として使う必要がある。このため、実際にこれらの減速材を炉内実験に用いて減速能力を評価する実験を行った。この結果、いずれの減速材も軽水と同等かそれ以上の減速能力を有することが分かった。また、SRACコードシステムを用いた予測計算は比較的よく実験結果と一致した。併せて行った減速材の温度特性試験の結果、いずれの減速材も300℃までは分解などによるガス発生も小さく問題なく使用できる事が分かった。

Characteristics of Polyethylene and Zirconium-hydride Moderator  
for the NSRR Tests

Takehiko NAKAMURA, Toshi YAMAZAKI and Makoto SOBAJIMA\*

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

(Received January 31, 1994)

Pulse irradiation tests of FBR fuels under the sodium cooling conditions are planned for the phase III program in the NSRR (Nuclear Safety Research Reactor), following the phase I and II programs of the LWR fuel tests under the simulated RIA (Reactivity Initiated Accident) conditions. A proto-type irradiation capsule for the FBR fuel rod tests and a sodium loop to purify and to charge sodium into the capsule are under construction for the tests. In the NSRR tests, neutron moderator is needed to thermalize neutrons from the driver core and to subject transient energy high enough to cause the test fuel failure. The light water has been used for the NSRR LWR fuel tests as the coolant/moderator material. Polyethylene and zirconium-hydride are candidates of the moderator for the FBR fuel tests. The capability of the moderators are investigated in the pulse irradiation tests in the NSRR. Both of the moderators indicated good capability of realizing high thermal neutron flux to subject energy depositions comparable to the light water or higher. Estimations by the SRAC code system indicated reasonable good agreement with the test results. In addition, heating tests of the moderators did not cause gas decomposition nor dissociation, indicating that the moderators are operative at temperatures up to 300°C.

Keywords: Neutron Moderator, Polyethylene, Zirconium-hydride, Dissociation, NSRR, FBR, Pulse Irradiation, Sodium Capsule

---

\* Ministry of International Trade and Industry

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 減速性能試験 .....	2
2.1 減速材の製作 .....	2
2.2 パルス照射実験 .....	3
2.3 SRACによる解析 .....	6
2.4 まとめ .....	8
3. 温度特性試験 .....	9
3.1 水素化ジルコニウム .....	10
3.2 ポリエチレン .....	13
4. 結 論 .....	15
謝 辞 .....	16
参考文献 .....	17
付録Ⅰ 940および941実験シリーズで照射した実験燃料棒の $\gamma$ 線強度 .....	75
付録Ⅱ ORIGEN-2コードによる減速材の放射化の計算結果 .....	85

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Neutronic Characteristic Test .....	2
2.1 Fabrication of Moderator .....	2
2.2 Pulse Irradiation Tests .....	3
2.3 Simulation with SRAC Code .....	6
2.4 Summary .....	8
3. Heating Tests .....	9
3.1 Zirconium-hydride .....	10
3.2 Polyethylene .....	13
4. Conclusions .....	15
Acknowledgement .....	16
References .....	17
Appendix I $\gamma$ -ray Intensity of the Test Fuel Rods Pulse Irradiated in the 940 and 941 Test Series .....	75
Appendix II Radio Activity of the Moderators by the Pulse Irradiation Calculated with the ORIGEN-2 Code .....	85

## 1. はじめに

原子炉安全性研究炉(Nuclear Safety Research Reactor : NSRR)では反応度事故(Reactivity Initiated Accident : RIA)時における軽水炉燃料の挙動を調べる実験を1975年から実施してきている。1989年からは第Ⅱ期実験として、従来の未照射燃料実験に加えて、軽水動力炉やJMTR (Japan Materials Testing Reactor)で照射され燃焼の進んだ燃料の反応度事故時挙動を調べる実験を開始している。さらに、将来は高速増殖炉 (Fast Breeder Reactor: FBR)の燃料の過出力事故を中心とした事故条件での挙動を調べる第Ⅲ期実験計画を立て、準備を進めている[1-3]。現在は、炉内照射実験においてナトリウム冷却条件を作り出すための自己循環ループを有する実験カプセルの試作機、および試作機にナトリウムを充填するための炉外ナトリウム純化充填ループを製作している。Fig.1に試作流動ナトリウムカプセルの構造図を、Fig.2に純化充填ループの系統図を示す。流動ナトリウムカプセルは約1m長の試験部の上部に2重管式電磁ポンプを有し、内管の内部のナトリウムを下向きに強制的に対流させる構造となっている。試験部には長さ60cmまでの実験燃料が1~7本挿入される。ナトリウムは試験部下端で反転し内管の外側を上昇し、ナトリウム溜に戻る。この2重管構造の内部カプセルをヒータ、断熱材、減速材等が取り囲み、外部容器で密閉される2重密封構造になっている。

NSRRは熱中性子炉であることから、炉内照射実験において燃料破損を生じさせるに十分な熱エネルギーを実験燃料に付与するためには、炉心からの中性子を減速材を用いて熱化する必要がある[4]。従来の軽水炉燃料実験では、実験カプセル中の冷却材である軽水が減速材としても働く。このため、水カプセルでは減速材厚さが約55mmでほぼ最適となる様に設計している[5]。しかし、水はナトリウムと激しく反応し、また、高温(400°C~600°C)のナトリウム冷却条件で行うFBR燃料実験では減速材温度は水の大気圧での沸点を超えるため、水を減速材として使用することが困難である。水に代わる減速材として、ポリエチレンおよび水素化ジルコニウムの特性試験を実施した。

試験は減速材の核的性質を調べるための炉内照射実験(減速性能試験)と、高温における分解および解離による炭酸ガスや水素等のガス発生挙動を調べる温度特性試験に分けられる。炉内照射実験では、大気圧水カプセルに減速材およびFBR型の実験燃料を装着し、カプセル内の水を出来るだけ排除した条件でNSRRによるパルス照射を行い、実験燃料の発熱量とカプセル反応度を調べた。また、SRACコードを用いて実験カプセルを含むNSRR全体の核的解析を行ない、実験燃料の発熱量と実験カプセルの反応度値を予測した。これらの結果、解析は、減速材が薄く中性子の軸方向の漏れが大きくなる体系を除いて、実験結果を比較的良く再現することが分かった。

温度特性試験ではポリエチレンおよび水素化ジルコニウムを電気炉で加熱し、重量変化および圧力変化から分解ガスおよび解離ガスの量を評価した。ポリエチレンの昇温試験の結果、300°C以下であれば分解ガスの発生等による有為な圧力上昇等は起きないことが分かった。また、水素化ジルコニウムについては、400°Cまでの温度領域での昇温試験で水素の解離による圧力上昇は起こらなかった。ただし、225°C程度で水分とジルコニウムが反応して発生した水素に拠ると考えられる若干の圧力上昇が見られた。

## 2. 減速性能試験

### 2.1 減速材の製作

パルス照射実験による減速材性能試験はFig. 3に示すように、IV型大気圧水カプセルに、実験燃料、水を排除するためのアルミ円筒、減速材を配して行った。アルミ円筒は内径10mm（7本バンドル実験では23.6mm）の中心孔があり、流路管として実験燃料を囲んでいる。この構成により、実験カプセル内には燃料の外側には流路管内と構造物の隙にしか水は存在しない。減速材はFig. 4およびPhoto. 1に示すように軸方向に6あるいは5分割された円筒型である。ポリエチレンについては種々の特性のものが塊として市販されており、加工性も良いため問題はないが、水素化ジルコニウムは脆く製作実績が少ないので、粉末を焼結する方法（Method I）と結合材（バインダ）を混ぜて圧縮成型する方法（Method II）で試作および強度等の試験を行った。

水素化ジルコニウムの製作フローをFig. 5に示す。使用した水素化ジルコニウムは原研所有の粉末と原子力用ジルコニウムスポンジを東ソー（株）で水素化したものの2種類を用いた。これらの水素化ジルコニウムの成分の分析結果をTable 1にまとめた。分析結果の水素含有量等に大きな差はなく、ほぼ同一の仕様と言える。得られた水素含有量から水素化ジルコニウムの化学形は $ZrH_{1.85}$ であることが分かった。また、粉末から成型体を作るに当たって、バインダの量や粉末の粒度、焼結条件をパラメータに曲げ強さを測定し、製作条件の最適化を図った。粉末を成型焼結する方法（Method I）では、Figs. 6, 7に示すように成型品の強度は焼結時間には拠らず、焼結温度が低いほうが大きくなった。焼結により制作した成型体の表面と破断面の2次電子線写真(SEM: Secondary Electron Micrograph)をPhoto. 2に示す。また、焼結法で試作した減速材の成型体は輸送のショックで割れを生じた。他方、焼結を行わずに加圧成型を行なったMethod IIでは、Figs. 8, 9に示すように、曲げ強さは水素化ジルコニウムの粒径やバインダの含有率に依存することが分かった。また、焼結を行わない加圧成型法の方がより大きい強度（約2kg/mm<sup>2</sup>）が得られた。成型体の密度は焼結を行っ



温度特性試験ではポリエチレンおよび水素化ジルコニウムを電気炉で加熱し、重量変化および圧力変化から分解ガスおよび解離ガスの量を評価した。ポリエチレンの昇温試験の結果、300°C以下であれば分解ガスの発生等による有為な圧力上昇等は起きないことが分かった。また、水素化ジルコニウムについては、400°Cまでの温度領域での昇温試験で水素の解離による圧力上昇は起こらなかった。ただし、225°C程度で水分とジルコニウムが反応して発生した水素に拠ると考えられる若干の圧力上昇が見られた。

## 2. 減速性能試験

### 2.1 減速材の製作

パルス照射実験による減速材性能試験はFig. 3に示すように、IV型大気圧水カプセルに、実験燃料、水を排除するためのアルミ円筒、減速材を配して行った。アルミ円筒は内径10mm（7本バンドル実験では23.6mm）の中心孔があり、流路管として実験燃料を囲んでいる。この構成により、実験カプセル内には燃料の外側には流路管内と構造物の隙にしか水は存在しない。減速材はFig. 4およびPhoto. 1に示すように軸方向に6あるいは5分割された円筒型である。ポリエチレンについては種々の特性のものが塊として市販されており、加工性も良いため問題はないが、水素化ジルコニウムは脆く製作実績が少ないので、粉末を焼結する方法（Method I）と結合材（バインダ）を混ぜて圧縮成型する方法（Method II）で試作および強度等の試験を行った。

水素化ジルコニウムの製作フローをFig. 5に示す。使用した水素化ジルコニウムは原研所有の粉末と原子力用ジルコニウムスポンジを東ソー（株）で水素化したものの2種類を用いた。これらの水素化ジルコニウムの成分の分析結果をTable 1にまとめた。分析結果の水素含有量等に大きな差はなく、ほぼ同一の仕様と言える。得られた水素含有量から水素化ジルコニウムの化学形は $ZrH_{1.85}$ であることが分かった。また、粉末から成型体を作るに当たって、バインダの量や粉末の粒度、焼結条件をパラメータに曲げ強さを測定し、製作条件の最適化を図った。粉末を成型焼結する方法（Method I）では、Figs. 6, 7に示すように成型品の強度は焼結時間には拠らず、焼結温度が低いほうが大きくなった。焼結により制作した成型体の表面と破断面の2次電子線写真(SEM: Secondary Electron Micrograph)をPhoto. 2に示す。また、焼結法で試作した減速材の成型体は輸送のショックで割れを生じた。他方、焼結を行わずに加圧成型を行なったMethod IIでは、Figs. 8, 9に示すように、曲げ強さは水素化ジルコニウムの粒径やバインダの含有率に依存することが分かった。また、焼結を行わない加圧成型法の方がより大きい強度（約2kg/mm<sup>2</sup>）が得られた。成型体の密度は焼結を行っ

たもの (Method I) で約 $4.3\text{g/cm}^3$ 、圧縮法 (Method II) で製作したもので約 $5.0\text{kg/cm}^3$ であった。これらの結果をふまえて、以下の試験用サンプルは加圧成型法 (Method II) で製作した。成型は常温で $5\text{t/cm}^2$ で10分間加圧し、水素雰囲気 $1\text{atm}$ で $100^\circ\text{C}$ に96時間保ち乾燥させた。出来上がった減速材から試験片を取り出して行った成分の分析結果をTable 2に示す。また、成型した水素化ジルコニウム減速材は水に浸して使用するため、エポキシ樹脂に硬化剤としてポリアミド樹脂とポリアミンを使用した耐湿性塗料エポナ#2000 (オリジン電気株式会社製) を塗布した。

ポリエチレンは多種の製品が工業化されているが、その性質はエチレンの重合の程度に応じて、硬さ、強度、耐熱性等の性質が異なる。本試験では、物性値が良く調べられており品質の安定している超高分子ポリエチレンのハイゼックス・ミリオン340M (三井石油化学工業株式会社製) を原料に製造された加工用ポリエチレンのニューライトNL-W (作新工業株式会社製) を使用した。ポリエチレンの軟化点は約 $95^\circ\text{C}$ 、融点は $136^\circ\text{C}$ と低いが、熱分解によるガス発生は $300^\circ\text{C}$ 以下ではあまり無いといわれている。使用したポリエチレンの主な物性値をTable 3にまとめた。

## 2.2 パルス照射実験

### 実験方法

パルス照射実験はFig. 3に示すように、IV型大気圧水カプセルに、実験燃料、水を排除するためのアルミ円筒、減速材を配して行った。アルミ円筒は内径 $10\text{mm}$  (7本バンドル実験では $23.6\text{mm}$ ) の中心孔があり、流路管として実験燃料を囲んでいる。この構成により、実験カプセル内には燃料の外側には流路管内と構造物の隙にしか水は存在しない。パルス照射実験は静止水 (自然対流) 冷却条件で行った。実験燃料と減速材および構造物の外観をPhoto.1に示す。

実験に使用した燃料棒は、Fig. 10に示すように、高速増殖原型炉”もんじゅ”型の $\text{UO}_2$ 燃料であり、燃料棒外径 $6.5\text{mm}$ と軽水炉燃料棒に比べて細径であり、長さは $600\text{mm}$ とNSRR実験燃料棒としては最も長い。燃料ペレットは直径 $5.4\text{mm}$ 、長さ $10\text{mm}$ であり、スタック長 $320\text{mm}$ は両端の天然 $\text{UO}_2$ ペレット各1個を除き10%、15%あるいは20%濃縮 $\text{UO}_2$ で構成されている。

実験は水素化ジルコニウムを減速材に用いた940シリーズ、ポリエチレンを減速材に用いた941シリーズを、それぞれ1回および6回行った。合計7回の実験の条件をTable 4にまとめた。実験で変化させたパラメータは、減速材の厚さ： $20\sim 45\text{mm}$ 、燃料濃縮度：10%、15%、

20%、燃料棒本数：1本および7本であった。実験では、実験燃料の発熱量に加えて実験カプセルの反応度値を測定した。最初に行った実験940-1では、実験燃料棒の発熱量は燃料の一部を硝酸に溶解し、燃料による自己吸収が無視できる程度に薄めて、核分裂生成物（Fission Product：FP）からの $\gamma$ 線を測定することにより、パルス照射による核分裂数を求め評価した[6]。このとき、核分裂により実験燃料内付与される熱エネルギーについては大西ら[7]が評価した無限大時間までの値、186.38MeV/fissionを用いた。また、この他の実験では、同一寸法の燃料棒を用いているので燃料棒内の自己吸収は同じであるとして、燃料棒形状のままで行った $\gamma$ 線測定の結果を用いて、実験940-1の燃料棒との強度比から発熱量を評価した。

### 実験結果

パルス照射実験の結果をTable 5にまとめた。投入反応度\$1.6-\$2.52の単一パルス照射により、実験燃料には発熱量73-222cal/gUO<sub>2</sub>を与えた。また、実験941-1および941-4では台形パルス(Shaped Pulse)運転により、それぞれ最高発熱密度150W/cmおよび204W/cmを与えた。この結果、パルス発熱量222cal/gUO<sub>2</sub>を与えた実験941-5では被覆管表面温度は最高950°Cに達した。台形パルス運転を行なった実験941-4においても被覆管表面でDNBが発生し、最高温度は480°Cに達した。個々の実験における被覆管表面温度および水温の過渡挙動の代表例をFigs. 11-17に示した。Photo. 3に実験941-4で被覆管最高温度480°Cを記録した燃料棒の外観と断面写真を示す。燃料棒には下端から約230mm程度のところにやや焦げ茶色に変色したところが見られた。切断面は、この部分であるが、燃料ペレットには照射によりクラックが発生しているものの、被覆管の溶融やペレットとの反応等の形跡は見られない。

実験940-1でパルス照射した燃料棒のガンマ線の強度分布をFig18に示す。このガンマ線はパルス照射による核分裂生成物(FP)から放出されており、この強度分布は出力分布を表していると考えてよい。出力分布はコサイン状であり、次章で示す核計算の結果と良い一致を示している。平均出力を1.0とした場合の中央部の出力ピーキング係数は約1.2であった。また、実験燃料の中心はパルス照射時に高さ方向、半径方向いずれを取っても炉心の中心に位置している。しかし、投入反応度を調整するため制御棒が炉心上部にある程度挿入されているため、出力ピークは実験燃料中心のやや下になっている。出力ピーク部から燃料を一部切り出し、硝酸に溶解した後十分に希釈した後、燃料溶液による自己吸収が無視できる体系でガンマ線測定を行ない燃料中の核分裂数を求めた。Table 6に核分裂数の評価に用いたFPの核データおよび測定結果をまとめた。表に示した各ガンマ線の放出率は半減期と測定効率で補正したパルス照射直後の値である。各ガンマ線から評価した核分裂数は平均 $1.93 \times 10^{13}$  fissions/gUO<sub>2</sub>であった。これからピーク発熱部での発熱量137cal/gUO<sub>2</sub>が求められた。このほかの実験では同じ形状の燃料棒を照射しているので、燃料棒のままガンマ線測定を行ない実験940-1の燃料棒の測定値と比較して発熱量を評価した。

NSRR実験では、固有の実験体系では実験燃料出力と炉心出力の間に固有の関係（発熱量換算係数：Coupling Factor）が保持されるものと考えられている。ここで、 $CF[\text{cal/gUO}_2/\text{MJ}]$ は

$$CF = \frac{E_{fission}(\infty)}{Q(\infty)} = \frac{N_{fission} \cdot q(\infty)}{Q(\infty)} \quad (1)$$

と表せる。ここで、 $E_{fission}(\infty)[\text{cal/gUO}_2]$ は実験燃料の無限時間までの発熱量、 $Q(\infty)[\text{MJ}]$ は無  
限時間までのNSRRの積分炉出力、 $N_{fission}[\text{fissions/gUO}_2]$ は実験燃料中での核分裂数、 $q(\infty)$   
[cal/fission]は1核分裂当たりの放出エネルギーで $186.38\text{MeV/fission}(=2.938 \times 10^{-11}\text{J/fission} =$   
 $7.063 \times 10^{-12}\text{cal/fission})$ である。ここで、実験では制御棒挿入時まで（単一パルス運転の場合  
パルス後約1s）しか積分炉出力が測定されていないので、無限大時間までの積分は1sまでの  
実測値をEUREKAコード[8]による推定値で補正して求めた。つまり、

$$Q(\infty) = Q(1s) \cdot \frac{Q_{EUREKA}(\infty)}{Q_{EUREKA}(1s)} \quad (2)$$

とした。ここで、添え字EUREKAは同コードによる推定値を表し、投入反応度の関数として  
得られる。

得られた発熱量換算係数から、水素化ジルコニウムとポリエチレンの減速能力を検討する  
と、10%濃縮燃料を照射した実験940-1と941-1を比較するとほぼ同じ換算係数約5.  
0cal/gUO<sub>2</sub>/MJを得ており、これらの減速材にほとんど差が無いことが分かる。また、ほぼ同  
じ条件（減速材厚さ40mm）で20%濃縮の燃料を照射した実験941-5では換算係数は6.  
8cal/gUO<sub>2</sub>/MJとなり、約35%上昇している。換算係数は減速材を薄くしても大きくは変化せ  
ず、25%薄くした30mmでも同じ値6.8cal/gUO<sub>2</sub>/MJである。しかし、減速材を50%薄く  
20mmにした実験941-3では換算係数は約34%減少して4.5cal/gUO<sub>2</sub>/MJとなった。

7本バンドル体系で20%濃縮燃料棒を照射した実験941-2では中心燃料と外側燃料の換算  
係数は、それぞれ2.8cal/gUO<sub>2</sub>/MJおよび3.8cal/gUO<sub>2</sub>/MJとなった。これは同様の条件で1本  
を照射した場合（実験941-5）に比べて、それぞれ59%および44%小さい。また、外側燃料  
は中心燃料に比べて36%大きい。これはNSRRで実験燃料を照射する場合、核分裂を引き起  
こす中性子は主に熱中性子であり、実験カプセル外側の炉心から入射するため中心燃料は外  
側燃料の蔭に入り発熱量が小さくなったのである。この、ブランケット効果を小さくするた  
め外側燃料の濃縮度を15%に下げたのが実験941-6である。この結果中心燃料の換算係数は  
20%上昇し、3.35cal/gUO<sub>2</sub>/MJとなった。

他方、実験カプセルの負の反応度値を見ると、水素化ジルコニウム厚さ45mmの実験940-

1の場合 $\beta$ -2.98となっており、通常の大気圧水カプセル (I-N型) に水と実験燃料を充填した場合の $\beta$ -2.2に比べて、35%大きくなっている。ポリエチレンを減速材に使用した場合には、負の反応度値は $\beta$ -3.76と水素化ジルコニウムに比べて更に26%大きい。ポリエチレン減速材を40mm、30mm、20mmと薄くしていった場合負の反応度値は $\beta$ -3.6、 $\beta$ -3.35、 $\beta$ -2.86と、それぞれ4%、11%、24%減少した。また、実験燃料棒は1本当たり $\beta$ 0.05程度の反応度値を持つものと考えられるが、その効果はここでは無視した。

以上の結果から、水素化ジルコニウムとポリエチレンの減速効果はほぼ同程度であり、減速材厚さ30-40mmで最大の発熱量換算係数が得られることが分かった。ポリエチレン減速材は、中性子の吸収が大きくより大きな負の反応度値があることが分かった。

## 2.3 SRACによる解析

### 計算方法

NSRRはGA社のTRIGA-ACPR(Annular-Core Pulse Reactor)を改良したパルス炉である。原子炉プール下部に位置する原子炉にはFig. 19に示すように炉心中央を貫通する内径約220mmの実験孔があり、ここに実験用カプセル等を挿入して照射実験を行っている。Fig. 20に炉心の水平断面図を示す。炉心は燃料フォロワー型制御棒8本(調整棒6本、安全棒2本)を含めて157本の燃料要素と3本の空気フォロワー型トランジェント棒から構成されている。

NSRR実験では、トランジェント棒の急速な引き抜きによる $\beta$ 4.7までの単一パルス運転、調整棒の位置調整による300kWまでの定常運転、あるいは調整棒の比較的急速な引き抜きによる10MWまでの台形パルス運転とこれにトランジェント棒の引き抜きによる速いパルス運転を組み合わせた合成パルス運転が可能である。こうした運転において実験孔の実験カプセル内の実験燃料の発熱量(出力を時間積分したもの)は、実験燃料の仕様(寸法、濃縮度等)と実験体系(実験カプセルの種類、減速材の量、温度等)が同じであれば、原子炉の積分出力に比例する。つまり、実験孔内も含めて原子炉体系が同じであれば出力の絶対値は異なっても、その分布は相似であり、原子炉のドライバ燃料部と実験燃料部の中性子束の比は一定である。従って、ドライバ燃料と実験燃料の出力比は近似的に一定となる。SRACコード[9]を用いたNSRR炉心の核的解析では、実験燃料を含めたNSRR炉心の中性子分布を計算し、炉心出力と実験燃料出力の比を求めた。

NSRR炉心をFig. 21に示すようにR-Z2次元体系にモデル化し、それぞれの領域に対してSRACコードにより9群の群定数(エネルギー群別巨視的断面積)を求めた。このモデルに対してTWOTRAN-IIコード[10]による中性子輸送計算を行い、炉心内中性子束分布および出力分布を求めた。計算に用いた断面積はSRACのパブリックライブラリからENDF/B-IVを基に

び軸方向への中性子の輸送を1次元のSNコードANISN[11]を用いて計算し、得られた中性子スペクトルにより断面積を高速域4群、熱域5群の9群に縮約した。これらの1次元計算には関係しない領域の群定数はSRAC内臓のマックスウェル分布と1/Eスペクトルを仮定して縮約した。

また、7本体系での発熱量についてはR-θ2次元体系にモデル化して、1/6(60°)部分の中性子輸送計算を行なった。使用したコードおよび群定数等はR-Z2次元体系の計算と同じである。モデル化した体系図をFig. 22に示す。

## 計算結果

計算の結果得られた実験カプセル内の半径方向の中性子束分布をFig. 23に示す。炉心から入射された高速中性子が減速材によって急速に熱化されていく様子が分かる。この図は炉心出力を1MWとした場合であるが、減速材がポリエチレンの場合は水素化ジルコニウムの場合に比べて熱中性子束が実験燃料付近で高くなっており減速がより効果的に行なわれる結果となっている。Table 7に計算で得られた発熱量換算係数とカプセルの反応度値等をまとめた。計算結果は、水素化ジルコニウム減速材を用いた実験940-1をかなり過小評価している。

水を減速材として用いた実験においても減速材の厚さおよび燃料の種類を変えた実験は過去に幾つか実施されている。これらの実験結果をTable 8にまとめた。計算による発熱量は実験値とほぼ±10%の範囲で良く一致しているが、カプセルの反応度値は実験値を約2割下回っている。実験940-1の計算結果はこれらに比べて大きく実験結果を下回っている。そこで水素化ジルコニウム中の水素の断面積を同化合物のものから、自由ガス状の水素の断面積に変えた計算を行なった。この結果、計算値は実測値に大きく近づいた。この変更は必ずしも妥当な調整とは言えないかも知れないが、核データの不確実性も考えられるので、実験結果を最もよく表現する手法として水素化ジルコニウムの水素を自由ガス水素として取り扱うものとした。Fig. 24に実験と計算での発熱量の比較を、Fig. 25に実験カプセルの反応度値の比較を示す。また、Fig. 26に減速材の種類および厚さを変化させた場合の燃料棒内発熱分布を示す。ここで燃料棒は”もんじゅ”型10%濃縮 $UO_2$ 燃料棒である。

R-θ2次元体系にモデル化して行った7本体系の計算結果をFig. 27に示す。燃料棒は、これまでと同じ”もんじゅ”型10%濃縮 $UO_2$ 燃料棒である。計算の結果7本体系では濃縮度が同じ場合、内側の燃料棒の発熱量は外側燃料に比べて約25%小さくなること、単ピン体系と比べると外側燃料でも約35%中心燃料では50%も小さい値となっている。発熱分布も外側ほど高い特異な形状となった。

実際に減速材をNSRRで照射する場合には、減速性能ばかりでなく照射によって生じる誘導放射能の強度も実験物の取り扱い上重要な要素である。そこで、予想されるカプセル内中性子束からORIGEN-2コードを用いて減速材の放射化量を予測した。計算は、厚さ40mm長

実際に減速材をNSRRで照射する場合には、減速性能ばかりでなく照射によって生じる誘導放射能の強度も実験物の取り扱い上重要な要素である。そこで、予想されるカプセル内中性子束からORIGEN-2コードを用いて減速材の放射化量を予測した。計算は、厚さ40mm長さ400mmの水素化ジルコニウムあるいはポリエチレンをNSRR積分出力150MWsで照射した場合とし、冷却時間の関数として放射線強度を求めた。ここで、水素化ジルコニウムの成分はTable 1のMethod Iのものを用い、ポリエチレンの不純物は無視した。結果を実験カプセルや実験燃料そのものの放射能/線強度と比較してFigs.28、29に示す。水素化ジルコニウムは実験カプセルや実験燃料のFP線源と同程度の線源となっている。他方、ポリエチレンは他の実験物に比べて大幅に放射化量が小さく、放射能強度で約7桁、ガンマ線強度で約10桁小さく實際上無視できる値となっている。

## 2.4 まとめ

以上述べてきた、実験燃料の発熱量とカプセル反応度値について、実験結果と計算結果をまとめ、将来の高速炉燃料実験で予想される発熱量とカプセル反応度値を簡単にまとめる。

減速材性能試験（940および941実験シリーズ）の結果を発熱量についてFig. 30に、カプセル反応度値についてFig.31に、それぞれまとめた。SRACによる計算結果は、減速材厚さと10% E燃料の発熱量の関係を、比較的良好に再現しており、同計算によりほぼ妥当な発熱量が推定出来ることがわかる。しかし、計算では減速材厚さ45mm～50mmで実験燃料の発熱量はピークとなり薄くなるに従って減少しているが、実験結果は30mmでもほとんど減少は見られない。また、水素化ジルコニウムを減速材に使用した場合、ポリエチレンを使用した場合に比べて、計算では発熱量が約8%小さくなっているが、実験では両者に差はほとんどない。7本バンドル体系で照射した場合の発熱量の減少率は中心燃料で約60%、外側燃料で約45%と計算で推定した減少率よりも大きくなっている。ただし、中心燃料は外側燃料に対して約25%減であることは実験と計算結果は良く一致している。

カプセル反応度値に関しては、Fig. 31から分かるように、計算結果を1.21倍して標準的な幾つかの体系での反応度値が実験値と合うように補正を行っても、減速材を薄くした体系では過少評価している。この結果は、実験孔が空気で満たされた体系では、実験孔から上下方向への中性子の漏れが増加すること、つまり中性子の輸送の非等方性が非常に強くなることにより、NSRRの反応度を計算で正確に評価することが困難になるのと同じ現象であると考えられる。即ち、減速材が薄くなるにつれ、炉心からの軸方向の漏れが増えて計算が実際と離れていっているものと考えられる。

減速材としての水素化ジルコニウムとポリエチレンの特徴をまとめると、どちらを使っても得られる実験燃料の発熱量はほぼ同じである。ポリエチレンは炉心に及ぼす負の反応度係数値が同じ量の水素化ジルコニウムに比べて約26%大きいという欠点があるものの、密度が約 $1\text{g/cm}_3$ と水素化ジルコニウムの5分の1と軽いこと、照射による放射能がほとんど無視出来ること、材料が安価で入手し易いこと等の利点を持つ。従って、運転時に大きな反応度余裕が必要な台形パルス運転や合成パルス運転を用いた実験を行う場合を除いて、ポリエチレンで減速材としての十分な核的性質が得られるといえる。また、ポリエチレンを使用する場合は厚さは30mmで十分であろう。

これまでに、議論したように実験燃料の発熱量についてはSRACコードシステムを用いることによって許容できる約10%精度で予測できることが分かった。そこで現在考えられている、ナトリウム冷却カプセルを用いて各種の高速炉燃料をNSRRで照射した場合の発熱量を計算し、Table 9にまとめた。ここでは、Fig. 1に示した流動ナトリウムカプセルに厚さ40mmのポリエチレン減速材を装着した場合を想定した。燃料棒としては、被覆管外径6.5mm、7.5mm、8.5mmの3種類の酸化物燃料棒を想定した。また、発熱量はNSRRの炉心積分出力を100MWsとしたときの値である。いずれの燃料を用いても、ほぼ $2.0\text{kJ/g}$ 程度の発熱量が得られることが見込まれる。フランスCABRI実験での燃焼度0の燃料の破損時点における投入エネルギー $1.0\sim 1.5\text{kJ/g}$ を十分上回る。ただし、CABRI実験では燃料エンタルピ約 $0.5\text{kJ/g}$ の運転状態を模擬した条件からの過出力事故を模擬している。

### 3. 温度特性試験

ナトリウム実験カプセルに減速材を装着した場合、ナトリウムと減速材の間には断熱材がありカプセルの外側は空冷されているが、ナトリウム温度を $600^\circ\text{C}$ と仮定した場合の減速材の温度は約 $150^\circ\text{C}$ になるものと予測されている。さらに、万一内部カプセルが破損して減速材保護容器等を収納する外部容器にナトリウムが溢れ出たと仮定すると、外部容器全体が断熱的にナトリウムの熱を受け取ったとして断熱材を含む外部容器全体の温度は約 $190^\circ\text{C}$ になると予想されている。こうした条件における、減速材の特性を調べる目的で温度特性試験を実施した。主な着目点は、高温時における減速材からのガス発生挙動である。水素化ジルコニウムの場合は水素の解離が、ポリエチレンの場合は熱分解によるガス発生が主な原因と成りうる。したがって、温度特性試験では減速材を高温に保持し、密封容器の圧力変化を測定しガスの発生量を評価する実験を基本として行った。



減速材としての水素化ジルコニウムとポリエチレンの特徴をまとめると、どちらを使っても得られる実験燃料の発熱量はほぼ同じである。ポリエチレンは炉心に及ぼす負の反応度係数値が同じ量の水素化ジルコニウムに比べて約26%大きいという欠点があるものの、密度が約 $1\text{g/cm}_3$ と水素化ジルコニウムの5分の1と軽いこと、照射による放射能がほとんど無視出来ること、材料が安価で入手し易いこと等の利点を持つ。従って、運転時に大きな反応度余裕が必要な台形パルス運転や合成パルス運転を用いた実験を行う場合を除いて、ポリエチレンで減速材としての十分な核的性質が得られるといえる。また、ポリエチレンを使用する場合は厚さは30mmで十分であろう。

これまでに、議論したように実験燃料の発熱量についてはSRACコードシステムを用いることによって許容できる約10%精度で予測できることが分かった。そこで現在考えられている、ナトリウム冷却カプセルを用いて各種の高速炉燃料をNSRRで照射した場合の発熱量を計算し、Table 9にまとめた。ここでは、Fig. 1に示した流動ナトリウムカプセルに厚さ40mmのポリエチレン減速材を装着した場合を想定した。燃料棒としては、被覆管外径6.5mm、7.5mm、8.5mmの3種類の酸化物燃料棒を想定した。また、発熱量はNSRRの炉心積分出力を100MWsとしたときの値である。いずれの燃料を用いても、ほぼ $2.0\text{kJ/g}$ 程度の発熱量が得られることが見込まれる。フランスCABRI実験での燃焼度0の燃料の破損時点における投入エネルギー $1.0\sim 1.5\text{kJ/g}$ を十分上回る。ただし、CABRI実験では燃料エンタルピ約 $0.5\text{kJ/g}$ の運転状態を模擬した条件からの過出力事故を模擬している。

### 3. 温度特性試験

ナトリウム実験カプセルに減速材を装着した場合、ナトリウムと減速材の間には断熱材がありカプセルの外側は空冷されているが、ナトリウム温度を $600^\circ\text{C}$ と仮定した場合の減速材の温度は約 $150^\circ\text{C}$ になるものと予測されている。さらに、万一内部カプセルが破損して減速材保護容器等を収納する外部容器にナトリウムが溢れ出たと仮定すると、外部容器全体が断熱的にナトリウムの熱を受け取ったとして断熱材を含む外部容器全体の温度は約 $190^\circ\text{C}$ になると予想されている。こうした条件における、減速材の特性を調べる目的で温度特性試験を実施した。主な着目点は、高温時における減速材からのガス発生挙動である。水素化ジルコニウムの場合は水素の解離が、ポリエチレンの場合は熱分解によるガス発生が主な原因と成りうる。したがって、温度特性試験では減速材を高温に保持し、密封容器の圧力変化を測定しガスの発生量を評価する実験を基本として行った。

### 3.1 水素化ジルコニウム

水素化ジルコニウムはこの実験用に特別に製作したものであり、ガス発生以外の熱的物性値のうちナトリウムカプセルの設計上特に重要な熱伝導率についても測定を行った。

熱伝導率はJIS 26116-1979、UDC666.76:536.21に指定された方法により100°C程度と200°C程度の2点で3つの試料について測定した。結果をTable10にまとめた。水素化ジルコニウムの熱伝達率は約100°Cで $3.67 \pm 0.68 \text{ kcal/m/h/}^\circ\text{C}$ 、200°Cで $3.40 \pm 0.57 \text{ kcal/m/h/}^\circ\text{C}$ であり、高温でやや熱伝達率が小さくなる傾向は見られるものの、試料によるばらつきに隠れる程度となっている。

水素の解離に関しては、水素化ジルコニウムと金属ウランの合金であるU-ZrH<sub>x</sub>が、米国GA社においてTRIGA炉の燃料として使用されているため、比較的良好に研究されている。M. Hansenのレビュー[12]によると、水素化ジルコニウムには水素含有量の低い方から順に、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 、 $\epsilon$ の4つの相とその混成相があり、結晶構造はそれぞれhexagonal、b.c.c.、f.c.c.、f.c.tetragonalである。減速材として用いるZrH<sub>2</sub>近傍では数百°Cまでの温度域で $\epsilon$ 型である。ジルコニウムと水素2元系の相図をFig. 32[13]に示す。

まず、予備実験として空気中での水素化ジルコニウムの昇温実験を行った。水素化ジルコニウムを空気雰囲気中で600°Cまで加熱し、昇温後の水素の残存量を測定した予備実験では、400°C以上の実験で明らかな水素の解離が見られ、600°Cの試験では燃焼が生じた。実験結果をTable 11およびFig. 33にしめす。また、試験後の水素化ジルコニウムの外観をPhoto. 4に示す。400°Cになっても10分程度ではクラックが見られる程度で大きな変化はないが3時間になると粒子化がおり、600°Cで5分保持した試料ではかなり細かい粒子も見られる。

製作した水素化ジルコニウム減速材試料の解離圧測定試験では、圧力容器を室温13°Cで不活性なアルゴンガスでほぼ大気圧(1.04 kg/cm<sup>2</sup>)に置換した。この圧力容器に、19mm×19mm×80mmの直方体の水素化ジルコニウムサンプルを密封し、温度を約400°Cまで変化させて圧力の変化を測定した。Fig. 34にサンプルの寸法をFigs. 35、36に測定系の概略と圧力容器の構造を示す。また、サンプルおよび試験装置の外観をPhoto. 5に示す。試験体の温度は試料中心および試料表面の2点でK熱電対により測定した。なお、実験では測定に先だって、試料を50°Cで24時間真空乾燥させた。昇温は100分程度で150°Cまで昇温し、サンプル中心と表面の温度差が無くなり圧力が落ちついた時点から25°C刻みで400°Cまで昇温した。また、ステンレス鋼(SUS304)のダミーサンプルを挿入した場合の圧力変化の測定も併せて行い、圧力容器内ガスの熱膨張に起因する圧力上昇の補正を行った。Fig. 37に温度および圧力の測定結果と、これから得られた温度と圧力上昇の関係をまとめて示す。

圧力容器を含む試験装置のうち体積V[cm<sup>3</sup>]は初期温度T<sub>0</sub>[K]からT<sub>1</sub>[K]に加熱され、体積

$V''$  [cm<sup>3</sup>]は温度 $T_0$  [K]に留まったと仮定すると、初期圧 $P_0$  [kg/cm<sup>2</sup>]温度 $T_1$  [K]での圧力 $P_1$  [kg/cm<sup>2</sup>]は、

$$\frac{P_0(V'+V'')}{T_0} = \frac{P_1V'}{T_1} + \frac{P_1V''}{T_0} \quad (3)$$

となる。ただし、容器の膨張による体積増加は無視した。ここで、

$$A = \frac{V'T_0}{P_0(V'+V'')}$$

$$B = \frac{V''}{P_0(V'+V'')}$$

と定数項を整理すると(3)式は簡単に、

$$\frac{1}{P_1} = A \frac{1}{T_1} + B \quad (4)$$

と $T_1$  [K]の逆数と $P_1$  [kg/cm<sup>2</sup>]の逆数の一次式で表せる。ここで、圧力容器のうち電気炉に入っていた部分の体積を $V'$ 、外に出ていた部分と配管バルブ等の容積の合計を $V''$ とすると、Fig. 36に示した圧力容器の寸法等よりそれぞれ204cm<sup>3</sup>、50cm<sup>3</sup>と計算される。これから、定数A、Bは求められ、(4)式から温度と圧力の関係が得られる。実際に、ダミーサンプルを用いて測定した結果と併せてTable 12にまとめた。(4)式で評価した値は、実測値よりもやや大きい。実際には連続的に変化しているであろう温度分布の効果や体積の評価誤差の影響が現れていると考えられる。そこで、実測の温度と圧力の関係を、

$$\frac{1}{P_1} = a \left( \frac{1}{T_1} \right)^2 + b \frac{1}{T_1} + c \quad (5)$$

と近似して最小2乗法で定数a、b、cを求めた。得られた、 $a=-8636.2$ 、 $b=259.2$ 、 $c=0.15836$ を使い、(5)式を用いて評価した内圧も併せてTable12に示した。この値により初期封入ガスの膨張による圧力上昇を補正して、ガス解離による圧力上昇 (Fig. 37の1番下の図) を求めた。

評価された解離圧は温度とともに増加し、225°Cにおいて最大値約1.4kg/cm<sup>2</sup>に達し、250°Cへの昇温過程で急速に減少し、その後もほとんど上昇せず、むしろ減少した。実験は3個の試料を用いて3回行ったが、いずれも同じ結果となった。また、冷却時に圧力の上昇は無く、ガスの発生・吸収が不可逆的に起こっていることも分かった。水素化ジルコニウムサンプルの質量は昇温試験前後ともに135.5gで変化は無かった。後述するように、水素の解離圧

は温度の関数として単調に増加することが知られており、低温で一度解離したガスが250°C以上で再び吸収されることは考えにくい。この現象はむしろ、まず圧縮成型体中の水分と水素化ジルコニウムの反応による水素発生がおり、その後化学量論的には活性な水素化ジルコニウムと水素の反応による水素の吸収が起こったものと、2段階に分けて考えた方が納得しやすい。つまり、225°C程度までは、



が支配的な反応であり、発生した水素により圧力が上昇する。さらに温度が上がり250°C以上では、実際に水素化ジルコニウムは $\text{ZrH}_{1.85}$ であり、化学量論的に $\text{ZrH}_2$ まで水素(135gのサンプルでは2.4normalℓに相当する水素)を吸収できるため水素が吸収された。つまり、



となったものと考えられる。

以上の仮定が正しいとすると、225°C程度でピークとなった圧力上昇は、減速材サンプルの水分含有量に比例するものと考えられる。評価された圧力上昇1.4Kg/cm<sup>2</sup>から発生した水素量を求めると、約0.0087molとなる(試料1kg当たり約0.064mol)。従って、水分含有率は約0.08w%となる。照射実験に使用する約40kgの水素化ジルコニウム減速材からは約2.6mol(57normalℓ)の水素発生が予想される。この水素の元となった水分は、Fig. 37において200°C以上でも圧力の増加が見られることから、単純な付着水とは考えにくく、バインダーの分解による水分の発生等も源と考えられる。従って、100°C程度での乾燥時間を長くしても水分に起因する圧力上昇を無くならないと考えられる。200°Cを超える温度までの乾燥を行い、すぐに密封すれば良いが、“2.1減速材の製作”の項で示した焼結品のように割れを起こす可能性が高い。

水素の解離圧 $P(\text{atm})$ については、Simnad等によって整理された結果[14]では、 $\text{ZrH}_x$ の $X=1.4\sim 1.7$ 程度の $\delta$ 相では、

$$\log(P) = K_1 + \frac{K_2 \cdot 10^3}{T} \quad (8)$$

$$K_1 = -3.8415 + 38.6433 \cdot X - 34.2639 \cdot X^2 + 9.2821 \cdot X^3$$

$$K_2 = -31.2982 + 23.5741 \cdot X - 6.0280 \cdot X^2$$

ここで、 $T(\text{K})$ は温度、 $X=\text{H}/\text{Zr}$ は水素とジルコニウムの原子数比である。また、 $\epsilon$ 相の水素解離圧 $P(\text{atm})$ は温度 $T(\text{K})$ と水素とジルコニウムの原子数比 $X$ の関数として、

$$\log(P) = 10.44 \cdot X - 10.47 - \frac{8538}{T} \quad (9)$$

と表せる[14]。さらに、水素化ジルコニウム中の不純物炭素(C)は、ジルコニウムと結合するため実効的Xを大きくすることが知られている。つまり、水素、ジルコニウム、炭素の原子数をそれぞれ $N_H$ 、 $N_{Zr}$ 、 $N_C$ とすると、

$$X = \frac{N_H}{N_{Zr} - N_C} \quad (10)$$

と近似的に考えることが出来る。製作した水素化ジルコニウムは、 $X=1.85$ であり $\epsilon$ 相と考えられ、0.05重量%の炭素を含む(Table 2)。式(9)および(10)より水素の解離圧を計算すると、Table 13およびFig. 38に示すように、800K(525°C)では0.02atm以下であり無視でき、解離圧測定実験の結果を裏付ける。

以上の結果から、400°Cまでの温度領域では水素化ジルコニウムの水素解離による圧力上昇は無視出来ることが確認できた。しかし、水分と水素化ジルコニウムの反応に伴うと思われる水素ガスの発生が225°C程度をピークに認められた。この水素発生に伴う圧力上昇は250°C以上では無視できる値となるが、実験カプセルの設計・運用上は考慮を要する。

### 3.2 ポリエチレン

ポリエチレンは $(CH_2-CH_2)_n$ の化学形をしたエチレンの重合体であり、一般的には高密度と低密度の2種類に分けられが、重合の程度によりその性質はやや異なる。ポリエチレンを空气中で昇温すると、325°C以上で分解が始まり、500°C~550°Cで完全に分解する[15]事が知られている。減速材として使用する候補である超高分子ポリエチレン(ニューライトNL-W: 作新工業株式会社製)について、熱重量測定および圧力測定変化から不活性雰囲気での熱分解ガスの発生を調べた。

#### 熱重量測定試験

小さなポリエチレン試料約19mgを熱天秤を用いて加熱し重量変化を測定した。雰囲気ガスは窒素とし、温度は20°C/mで昇温した後、250±2°C、280±2°C、350±2°C、416±1°Cで一定として保持時間と重量変化の関係を求めた。結果をTable 14およびFig. 39にまとめた。別途昇温速度を10°C/mと小さくして行った実験では、分解に伴う急速な重量減少は415°Cで始まった。試験には理学電機(株)の熱天秤サーモフラックス8100を用い、重量変化と熱エネルギーの収支を測定した。Fig. 40に熱分解開始温度を求めた実験の結果を、Fig. 41に416°Cで

行った重量および温度変化を示す。熱分解開始温度測定実験では400°Cを越える辺りから吸熱反応により急速に重量が減少し始めていることが分かる。

これらの実験の結果から、280°C以下の温度領域では熱分解はほとんど無視出来ることが確認された。本試験は不活性な雰囲気で行ったものであるので、発生したガスは酸化あるいは還元を伴わない単なる熱分解により生じたと考えるのが妥当である。神戸博太郎[16]によれば、ポリエチレンの熱分解はランダム分解で、炭素数が7~9を極大とする各種のn-パラフィンとn-オレフィンが発生するとされている。本試験では、生成物の同定は出来なかったものの、捕集容器に分解ガスの凝縮が起こった事等、生成ガスに比較的炭素数の大きいものが多いことを窺わせる結果が得られている。ポリエチレンからのガスの発生速度は、熱分解によるガスの生成速度とそのガスが拡散により試料表面に達する速度で決まる。一般に、熱分解の始まる比較的低い温度領域では熱分解によるガスの生成速度が律速となる[16]ことが知られている。

ここで、ガスの発生量はポリエチレンの量に比例すると仮定して、ガスの生成量を推定する。280°Cで12時間保持した例では1%の重量減少が観測されているので、試作ナトリウムカプセルの減速材約8kgからの場合約80gがガス化したことになる。生成したガス分子を全てエチレンと仮定すると、2.9molとなり標準状態で64ℓとなり、試作ナトリウムカプセルの容積約14ℓと比べて無視できない値となる。ただし、ここで用いた重量減少の1%は、12時間の測定中の計器のドリフト等を考慮すると計測誤差程度の値であり、実際に発生するガスの平均的分子量はエチレンの数倍と考える方が妥当であるので、実際には分解ガスによる圧力上昇は上記評価値より小さいものと予想される。

### 圧力測定試験

熱重量測定試験では、熱分解ガスによる圧力上昇を正確には見積もれなかったため、試作ナトリウムカプセルの外部容器の約1/10の圧力容器に体積約1/10のポリエチレンを密封し高温での圧力を測定する実験を行った。圧力容器内の雰囲気はアルゴンガスとし、ポリエチレンの融点である136°Cと226°C、250°C、280°Cおよび300°Cでの圧力変化を測定した。測定装置の概要とポリエチレンサンプルの寸法をFig42に示した。圧力容器の容積は2296cm<sup>3</sup>、サンプル重量は810gであった。また、同じ形状の炭素鋼製ダミーサンプルを用いた測定も併せて行った。実験は約8時間かけて目的温度まで昇温し約4時間保持した後、次の目的温度まで約4時間かけて昇温して約4時間保持する、を繰り返した。保持温度を(1)136°Cおよび226°Cとする実験、(2)226°C、250°C、280°Cおよび300°Cとする実験の2種類をおこない、(1)については再現性を確認するため2回行った。試料の温度については試料中心に深さ50mmの穴をあけ、その温度をKタイプ熱電対で測定した。さらに、圧力容器内ガスの温度として、サンプルのやや上方の温度を測定した。また、圧力は横河電機(株)のデジタル・マノメー

タ(Model 2654 22、公称精度  $\pm 0.1\%$ )により測定した。

ダミーサンプルを使い、 $300^{\circ}\text{C}$ に昇温した実験では、圧力容器内圧は $2\text{kg}/\text{cm}^2$ で安定した。室温 $17^{\circ}\text{C}$ における初期圧が $1\text{kg}/\text{cm}^2$ であるので、圧力上昇は $1\text{kg}/\text{cm}^2$ となる。圧力容器内の温度が均一であると仮定すると、理想気体の状態式から内圧は $1.98\text{kg}/\text{cm}^2$ と計算され、実測値とよく一致する。この結果から、本測定では圧力容器の内容積が比較的大きく、非加熱部の細管中の体積等は無視できることが確認されたので、以下の測定では計算で求めた圧力上昇との比較から分解ガスによる圧力上昇を評価した。

ポリエチレンサンプルを $300^{\circ}\text{C}$ まで加熱した時の、温度および圧力の履歴をFig. 43に示す。この結果から、ポリエチレンサンプルが $226^{\circ}\text{C}$ 、 $250^{\circ}\text{C}$ 、 $280^{\circ}\text{C}$ および $300^{\circ}\text{C}$ での圧力はそれぞれ、 $1.78\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.86\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.95\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。ここで、ガス温度はそれぞれ $226^{\circ}\text{C}$ 、 $250^{\circ}\text{C}$ 、 $270^{\circ}\text{C}$ 、 $300^{\circ}\text{C}$ であった。従って、均温・理想気体を仮定した場合の圧力は、 $1.72\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.80\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.87\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.91\text{kg}/\text{cm}^2$ となる。実測値との差は最大でも $0.09\text{kg}/\text{cm}^2$ と小さい。この結果から、 $300^{\circ}\text{C}$ までの温度では分解ガスの発生による圧力上昇は非常に小さく、ほとんど無視できることが分かった。 $226^{\circ}\text{C}$ までの温度領域で2回行った実験も同様の結果となった。結果をTable15にまとめた。昇温試験前後のサンプルの外観をPhoto. 6に示す。ポリエチレンは中央部が盛り上がるように変形したが、変色は見られない。また、試験の前後で重量変化は無かった。

#### 4. 結 論

ナトリウム冷却条件で行うNSRR炉内実験における軽水に代わる減速材の候補として、水素化ジルコニウムとポリエチレンの核的および熱的性質を炉内照射実験および炉外昇温実験によって調べた。その結果、いずれの減速材も軽水と同等あるいはそれ以上の減速能力を有すること、 $300^{\circ}\text{C}$ までの温度領域では水素の解離や分解に伴うガスの発生はほとんど無いことが分かった。得られた知見を、以下にまとめた。

(1)減速材としての水素化ジルコニウムとポリエチレンは、どちらを使っても得られる実験燃料の発熱量はほぼ同じである。ただし、ポリエチレンは炉心に及ぼす負の反応度値が同じ量の水素化ジルコニウムに比べて約25%大きいという欠点がある。また、ポリエチレンを使用する場合は厚さは30mmで十分である。

(2)ポリエチレンは密度が約 $1\text{g}/\text{cm}^3$ と水素化ジルコニウムの5分の1と軽いこと、照射による放射能がほとんど無視出来ること、材料が安価で入手し易いこと等の利点を持つ。

(3)減速材が薄く、実験孔を通る軸方向の中性子の漏れが大きくなる場合を除いて、実験燃料

タ(Model 2654 22、公称精度  $\pm 0.1\%$ )により測定した。

ダミーサンプルを使い、 $300^{\circ}\text{C}$ に昇温した実験では、圧力容器内圧は $2\text{kg}/\text{cm}^2$ で安定した。室温 $17^{\circ}\text{C}$ における初期圧が $1\text{kg}/\text{cm}^2$ であるので、圧力上昇は $1\text{kg}/\text{cm}^2$ となる。圧力容器内の温度が均一であると仮定すると、理想気体の状態式から内圧は $1.98\text{kg}/\text{cm}^2$ と計算され、実測値とよく一致する。この結果から、本測定では圧力容器の内容積が比較的大きく、非加熱部の細管中の体積等は無視できることが確認されたので、以下の測定では計算で求めた圧力上昇との比較から分解ガスによる圧力上昇を評価した。

ポリエチレンサンプルを $300^{\circ}\text{C}$ まで加熱した時の、温度および圧力の履歴をFig. 43に示す。この結果から、ポリエチレンサンプルが $226^{\circ}\text{C}$ 、 $250^{\circ}\text{C}$ 、 $280^{\circ}\text{C}$ および $300^{\circ}\text{C}$ での圧力はそれぞれ、 $1.78\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.86\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.95\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。ここで、ガス温度はそれぞれ $226^{\circ}\text{C}$ 、 $250^{\circ}\text{C}$ 、 $270^{\circ}\text{C}$ 、 $300^{\circ}\text{C}$ であった。従って、均温・理想気体を仮定した場合の圧力は、 $1.72\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.80\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.87\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $1.91\text{kg}/\text{cm}^2$ となる。実測値との差は最大でも $0.09\text{kg}/\text{cm}^2$ と小さい。この結果から、 $300^{\circ}\text{C}$ までの温度では分解ガスの発生による圧力上昇は非常に小さく、ほとんど無視できることが分かった。 $226^{\circ}\text{C}$ までの温度領域で2回行った実験も同様の結果となった。結果をTable15にまとめた。昇温試験前後のサンプルの外観をPhoto. 6に示す。ポリエチレンは中央部が盛り上がるように変形したが、変色は見られない。また、試験の前後で重量変化は無かった。

#### 4. 結 論

ナトリウム冷却条件で行うNSRR炉内実験における軽水に代わる減速材の候補として、水素化ジルコニウムとポリエチレンの核的および熱的性質を炉内照射実験および炉外昇温実験によって調べた。その結果、いずれの減速材も軽水と同等あるいはそれ以上の減速能力を有すること、 $300^{\circ}\text{C}$ までの温度領域では水素の解離や分解に伴うガスの発生はほとんど無いことが分かった。得られた知見を、以下にまとめた。

(1)減速材としての水素化ジルコニウムとポリエチレンは、どちらを使っても得られる実験燃料の発熱量はほぼ同じである。ただし、ポリエチレンは炉心に及ぼす負の反応度価値が同じ量の水素化ジルコニウムに比べて約25%大きいという欠点がある。また、ポリエチレンを使用する場合は厚さは30mmで十分である。

(2)ポリエチレンは密度が約 $1\text{g}/\text{cm}^3$ と水素化ジルコニウムの5分の1と軽いこと、照射による放射能がほとんど無視出来ること、材料が安価で入手し易いこと等の利点を持つ。

(3)減速材が薄く、実験孔を通る軸方向の中性子の漏れが大きくなる場合を除いて、実験燃料



の発熱量についてはSRACコードシステムを用いることによって約10%の精度で予測できることが分かった。

(4)水素化ジルコニウムの水素解離による圧力上昇は、400°Cまでの温度領域では無視出来ることが確認できた。しかし、水分と水素化ジルコニウムの反応に伴うと思われる水素ガスの発生が225°C程度をピークに認められた。この水素発生に伴う圧力上昇は250°C以上では無視できる値となるが、実験カプセルの設計・運用には考慮を要する。

(5)ポリエチレンは300°Cまでの温度では分解ガスの発生による圧力上昇は非常に小さく、ほとんど無視できることが分かった。ただし融点は136°Cと低いため、226°Cまでの昇温実験においても若干の変形はあった。

以上の結果から、核的には2つの減速材は同等の性能を持つと言える。コスト、入手しやすさ、取り扱い性のよさ等の理由により、総合的にはポリエチレンの方が実用的な利点が多い。しかし、運転時に大きな反応度余裕が必要な台形パルス運転や合成パルス運転を用いた実験を行う場合、水素化ジルコニウムは反応度価値が小さいという利点が大きくものを言うものと考えられる。

## 謝 辞

本研究を遂行するに当たりご指導を頂いた原子炉安全工学部の藤城俊夫次長ならびに反応度安全研究室の石島清見室長に感謝の意を表します。また、核計算を実行頂いたキューブシステム(株)の細山田龍二氏、水素化ジルコニウムの製作・試験を実施した加藤明美氏を始めとする東ソー(株)の諸氏、ポリエチレンの試験を実施した松並清隆氏を始めとする川崎重工(株)および財団法人化学品検査協会の諸氏に感謝します。また、ポリエチレンの物性等について製品データを提示いただいた作新工業株式会社に感謝します。

の発熱量についてはSRACコードシステムを用いることによって約10%の精度で予測できることが分かった。

(4)水素化ジルコニウムの水素解離による圧力上昇は、400°Cまでの温度領域では無視出来ることが確認できた。しかし、水分と水素化ジルコニウムの反応に伴うと思われる水素ガスの発生が225°C程度をピークに認められた。この水素発生に伴う圧力上昇は250°C以上では無視できる値となるが、実験カプセルの設計・運用には考慮を要する。

(5)ポリエチレンは300°Cまでの温度では分解ガスの発生による圧力上昇は非常に小さく、ほとんど無視できることが分かった。ただし融点は136°Cと低いため、226°Cまでの昇温実験においても若干の変形はあった。

以上の結果から、核的には2つの減速材は同等の性能を持つと言える。コスト、入手しやすさ、取り扱い性のよさ等の理由により、総合的にはポリエチレンの方が実用的な利点が多い。しかし、運転時に大きな反応度余裕が必要な台形パルス運転や合成パルス運転を用いた実験を行う場合、水素化ジルコニウムは反応度価値が小さいという利点が大きくものを言うものと考えられる。

## 謝 辞

本研究を遂行するに当たりご指導を頂いた原子炉安全工学部の藤城俊夫次長ならびに反応度安全研究室の石島清見室長に感謝の意を表します。また、核計算を実行頂いたキューブシステム(株)の細山田龍二氏、水素化ジルコニウムの製作・試験を実施した加藤明美氏を始めとする東ソー(株)の諸氏、ポリエチレンの試験を実施した松並清隆氏を始めとする川崎重工(株)および財団法人化学品検査協会の諸氏に感謝します。また、ポリエチレンの物性等について製品データを提示いただいた作新工業株式会社に感謝します。

## 参 考 文 献

- [1] M. Sobajima, T. Nakamura, and T. Fujishiro, "Incore Experiment Program Contributing to safety Criteria for Fuel Failure Accident", International Conference on fast Reactor and Related Fuel Cycles, Kyoto, 1991.
- [2] T. Nakamura, T. Fujishiro and M. Sobajima, "FBR Fuel Failure Experiments in the NSRR", Japan-USSR Seminar on Optimization of Main Parameters and Thermal Diagrams of FBR Taking into Account Economy, Reliability and Safety, Tokyo, 1990.
- [3] 傍島眞 他、, "高速炉の事故時燃料挙動に関する研究の現状とNSRRにおける計画", JAERI-M 88-158.
- [4] 中村武彦、更田豊志、傍島眞、細山田龍二, "NSRR高速炉燃料実験における各種燃料の発熱量の予測評価", JAERI-M 90-067.
- [5] 中村武彦 他、"NSRR実験における照射済酸化ウラン燃料の発熱量の検討", JAERI-M 準備中.
- [6] 柳原敏、鈴木敏夫, "NSRR実験における特殊燃料（破壊力測定、ガドリニア入り、ウラノープルトニウム混合酸化物燃料）の発熱量評価", JAERI-M 85-208, 1985.
- [7] N. Ohnishi and T. Inabe, "Evaluation of Effective Energy Deposition in test Fuel during Power Burst Experiment in NSRR", J. Nucl. Sci. Technol. 19[7], pp. 528-542, 1982.
- [8] M. Ishikawa, et al. "EUREKA : A Computer Code for Uranium-Oxide Fueled, Water Cooled Reactor Kinetics", JAERI 1235, 1974.
- [9] K. Tsuchihashi, Y. Ishigro, K. Kaneko and M. Ido, "Revised SRAC System", JAERI 1302, 1986.
- [10] K. D. Lathrop and F. W. Brinkley, "Two Dimensional Multigroup Discrete Ordinates Transport Code : TWOTRAN-II", LA-4848-MS, 1973.

- [11] W. W. Engle, Jr. "A Users Manual for ANISN : A One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code With Anisotropic Scattering", K-1693 ORNL, 1967.
- [12] M. Hansen and K. Anderko, "CONSTITUTION OF BINARY ALLOYS", McGRAW-HILL BOOK COMPANY, New York, 1958.
- [13] M. T. Simnad and J. B. Dee, "Equilibrium Dissociation Pressures and Performance of Pulsed U-ZrH Fuels at Elevated Temperatures", General Atomics GA-9129, Aug. 1967.
- [14] M. T. Simnad, "The U-ZrH<sub>x</sub> alloy : Its Properties and Use in TRIGA Fuel", General Atomics E-117-833, Feb. 1980.
- [15] E. A. Boettner et al. "Combustion Products from the Incineration of Plastics", University of Michigan School of Public Health Environmental and Industrial Health, 1973.

Table 1 Composition and impurities in Zirconium-hydride powder

Elements	Concentration, ppm		Elements	Concentration, ppm	
	Sintered (Method I)	Pressed (Method II)		Sintered (Method I)	Pressed (Method II)
H	20000	20000	Ti	<10	<10
Fe	2300	400	V	<10	<10
Hf	100	59	Zn	<10	<10
Cr	200	56	Mo	5300	<10
Mg	500	52	Al	10	40
Ni	10	52	Pb	10	<10
Mn	47	30	Sn	<5	<5
Nb	40	30	Cu	3	2
B	6	12	Bi	<2	<2
W	<10	10	Cd	<1	<1
Ta	<10	<10	Co	<1	<1

Table 2 Composition of the Zirconium-hydride moderator piece

Element	Concentration, wt%	Concentration, atom%	Evaluation Method
Zr	97.4	34.57	Residual
H	2.0	64.24	LECO
O	0.45	0.91	LECO
N	0.042	0.097	LECO
C	0.05	0.135	LECO
S	0.003	0.003	LECO
Fe	0.05	0.029	ICP
Mg	0.006	0.008	ICP

Table 3 Material properties of polyethylene used for the characterization tests

	<b>Powder</b> (highzex-million)	<b>Bulk</b> (Newlight)
<b>Molecular Weight</b>	4.5×10 <sup>6</sup>	5.5×10 <sup>6</sup>
<b>Density, g/cm<sup>3</sup></b>	0.93	0.94
<b>Melting Temperature, °C</b>	136	136
<b>Softing Temperature, °C</b> (4.6kg/cm <sup>2</sup> , ASTM D648)	80	95
<b>Expansion Coefficient</b> (ASTM D696), 1/°C	1.5×10 <sup>-4</sup>	1.7×10 <sup>-4</sup> (at 20°C)
<b>Thermal Conductivity</b> (ASTM C177), cal/cm/s/°C	8.5×10 <sup>-4</sup>	-
<b>Ultimate Tensile Strength</b> (ASTM D638), kg/cm <sup>2</sup>	500	400
<b>Ultimate Strain</b> (ASTM D638), %	250	350
<b>Flash Point</b> (in Air), °C	-	about 400

Table 4 Test conditions in the neutronic characterization tests

Test No.	Moderator	Test Arrangement	Test Fuel Rod	Pulse Irradiation	Energy Deposition, $E(\alpha)$ , cal/g
940-1	ZrH <sub>1.85</sub> , 45mm t	10%E, single Shroud I.D.:10mm	<b>Fuel Pellet</b> Diameter :5.41mm Height :10mm Density :95%TD <sup>235</sup> U Enrichment:10, 15, 20%E, Nat.(Both Ends) Stack Length :360mm (Enriched Pellets) +10mm (Natural UO <sub>2</sub> )x2 <b>Cladding</b> Outer Diameter :6.5mm Inner diameter :5.56mm Material :Type 316 Stainless Steel (JIS SUS316) <b>Elements</b> Overall Length :600mm Fill Gas :Helium at 0.1MPa Plenum Length :33.5mm (Bottom) 130mm (Top)	Natural Pulse, \$1.92 NVT(1s):21.1MJ NVT( $\infty$ ):26.85MJ	137.5
941-1	Polyethylene, 45mm t	10%E, single Shroud I.D.:10mm		Shaped Pulse, 3MW, 10s NVT( $\infty$ ):48.09MJ	239.3 (150W/cm)
941-2	Polyethylene, 45mm t	20%E, bundle (7 rods) Shroud I.D.:23mm		Natural Pulse, \$1.6 NVT(1s):20.1MJ NVT( $\infty$ ):25.84MJ	73(cent.) 98(surr.)



Table 4 (Continued)

<p><b>941-3</b></p>	<p>Polyethylene, 20mm t</p>	<p>10%E, single Shroud I.D.:10mm</p>	<p><b>Fuel Pellet</b> Diameter :5.41mm Height :10mm Density :95%TD <sup>235</sup>U Enrichment:10, 15, 20%E, Nat.(Both Ends) Stack Length :360mm (Enriched Pellets) +10mm (Natural UO<sub>2</sub>)x2</p>	<p>Natural Pulse, \$1.8 NVT(1s):25.3MJ NVT(∞):31.38MJ</p>	<p>141</p>
<p><b>941-4</b></p>	<p>Polyethylene, 30mm t</p>	<p>20%E, single Shroud I.D.:10mm</p>	<p><b>Cladding</b> Outer Diameter :6.5mm Inner diameter :5.56mm Material :Type 316 Stainless Steel (JIS SUS316)</p>	<p>Shaped Pulse, 3MW, 10s NVT(∞):45.5MJ</p>	<p>309 (204W/cm)</p>
<p><b>941-5</b></p>	<p>Polyethylene, 40mm t</p>	<p>20%E, single Shroud I.D.:10mm</p>	<p><b>Elements</b> Overall Length :600mm Fill Gas :Helium at 0.1MPa Plenum Length :33.5mm (Bottom) 130mm (Top)</p>	<p>Natural Pulse, \$1.9 NVT(1s):23MJ NVT(∞):32.5MJ</p>	<p>222</p>
<p><b>941-6</b></p>	<p>Polyethylene, 40mm t</p>	<p>20%E(center), 15%E(srrnd.) bundle (7 rods) Shroud I.D.:23mm</p>	<p><b>Elements</b> Overall Length :600mm Fill Gas :Helium at 0.1MPa Plenum Length :33.5mm (Bottom) 130mm (Top)</p>	<p>Natural Pulse, \$2.52 NVT(1s):38.5MJ NVT(∞):47.5MJ</p>	<p>159.1(cent.) 189.5(surr.)</p>

Table 5 Summary of the pulse irradiation tests of the FBR "Monju" type fuel rods in test capsules with polyethylene or Zirconium-hydride moderator

Test No.	Moderator	Test Fuel Rods	Pulse Irradiation	Energy Deposition, E( $\alpha$ ), cal/g	Cladding Surface Temperature, °C	Water Temperature, °C	Coupling Factor, cal/g/MJ	Capsule Worth, \$	Reference Figure of Transient Histories
940-1	ZrH <sub>1.85</sub> 45mm t	10%E, single Shroud I.D.:10mm	Natural Pulse, \$1.92 NVT(1s):21.1MJ NVT( $\infty$ ):26.9MJ	137.5	#1 380 #2 300 #3 100	40	5.1	-2.98	Fig. 11
941-1	Polyethylene 45mm t	10%E, single Shroud I.D.:10mm	Shaped Pulse, 3MW, 10s NVT( $\infty$ ):48.1MJ	239.3 (150W/cm)	#1 100 #2 100 #3 95	70	5.0	-3.76	Fig. 12
941-2	Polyethylene 45mm t	20%E, bundle (7 rods) Shroud I.D.:23mm	Natural Pulse, \$1.6 NVT(1s):20.1MJ NVT( $\infty$ ):25.8MJ	73(cent.) 98(surr.)	Tcent<100 Tsurr<425	50	2.8(cent.) 3.8(surr.)	-3.35	Fig. 13

Table 5 (Continued)

<b>941-3</b>	Polyethylene 20mm t	10%E, single Shroud I.D.:10mm	Natural Pulse, \$1.8 NVT(1s):25.3MJ NVT( $\infty$ ):31.4MJ	141	#1 100 #2 380 #3 100	60	4.5	-2.86	Fig. 14
<b>941-4</b>	Polyethylene 30mm t	20%E, single Shroud I.D.:10mm	Shaped Pulse, 3MW, 10s NVT( $\infty$ ):45.5MJ	309 (204W/cm)	#1 - #2 480 #3 100	-	6.8	-3.35	Fig. 15
<b>941-5</b>	Polyethylene 40mm t	20%E, single Shroud I.D.:10mm	Natural Pulse, \$1.9 NVT(1s):23MJ NVT( $\infty$ ):32.5MJ	222	#1 950 #2 630 #3 800	-	6.8	-3.6	Fig. 16
<b>941-6</b>	Polyethylene 40mm t	20%E(center), 15%E(strnd.) bundle (7 rods) Shroud I.D.:23mm	Natural Pulse, \$2.52 NVT(1s):38.5MJ NVT( $\infty$ ):47.5MJ	159.1(cent.) 189.5(surr.)	Tcent:530~610 Tsurr:320~830	-	3.35 3.99	-3.28	Fig. 17

Table 6 Results of gamma-ray measurement and nuclear data for the fission density evaluation in the Test 940-1

Nuclide	Gamma-ray Energy, keV	Branching Ratio,	Half Life, day	Half Life of Precursor, day	Fission Yield, %	Emission Rate, 1/s	Error, %	Fission Density, fissions/g
Cs-137	661.7	0.851	1.1012×10 <sup>4</sup>	-	6.1862	1.318×10 <sup>2</sup>	1.55	1.932×10 <sup>13</sup>
	724.2	0.4415	64	-	6.5166	4.496×10 <sup>3</sup>	0.43	1.951×10 <sup>13</sup>
	756.7	0.5451		-		5.582×10 <sup>3</sup>		
Nb-95	765.8	0.998	34.98	64(Zr-95)	6.5166	1.2376×10 <sup>4</sup>	0.42	1.875×10 <sup>13</sup>
Ru-103	497.1	0.894	39.35	-	3.0366	3.6827×10 <sup>3</sup>	0.49	1.984×10 <sup>13</sup>
Ce-141	145.4	0.484	32.5	-	5.8156	3.0762×10 <sup>3</sup>	0.64	1.879×10 <sup>13</sup>
Ba-140	537.3	0.244	12.76	-	6.1909	1.9014×10 <sup>2</sup>	1.73	1.957×10 <sup>13</sup>
La-140	328.8	0.207	16.78	12.76	6.1909	1.8106×10 <sup>2</sup>	1.44	1.908×10 <sup>13</sup>
	487.0	0.459				4.0946×10 <sup>2</sup>	0.93	1.945×10 <sup>13</sup>
	815.9	0.2363				2.0936×10 <sup>2</sup>	0.89	1.932×10 <sup>13</sup>
	867.7	0.0559				5.0082×10 <sup>1</sup>	2.06	1.954×10 <sup>13</sup>
	925.2	0.0705				6.2073×10 <sup>1</sup>	1.96	1.920×10 <sup>13</sup>
	1596.5	0.9535				8.2703×10 <sup>2</sup>	1.81	1.892×10 <sup>13</sup>

Table 7 Calculated coupling factors of 10% enriched "Monju type" UO<sub>2</sub> fuel rod and capsule worth for the 940 and 941 tests

Moderator	Coupling Factor <sup>1)</sup> , cal/g/MJ		Calculated Peaking Factor		Capsule Worth, \$	
	Calculated	Measured	Axial	Radial	Calculated	Measured
ZrH <sub>1.85</sub> , 45mm	3.52	5.1	1.17	1.06	-2.04	-2.98
ditto, H as Free Gas	4.32		1.22	1.07	-2.39	
Polyethylene, 45mm	4.78	5.0	1.18	1.07	-3.03	-3.76
Polyethylene, 35mm	4.57	-	1.17	1.07	-2.66	-
Polyethylene, 20mm	3.82	4.5	1.18	1.07	-1.63	-2.86
non	1.41	-	1.17	1.05	+1.07	-

1) Radially averaged at axial peak power node.

Table 8 Coupling factors and capsule worth of tests with various water capsules

Test No.	Test Fuel	Water Thickness, mm	Coupling Factor, cal/g/MJ		Capsule Worth, \$	
			Calculated	Measured	Calculated	Measured
206-31	14x14PWR <sup>1)</sup> , 10%E	55	1.84	1.83	-1.88	-2.1
111-38	14x14PWR, 10%E	55	-	-	-1.91	-1.85
810-8	14x14PWR, 10%E	42	-	-	-1.61	-1.89
810-3	14x14PWR, 10%E	27	-	-	-1.17	-1.35
260-1	14x14PWR, 20%E	55	2.00	2.25	-	-
701-8	ATR MOX <sup>2)</sup> , 6.3%PuO <sub>2</sub>	53	1.21	1.17	-	-
702-2	ATR MOX <sup>3)</sup> , 10%PuO <sub>2</sub>	53	1.24	1.13	-	-

1) Cladding O.D.:10.72mm, Cladding Thickness:0.62mm(Zircaloy4), Pellet O.D.:9.29mm

2) Cladding O.D.:10.72mm, Cladding Thickness:0.62mm(Zircaloy4), Pellet O.D.:9.31mm

3) Cladding O.D.:14.5mm, Cladding Thickness:0.9mm(Zircaloy4), Pellet O.D.:12.4mm

Table 9 Expected energy depositions of FBR type test fuel rod pulse irradiated in the NSRR

Test Fuel Type <sup>1)</sup>	Enrichment, %	Energy Deposition <sup>2)</sup> , cal/g/100MJ (kJ/g/100MJ)	Radial Peaking Factor	Axial Peaking Factor	Calculated Capsule Worth (Polyethylene) ×1.21, \$	Calculated Capsule Worth (ZrH <sub>1.85</sub> ) ×1.21, \$
"Monju" Clad O.D.:6.5mm Clad I.D.:5.6mm Fuel O.D.:5.4mm Solid Fuel	MOX, Pu <sub>fissile</sub> :21.6	6.60 (2.75)	1.73	1.25	2.95	2.19
	MOX, Pu <sub>fissile</sub> :16	6.09 (2.53)	1.52	1.25		
	UO <sub>2</sub> :20	5.39 (2.24)	1.26	1.25		
Clad O.D.:7.5mm Clad I.D.:6.5mm Fuel O.D.:6.4mm Solid Fuel	MOX, Pu <sub>fissile</sub> :21.6	5.37 (2.23)	1.98	1.24	2.95	2.19
	MOX, Pu <sub>fissile</sub> :16	5.07 (2.11)	1.71	1.25		
	UO <sub>2</sub> :20	4.91 (2.04)	1.32	1.25		
Clad O.D.:8.5mm Clad I.D.:7.5mm Fuel O.D.:7.32mm Solid Fuel	MOX, Pu <sub>fissile</sub> :21.6	4.71 (1.96)	1.97	1.23	2.95	2.19
	UO <sub>2</sub> :20	4.15 (1.73)	1.32	1.23		

1) Stack length is 380mm in all of the test fuel rods.

2) Radially averaged energy deposition at axial power peak.

Table 10 Thermal conductivity of the Zirconium-hydride samples for the NSRR tests

Sample No.	Thermal Conductivity <sup>1)</sup> , kcal/m/h/°C	
	at about 100° C	at about 200° C
1	4.418 (at 95.0° C)	4.060 (at 195.6° C)
2	3.476 (at 95.4° C)	3.074 (at 199.1° C)
3	3.107 (at 106.0° C)	3.071 (at 202.3° C)
Average	3.67±0.68	3.40±0.57

1) Measured with the method specified by JIS 2616-1979 UDC 666.76:536.21.

Table 11 Weight change of ZrH<sub>1.85</sub> under air atmosphere at elevated temperatures

Temperature <sup>1)</sup> at plateau, °C	H Concentration <sup>2)</sup> , w%, after			
	5 min	10 min	60 min	180 min
100	1.90	1.92	2.04	2.00
200	1.92	1.97	1.93	1.85
400	1.77	1.61	1.63	1.17
600	0.70	- <sup>3)</sup>	-	-

1) Heat up rate is 100° C/10min in all the tests.

2) Initial concentration of hydrogen is 2.00 w%.

3) The zirconium-hydride started to burn.



Table 12 Results of dissociation pressure measurements of  $ZrH_{1.85}$ 

Temperature, °C	Pressure with Dummy Sample, kg/cm <sup>2</sup>			Pressure with $ZrH_{1.85}$ , kg/cm <sup>2</sup>	
	Measured	Calculated <sup>1)</sup>	Calculated <sup>2)</sup>	Measured	Dissociation Pressure
14	0.01 (12°C)	0.01	0.01	0.01	0.00
154	0.36 (152°C)	0.38	0.36	0.81	0.45
175	0.41	0.44	0.41	1.38	0.97
200	0.47 (201°C)	0.44	0.41	1.70	1.23
226	0.52	0.55	0.52	1.89	1.37
250	0.58	0.60	0.58	0.71	0.13
276	0.63	0.66	0.63	0.74	0.11
300	0.68	0.71	0.68	0.78	0.10
326	0.74	0.76	0.73	0.86	0.08
351	0.78 (350°C)	0.81	0.78	0.86	0.08
374	0.83 (375°C)	0.86	0.83	0.90	0.07
403	0.88	0.91	0.88	-	-
410	-	-	0.90	0.96	0.06

1) Calculated with equation (4).

2) Calculated with equation (5).

Table 13 Dissociation pressure of  $ZrH_{1.85}$  calculated with equation (9) and (10)

	Weight %	Atomic Mass
Zr	52.45	91.22
H	1.07	1.0079
C	0.05	12.011
For epsilon phase ( $1.7 < H/Zr < 1.9$ ) $\text{Log } P = 10.44X - 10.47 - 8538/T$ P : Pressure, atm T : Temperature, K		
	H/Zr	H/(Zr-C)
X	1.84634	1.8598
Temp(K)	logP	P(atm)
300	-19.514	3E-20
400	-12.399	4E-13
500	-8.1297	7E-09
600	-5.2837	5E-06
700	-3.2508	0.00056
800	-1.7262	0.01879
900	-0.5403	0.28818
1000	0.40833	2.56052
1100	1.18451	15.2936
1200	1.83133	67.8154
1300	2.37864	239.131
1400	2.84776	704.299
1500	3.25433	1796.09
1600	3.61008	4074.54
1700	3.92398	8394.13
1800	4.203	15958.6
1900	4.45264	28356
2000	4.67733	47569.5
2100	4.88061	75965.1
2200	5.06542	116257
2300	5.23415	171457
2400	5.38883	244810
2500	5.53113	339726
2600	5.66248	459708
2700	5.78411	608284
2800	5.89704	788938
2900	6.00219	1005057
3000	6.10033	1259878

Table 14 Weight change of polyethylene under inert atmosphere at high temperatures

Time	Residual Weight Fraction[%] at Temperatures			
	250 °C	280 °C	350 °C	416 °C
0	100	100	98.7	90.4
5 min	-	-	98.5	84.0
20 min	-	-	97.8	65.6
1 hr	-	-	96.1	14.8
2 hr	99.917	99.833	94.0	-
4 hr	99.833	99.667	90.1	-
6 hr	99.75	99.5	87.8	-
8 hr	99.667	99.333	86.1	-
10 hr	99.583	99.167	84.8	-
12 hr	99.5	99.0	83.8	0.4

Table 15 Results of polyethylene decomposition test

Temperature, °C	Calculated Pressure, kg/cm <sup>2</sup>	Pressure, Measured with Dummy, kg/cm <sup>2</sup>	Pressure <sup>1)</sup> , Measured with Polyethylene Sample, kg/cm <sup>2</sup>		
			Run 1	Run 2	Run 3
136 (Gas:149)	1.46	-	1.5 (0.04)	1.46 (0.0)	-
226	1.72	-	1.8 (0.08)	1.79 (0.07)	1.78 (0.06)
250	1.80	-	-	-	1.86 (0.06)
280 (Gas:270)	1.87	-	-	-	1.95 (0.08)
300 (Gas:280)	1.91	2.00	-	-	2.0 (0.09)

1) Decomposition pressure estimated by subtracting the calculated pressure from the measured pressure is shown in parentheses.

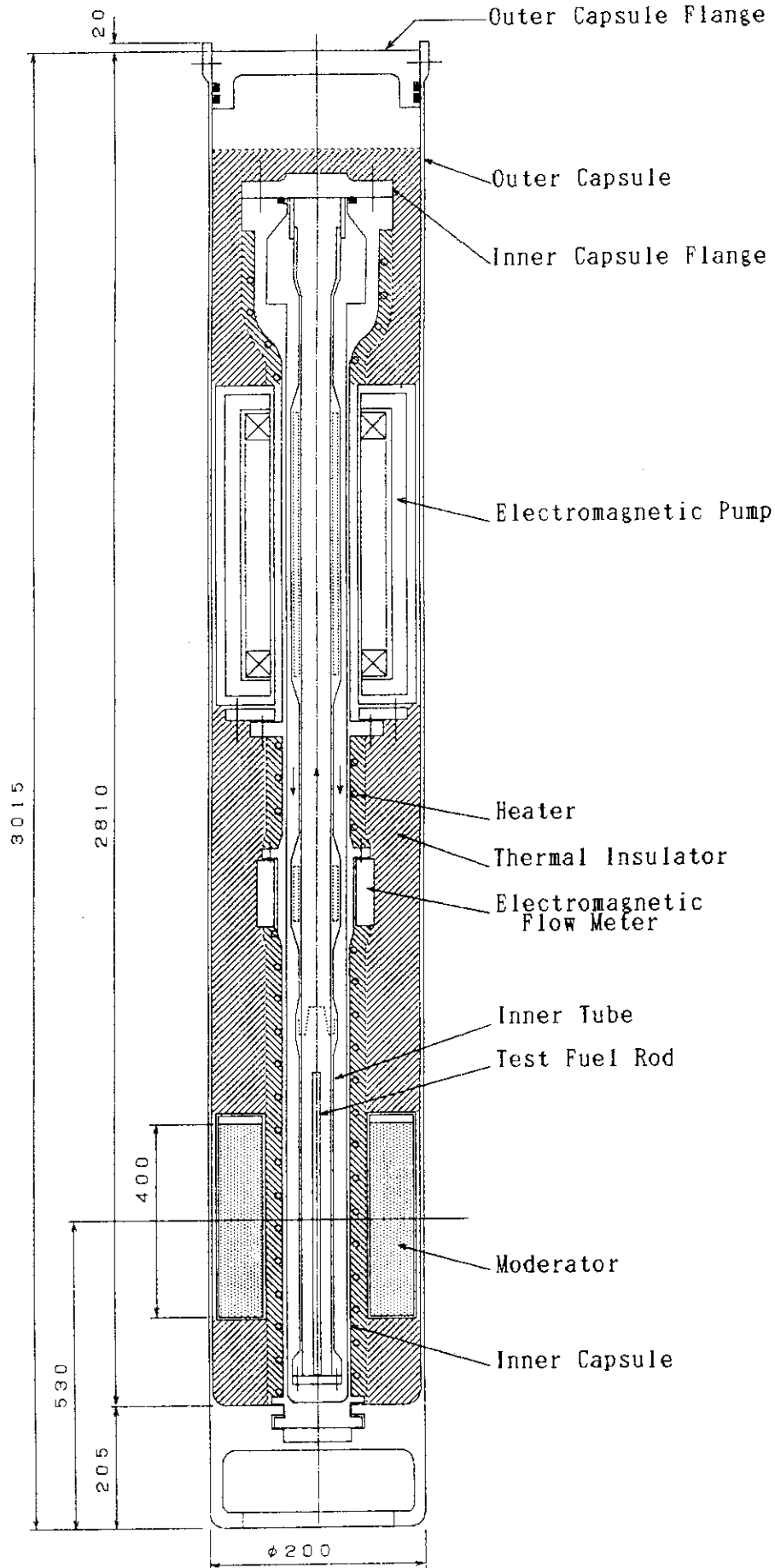


Fig. 1 Schematic configuration of sodium loop for the pulse irradiation of FBR fuel in the NSRR.

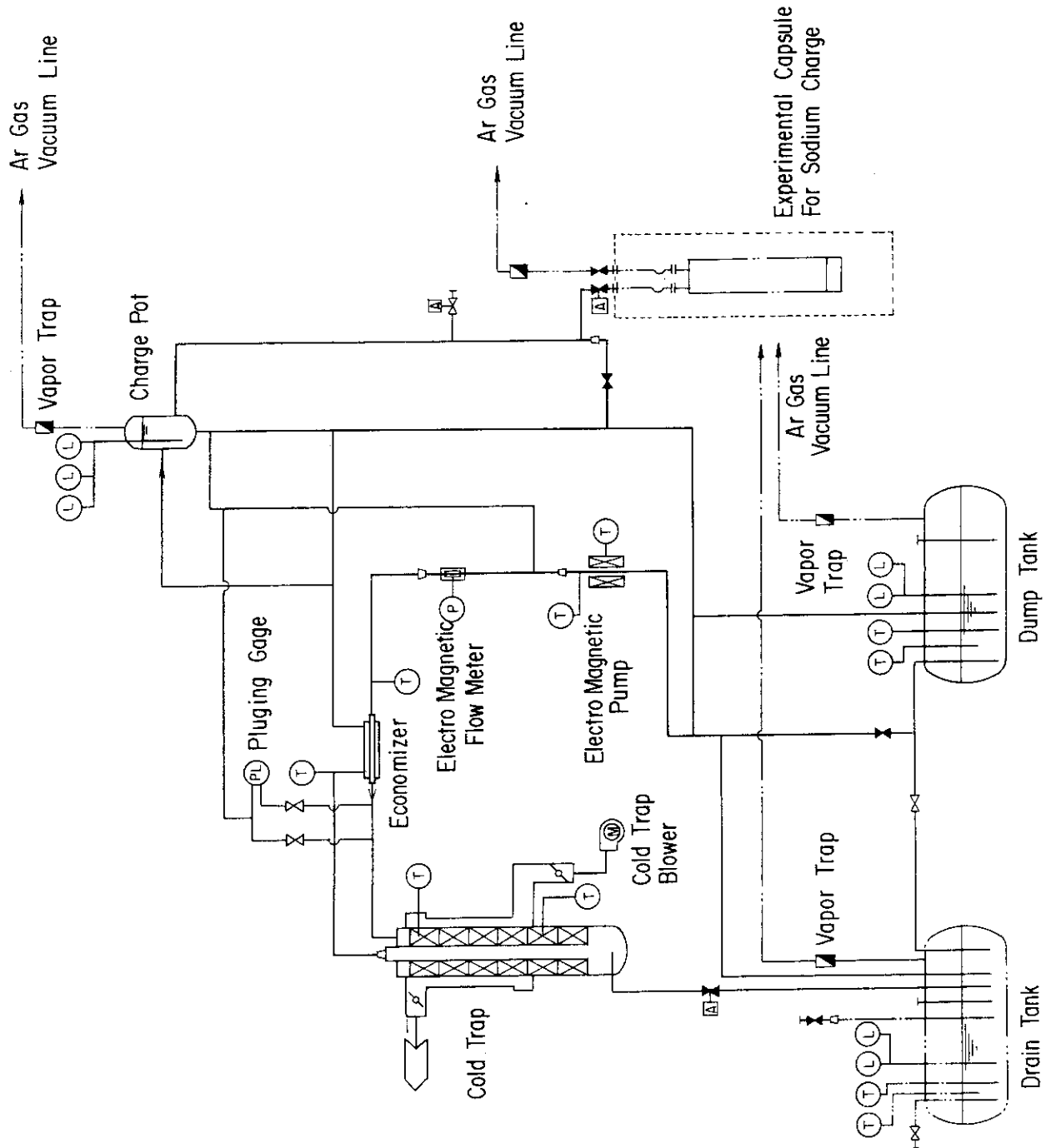


Fig. 2 Schematic configuration of sodium purification and change loop.

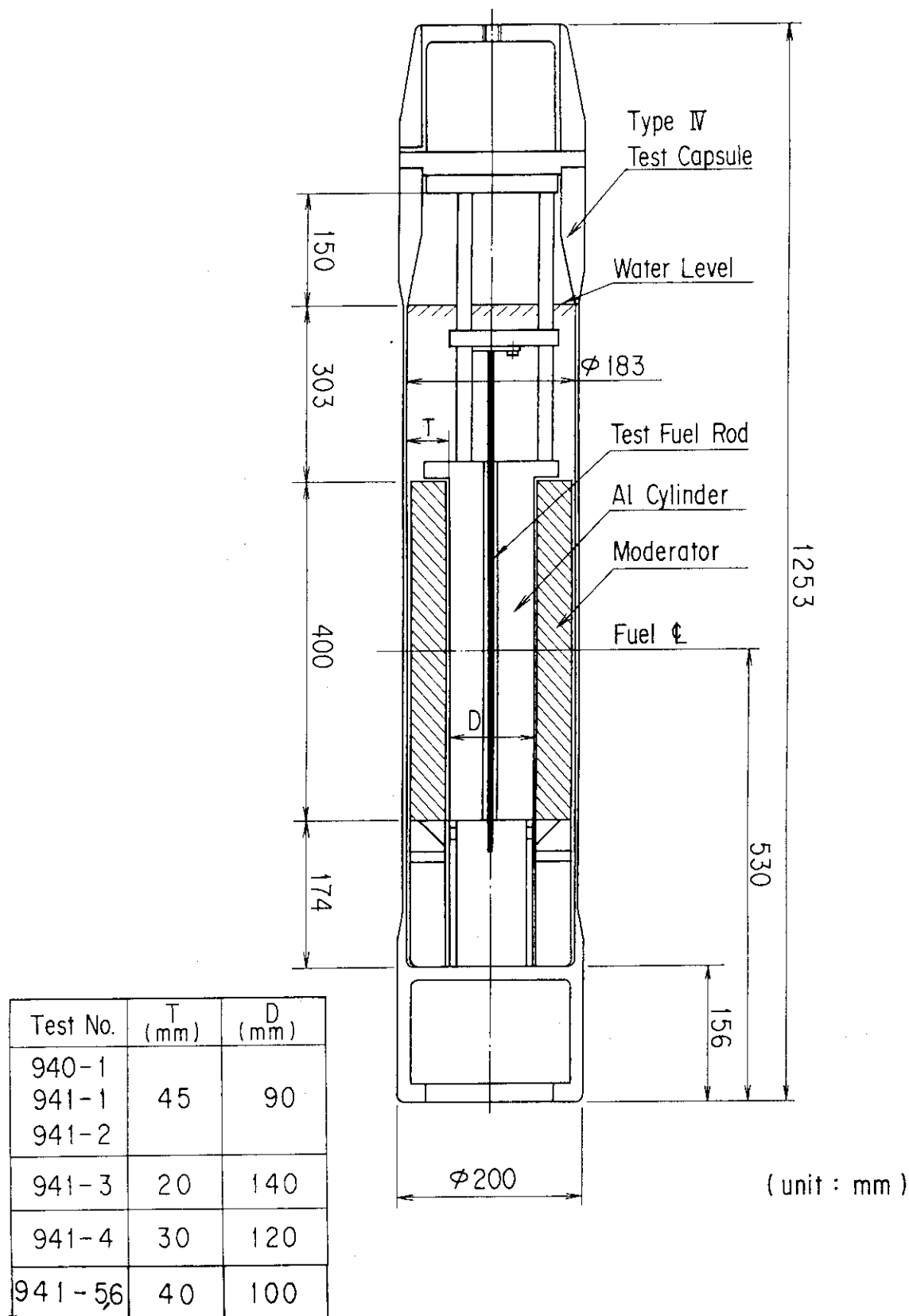


Fig. 3 Schematic configuration of pulse irradiation tests in the NSRR for neutronic characteristic test.

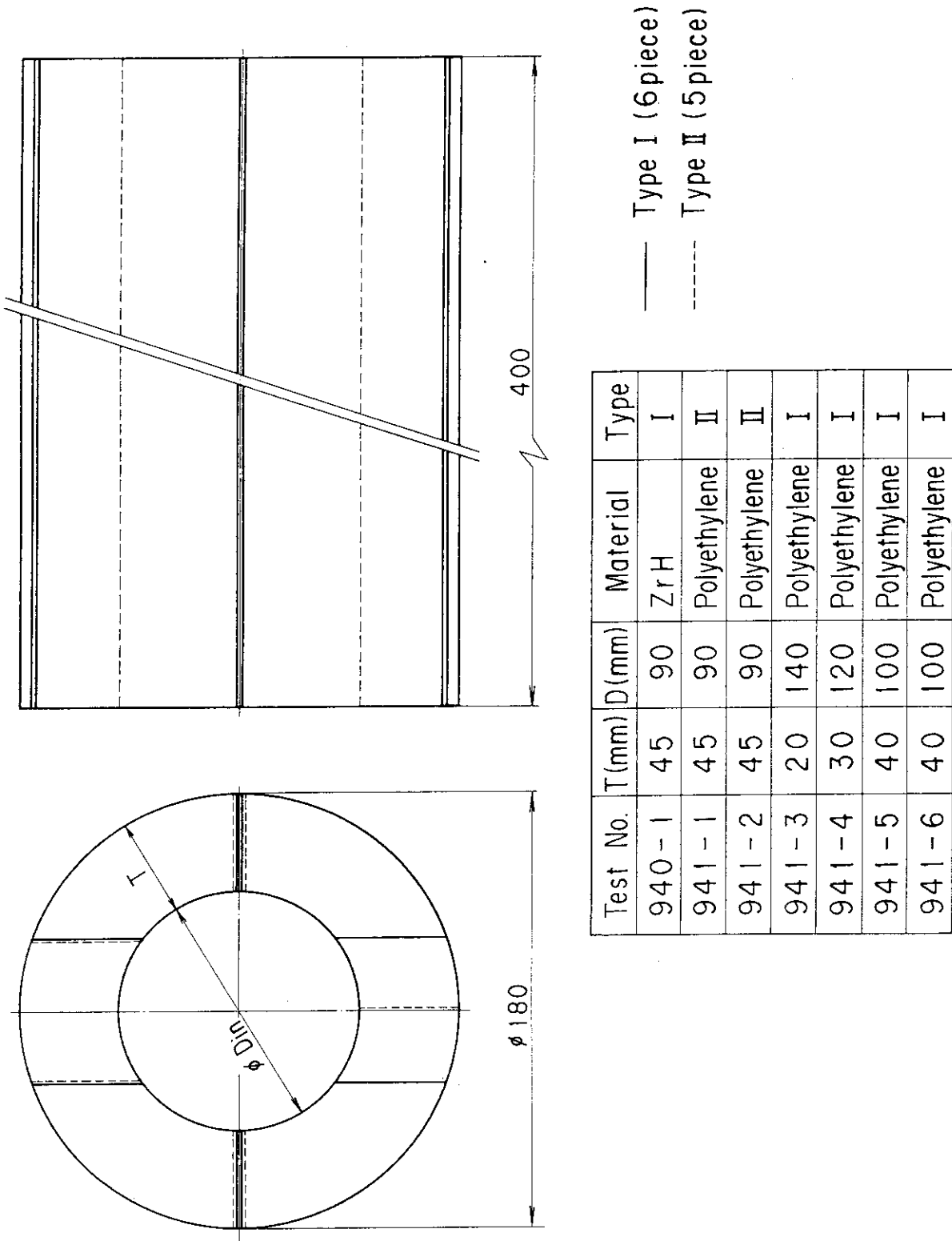


Fig. 4 Moderators used for the neutronic characteristic test.

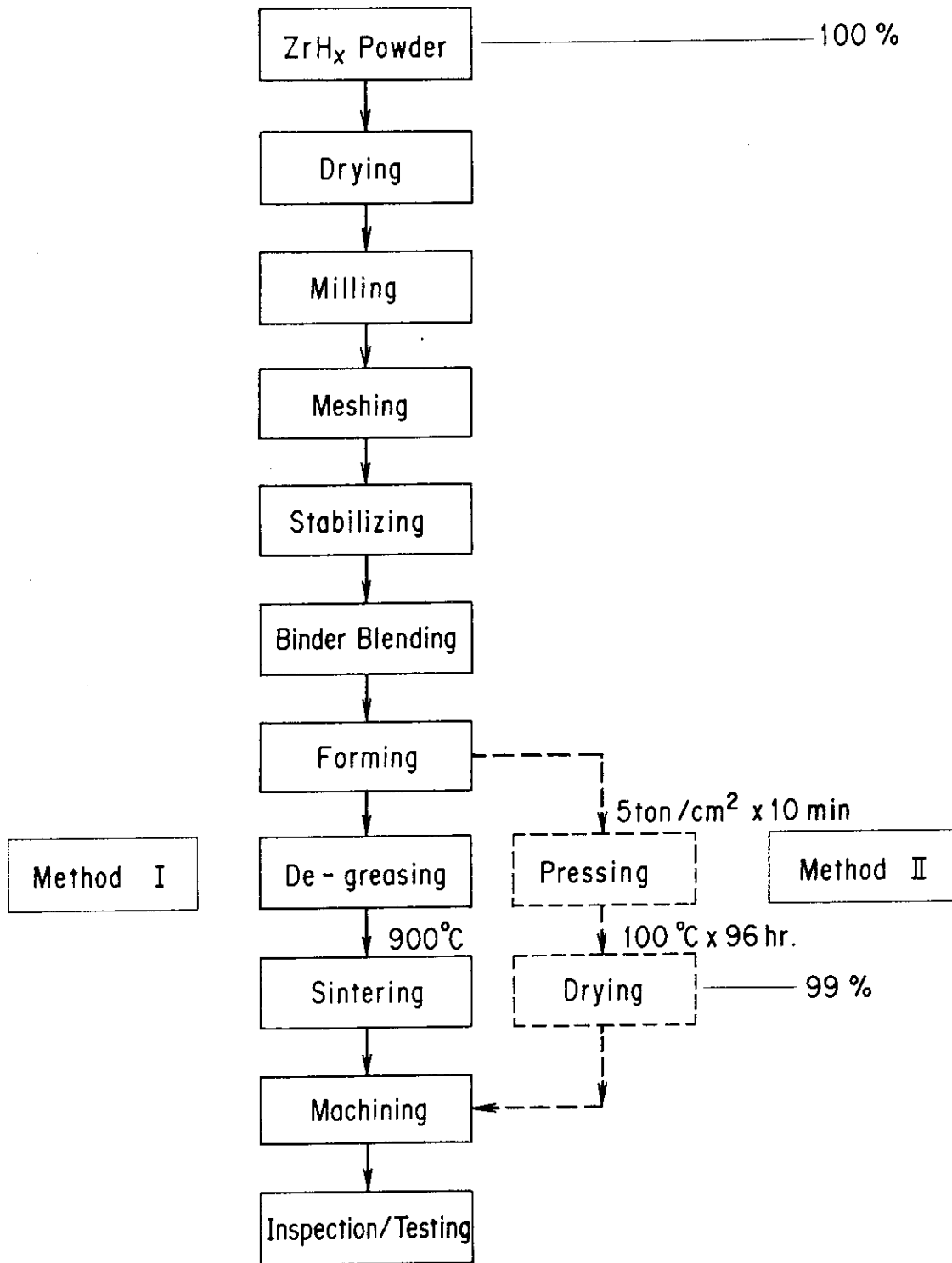


Fig. 5 Flow chart of fabrication of ZrH components.



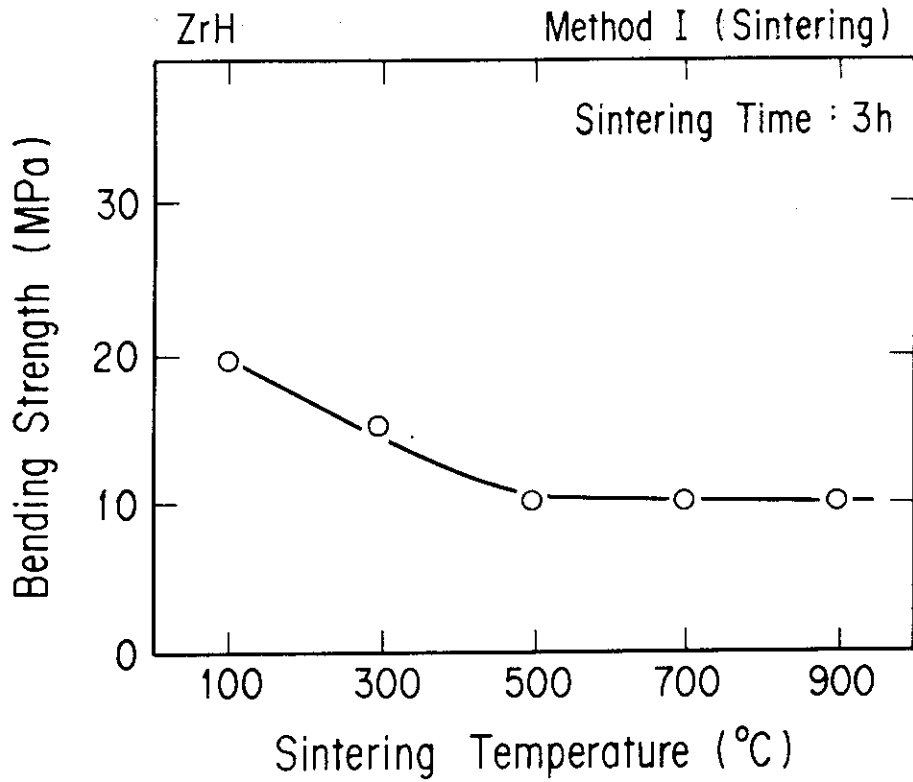


Fig. 6 Dependence of strength of Zirconium-hydride on sintering temperature.

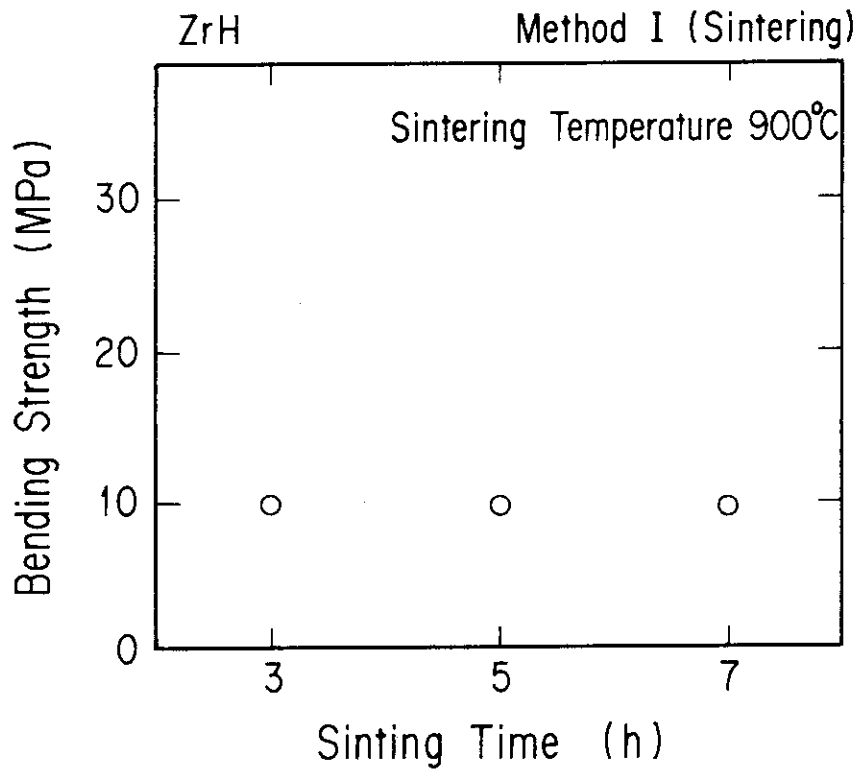


Fig. 7 Dependence of strength of Zirconium-hydride on sintering time.

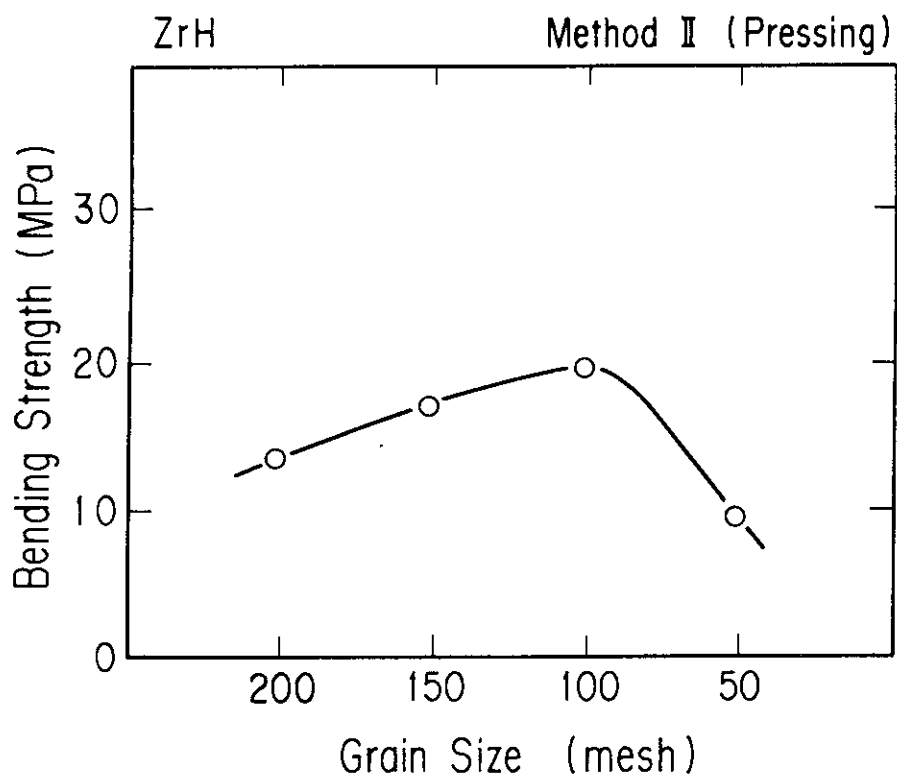


Fig. 8 Strength of Zirconium-hydride with various grain size.

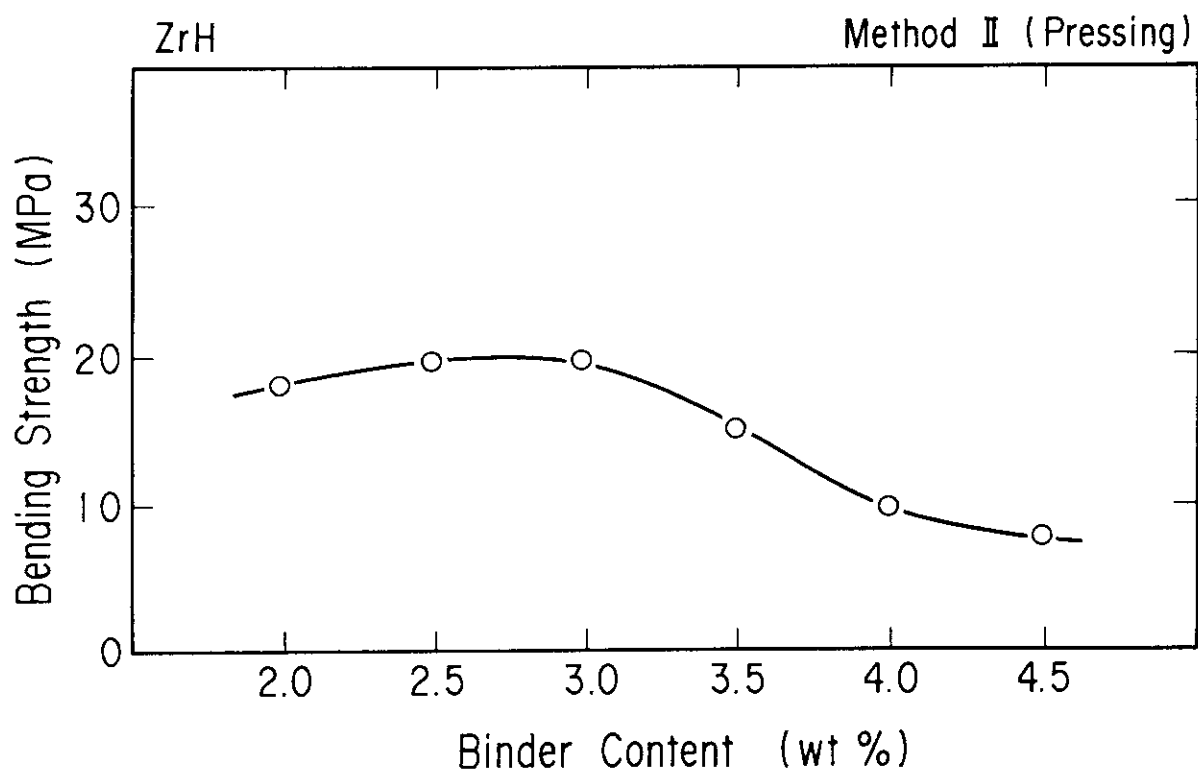


Fig. 9 Strength of Zirconium-hydride with various contents of binder.

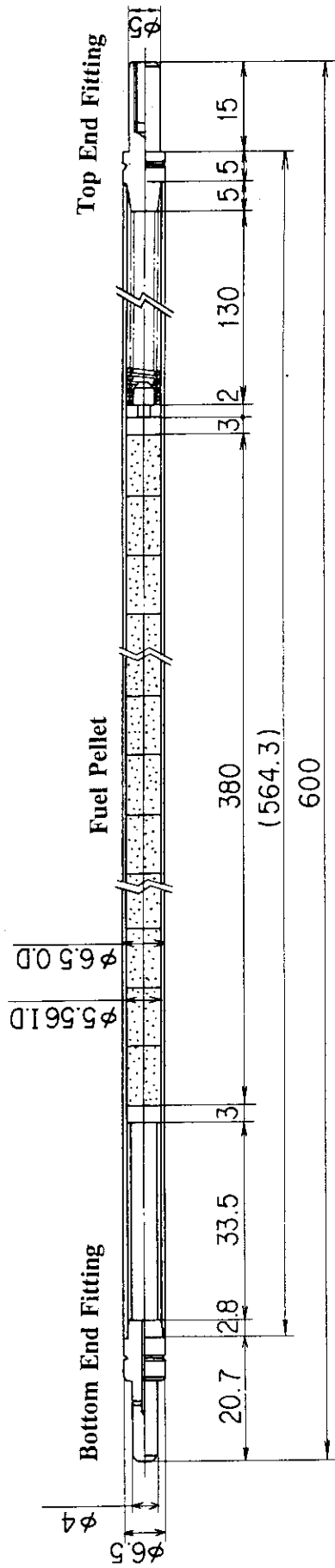


Fig. 10 Monju type test fuel rod.

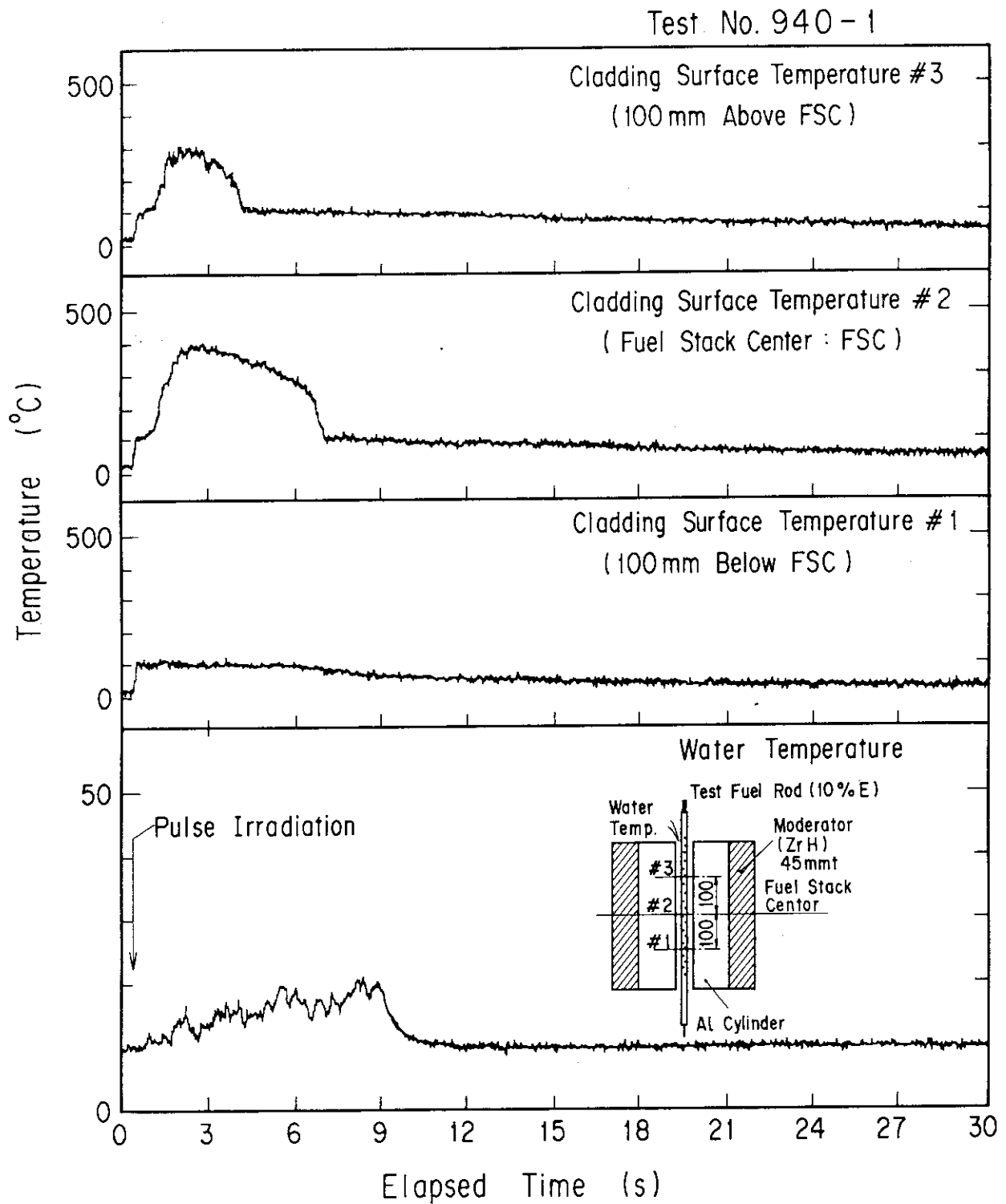


Fig. 11 Transient temperature histories in the Test 910-1 by the pulse irradiation to subject an energy deposition of  $137.5 \text{ cal/g} \cdot \text{UO}_2$ .

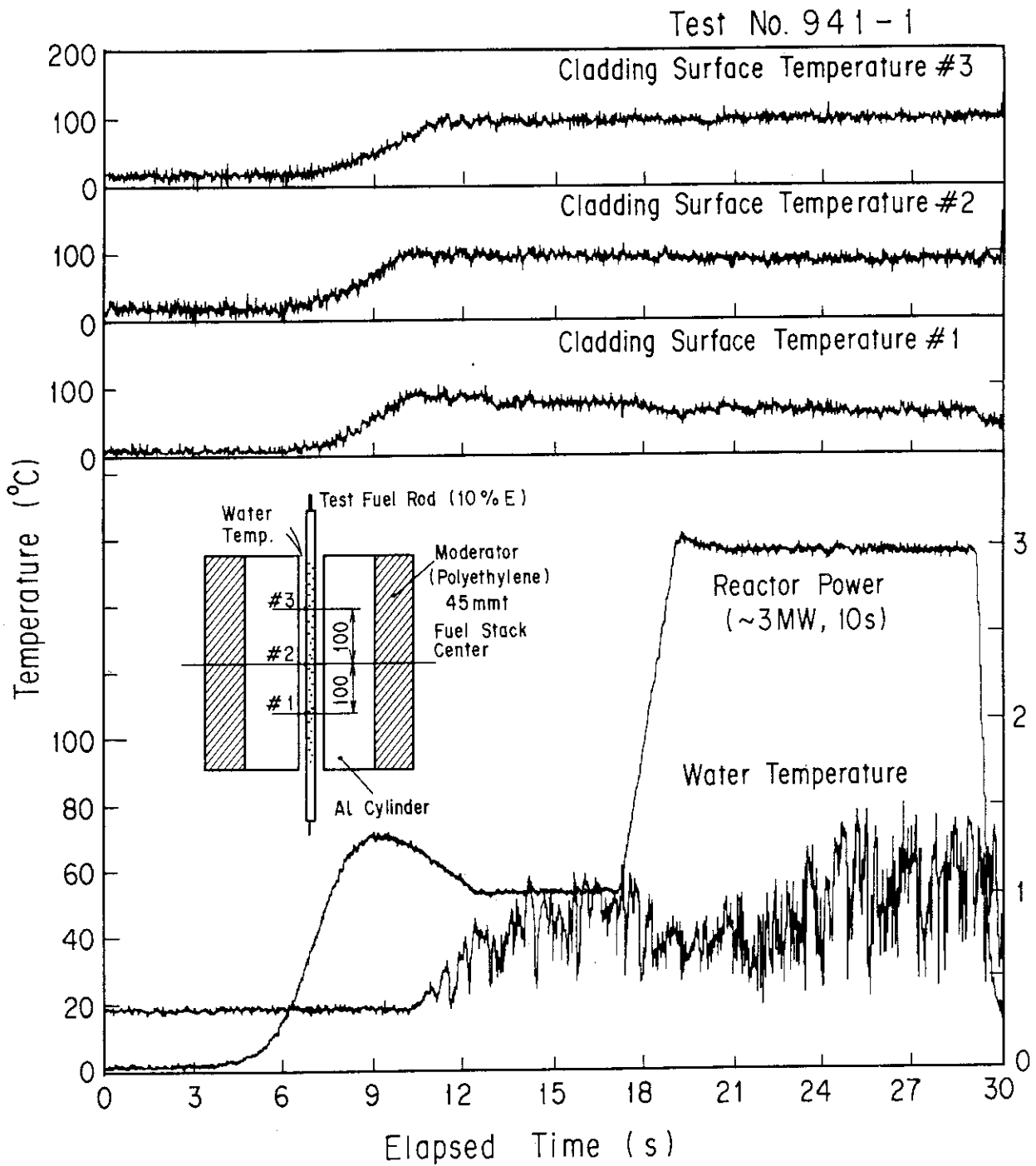


Fig. 12 Transient temperature histories in the Test 941-1 by a slow power transient. The peak energy deposition rate was 150 W/cm while the reactor power was maintained at 3MW.

Test No. 941-2

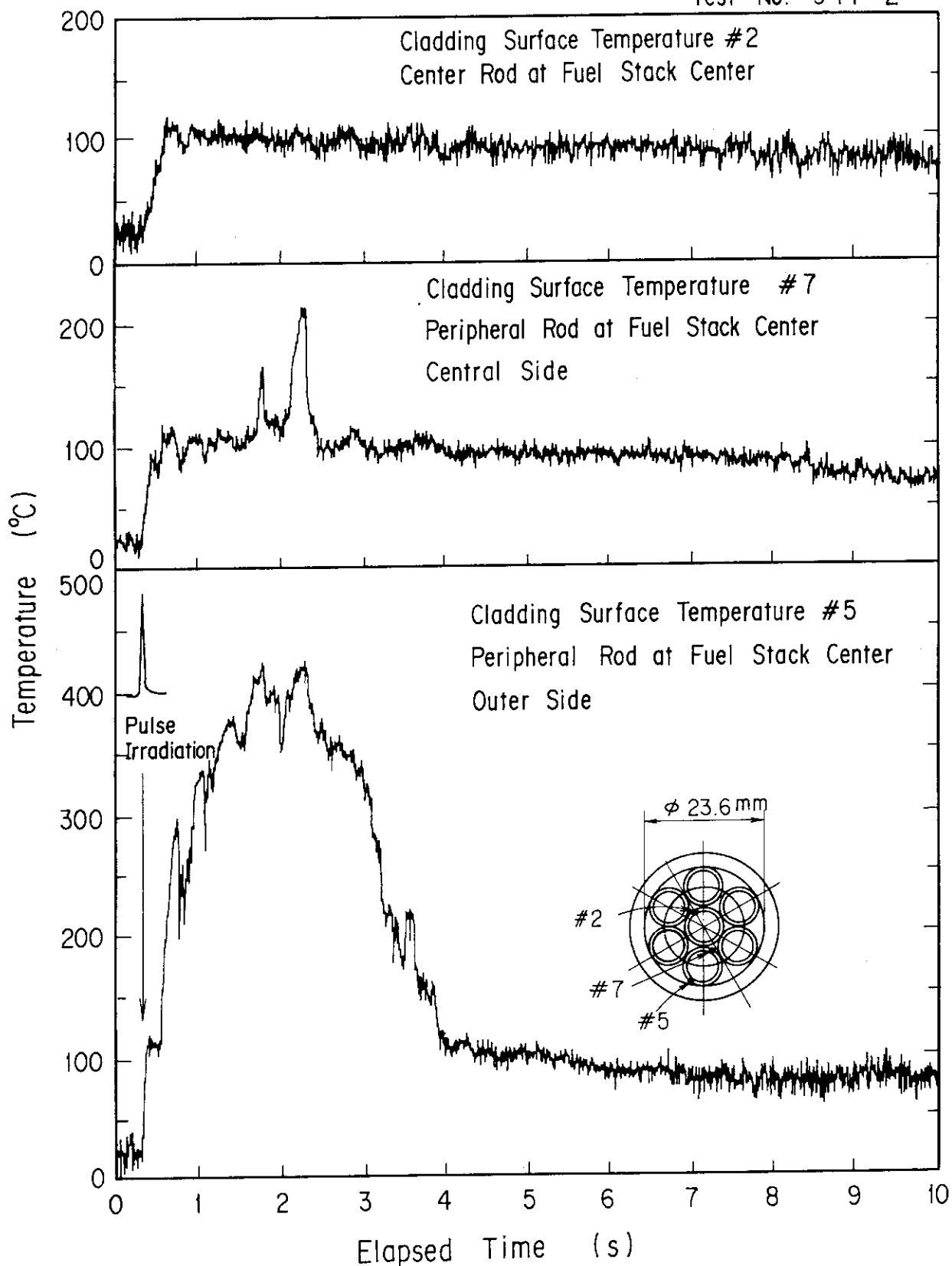


Fig. 13 Transient temperature histories in the Test 941-2 by the pulse irradiation to subject energy depositions of 73 and 98 cal/g·UO<sub>2</sub> to the central and surrounding rods, respectively.

Test No. 941-3

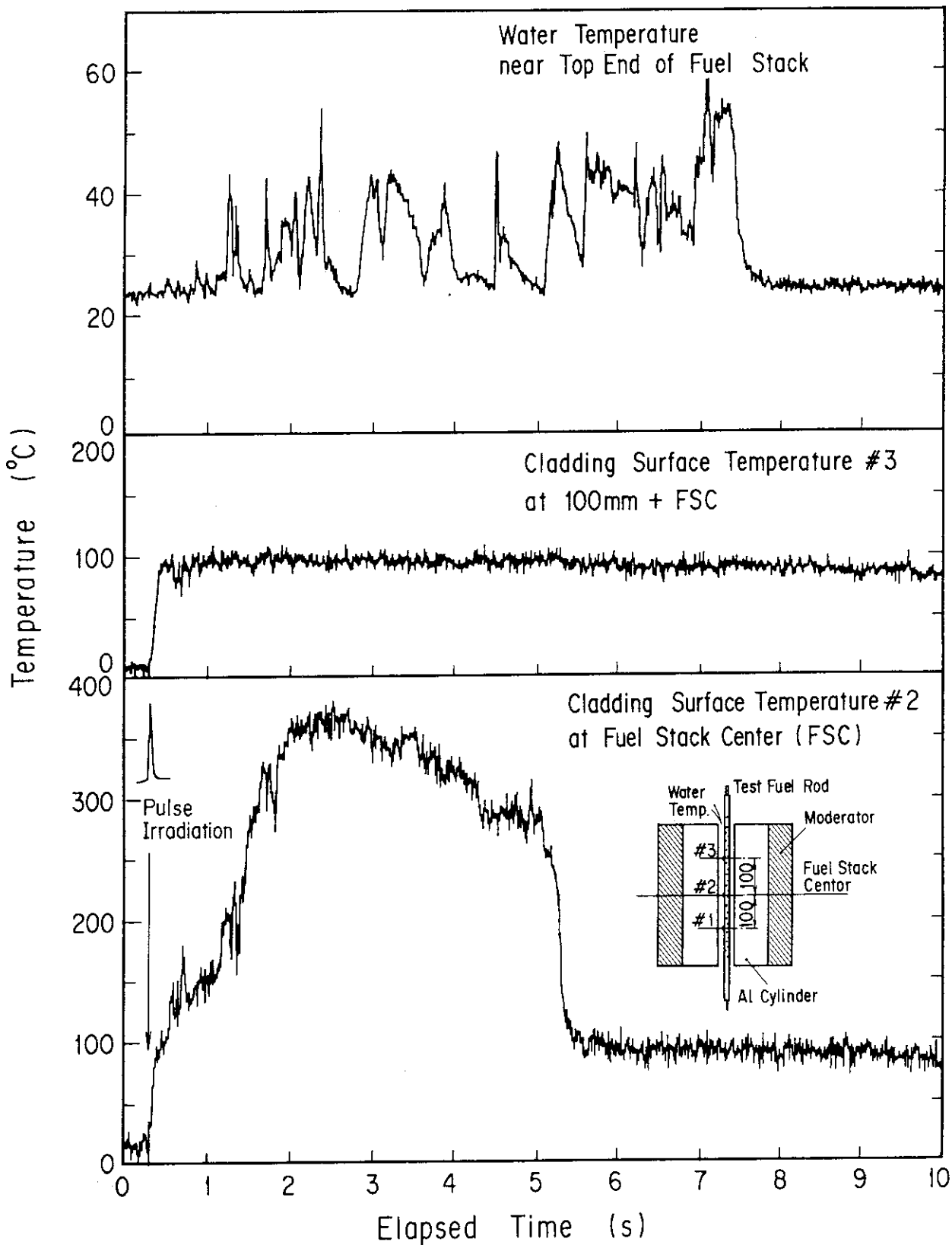


Fig. 14 Transient temperature histories in the Test 941-3 by the pulse irradiation to subject energy deposition of 141 cal/g·UO<sub>2</sub>.

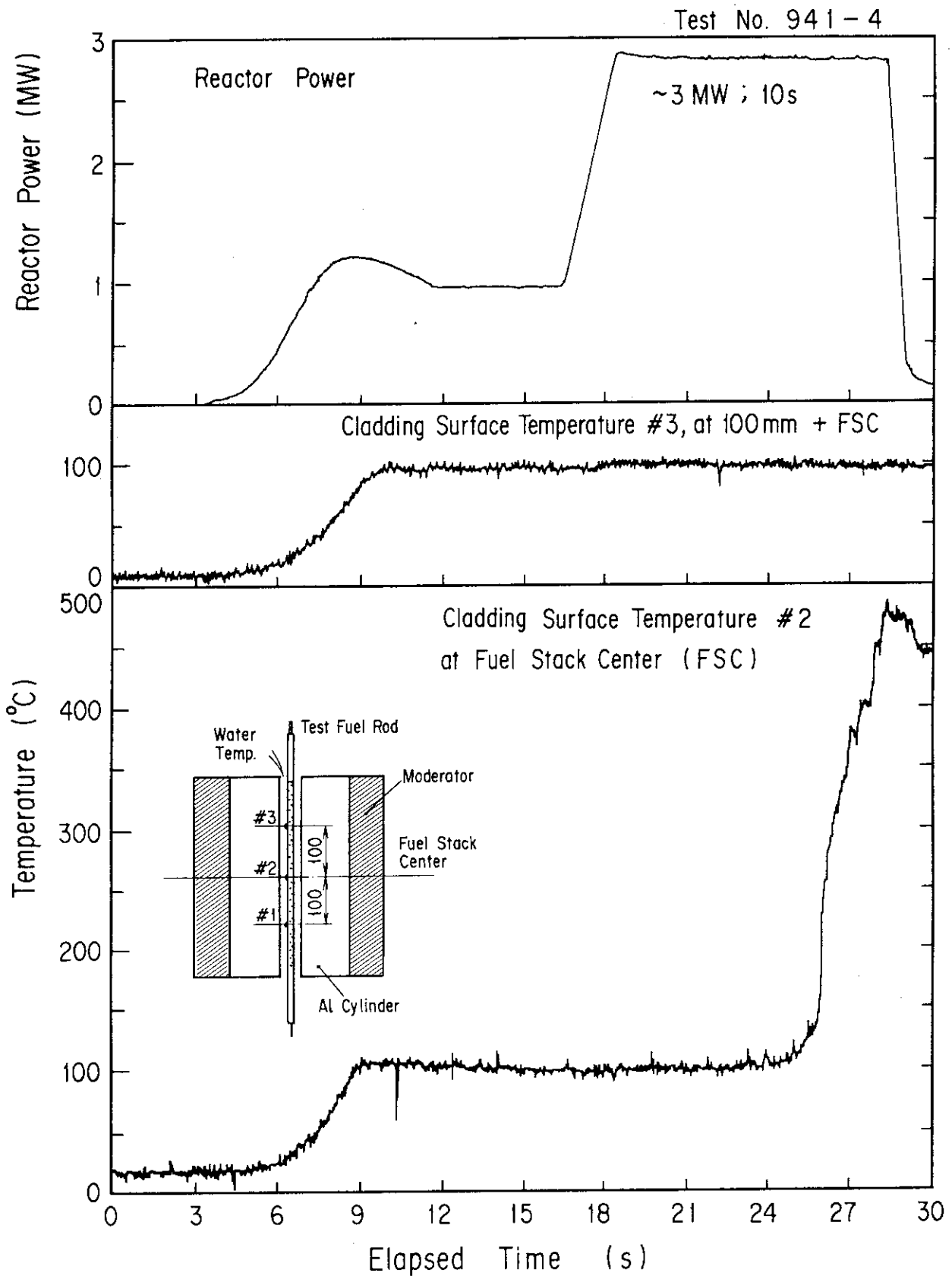


Fig. 15 Transient temperature histories in the Test 941-4 by a slow power transient. The peak energy deposition rate was 204 W/cm while the reactor power was maintained at 3MW.



Test No. 941-5

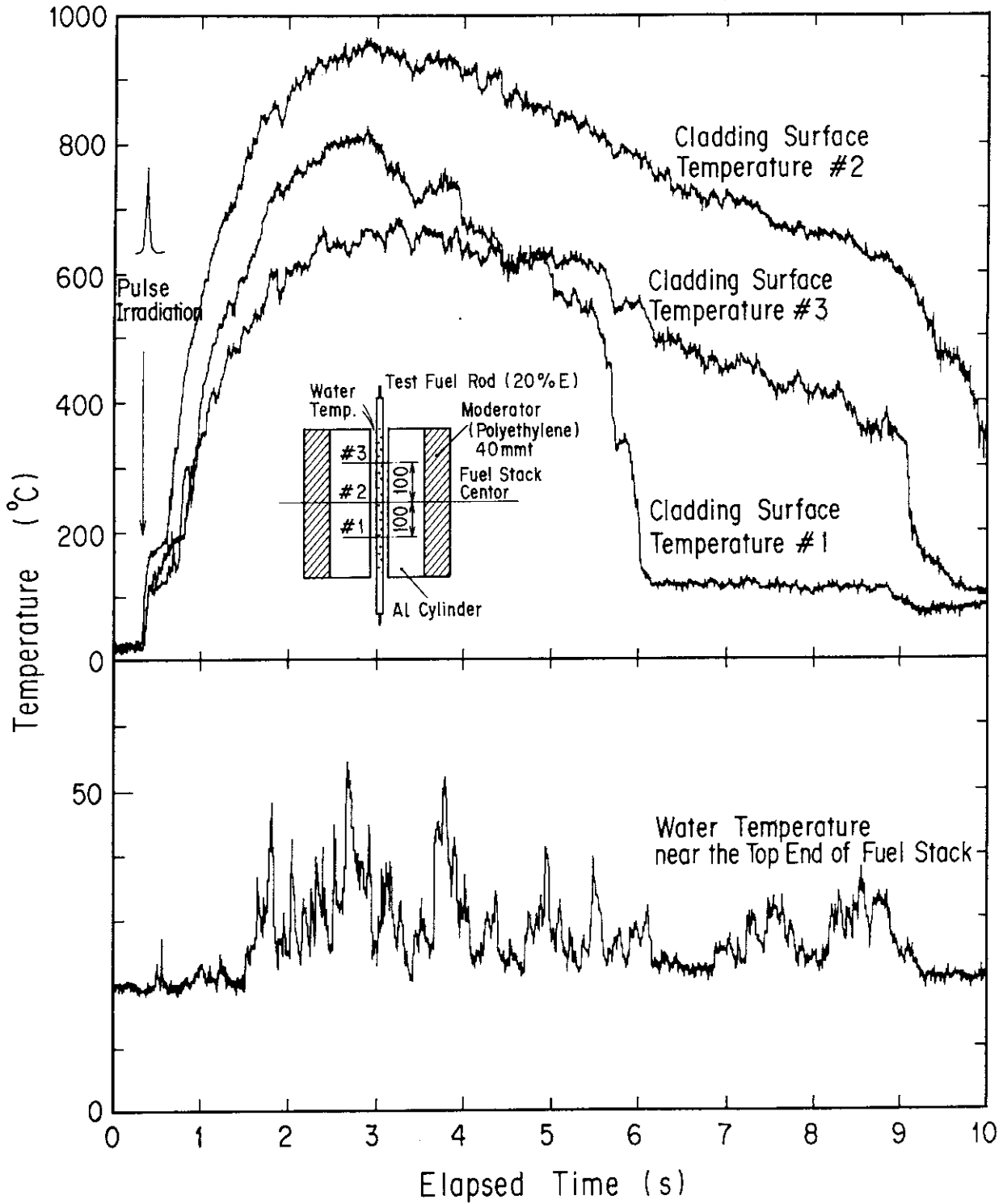


Fig. 16 Transient temperature histories in the Test 941-5 by the pulse irradiation. A 20% enriched fuel was subjected to an energy deposition of 222 cal/g·UO<sub>2</sub> in the test.

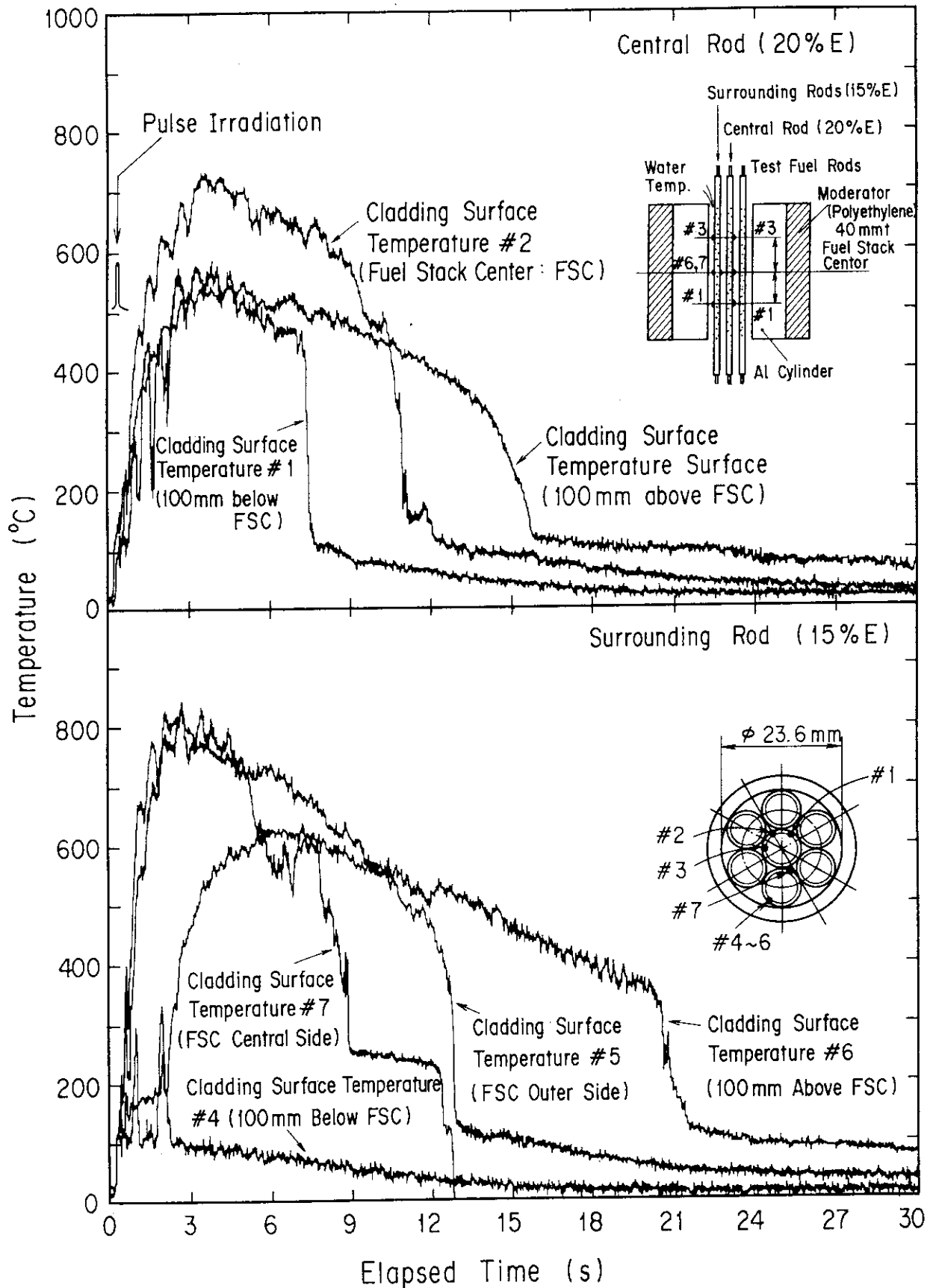


Fig. 17 Transient temperature histories in the Test 941-6. A central test fuel (20%E) and surrounding rods were subjected to energy depositions of 159 and 190 cal/g·UO<sub>2</sub>, respectively.

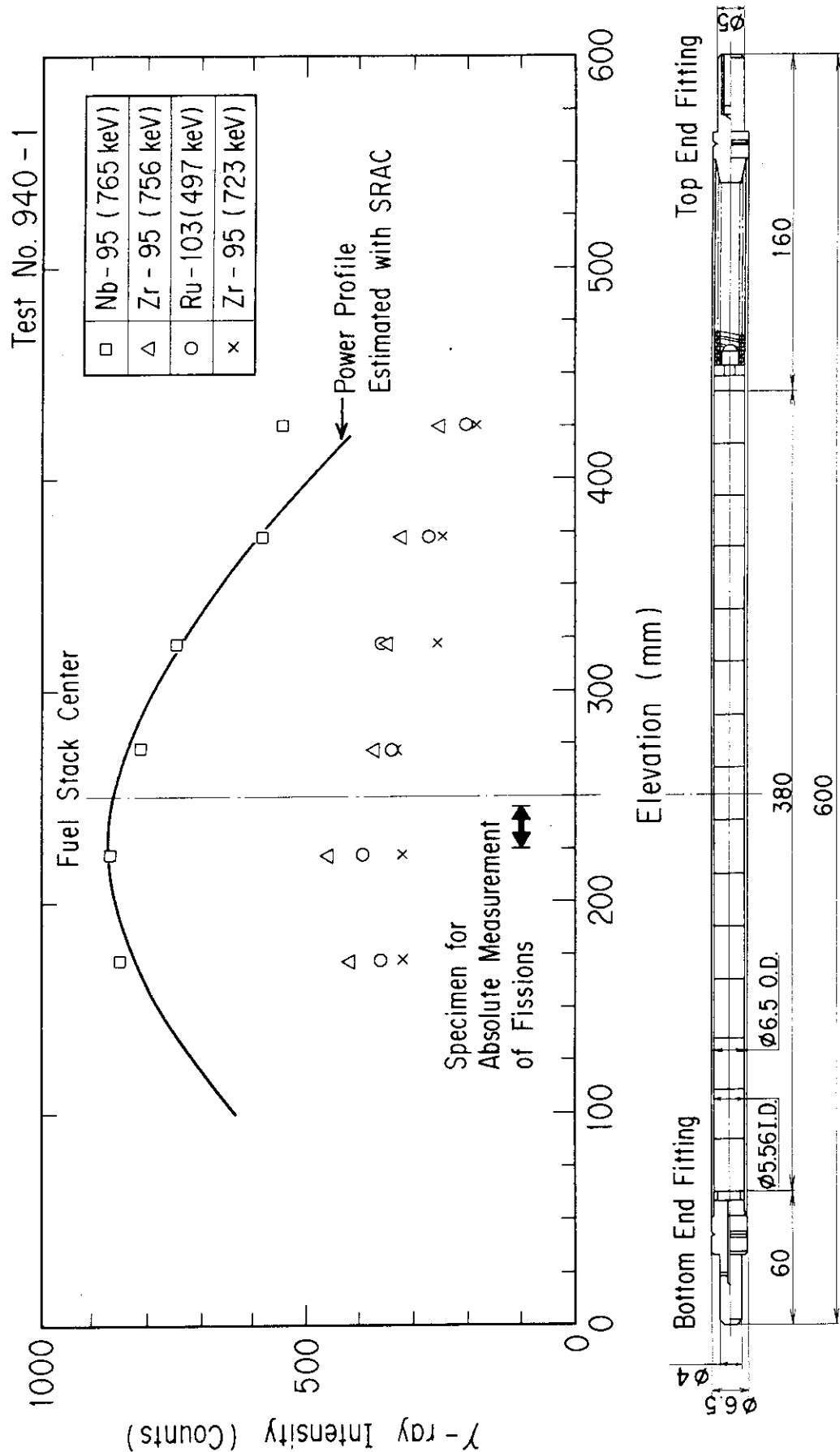


Fig. 18 Gamma-ray intensity profiles of test fuel rod pulse irradiated in Test 940-1.

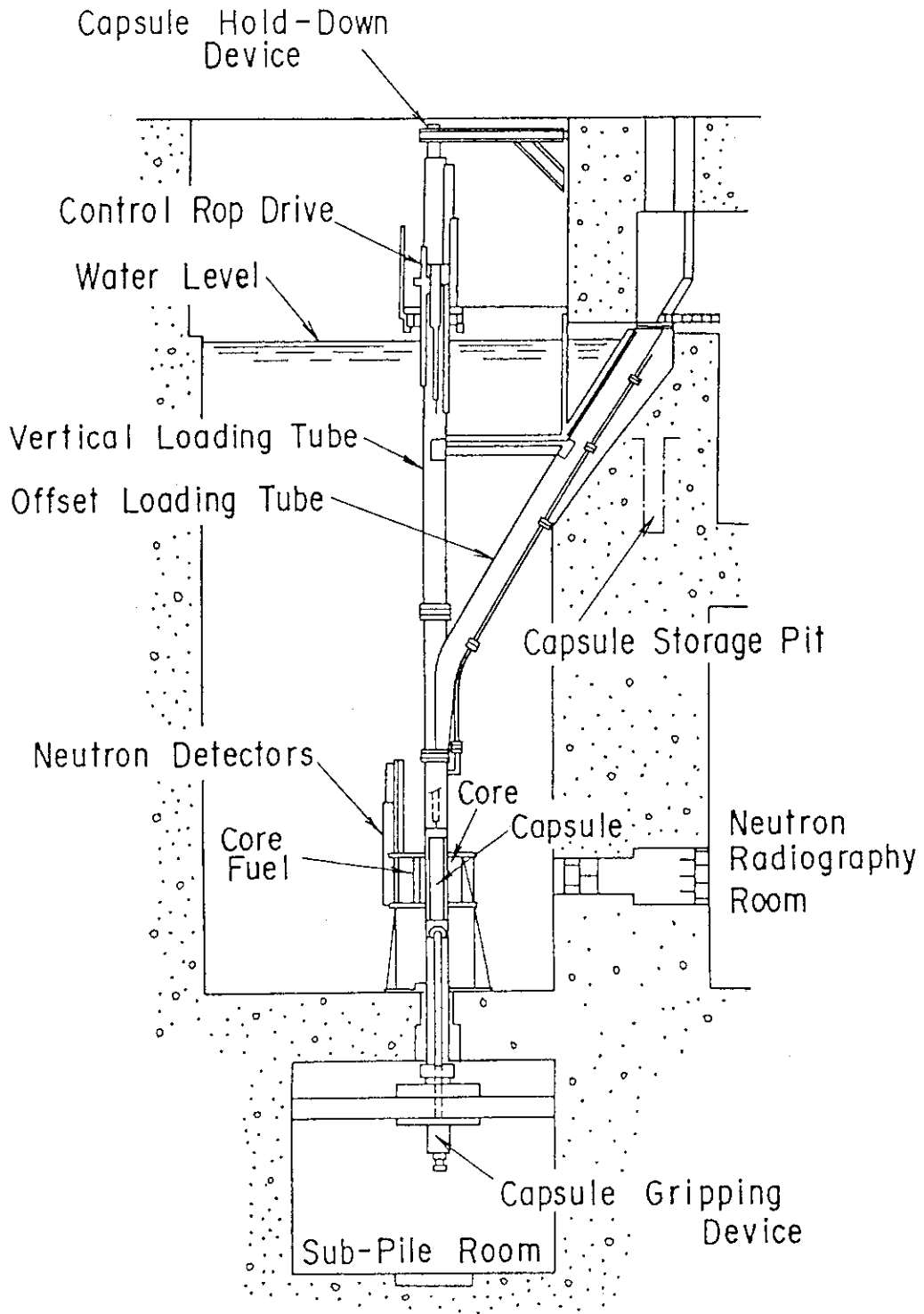
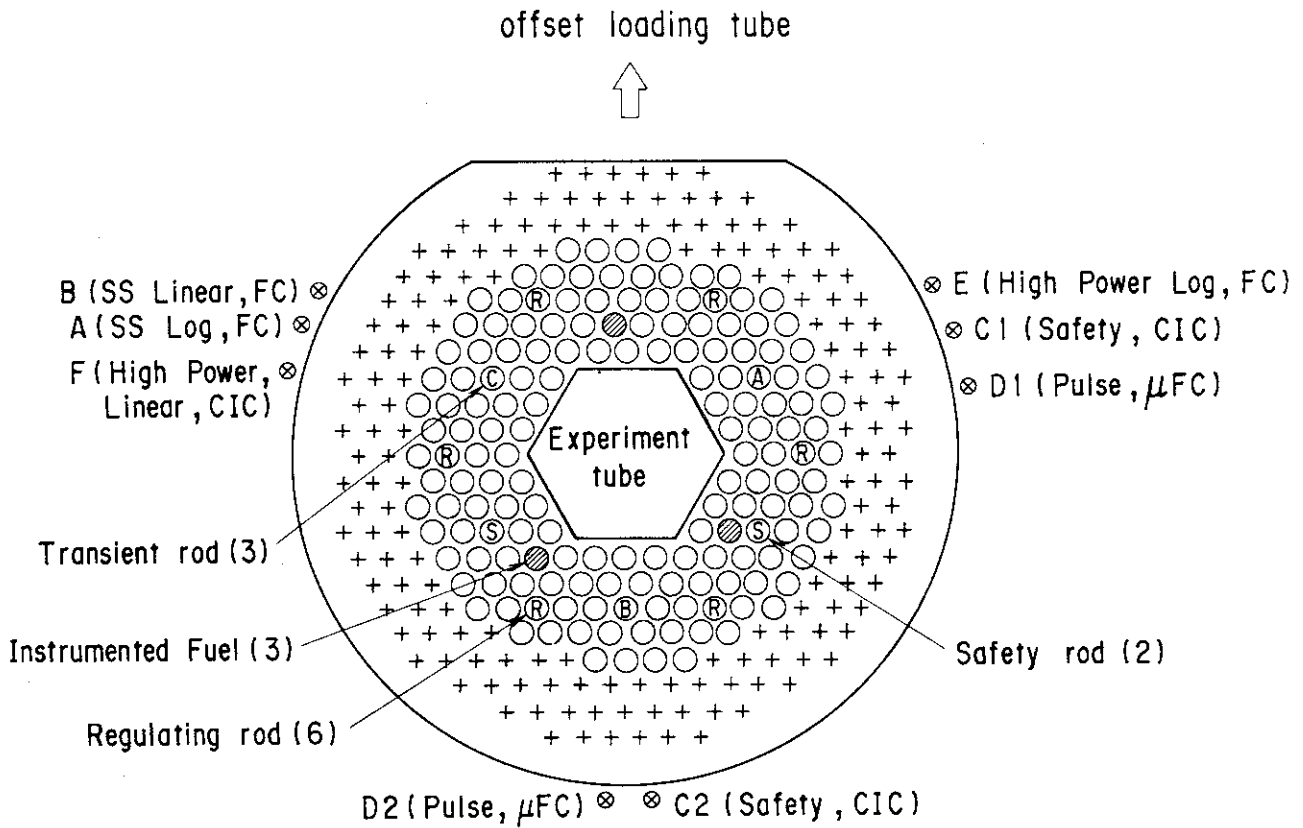


Fig. 19 Vertical cross-section of NSRR.



SS : Steady state operation ( $\cong 300$  KW)

High Power : High power operation during shaped pulse and combined pulse operations ( $\cong 10$  MW)

A, B, C : Transient Rod A, B, C

Fig. 20 NSRR rod arrangement.

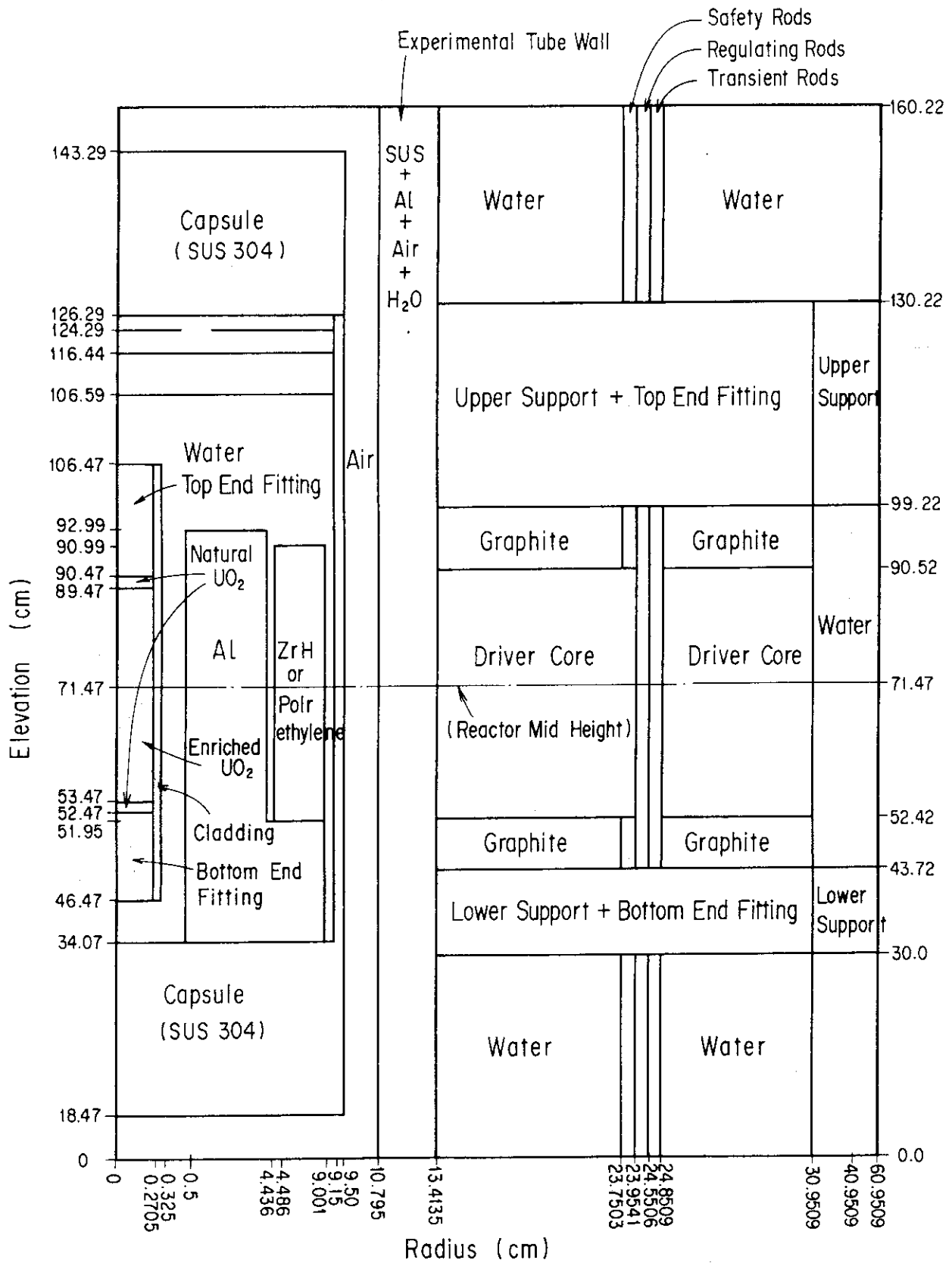


Fig. 21 R-Z 2 dimensional modeling of the NSRR with a type IV experimental capsule equipped with the ZrH or polyethylene moderator and a FBR type fuel rod.

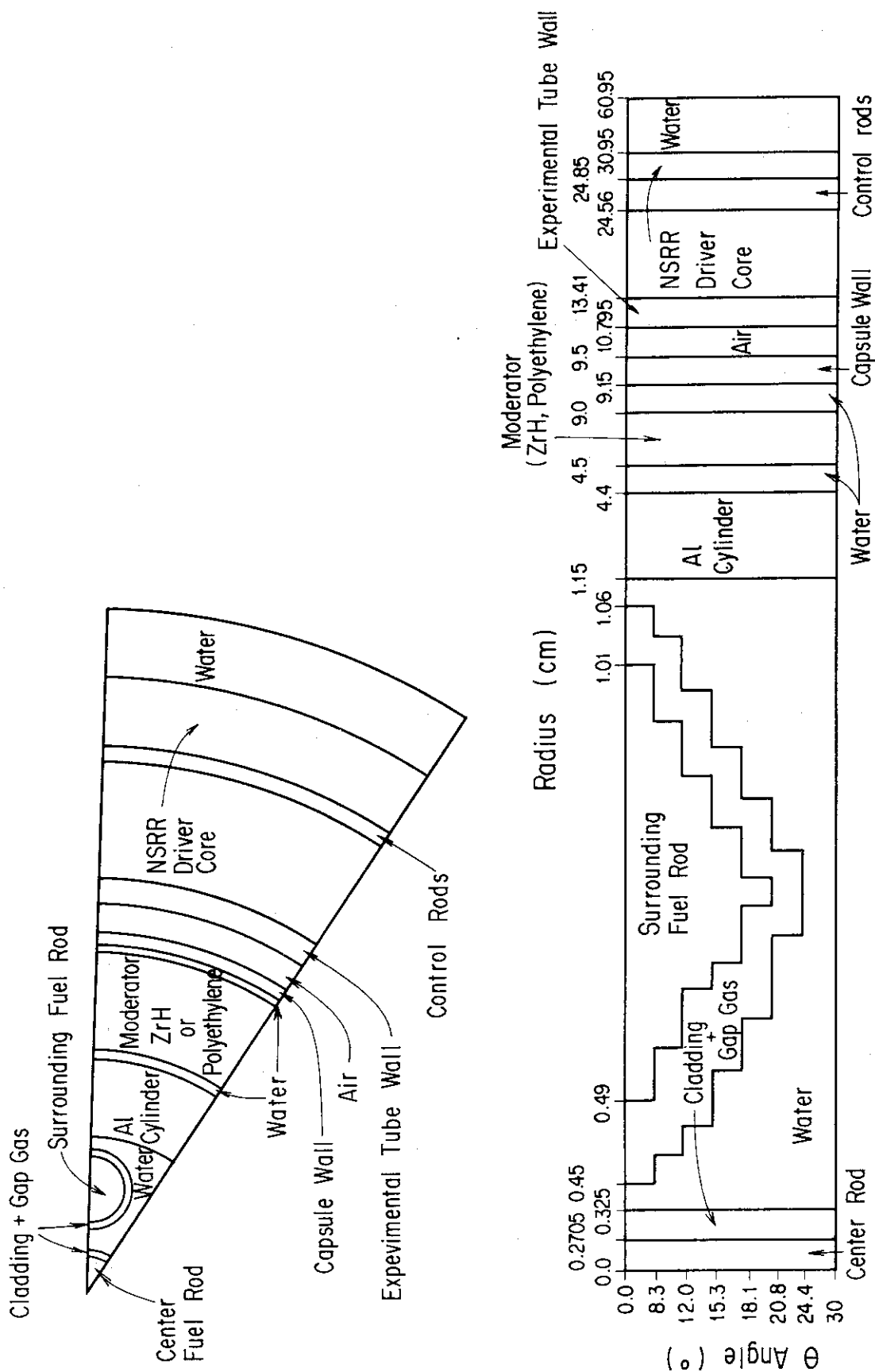


Fig. 22 R-0 2 dimensional modeling of the NSRR with a type IV experimental capsule equipped with the ZrH or polyethylene moderator and 7 FBR type fuel rods.

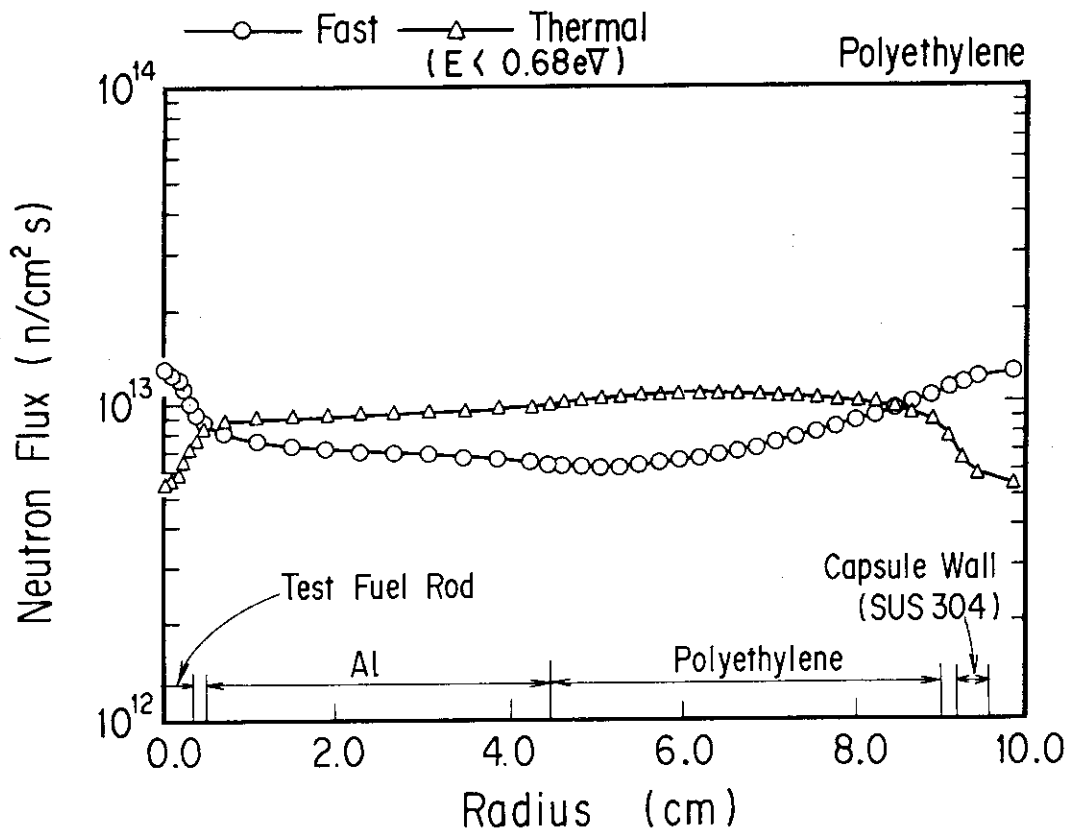
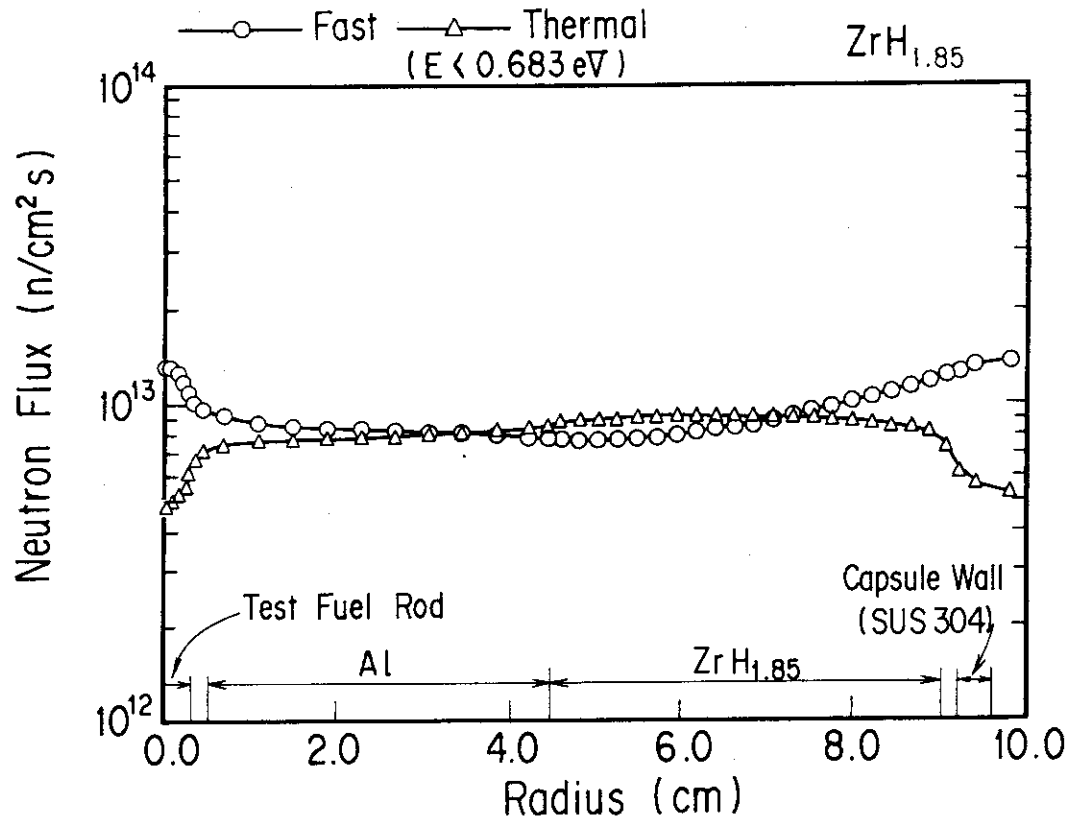


Fig. 23 Radial neutron flux distributions in the pulse irradiation tests with ZrH and polyethylene moderator estimated with the SRAC, while the NSRR is operated at a power of 1MW.



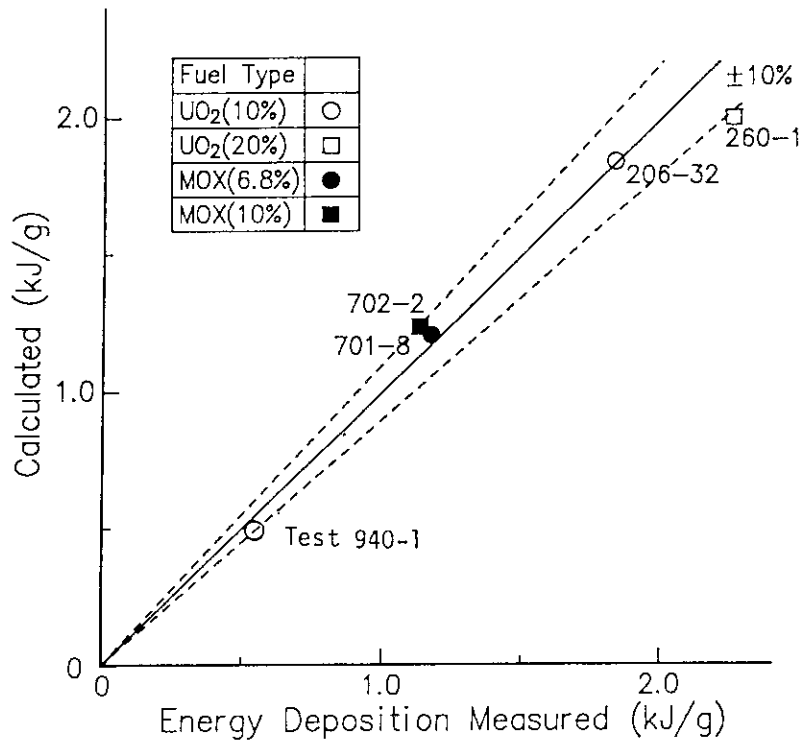


Fig. 24 Test fuel energy measured in NSRR tests and calculated by neutronic calculations.

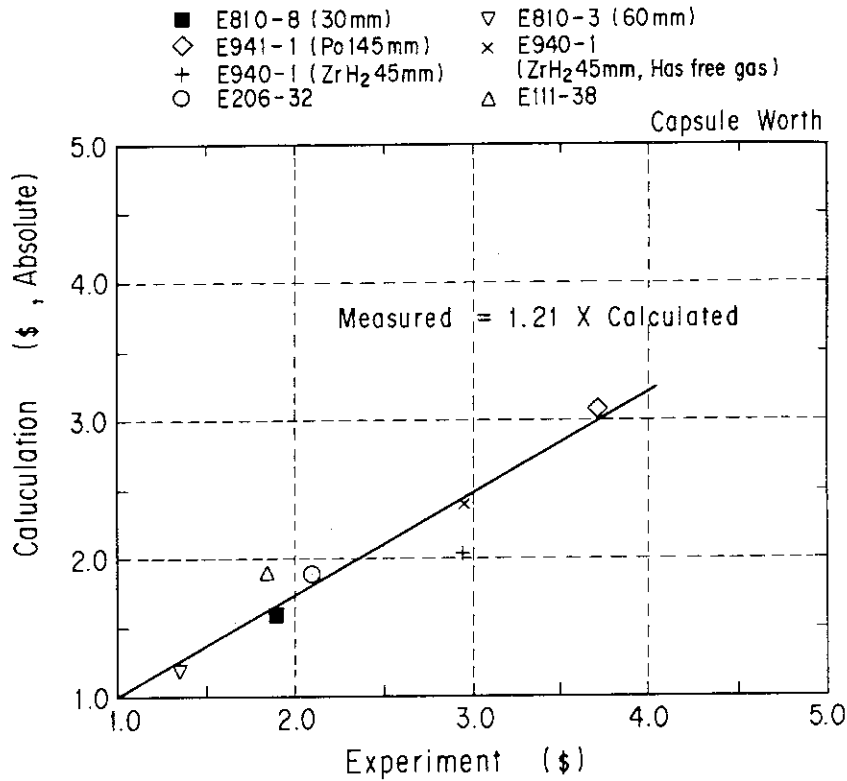


Fig. 25 Capsule reactivities test capsules measured and calculated by TWOTRAN-II of SRAC code system.

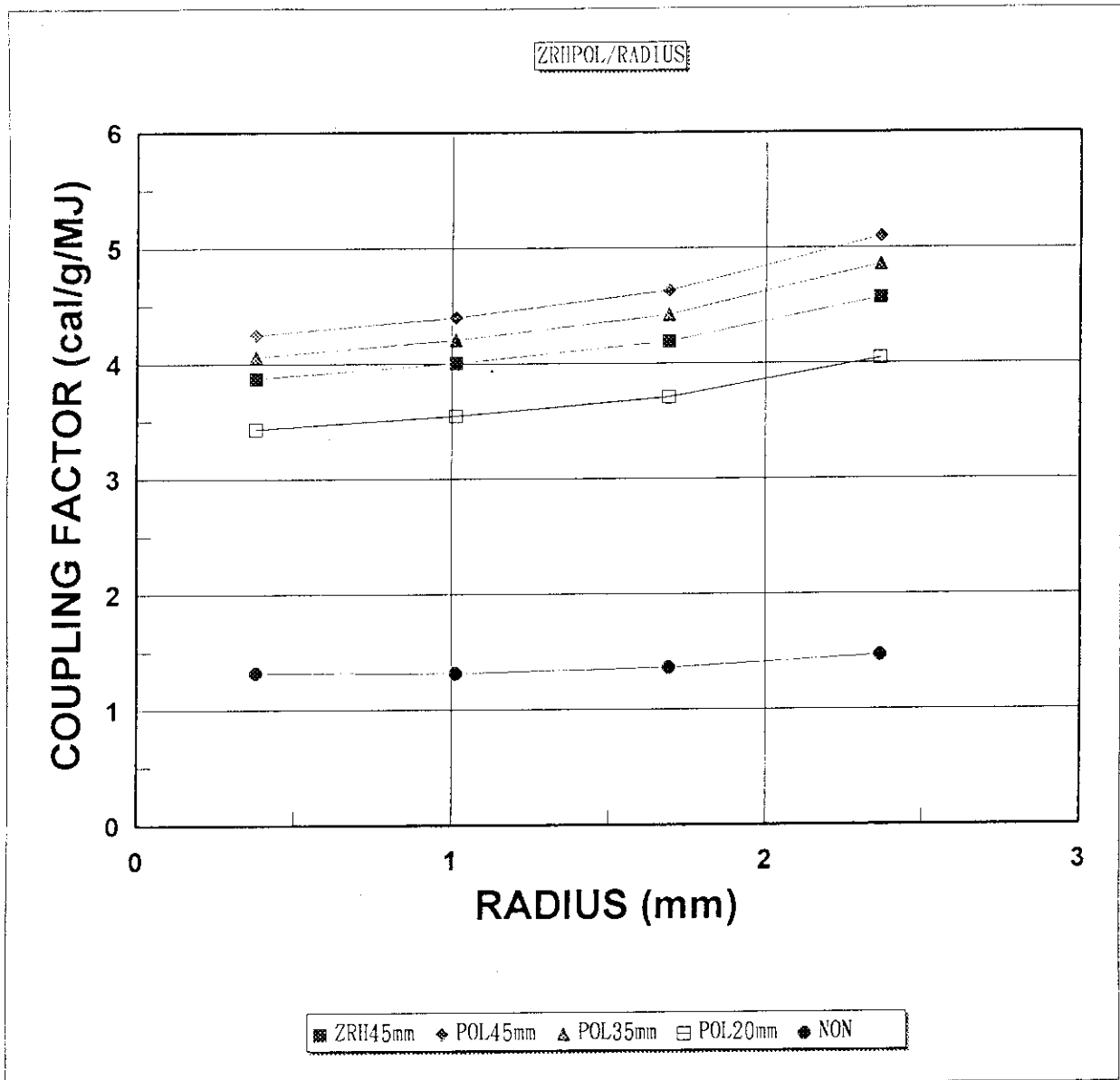


Fig. 26 Radial power profiles of the test fuel rod with various moderator thickness in the NSRR pulse irradiation tests.

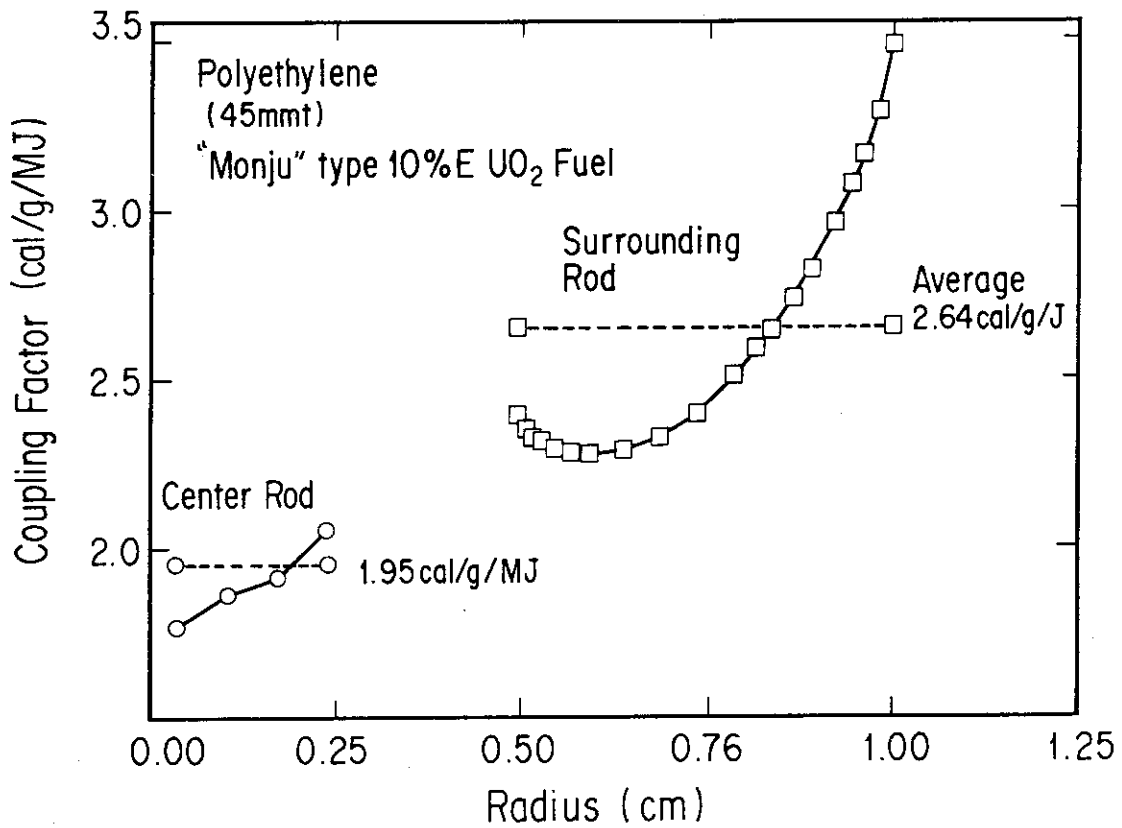
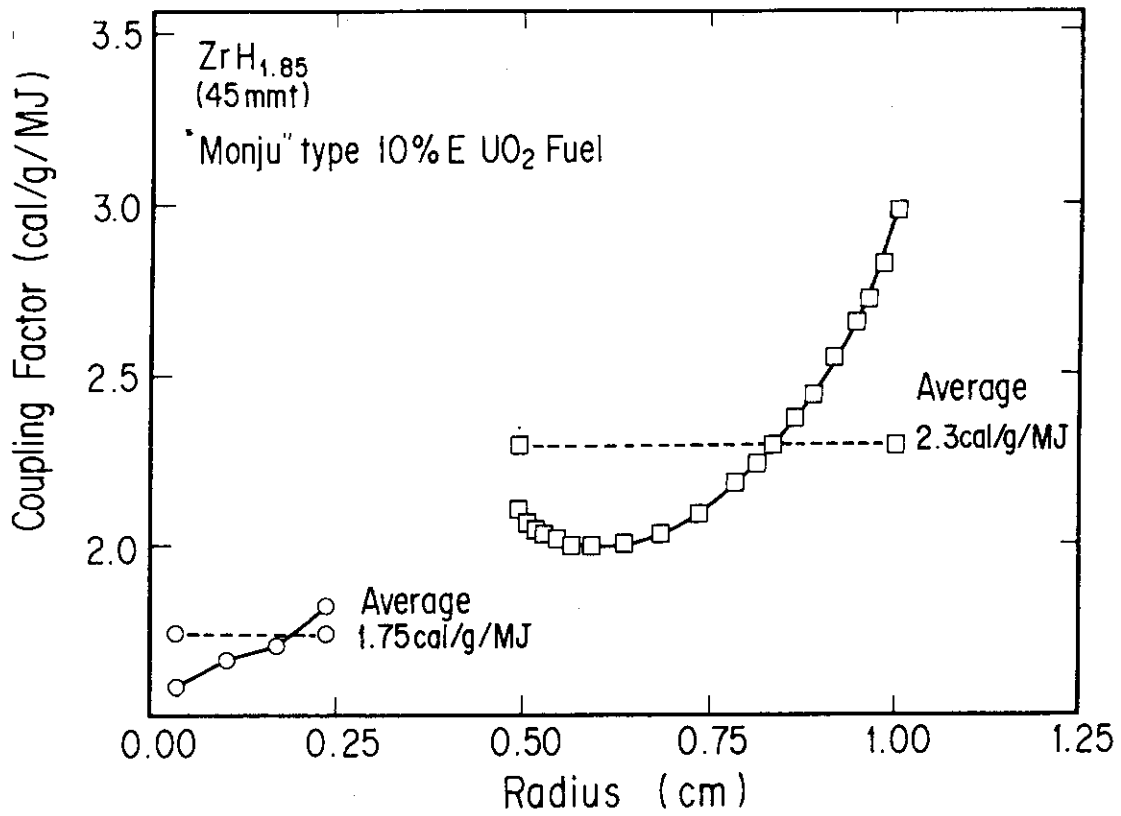


Fig. 27 Radial power distributions of FBR type test fuel rods in 7 pin bundle configuration in the NSRR estimated by R-θ two dimensional TWOTRAN-II calculations of SRAC.

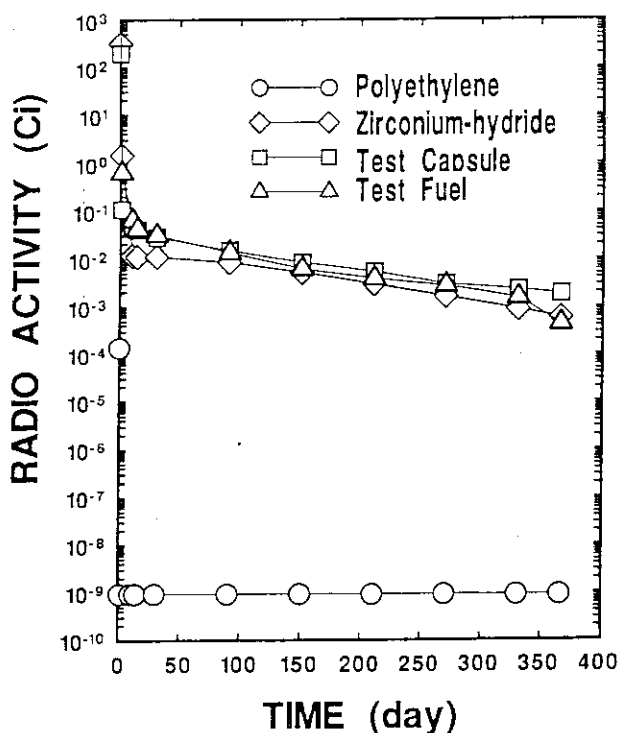


Fig. 28 Radio activities of the moderator, the test capsule and a test fuel rod by the pulse irradiation test in the NSRR. The activities are estimated with ORIGEN-2 code assuming a pulse irradiation of reactor energy release of 150NJ.

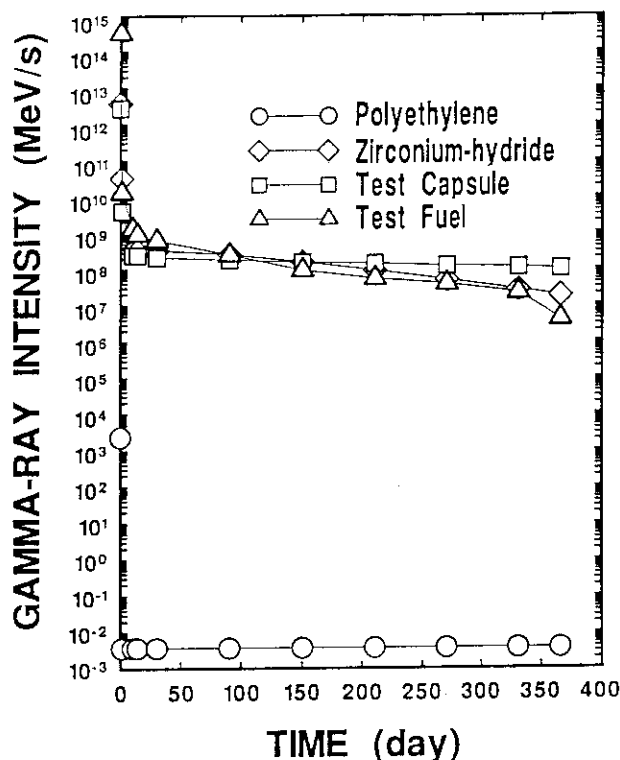


Fig. 29 Gamma-ray intensity of the moderator, the test capsule and a test fuel rod by the pulse irradiation. Intensities are obtained as a sum of gamma-ray energy multiplied by emission rate, both calculated with ORIGEN-2.

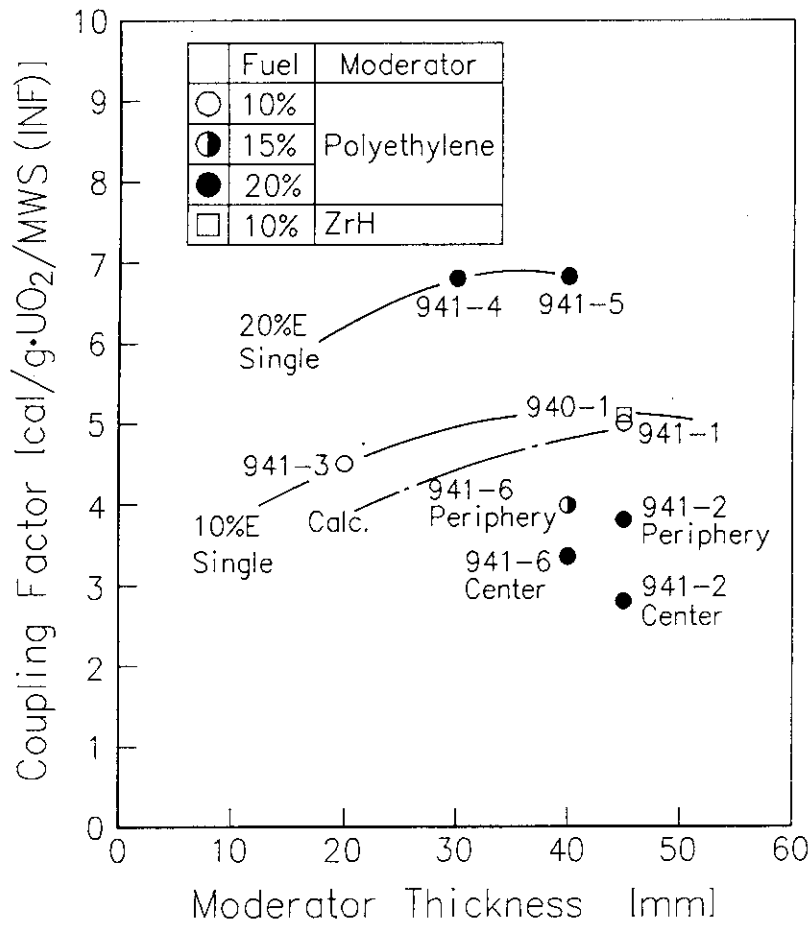


Fig. 30 Test fuel power as a function of moderator thickness. Calculated coupling factor for 10%E fuel with SRAC is shown in dash-dotted line.

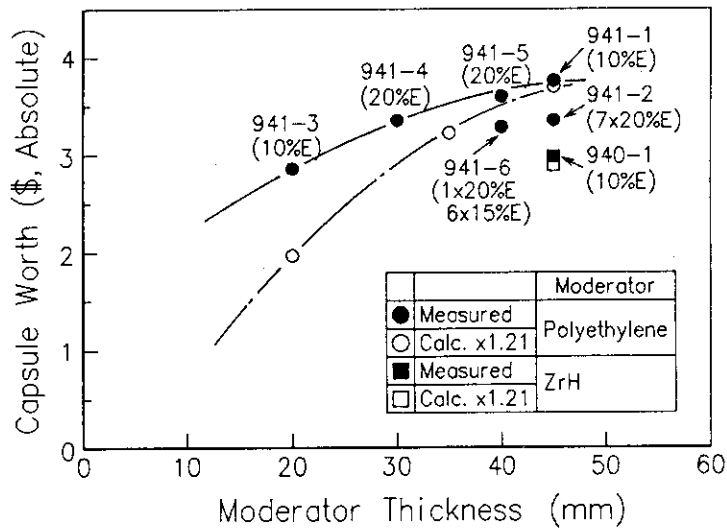


Fig. 31 Capsule reactivity as a function of moderator thickness.

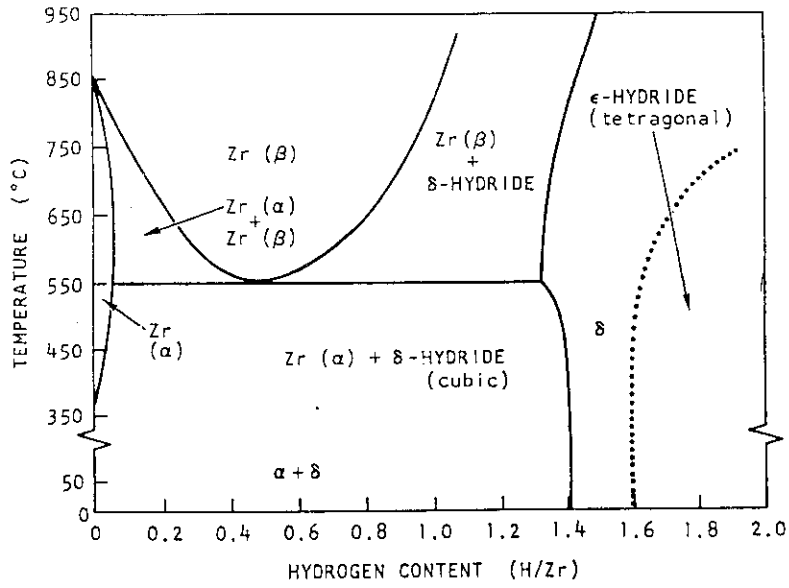


Fig. 32 Phase diagram of the Zirconium-hydrogen system<sup>[13]</sup>.

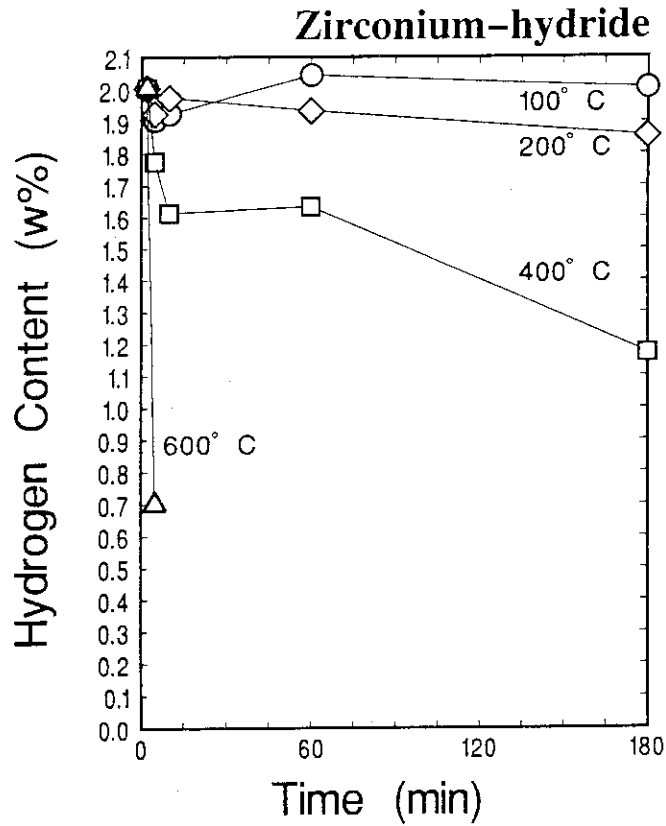


Fig. 33 Change of hydrogen content at elevated temperatures as a function of time in air.

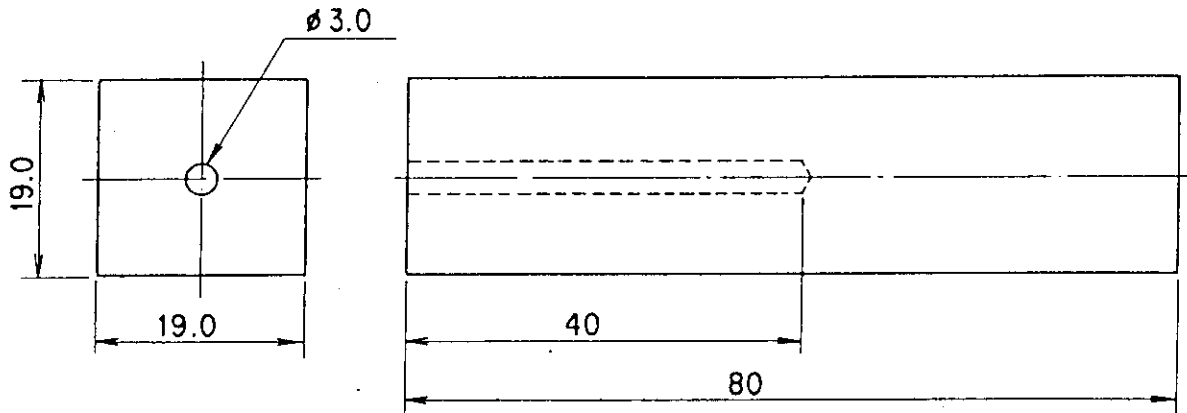


Fig. 34 Zirconium-hydride sample for the hydrogen dissociation test in inert atmosphere.

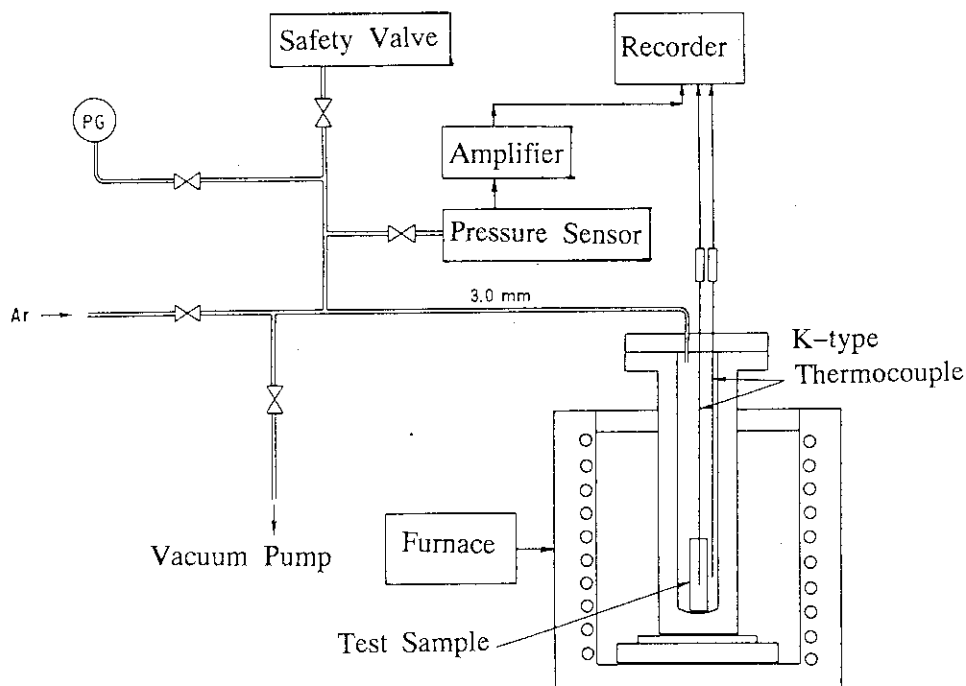


Fig. 35 Schematic configuration of dissociation pressure measurement of Zirconium-hydride.

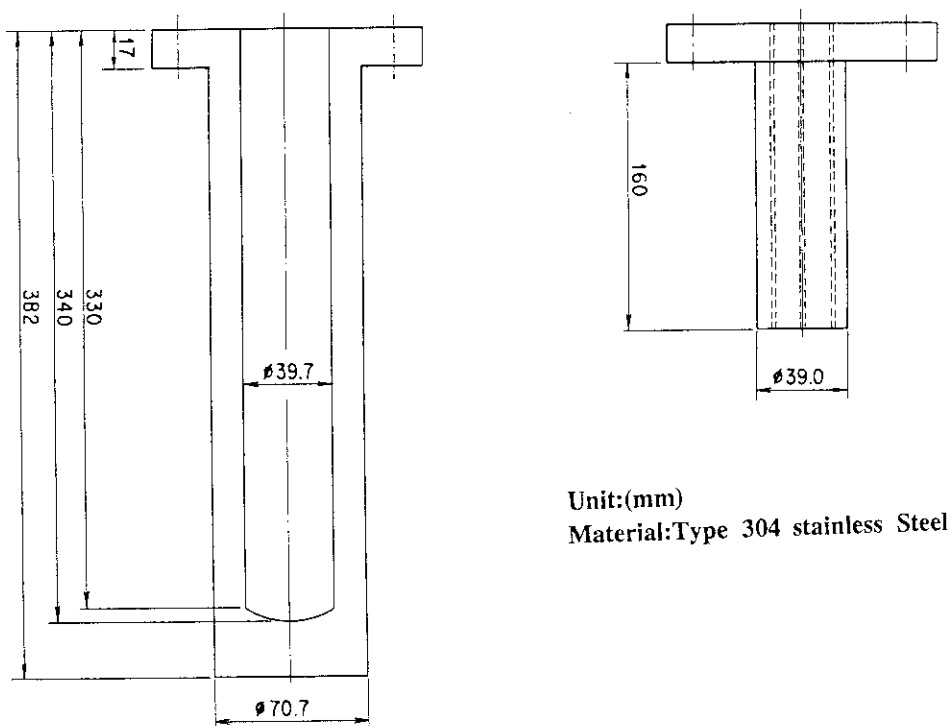


Fig. 36 Pressure vessel for dissociation pressure measurement of Zirconium-hydride.



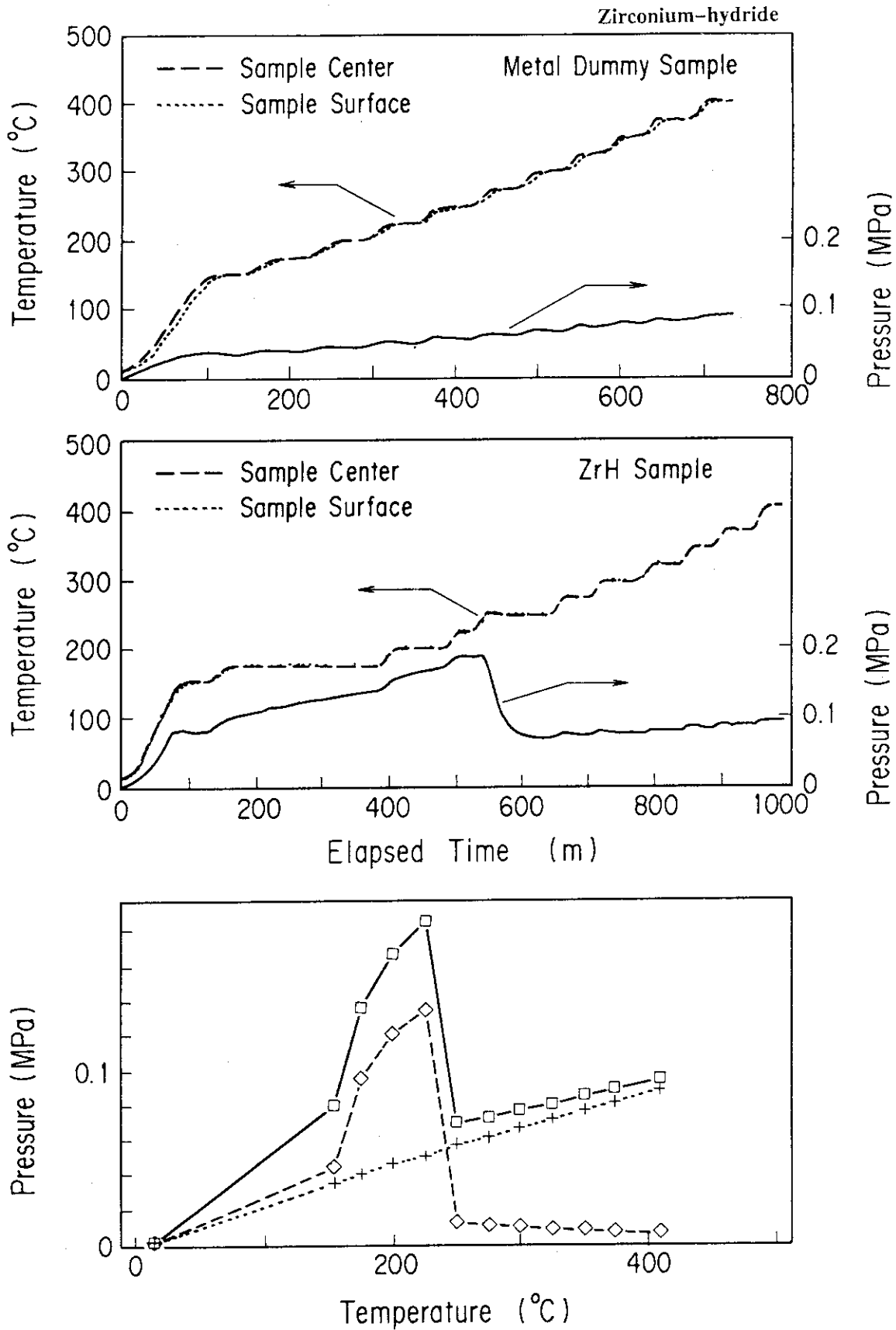


Fig. 37 Temperature and pressure histories with Zirconium-hydride and dummy samples. Dissociation pressure is evaluated as a function of temperature in the figure shown in the bottom.

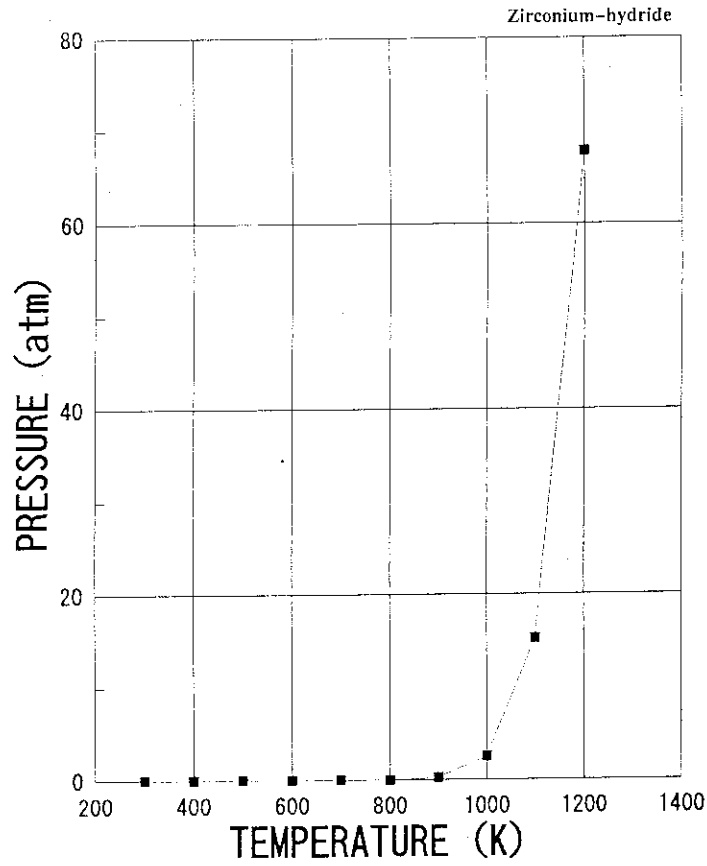


Fig. 38 Dissociation pressure of  $ZrH_{1.85}$  obtained from equations (9) and (10).

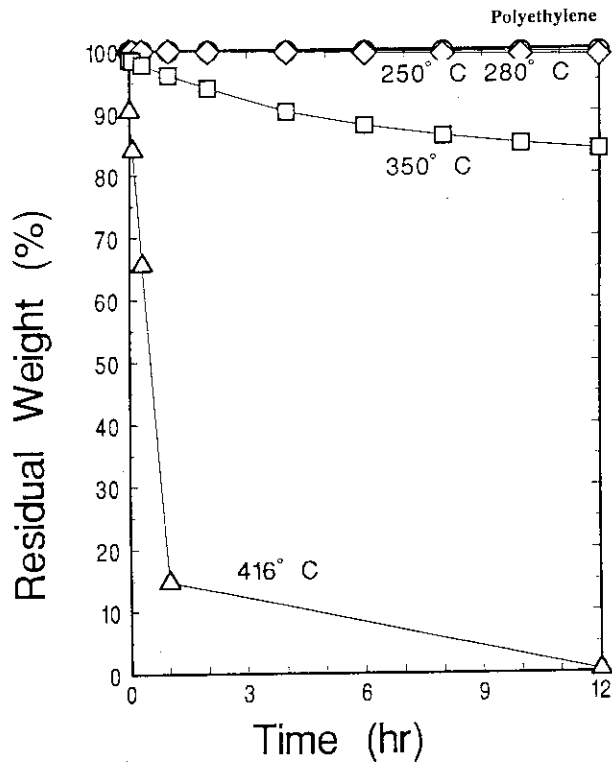


Fig. 39 Residual weight of polyethylene at elevated temperatures as a function of time in inert atmosphere.

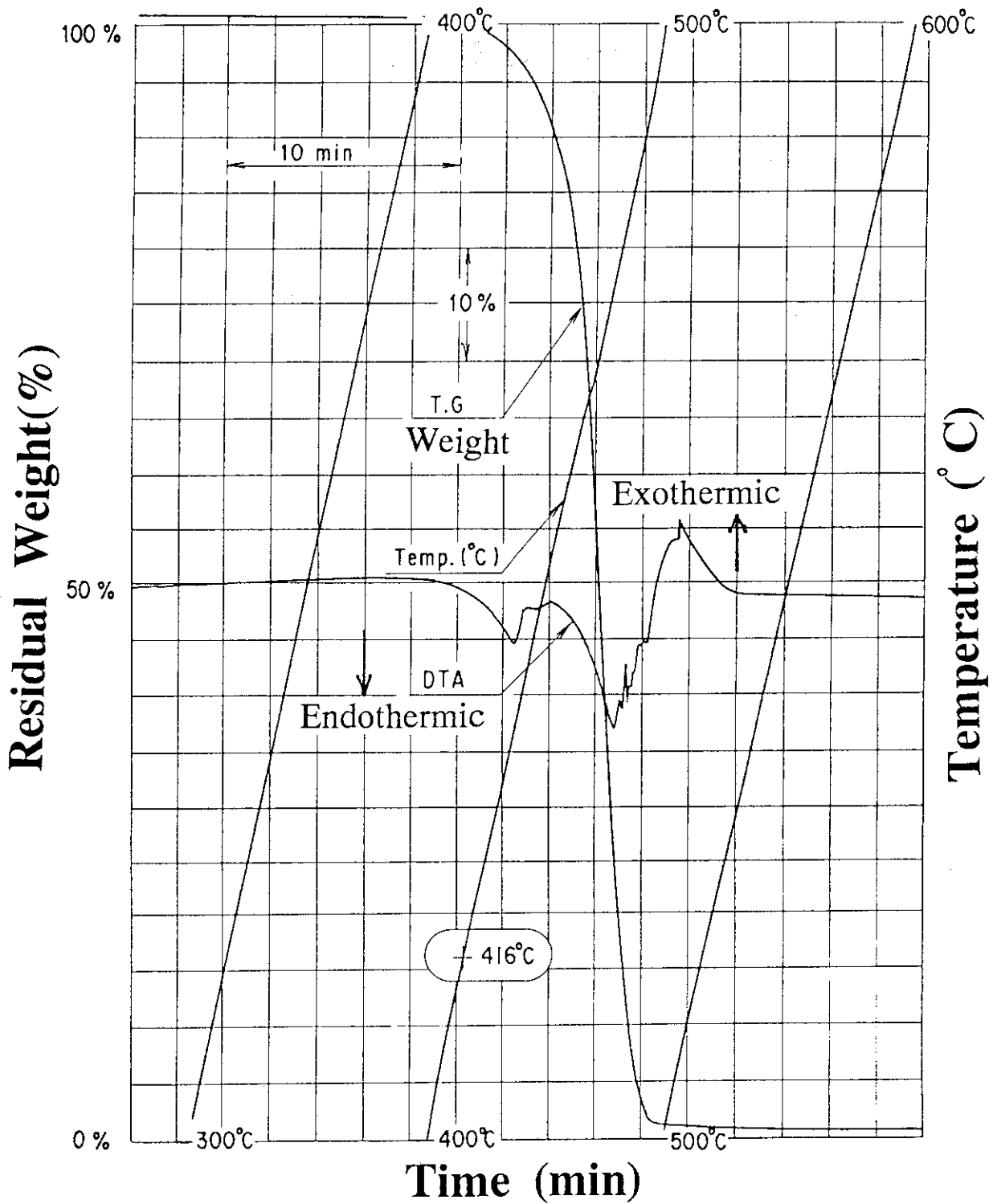


Fig. 40. Temperature and weight change in the heating test of polyethylene. Considerable thermal absorption is indicated by a curve of DTA at temperatures of 400°C or higher.

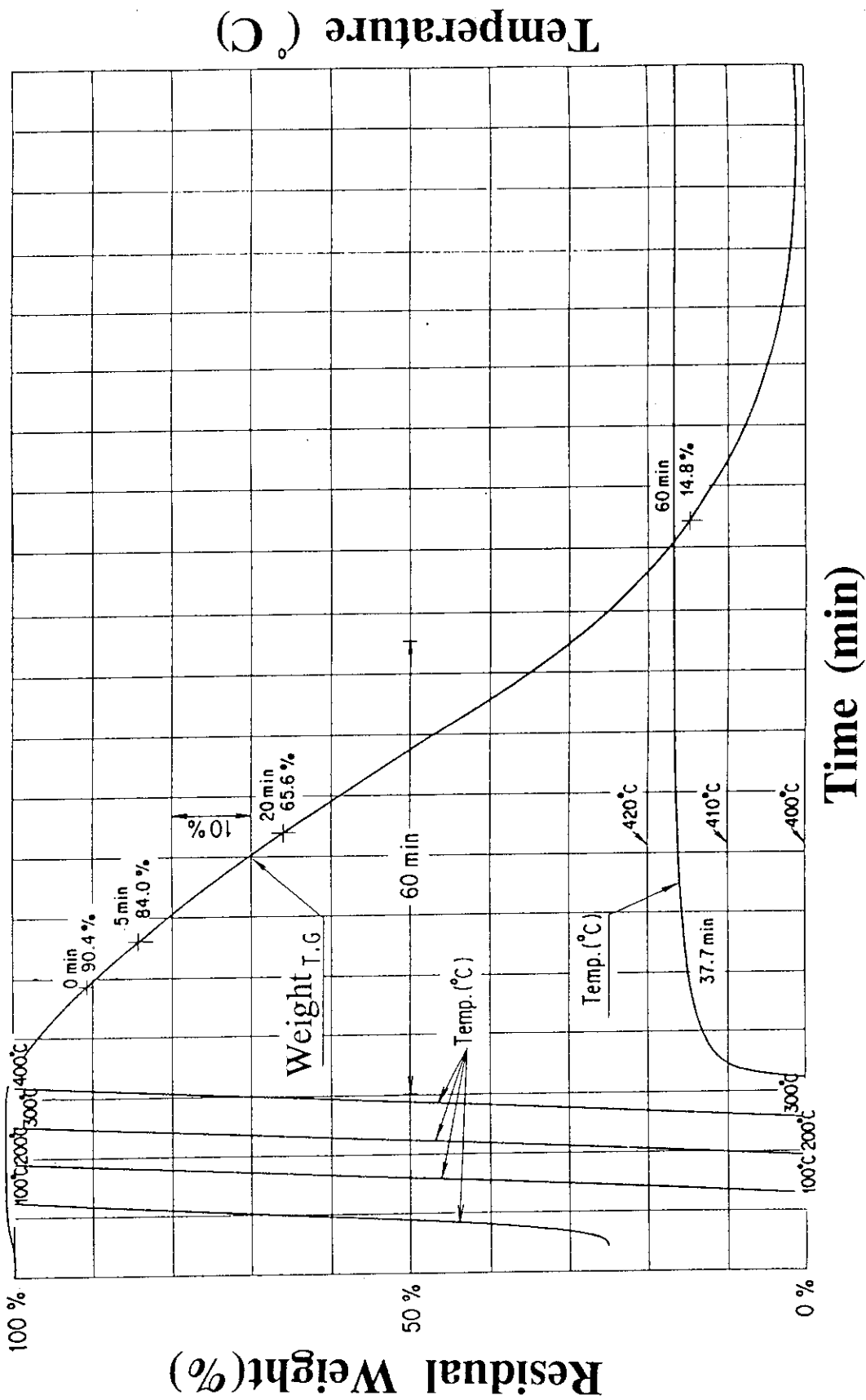


Fig. 41 Weight loss of polyethylene at 416°C. Elapsed time is set to 0 when the temperature reached to 414°C and the weight is 90.4% of the initial.

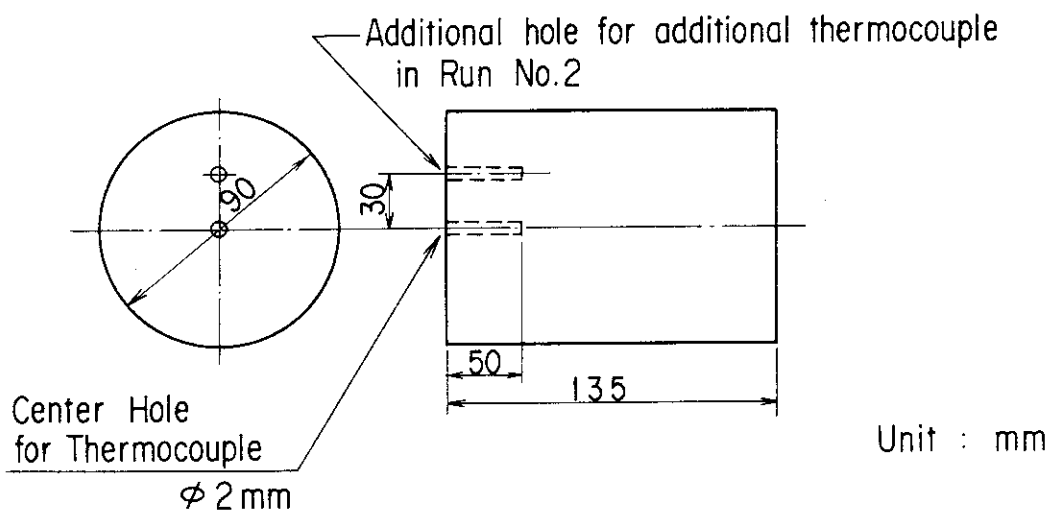
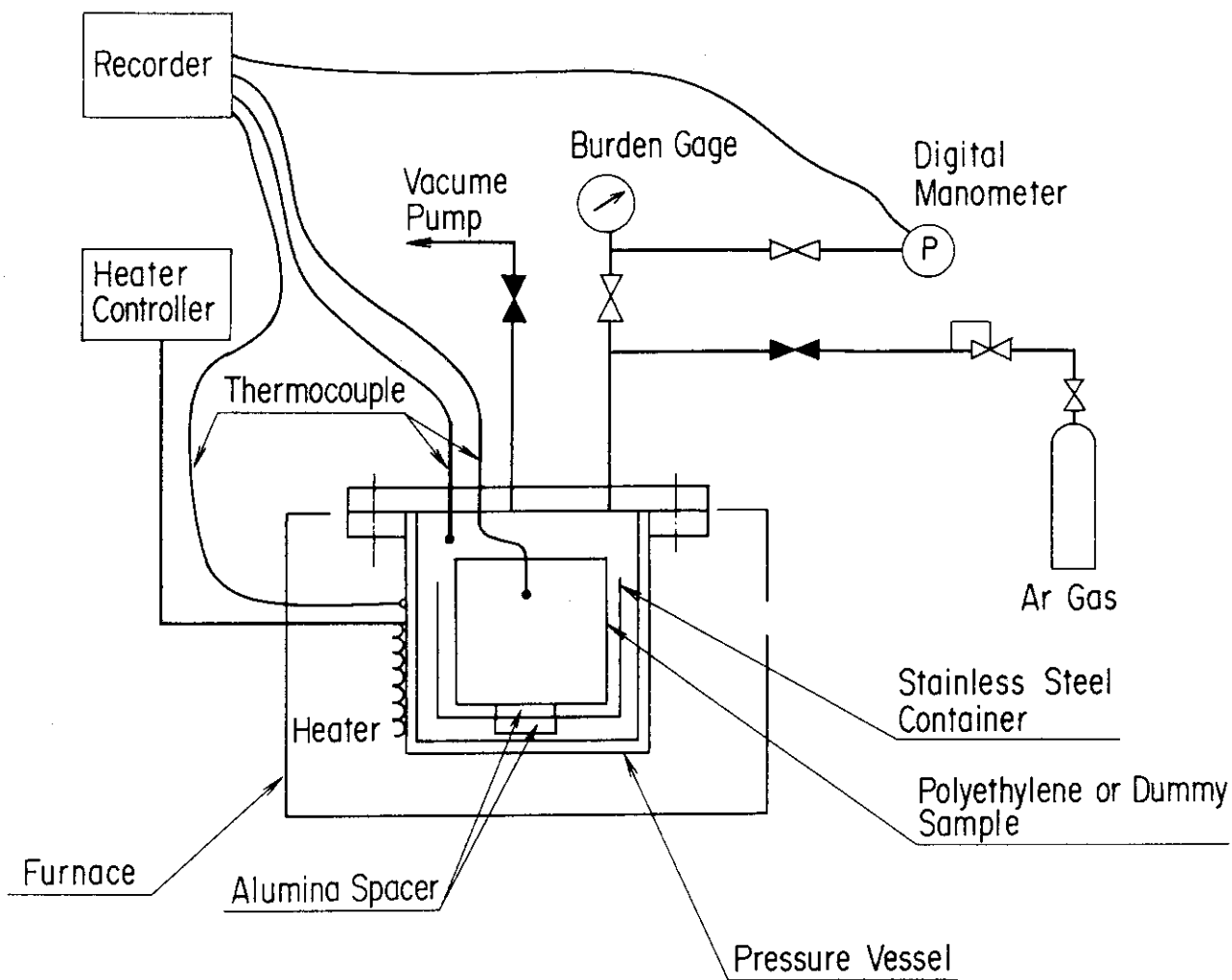


Fig. 42 Schematic configuration of decomposition gas pressure measurement of polyethylene and polyethylene sample specification.

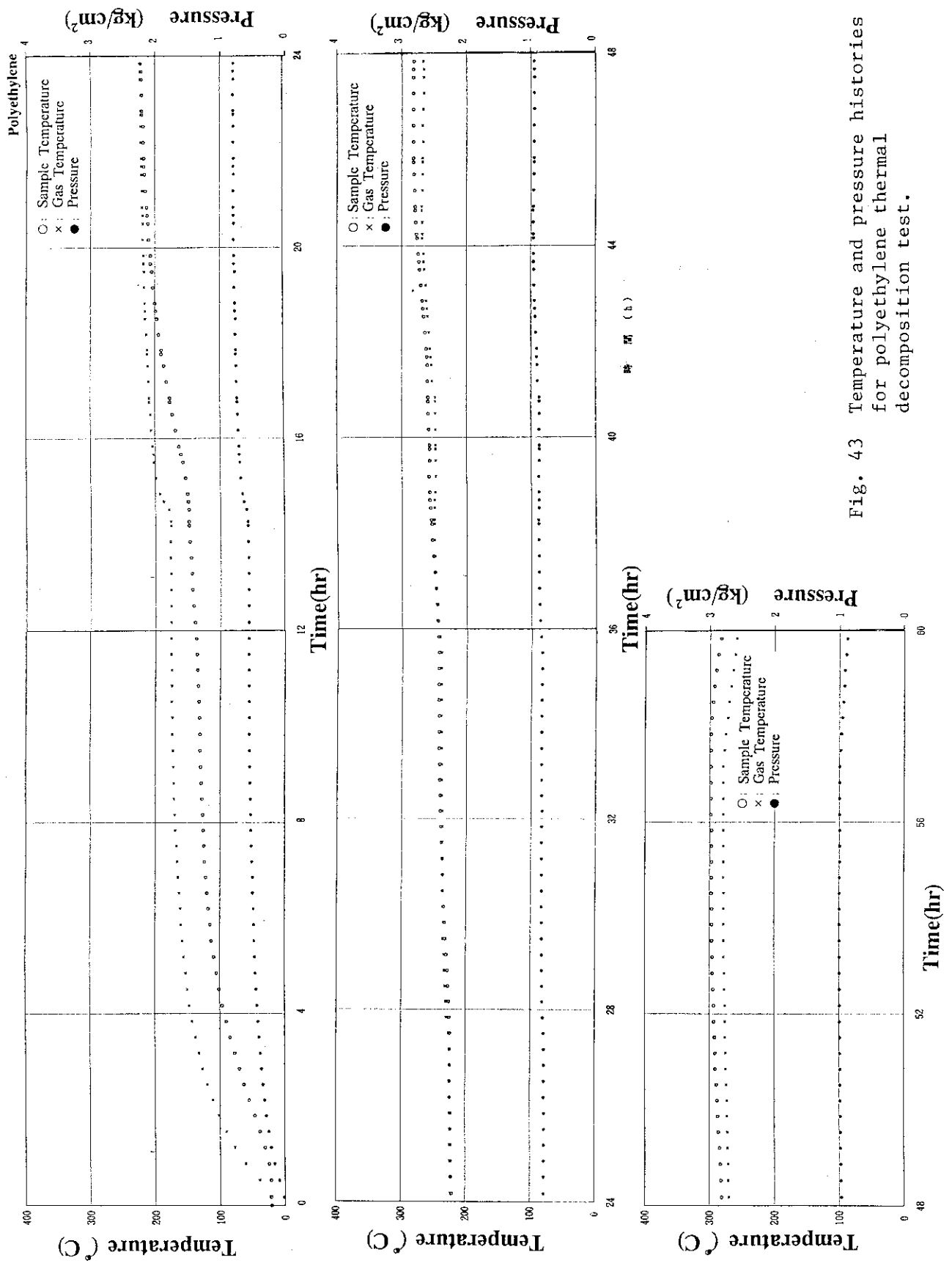


Fig. 43 Temperature and pressure histories for polyethylene thermal decomposition test.

## Experimental Setups for 940 and 941 Test Series

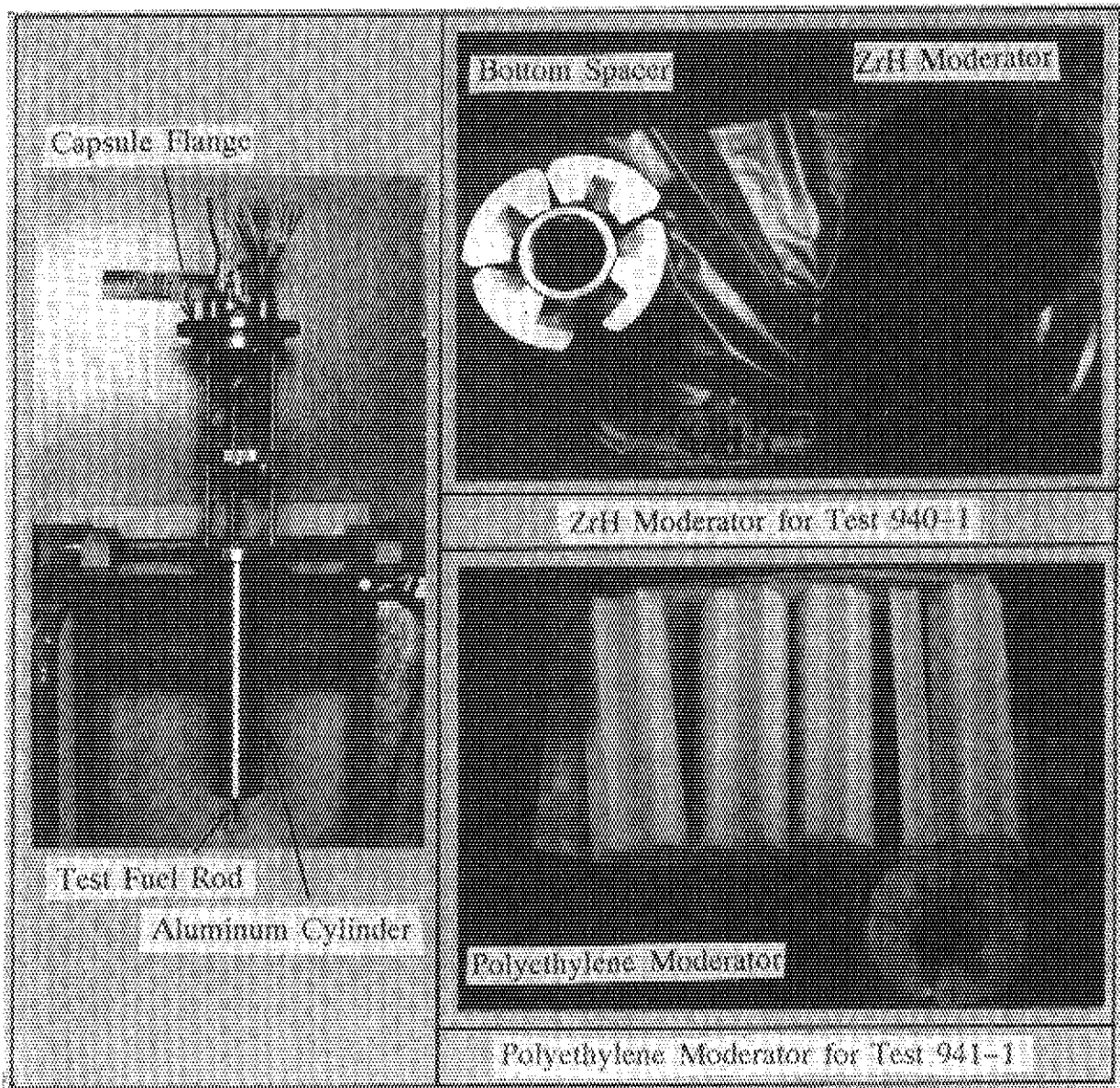


Photo. 1 Moderators and setups used for 940 and 941 test series.

Secondary Electron Micrographs of Zirconium-hydride

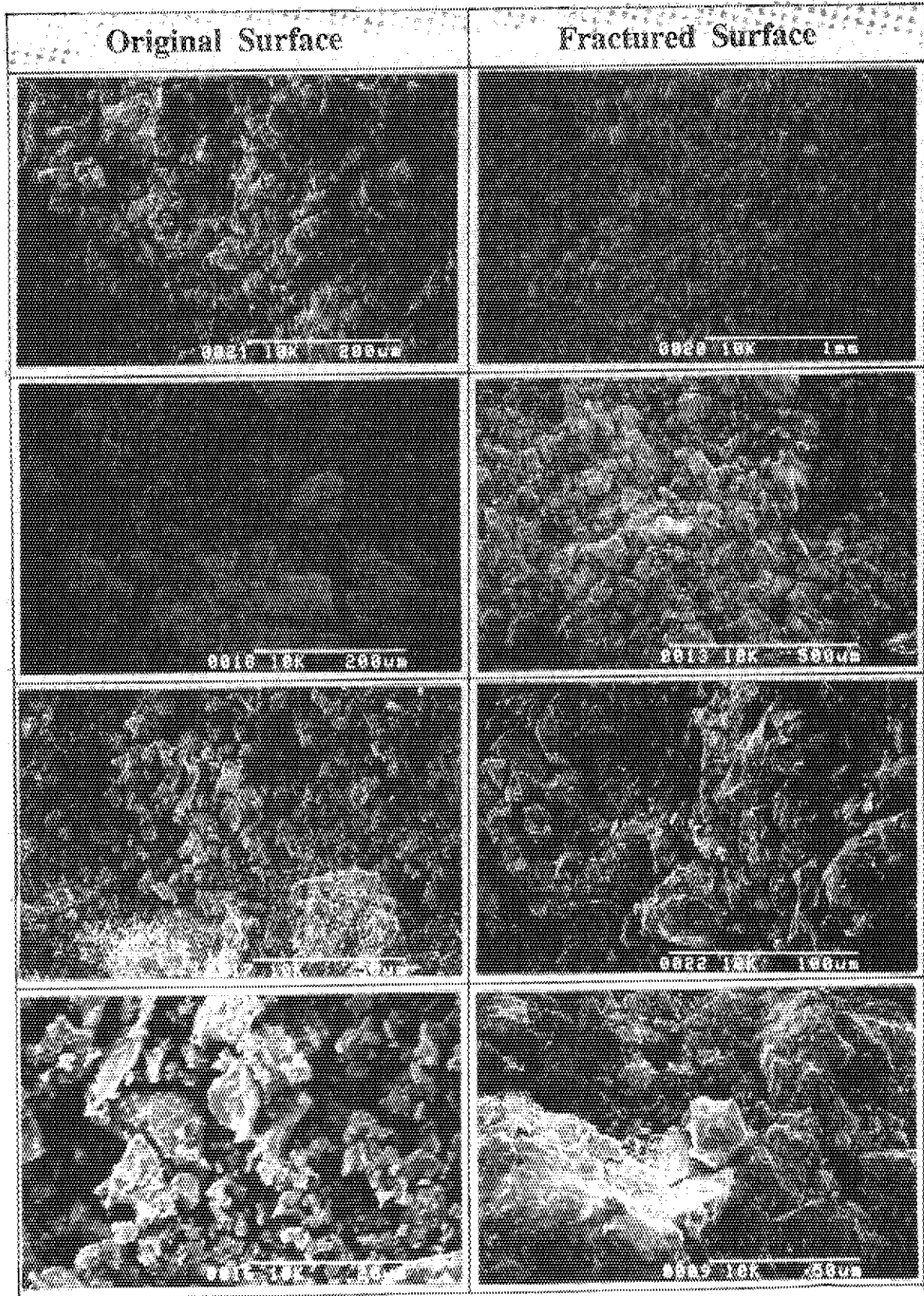


Photo. 2 Secondary electron micrographs of Zirconium-hydride fabricated by the sintering method I.



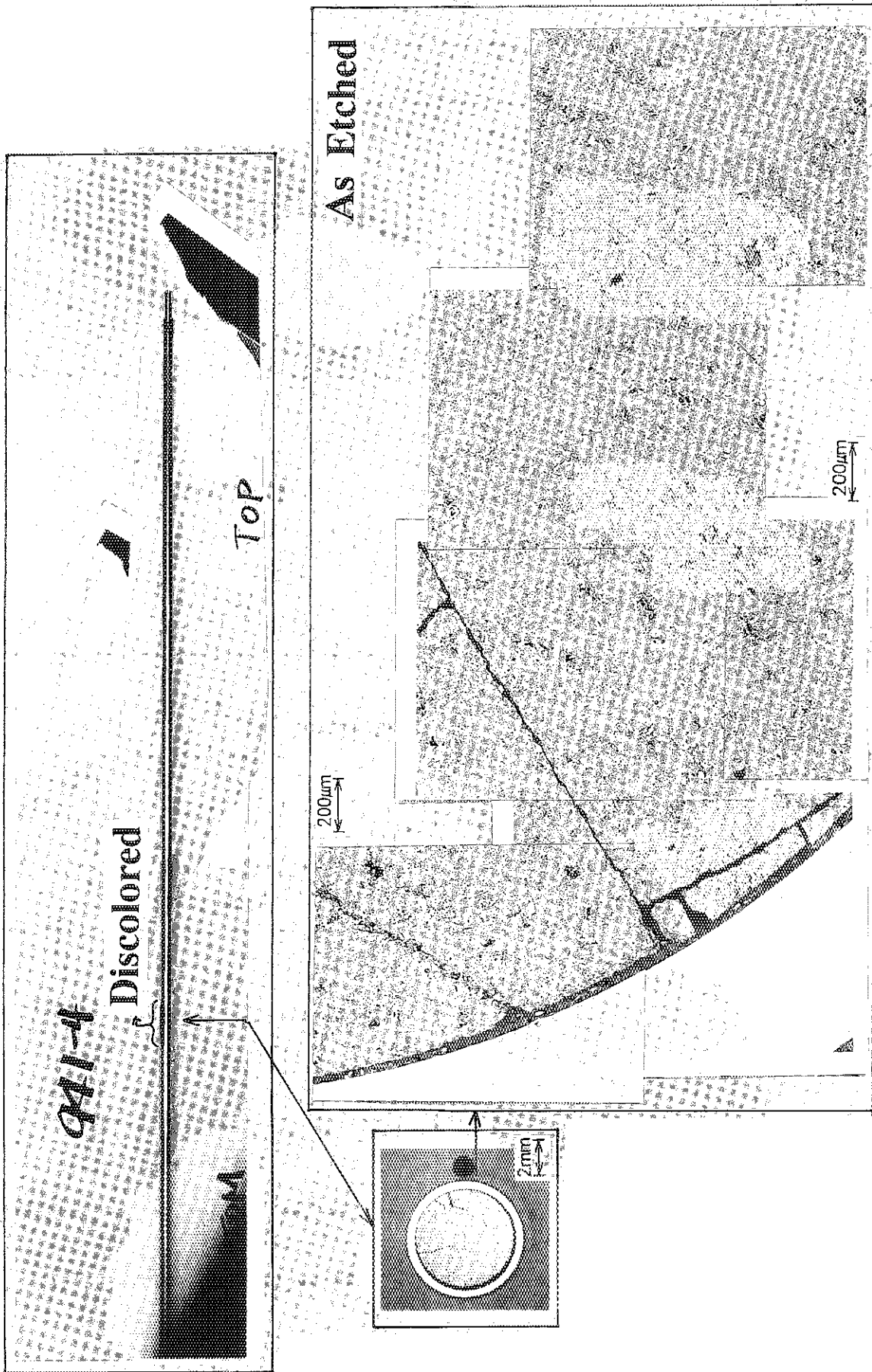


Photo. 3 Post test fuel rod appearance and cross sectional view of peak power pellet which was subjected to a peak energy deposition rate of 204 W/cm. The cladding surface temperature reached to the maximum of 480°C and discolored to be brown.

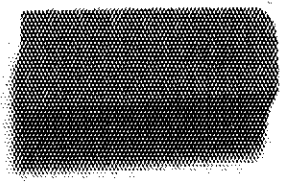

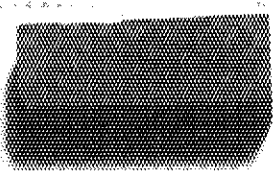
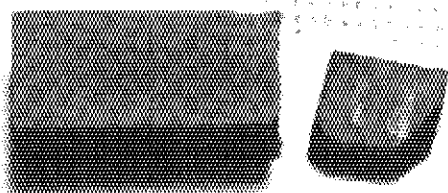
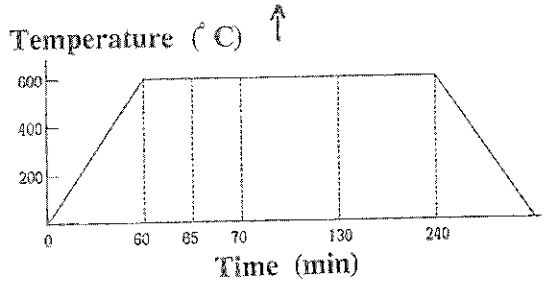
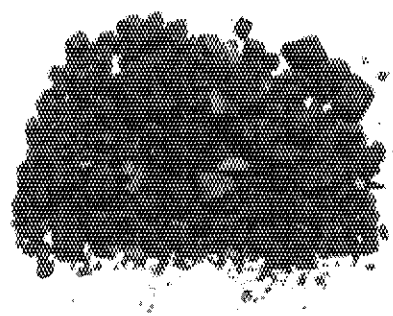
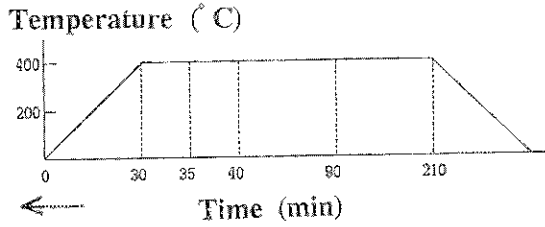
	400° C	600° C
5min		
10min		Burned ↓
1hr		
3hr		

Photo. 4 Appearance of Zirconium-hydride heated up to the temperatures of 400°C and 600°C in flowing air.

# Dissociation Pressure Measurement

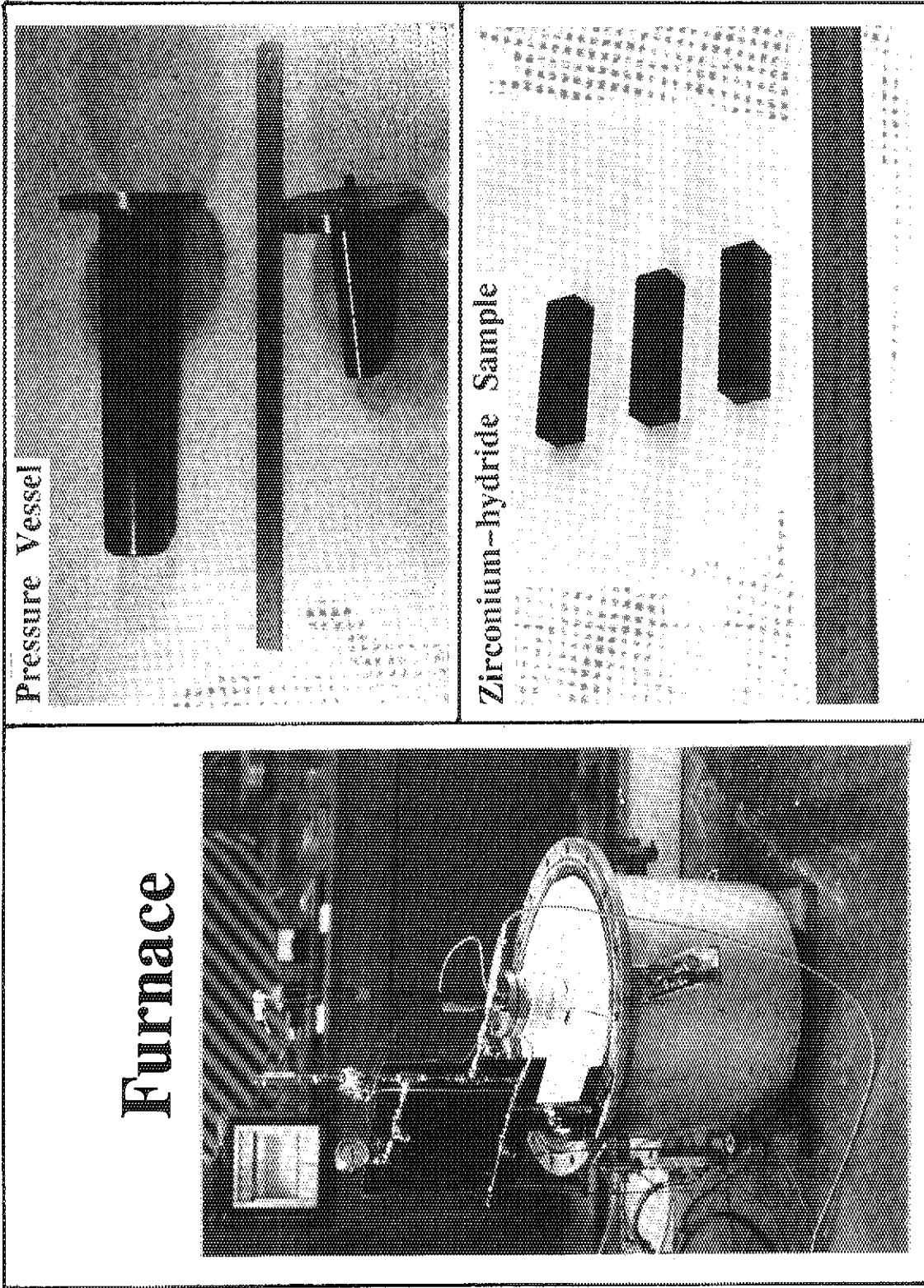
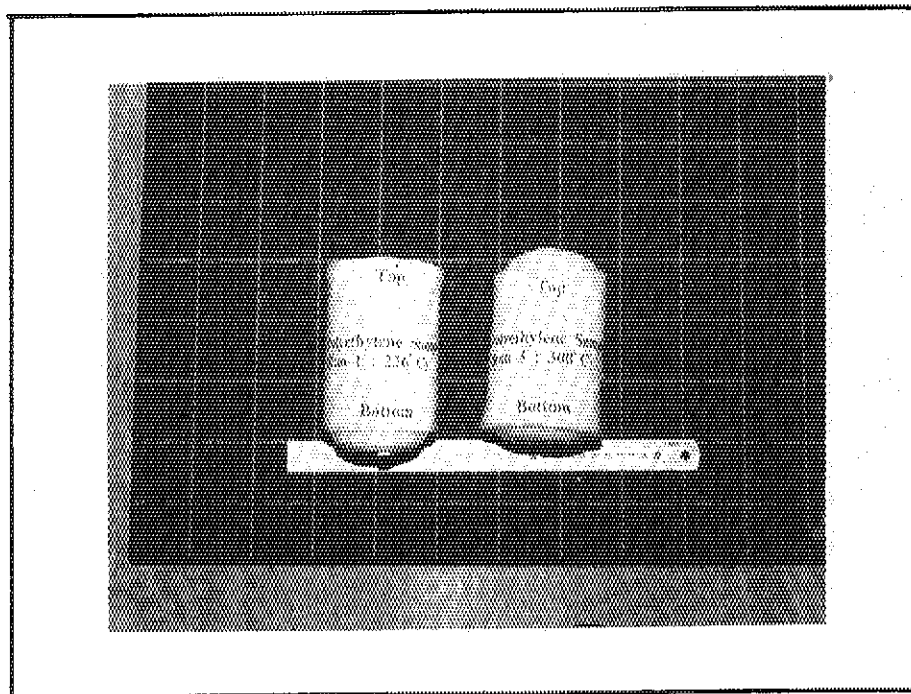


Photo. 5 Setup for the dissociation pressure measurement of  $ZrH_{1.85}$ .

## Polyethylene Samples after heat-up tests



1 division is 5cm.

Photo. 6 Post test appearance of polyethylene moderator after heat-up to 226°C and 300°C in inert atmosphere.

付録 I 940および941実験シリーズで照射した実験燃料棒の $\gamma$ 線強度

GAM9401

GAMMA MEASUREMENT OF PULSE IRRADIATED TEST FUEL ROD IN TEST 940-1

89/11/07 12:00 DATE & TIME OF IRRADIATION  
 XONJU TYPE IOXE TEST FUEL ROD  
 21.10 MRS NVT(1s)  
 26.85 MRS NVT(INF)  
 1.9E+13 FISSIONS / g OF UO2  
 137.47 cal/g ENERGY DEPOSITION  
 102.25 cal/g  
 83.17 cal/g

1.2727 : NVT(1s/INF) cal/f  
 (INF) 28 7.13E-12 5.1189248  
 (1s) 22 0.78571 6.75E-12  
 (PRMPT) 18 0.64285 6.71E-12

ROD POSTN.	MEASUREMENT DATE	TIME (s)	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	INTENSITY MEASD. ERR (C/s)	AT PLS (C/s/BR)	T (DAY)	AVG. AT 3 LOCTNS STD (C/s/BR)	RLTYS TO AVG
C/L	90/01/24	14:36	2000 ZR-95	64.00	723.7	0.4415	4.8927	1.06	25.829537	25.950	0.130
LST	90/01/24	14:36	2000 ZR-95	64.00	756.3	0.5451	5.9261	0.96	25.339120	25.520	0.330
C/L	90/01/24	15:20	2000 ZR-95	64.00	723.7	0.4415	4.9024	1.06	25.889311	25.324	0.440
ZND	90/01/24	15:20	2000 ZR-95	64.00	756.3	0.5451	5.9003	0.95	25.237153		0.988
C/L	90/01/24	16:02	2000 ZR-95	64.00	723.7	0.4415	4.9467	3.79	26.131510		1.006
BRD	90/01/24	16:02	2000 ZR-95	64.00	756.3	0.5451	6.073	3.92	25.984044		1.018
				34.98	765.3	0.9980	12.345	1.33	25.921318	78.191203	1.023

STD SOURCE	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	INTENSITY MEASD. ERR (C/s)	AT ORIG (C/s/BR)
CS-137	90/01/24	17:00	CS-137	1.10E+104	723.7	0.3510	49.339	0.32
FILE:	90/01/24	17:00					843752 Bq	62.9780
NCS137	86/06/19	12:00					873400 Bq	0.92060
EU-152	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	121.8	0.2840	44.004	0.35
	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	244.7	0.0751	9.1431	0.90
	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	344.3	0.2660	24.414	0.47
	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	778.9	0.1296	5.2088	0.99
	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	964.1	0.1450	5.9796	0.37
	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	1085.9	0.1016	3.8481	1.44
	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	1112.1	0.1356	4.9973	1.07
	90/01/25	09:20	EU-152	4.86E+03	1408.0	0.2085	6.4996	0.88
FILE:	90/01/25	09:20					809479 Bq	0.82881
NEU152	86/06/19	12:00					873400 Bq	

GAW9411

CANNA MEASUREMENT OF PULSE IRRADIATED TEST FUEL ROD IN TEST 941-1

90/02/21 17:44 DATE & TIME OF IRRADIATION 0.63  
 KONJU TYPE 10X6 TEST FUEL ROD 0.3  
 45mm t. POLYETHYLENE MODERATOR 0.27  
 46.00 MWs  
 NYI(INF) 2.0879 : RUNOUT POWER INT. 0  
 FISSIONS / g OF UO2 (TEST 940-1 : 1.90E+13 )  
 ENERGY DEPOSITION (INF) 7.15E-12 4.97E2664  
 239.2501 cal/g

ROD POSTN.	MEASUREMENT DATE TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-CAN (keV)	BR-GAM (C/s)	INTENSITY MEASD. ERR (C/s)	AT PLS (C/s/BR)	T (DAY)	AVG. AT 3 LOCTNS STD (C/s/BR)	RLTYS 941-1/ TO AVG 940-1
C/L	90/12/13 14:50	1000 ZR-95	64.00	723.7	0.4415	0.9884	7.26	54.581850	46.268	6.638
	90/12/13 14:50	1000 ZR-95	64.00	756.3	0.5451	1.0753	7.59	48.094973	41.669	4.614
	90/12/13 14:50	1000 NB-95	34.98	765.3	0.9980	3.5932	2.66	42.901530	38.778	2.457
	90/12/13 15:08	1000 ZR-95	64.00	723.7	0.4415	0.8636	14.72	47.696547		1.030
#20	90/12/13 15:08	1000 ZR-95	64.00	756.3	0.5451	0.7842	10.43	35.079684		0.841
	90/12/13 15:08	1000 NB-95	34.98	765.3	0.9980	3.0544	3.07	36.412273		0.938
	90/12/13 16:02	5000 ZR-95	64.00	723.7	0.4415	0.8416	3.79	46.766925		0.110
#20	90/12/13 16:02	5000 ZR-95	64.00	756.3	0.5451	0.943	3.92	42.221598		1.013
#20	90/12/13 16:02	5000 NB-95	34.98	765.3	0.9980	3.1862	1.33	38.015806		0.980
	90/12/13 15:28	1000 ZR-95	64.00	723.7	0.4415	0.6523	20.33	36.027371		0.778
#40	90/12/13 15:28	1000 ZR-95	64.00	756.3	0.5451	0.9228	8.88	41.280774		0.990
	90/12/13 15:28	1000 NB-95	34.98	765.3	0.9980	3.1692	2.98	37.786158		0.44

4.7078906

STD SOURCE	MEASUREMENT DATE TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-CAN (keV)	BR-GAM (C/s)	INTENSITY MEASD. ERR (C/s)	AT ORIG (C/s/BR)	AT ORIG RATIO (TEST 940-1/TO TEST 940-1)
CS-137	90/12/17 15:50	137-La-137	1E+04	723.7	0.8510	41.415	0.37	53.9620
FILE:	86/06/19 15:50					336755 Bq	0.90186	0.9206011
	86/06/19 12:00					373400 Bq		
EU-152	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	121.8	0.2840	42.883	0.34	190.703	186.94631
	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	244.7	0.0751	8.7179	1.27	146.608	146.89148
	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	344.3	0.2660	23.621	0.69	112.153	110.73894
	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	778.9	0.1296	5.8358	1.64	56.8697	57.802384
	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	864.1	0.1450	5.277	1.51	50.3176	49.755201
	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	1085.9	0.1016	3.0061	2.51	37.3676	45.697845
	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	1112.1	0.1356	4.798	1.79	44.6875	44.465053
	90/12/11 14:20	EU-152 4.9E+03	1408.0	0.2085	6.196	1.29	37.5310	37.611759
FILE:	86/06/19 14:20					295657 Bq	0.79179	0.8286136
	86/06/19 12:00					373400 Bq		0.0706666

GAM9412

GAMMA MEASUREMENT OF PULSE IRRADIATED TEST FUEL RODS IN TEST 941-2

90/09/20 14:31 DATE & TIME OF IRRADIATION

2000 s MEASURING TIME

MONJU 20XEX7 TEST FUEL RODS

45mm t. Polyethylene MODERATOR

20.10 MWS NVT(1s)

25.84 MWS NVT(INF)

2.4E+13 FISSIONS / g OF UO2

CENTER \*\*\*\*\*

REL. SOL. 5.1189 26.85

98.422204 73.402 168.92 cal/g ENERGY DEPOSITION (INF) 25.2 1 7.13E-12 6.7031053 2.8403 3.808

59.539358 44.404 124.38 cal/g (1s) 19.6 0.777 6.75E-12

37.717352 28.129 98.41 cal/g (PRMPT) 15.6 0.619 6.71E-12

CENTER OUTER

REL. TO

SOL

cal/g/MWS 940-1

5.1189 26.85

19.6 0.777

6.75E-12

15.6 0.619

6.71E-12

SOL

cal/g/MWS 940-1

5.1189 26.85

19.6 0.777

6.75E-12

15.6 0.619

6.71E-12

ROD POSTN.	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	INTENSITY (C/s)	MEASD. ERR (C/s)	AT PLS (C/s/BR)	T	AVG. AT 3 LOC'TNS STD (C/s/BR)	RLTVS TO AVG CNT	941-2/940-1
CENTER	90/12/14	13:23	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	2.4776	2.37	14.082632		3.590	0.272	1.028
0	90/12/14	13:23	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	2.9968	2.24	3.796372		3.205	0.354	1.044
	90/12/14	13:23	NB-95	34.98	765.3	0.9980	6.124	1.27	3.078645	84.952777	12.770	0.250	1.024
CENTER	90/12/14	14:03	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	2.3535	2.48	3.381275				0.977
+20	90/12/14	14:03	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	2.8023	2.38	12.904834				0.977
	90/12/14	14:03	NB-95	34.98	765.3	0.9980	5.799	1.31	12.385591	84.980555			0.986
CENTER	90/12/14	15:23	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	2.3729	2.46	13.499697				0.981
+20	90/12/14	15:23	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	2.8124	2.37	12.959141				0.981
2ND	90/12/14	15:23	NB-95	34.98	765.3	0.9980	5.9718	1.29	12.758781	85.036111			0.986
CENTER	90/12/14	14:03	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	2.4269	2.46	13.798604				0.986
+40	90/12/14	14:03	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	2.8585	2.38	13.163640				0.986
	90/12/14	14:03	NB-95	34.98	765.3	0.9980	6.0209	1.31	12.853528	84.980555			0.986
OUTER	90/12/17	11:11	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	3.1759	1.95	18.623409		18.068	0.532	1.031
#00	90/12/17	11:11	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	3.8482	1.84	18.288872		17.529	0.776	1.042
	90/12/17	11:11	NB-95	34.98	765.3	0.9980	8.4773	1.00	18.272295	87.861111	17.580	0.561	1.039
OUTER	90/12/14	16:10	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	3.049	2.01	17.352240				0.960
+20	90/12/14	16:10	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	3.571	1.97	16.460480				0.960
	90/12/14	16:10	NB-95	34.98	765.3	0.9980	7.9089	1.05	16.896410	85.06875			0.961
OUTER	90/12/14	16:10	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	3.2024	2.01	18.223258				1.008
440	90/12/14	16:10	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	3.8714	1.97	17.845170				1.018
	90/12/14	16:10	NB-95	34.98	765.3	0.9980	8.2252	1.05	17.572146	85.06875			0.999

STD SOURCE	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	INTENSITY (C/s)	MEASD. ERR (C/s)	AT ORIG (C/s/BR)	T	AT ORIG TEST 940-1940-1	941-2/940-1
CS-137	90/12/17	15:50	CS-137	1.1E+04	723.7	0.8510	41.415	0.37	53.962013	62.978057	0.8568	
FILE:	86/06/19	12:00					336755 Bq		0.9018617	0.9206011		
							373400 Bq					
EU-152	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	121.8	0.2840	42.883	0.54	190.70305	186.94631	1.0200	
	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	244.7	0.0751	8.7179	1.27	146.60801	146.89148	0.9980	
	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	344.3	0.2660	23.621	0.69	112.15318	110.73894	1.0127	
	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	778.9	0.1296	5.8358	1.64	56.869730	57.802384	0.9838	
	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	984.1	0.1450	5.777	1.51	60.317625	49.756201	1.0112	
	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	1085.9	0.1016	3.0061	2.51	37.367624	45.697845	0.8177	
	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	1112.1	0.1356	4.798	1.79	44.687527	44.465053	1.0050	
	90/12/11	14:20	EU-152	4.9E+03	1408.0	0.2085	6.196	1.29	37.531085	37.611759	0.9978	
FILE:	86/06/19	12:00					235637 Bq		0.7919786	0.8288136		
							373400 Bq					



GAM9413

GAMMA MEASUREMENT OF PULSE IRRADIATED TEST FUEL ROD IN TEST 941-3

90/09/28 15:20 DATE & TIME OF IRRADIATION

2000 s MEASURING TIME

MONJYU 10X6 TEST FUEL ROD

25.30 MTS NVT(1s)

31.38 MTS NVT(INF)

6.0E+12 FISSIONS/g OF UO2

REL. SOL.

140.78 43.15 cal/g ENERGY DEPOSITION (INF)

91.492 28.92 cal/g (IS)

64.510 27.47 cal/g (PRNPT)

REL. 940-1  
cal/g/NVT(INF) NVT  
5.1189 26.85

SOL. REL. 940-1  
cal/g/NVT R cal/f

32.5 1 7.1E-12 1.375000 4.4858

26.2 0.806 6.8E-12

22 0.676 6.8E-12

ROD POSTN.	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM (REV)	INTENSITY (C/S)	MEASD. ERR (C/S)	AT PLS (C/S/BR)	T (DAY)	AVG. AT 3 LOCTNS STD (C/S/BR)	REL. TO AVG CNT	OUT/ 940-1
C/L	90/12/14	09:50	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	4.9059	1.42	25.52675	25.955	1.067	0.983	1
	90/12/14	09:50	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	5.6488	1.39	23.80606	24.752	0.971	0.961	1
	90/12/14	09:50	NB-95	34.98	765.3	0.9980	11.781	0.80	24.67044	25.359	1.070	0.972	1
+20	90/12/14	10:33	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	4.9542	1.40	25.78641			0.993	
	90/12/14	10:33	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	5.9913	1.32	25.25765			1.020	
	90/12/14	10:33	NB-95	34.98	765.3	0.9980	12.157	0.79	25.45918	76.82384		1.003	
+40	90/12/14	11:17	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	5.101	1.37	26.55263			1.023	
	90/12/14	11:17	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	5.9754	1.33	25.19264			1.017	
	90/12/14	11:17	NB-95	34.98	765.3	0.9980	12.390	0.78	25.94981	76.85439		1.023	
+60	90/12/14	14:03	Zr-95	64.00	723.7	0.4415	4.5375	1.50	23.64891			0.911	
	90/12/14	14:03	Zr-95	64.00	756.3	0.5451	5.4368	1.42	22.95051			0.927	
	90/12/14	14:03	NB-95	34.98	765.3	0.9980	11.039	0.84	23.12416	76.96967		0.911	

STD SOURCE	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM (REV)	INTENSITY (C/S)	MEASD. ERR (C/S)	AT ORIG (C/S/BR)	TEST 940-940-1 90/01/24	AT ORIG (C/S/BR)	REL. TO AVG (AVG)
CS-137	90/12/17	15:50	CS-137	1.1E+04	723.7	0.6510	41.415	0.37	53.96201	62.97805	0.8568	
FILE:	90/12/17	15:50					396765 Bq		0.901661	0.920601		
	86/06/19	12:00					373400 Bq					
EU-152	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	121.8	0.2840	42.883	0.54	190.7030	186.9463	1.0200	
	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	244.7	0.0751	8.7179	1.27	146.5080	146.8914	0.9980	
	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	344.3	0.2650	23.621	0.69	112.1531	110.7389	1.0127	
	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	778.9	0.1296	5.8358	1.64	56.86973	57.80238	0.8838	
	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	964.1	0.1450	5.7771	1.51	50.31762	49.75620	1.0112	
	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	1085.9	0.1016	3.0061	2.51	37.36762	45.69784	0.8177	
	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	1112.1	0.1356	4.798	1.79	44.68752	44.46505	1.0050	
	90/12/11	14:20	EU-152	9E+03	1408.0	0.2085	6.196	1.29	37.53108	37.61175	0.9978	
FILE:	90/12/11	14:20					295657 Bq		0.791197	0.828813		
	86/06/19	12:00					373400 Bq			0.9670		

GAW9414

GAMMA MEASUREMENT OF PULSE IRRADIATED TEST FUEL ROD IN TEST 941-4

2182SP PULSE NO.  
 91/02/06 15:02 DATE & TIME OF IRRADIATION  
 2000 s MEASURING TIME  
 MONJU 10Mx1 TEST FUEL ROD  
 43.5 MFS NVT(1s)  
 45.5 MFS NVT(INF)  
 FISSIONS/g OF UO2  
 2 : RUNOUT POWER  
 cal/f  
 SOL. REL.940-1  
 cal/g/NVT(INF) NVT  
 5.1189 26.85  
 6.7888  
 REL. 308.89 cal/g ENERGY DEPOSITION (INF)  
 cal/g (1S)  
 cal/g (PRNPT)

ROD POSTN.	MEASUREMENT DATE	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	INTENSITY MEASD. ERR (C/s)	AT PLS (C/s/BR)	F	AVG. AT 3 LOCTNS STD (C/s/BR)	RELTS9414/ TO AVGB412 CENT (C/s/BR)	AVG. 941-2 (C/s/BR)	941-4/940-1 (C/s/BR)			
C/L	91/03/22 11:03	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	14.651	0.54	53.349677	58.899	2.442	0.905	4.302	13.69	2.269	25.95
	91/03/22 11:03	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	17.288	0.59	50.985423	56.314	2.212	0.905	4.264	13.205	2.206	25.52
	91/03/22 11:03	NB-95	34.98	765.3	0.9980	23.295	0.49	52.965963	57.373	2.128	0.910	4.492	12.77	2.265	25.32
	91/03/22 11:03	BA-140	12.76	537.3	0.2440	6.1891	1.22	274.38260	301.28	9.369	0.910		CENTER	2.247	(AVG)
FILE:	91/03/22 11:03	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	6.1289	1.04	243.66445	43.834027	275.99	10.01	0.882			
	91/03/22 11:03	LA-140	1.678	1596.5	0.9535	21.107	0.49	207.96792	43.834027	224.01	6.895	0.928			
	91/03/22 11:41	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	15.605	0.62	56.839278	0.965						
	91/03/22 11:41	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	18.320	0.57	54.046780	0.959						
	91/03/22 11:41	NB-95	34.98	765.3	0.9980	24.760	0.47	55.542398	0.968						
	91/03/22 11:41	BA-140	12.76	537.3	0.2440	6.5843	1.18	232.32182	0.970	9414/					
FILE:	91/03/22 11:41	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	6.5767	0.99	261.84256	0.948	9412					
	91/03/22 11:41	LA-140	1.678	1596.5	0.9535	21.743	0.49	214.54862	0.957	DUTER					
	91/03/22 13:07	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	17.102	0.59	62.302223	1.058	0.259	18.068				
	91/03/22 13:07	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	20.093	0.55	59.315325	1.053	3.212	17.529				
	91/03/22 13:07	NB-95	34.98	765.3	0.9980	26.919	0.45	60.357855	1.052	8.263	17.58				
	91/03/22 13:07	BA-140	12.76	537.3	0.2440	7.0546	1.14	314.21938	1.042						
FILE:	91/03/22 13:07	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	7.0802	0.95	282.80473	1.024						
	91/03/22 13:07	LA-140	1.678	1596.5	0.9535	23.055	0.47	228.32648	1.020						
	91/03/22 13:58	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	15.778	0.61	57.527907	0.976						
	91/03/22 13:58	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	18.821	0.56	55.580212	0.986						
	91/03/22 13:58	NB-95	34.98	765.3	0.9980	25.081	0.47	56.220083	0.979						
	91/03/22 13:58	BA-140	12.76	537.3	0.2440	6.6633	1.17	297.31738	0.986						
FILE:	91/03/22 13:58	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	7.0802	0.95	283.34935	1.026						
	91/03/22 13:58	LA-140	1.678	1596.5	0.9535	23.083	0.47	228.96856	1.022						

STD SOURCE	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	INTENSITY MEASD. ERR (C/s)	AT ORIG (C/s/BR)	AT ORIG TEST 940-1840-1 9D/01/24	AT ORIG 941-4/ 9D/01/24	
CS-137	91/03/22	14:38	CS-137	1.10E+04	723.7	0.8510	47.833	0.32	62.68792	82.978057	0.9355
FILE:	91/03/22	14:38					334749 Bq				
	91/03/22	14:38					373400 Bq				
NCS137	86/05/19	12:00							0.8964914	0.9206011	
EU-152	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	121.8	0.2840	40.142	0.36	181.10630	186.94631	0.9687
	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	244.7	0.0751	8.5585	0.84	146.01687	146.89148	0.9840
	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	344.3	0.2660	22.756	0.48	109.61478	110.73894	0.9898
	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	778.9	0.1296	6.7275	1.03	56.624635	57.802384	0.9796
	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	964.1	0.1450	5.4236	1.02	47.925314	49.758201	0.9632
	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	1085.9	0.1016	3.4701	1.53	43.761641	45.697845	0.9576
	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	1112.1	0.1356	4.6783	1.10	44.205234	44.465053	0.9941
	91/03/22	14:59	EU-152	4.86E+03	1408.0	0.2085	6.0556	0.92	37.213150	37.611759	0.9894
FILE:	91/03/22	14:38					291426 Bq		0.7604672	0.8288136	0.9813
	86/05/19	12:00					373400 Bq				

GAM9415

GAMMA MEASUREMENT OF PULSE IRRADIATED TEST FUEL ROD IN TEST 941-4

2336MP PULSE NO.  
 92/12/09 13:45 DATE & TIME OF IRRADIATION  
 3600 s MEASURING TIME  
 MONJU 20MEX1 TEST FUEL ROD  
 23 MFS NYT(1s)  
 32.5 MFS NYT(INF)  
 FISSIONS/g OF UO2 2 : RUNOUT POWER  
 REL. 221.68 221.6896 cal/g ENERGY DEPOSITION (INF)  
 cal/g cal/g (IS)  
 cal/g (PRNPT)  
 cal/f 9.5 SOL. REL. 940-1  
 cal/g/NYT(INF) NYT 5.1189 26.85  
 6.8212194 6.8212

ROD POSTN.	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	NET COUNTING (C)	INTENSITY (C/s)	MEASD. ERR (C/s)	AT PLS (C/s/BR)	T	AVG. AT 2 LOC TNS STD (C/s/BR)	RTVSR41-5/AVG. TO AVCR41-2 941-2 940-1/ (C/s/BR) EFF	941-5/940-1 (C/s/BR)			
C/L	93/03/29	11:18	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	16159.7	133.7	4.4888	0.037	33.428431	83.936	0.507	0.985	13.69	1.600	25.95
	93/03/29	11:18	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	19686.9	145.1	5.4713	0.040	33.001608	83.774	0.773	0.977	13.205	1.620	25.32
	93/03/29	11:18	NB-95	34.98	765.3	0.9980	49454.3	224.2	13.737	0.062	32.704638	109.89807	0.758	0.977	12.77	1.617	25.32
FILE:	93/03/29	11:18	BA-140	12.76	537.3	0.2440	444.8	87.3	0.1235	0.024	198.22303	178.55	19.66	1.110	CENTER		
	93/03/29	11:18	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	380	24.9	0.1055	0.008	151.86351	109.89807	2.041	0.986			
	9415CL	93/03/29	11:18		1.678	1596.5	0.9535	1369.6	37.6	0.3804	0.010	135.64996	109.89807	137.31	1.669		
-15mm	93/03/29	13:42	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	16632.6	135.5	4.9201	0.037	34.443987			1.014			
	93/03/29	13:42	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	20597.5	148.6	5.7215	0.041	34.547952			1.022			
	93/03/29	13:42	NB-95	34.98	765.3	0.9980	51718.5	229.2	14.366	0.063	34.220801	109.99812		0.889			
FILE:	93/03/29	13:42	BA-140	12.76	537.3	0.2440	354.6	89	0.0985	0.024	158.88699			1.013			
	93/03/29	13:42	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	388.1	25.7	0.1078	0.007	155.94582	109.99812		1.012			
	9415B	93/03/29	13:42		1.678	1596.5	0.9535	1395.7	37.9	0.3876	0.010	138.98831	109.99812		0.904		
+15mm	93/03/29	14:43	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	14914.8	127.7	4.1152	0.035	30.693600			0.886			
	93/03/29	14:43	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	18037.3	139.1	5.0103	0.038	30.267607			0.902			
	93/03/29	14:43	NB-95	34.98	765.3	0.9980	45630.5	215.2	12.675	0.059	30.199553	110.04038		0.785			
FILE:	93/03/29	14:43	BA-140	12.76	537.3	0.2440	292.6	82.9	0.0812	0.023	131.40770			0.896			
	93/03/29	14:43	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	342.4	24.2	0.0951	0.006	137.89889	110.04038		0.896			
	9415C	93/03/29	14:43		1.678	1596.5	0.9535	1279	36.1	0.3552	0.010	127.65965	110.04038		0.929		

STD	MEASUREMENT DATE	TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM (keV)	BR-GAM	INTENSITY (C/s)	MEASD. ERR (C/s)	AT ORIG (C/s/BR)	AT ORIG TEST 940-1B40-1 90/01/24 EFF
CS-137	93/04/06	09:37	CS-137	1.10E+04	723.7	0.3510	37.45	0.32	51.443740	82.978057
FILE:	93/04/06	09:37					819409 Bq		0.8554070	0.9206011
NCS137	86/06/19	12:00					873400 Bq			

GAM9416

GAMMA MEASUREMENT OF PULSE IRRADIATED TEST FUEL ROD IN TEST 941-6

2343NP PULSE NO.  
93/01/12 11:20 DATE & TIME OF IRRADIATION  
5090 s MEASURING TIME  
MONJU 20%1.15%TEST FUEL ROD  
38.5 MWs NVT(1s)  
47.5 MWs NVT(INF)  
FISSIONS/g OF UO2

9 SOL. REL-940-1  
cal/f cal/g/NVT(INF) NVT  
5.1189 26.85  
CENTER 3.3460473 3.3480  
SO 4.0898409  
SI 3.8624574

REL. 159.032 159.0322 cal/g ENERGY DEPOSITION (INF)  
cal/g (IS)  
cal/g (PRNPT)

9 SOL. REL-940-1  
cal/f cal/g/NVT(INF) NVT  
5.1189 26.85  
CENTER 3.3460473 3.3480  
SO 4.0898409  
SI 3.8624574

ROD POSTN.	MEASUREMENT DATE	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM BR-GAM (KeV)	NET COUNTING (C) ERR	INTENSITY MEASD. ERR (C/s)	AT PLS (C/s/BR)	T	AVG. AT 3 LOCTNS STD (C/s/BR)	RLTYS941-6/AVG. TO AVGB41-2 941-2 CENT (C/s/BR)	941-6/940-1 940-1/ (C/s/BR) EFF					
CENTER	93/04/06 10:43	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	21785.3	154.5	4.3570	0.030	24.504396	1.002	1.784	13.89	1.152	25.95	
C/L	93/04/06 10:43	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	26672.2	158.2	5.3344	0.033	24.299303	1.006	1.828	13.205	1.158	25.52	
	93/04/06 10:43	NB-95	34.98	765.3	0.9980	56420.1	239.8	11.284	0.047	24.029814	1.001	1.879	12.77	1.160	25.32	
FILE:	93/04/06 10:43	BA-140	12.76	537.3	0.2440	1518.6	118.3	0.3037	0.023	119.17368	0.901	CENTER	132.12	9.158	0.901	
	93/04/06 10:43	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	1586.5	47.3	0.3173	0.009	111.64870	0.966	CENTER	115.50	3.405	0.966	
	93/04/06 10:43	LA-140	1.678333	815.9	0.9335	5780.7	76.7	1.1521	0.015	100.47287	0.928	CENTER	97.665	2.030	0.928	
BOTTOM	93/04/06 12:16	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	21740.9	154.4	4.3481	0.030	24.471722	1.001					
	93/04/06 12:16	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	26860.2	168.5	5.3720	0.033	24.487857	1.014					
	93/04/06 12:16	NB-95	34.98	765.3	0.9980	56626.5	240.1	11.325	0.048	24.122216	1.005	941-6/				
FILE:	93/04/06 12:16	BA-140	12.76	537.3	0.2440	1782.3	115.9	0.3524	0.023	138.78878	0.950	941-6/				
	93/04/06 12:16	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	1627.3	46.4	0.3234	0.009	114.92715	0.935	941-2				
	93/04/06 12:16	LA-140	1.678333	815.9	0.9335	5543.2	75.4	1.1086	0.015	97.022326	0.933	DUTER				
BOTTOM	93/04/06 14:21	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	21584.8	154.4	4.3189	0.030	24.318827	0.995	1.352	18.068			
	93/04/06 14:21	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	25917.9	166.1	5.1895	0.033	23.650969	0.979	1.377	17.529			
	93/04/06 14:21	NB-95	34.98	765.3	0.9980	55984.2	239	11.136	0.047	23.854535	0.993	1.365	17.58			
FILE:	93/04/06 14:21	BA-140	12.76	537.3	0.2440	1749.2	118.8	0.3498	0.023	138.40709	1.047					
	93/04/06 14:21	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	1690.2	46.5	0.3380	0.009	119.93266	1.038					
	93/04/06 14:21	LA-140	1.678333	815.9	0.9335	5430.6	74.5	1.0861	0.014	95.499982	0.977					
TOP	93/04/06 16:13	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	16940.8	135.8	3.8880	0.027	19.102055	0.781					
	93/04/06 16:13	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	20710.7	148.2	4.1421	0.029	18.915095	0.783					
	93/04/06 16:13	NB-95	34.98	765.3	0.9980	44408.9	212.7	8.8817	0.042	18.926594	0.788					
FILE:	93/04/06 16:13	BA-140	12.76	537.3	0.2440	1334.6	104.7	0.2669	0.020	106.04712	0.802	941-6/				
	93/04/06 16:13	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	1255.9	41.4	0.2511	0.008	89.491822	0.774	941-2				
	93/04/06 16:13	LA-140	1.678333	815.9	0.9335	4295.3	66.4	0.8590	0.013	75.853893	0.776	CENT				
SURRND.	93/04/07 08:47	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	26018.6	168.6	5.2037	0.033	29.372482	29.798	0.231	2.176	13.69	1.405	25.95
C/L	93/04/07 08:47	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	31727.8	183.4	6.3455	0.036	29.207766	29.634	0.325	2.244	13.205	1.421	25.52
	93/04/07 08:47	NB-95	34.98	765.3	0.9980	67205.7	261.7	13.441	0.052	28.703971	29.227	0.375	2.288	12.77	1.413	25.32
FILE:	93/04/07 08:47	BA-140	12.76	537.3	0.2440	1799.3	124.4	0.9598	0.024	148.77448	153	11	3.516	0.126		
	93/04/07 08:47	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	1821.6	49.4	0.3843	0.009	135.08988	138.04	3.468	1.168			
	93/04/07 08:47	LA-140	1.678333	815.9	0.9335	6580.6	82.1	1.3161	0.013	101.22802	121.61	2.439	1.238			
BOTTOM	93/04/07 11:18	ZR-95	64.00	723.7	0.4415	26479.3	170.4	5.2958	0.034	30.116560	1.232					
	93/04/07 11:18	ZR-95	64.00	756.3	0.5451	32562.6	185.5	6.5125	0.037	29.996630	1.242					
	93/04/07 11:18	NB-95	34.98	765.3	0.9980	69212.9	265.4	13.842	0.053	29.568799	1.231					
FILE:	93/04/07 11:18	BA-140	12.76	537.3	0.2440	1897	130.8	0.3794	0.026	157.38809	1.191	941-6/				
	93/04/07 11:18	LA-140	1.678333	815.9	0.2363	1829.9	49.7	0.3659	0.009	136.14835	1.178	941-2				

FILE:	NUCLIDE	MEASUREMENT DATE TIME	E-GAM BR-GAM (kev)	INTENSITY WEASD. ERR (C/s)	AT ORIG (C/s/BR)	AT ORIG TEST 940-1940-1 -90/01/24 EFF	DUTER
B416SD1593/04/07 11:18	ZR-95	93/04/07 12:54	64.00 723.7 0.4415	6772.7	83.2 1.3545 0.016 124.88290	84.99875	1.278
BOTTOM	ZR-95	93/04/07 12:54	64.00 723.7 0.4415	26099.9	189.2 5.2199 0.033 29.706497		1.215
-15mm	ZR-95	93/04/07 12:54	64.00 756.3 0.5451	32215.4	184.6 6.4430 0.038 28.898236		1.229
FILE:	BA-140	93/04/07 12:54	34.98 763.3 0.3980	68839.1	284.6 13.767 0.052 29.412994	85.065451	1.225
B415SD193/04/07 12:54	BA-140	93/04/07 12:54	12.76 537.3 0.2440	1839.6	130.1 2.3679 0.026 153.17981		1.159
BOTTOM	BA-140	93/04/07 12:54	12.76 537.3 0.2440	1913.8	50.9 0.3827 0.010 142.90755	85.065451	1.237
-15mm	BA-140	93/04/07 12:54	12.76 537.3 0.2440	6431.7	81.2 1.2863 0.016 119.02563	85.065451	1.218
FILE:	ZR-95	93/04/07 14:23	64.00 723.7 0.4415	22560.3	157.2 5.0111 0.034 28.537248		1.168
B416SD193/04/07 14:23	ZR-95	93/04/07 14:23	64.00 756.3 0.5451	27896.7	171.8 6.1965 0.038 28.580813		1.183
BOTTOM	ZR-95	93/04/07 14:23	34.98 763.3 0.3980	59722.9	246.6 13.265 0.054 28.345879	85.127129	1.180
-15mm	ZR-95	93/04/07 14:23	12.76 537.3 0.2440	1757.4	117 0.3903 0.025 163.06785		1.234
FILE:	BA-140	93/04/07 14:23	12.76 537.3 0.2440	1637	46.8 0.3836 0.010 136.21562	85.127129	1.179
B416SD193/04/07 14:23	BA-140	93/04/07 14:23	12.76 537.3 0.2440	5559.7	76.3 1.2571 0.016 116.71529	85.127129	1.195
BOTTOM	BA-140	93/04/07 14:23	12.76 537.3 0.2440	24460.5	163.7 4.8921 0.032 27.875279		1.140
-15mm	BA-140	93/04/07 15:39	64.00 723.7 0.4415	29300	176.5 5.86 0.035 27.044318		1.120
FILE:	BA-140	93/04/07 15:39	34.98 763.3 0.3980	63356	254.2 12.571 0.050 27.079593	85.180532	1.128
B416SD193/04/07 15:39	BA-140	93/04/07 15:39	12.76 537.3 0.2440	1764.5	120.5 0.3529 0.024 147.84776		1.119
BOTTOM	BA-140	93/04/07 15:39	12.76 537.3 0.2440	1785.2	48.1 0.3570 0.009 134.14067	85.180532	1.161
-15mm	BA-140	93/04/07 15:39	12.76 537.3 0.2440	6050.7	78.8 1.2101 0.015 112.67700	85.180532	1.153
FILE:	BA-140	93/04/07 15:39	12.76 537.3 0.2440	6050.7	78.8 1.2101 0.015 112.67700	85.180532	1.153

STD SOURCE	MEASUREMENT DATE TIME	NUCLIDE ID	T(1/2) (DAY)	E-GAM BR-GAM (kev)	INTENSITY WEASD. ERR (C/s)	AT ORIG (C/s/BR)	AT ORIG TEST 940-1940-1 -90/01/24 EFF
CS-137	93/04/06 09:37	CS-137	1.0E+04	723.7 0.8510	37.45 0.32	51.445740	62.978057 0.8168
FILE:	93/04/06 09:37				19409 Bq	8.8554070	0.9206011
NCS137	86/06/19 12:00				873400 Bq		

付録Ⅱ ORIGEN-2コードによる減速材の放射化の計算結果

Polyethylene

LISTING OF INPUT DATA ON UNIT = 5

INPUT UNIT	WRITE UNIT	CARD NUMBER	CARD IMAGE	
5	50	1	-1	00002400
5	50	2	-1	00002500
5	50	3	-1	00002600
5	50	4	BAS	00002700
5	50	5	RDA	00002800
5	50	6	CUT	00003100
5	50	7	LIP	00003200
5	50	8	LPU	00003300
5	50	9	LIB	00003400
5	50	10	PHO	00003500
5	50	11	TIT	00003600
5	50	12	RDA	00003700
5	50	13	INP	00003800
5	50	14	TIT	00004300
5	50	15	MOV	00004400
5	50	16	HED	00004700
5	50	17	BUP	00004800
5	50	18	RDA	00004900
5	50	19	IRF	00005200
5	50	20	BUP	00012400
5	50	21	OPTL	00012500
5	50	22	OPTA	00012600
5	50	23	OPTF	00012700
5	50	24	OUT	00012800
5	50	25	STP	00012900
5	50	26	4	00013700
5	50	27	0	00014300
5	50	28	TIT	00014400
5	50	29	DEC	00014600
5	50	30	DEC	00014700
5	50	31	DEC	00014800
5	50	32	DEC	00014900
5	50	33	DEC	00014901
5	50	34	DEC	00014902
5	50	35	DEC	00014903
5	50	36	DEC	00014904
5	50	37	DEC	00014905
5	50	38	DEC	00014906
5	50	39	OPTL	00014910
5	50	40	OPTA	00014920
5	50	41	OPTF	00014930
5	50	42	OUT	00014940
5	50	43	END	00015400
5	50	44		00015500

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, POLYETHYLENE 00014400  
 MW, BURNUP= 0.0 MW, FLUX= 3.20E+17N/CM\*\*2-SEC  
 POWER= 0.0 BURNUP= 0.0

REACTIVITY AND BURNUP DATA

BASIS= NA CAPSULE (ZRH2) 00002700

CHARGE	0.0S	1.0D	10.0D	14.0D	30.0D	90.0D	150.0D	210.0D	270.0D	330.0D	1.0YR
TIME, SEC	0.0	8.64E+04	8.64E+05	1.21E+06	2.59E+06	7.78E+06	1.30E+07	1.81E+07	2.33E+07	2.85E+07	3.16E+07
NEUT. FLUX	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
BURNUP, MW	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NEUT PROD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NEUT DESTN	0.0	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01	2.38E+01
TOT BURNUP	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	3.20E+17	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

SIZE OF MMAX(I): 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

THE NUMBER OF NON-ZERO TERMS IN A=9578  
 THE NUMBER OF NON-ZERO FISSION PRODUCT YIELDS=6482  
 ILITE= 684 IACT= 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= 679





ACTIVATION PRODUCTS

**Polyethylene**

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, POLYETHYLEN 00014400  
 POWER= 0.0 MW, BURNUP= 0.0 MW, FLUX= 3.20E+17N/CM\*\*2-SEC

SUMMARY TABLE: RADIOACTIVITY, CURIES

CHARGE	0.0S	1.0D	10.0D	14.0D	30.0D	90.0D	150.0D	210.0D	270.0D	330.0D	1.0YR
H 3	0.0	8.035E-10	8.034E-10	8.023E-10	8.018E-10	7.998E-10	7.852E-10	7.780E-10	7.709E-10	7.638E-10	7.597E-10
HE 6	0.0	3.372E-07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BE 8	0.0	1.359E-04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BE 10	0.0	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12
C 14	0.0	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10
SUMTOT	0.0	1.363E-04	9.431E-10	9.420E-10	9.415E-10	9.395E-10	9.249E-10	9.177E-10	9.106E-10	9.035E-10	8.993E-10
TOTAL	0.0	1.363E-04	9.431E-10	9.420E-10	9.415E-10	9.395E-10	9.249E-10	9.177E-10	9.106E-10	9.035E-10	8.993E-10

ACTIVATION PRODUCTS

**Polyethylene**

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, POLYETHYLEN 00014400  
 POWER= 0.0 MW, BURNUP= 0.0 MW, FLUX= 3.20E+17N/CM\*\*2-SEC

SUMMARY TABLE: RADIOACTIVITY, CURIES

CHARGE	0.0S	1.0D	10.0D	14.0D	30.0D	90.0D	150.0D	210.0D	270.0D	330.0D	1.0YR
H	0.0	8.036E-10	8.034E-10	8.023E-10	8.018E-10	7.998E-10	7.852E-10	7.780E-10	7.709E-10	7.638E-10	7.597E-10
HE	0.0	3.372E-07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BE	0.0	1.359E-04	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12	2.760E-12
C	0.0	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10	1.369E-10
SUMTOT	0.0	1.363E-04	9.431E-10	9.420E-10	9.415E-10	9.395E-10	9.249E-10	9.177E-10	9.106E-10	9.035E-10	8.993E-10
TOTAL	0.0	1.363E-04	9.431E-10	9.420E-10	9.415E-10	9.395E-10	9.249E-10	9.177E-10	9.106E-10	9.035E-10	8.993E-10

CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	0.0	1.363E-04	9.431E-10	9.420E-10	9.415E-10	9.395E-10	9.249E-10	9.177E-10	9.106E-10	9.035E-10	8.993E-10
ACT+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AP+ACT+FP	0.0	1.363E-04	9.431E-10	9.420E-10	9.415E-10	9.395E-10	9.249E-10	9.177E-10	9.106E-10	9.035E-10	8.993E-10

OUTPUT UNIT = 6 PAGE 32  
 COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, POLYETHYLEN 00014400  
 (ALPHA,N) NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC  
**Polyethylene**  
 BASIS= NA CAPSULE (ZRH2) 00002700  
 CHARGE 0.0S 1.0D 10.0D 14.0D 30.0D 90.0D 150.0D 210.0D 270.0D 330.0D 1.0YR

TOTALS											
TABLE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACTUAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

OUTPUT UNIT = 6 PAGE 33  
 COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, POLYETHYLEN 00014400  
 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC  
**Polyethylene**  
 BASIS= NA CAPSULE (ZRH2) 00002700  
 CHARGE 0.0S 1.0D 10.0D 14.0D 30.0D 90.0D 150.0D 210.0D 270.0D 330.0D 1.0YR

TOTALS											
TABLE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACTUAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

OVERALL											
TOTALS											
TABLE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACTUAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

OUTPUT UNIT = 6

PHOTON SPECTRUM FOR ACTIVATION PRODUCTS

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, POLYETHYLENE 00014400  
POWER= 0.0 MW, BURNUP= 0. MWD, FLUX= 3.20E+17 N/CM\*\*2-SEC

18 GROUP PHOTON RELEASE RATES, PHOTONS/SECOND  
BASIS= NA CAPSULE (ZRH2)

00002700

EMEAN	CHARGE	0.0S	1.00	10.00	14.00	30.00	90.00	150.00	210.00	270.00	330.00	1.0YR
1.500E-02	0.0	1.154E+04	1.410E-01	1.410E-01	1.410E-01	1.409E-01	1.408E-01	1.407E-01	1.406E-01	1.405E-01	1.404E-01	1.404E-01
2.500E-02	0.0	2.544E+03	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02	1.896E-02
3.750E-02	0.0	1.709E+03	9.401E-03	9.401E-03	9.401E-03	9.401E-03	9.401E-03	9.401E-03	9.401E-03	9.401E-03	9.400E-03	9.400E-03
5.750E-02	0.0	2.569E+03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03	8.077E-03
8.500E-02	0.0	1.646E+03	1.919E-03	1.919E-03	1.919E-03	1.918E-03	1.918E-03	1.918E-03	1.918E-03	1.918E-03	1.918E-03	1.918E-03
1.250E-01	0.0	1.142E+03	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04	5.406E-04
2.250E-01	0.0	1.721E+03	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04	3.574E-04
3.750E-01	0.0	8.955E+02	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05	3.349E-05
5.750E-01	0.0	5.687E+02	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07	2.001E-07
8.500E-01	0.0	2.320E+02	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	1.244E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.750E+00	0.0	3.667E+01	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	6.101E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.750E+00	0.0	1.192E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.500E+00	0.0	1.010E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.000E+00	0.0	2.635E-04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.000E+00	0.0	1.709E-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.100E+01	0.0	1.081E-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	2.473E+04	1.803E-01	1.803E-01	1.802E-01	1.801E-01	1.799E-01	1.799E-01	1.798E-01	1.798E-01	1.797E-01	1.797E-01
MEV/SEC	0.0	2.216E+03	3.730E-03	3.729E-03	3.729E-03	3.729E-03	3.727E-03	3.726E-03	3.724E-03	3.723E-03	3.721E-03	3.720E-03



OUTPUT UNIT = 6

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, ZRH 00014400  
 MW, BURNUP= 0.0 MW, FLUX= 3.20E+17N/CM\*\*2-SEC

REACTIVITY AND BURNUP DATA

00002700

CHARGE	0.0S	1.00	10.00	14.00	30.00	90.00	150.00	210.00	270.00	330.00	1.0YR
TIME, SEC	0.0	8.64E+04	8.64E+05	1.21E+06	2.59E+06	7.78E+06	1.30E+07	1.81E+07	2.33E+07	2.85E+07	3.16E+07
NEUT. FLUX	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
BURNUP/MWD	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NEUT PRODN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NEUT DESTN	0.0	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01	3.54E+01
TOT BURNUP	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	3.20E+17	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

SIZE OF MMAX(I): 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

THE NUMBER OF NON-ZERO TERMS IN A=9578  
 THE NUMBER OF NON-ZERO FISSION PRODUCT YIELDS=6482  
 ILITE= 684 IACT= 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= 679

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, ZRH) 00014400  
 MW, BURNUP= 0.0 MWD, FLUX= 3.20E+17N/CM\*\*2-SEC  
 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAM-ATOMS

CHARGE	0.0S	1.00	10.00	14.00	30.00	90.00	150.00	210.00	270.00	330.00	1.0YR
H 1	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02	7.998E+02
H 2	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01	1.200E-01
B 10	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03	8.889E-03
B 11	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02	3.556E-02
F 19	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01
MG 24	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02	6.756E-02
MG 25	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03	8.553E-03
MG 26	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03	9.416E-03
AL 27	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02
CR 50	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03	1.872E-03
CR 52	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02	3.606E-02
CR 53	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03	4.088E-03
CR 54	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03	1.016E-03
CR 55	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02
NI 58	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02	2.417E-02
NI 60	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03	9.240E-03
NI 61	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04	4.000E-04
NI 62	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03	1.271E-03
NI 64	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04	3.222E-04
CU 63	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04	8.702E-04
CU 65	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04	3.873E-04
ZR 90	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02	2.209E+02
ZR 91	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01	4.804E+01
ZR 92	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01	7.335E+01
ZR 94	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01	7.464E+01
ZR 96	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01	1.201E+01
NB 93	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02
HF174	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05	2.115E-05
HF176	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04	6.873E-04
HF177	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03	2.459E-03
HF178	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03	3.582E-03
HF179	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03
HF180	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03	4.653E-03
W180	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06	2.828E-06
W182	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04	5.721E-04
W183	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04	3.110E-04
W184	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04	6.671E-04
W186	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04	6.221E-04
SUMTOT	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03
TOTAL	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03

SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAM-ATOMS

CHARGE	0.0S	1.00	10.00	14.00	30.00	90.00	150.00	210.00	270.00	330.00	1.0YR
H	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02	7.999E+02
B	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02	4.444E-02
F	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01	8.421E-01
MG	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02	8.553E-02
AL	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02	5.926E-02
CR	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02	4.303E-02
MN	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02	2.182E-02
NI	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02	3.540E-02
CU	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03	1.258E-03
ZR	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02	4.289E+02
NB	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02	1.290E-02
HF	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02	1.322E-02
W	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03	2.175E-03
SUMTOT	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03
TOTAL	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03

CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03
ACT+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AP+ACT+FP	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03	1.230E+03



COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, ZRH 00014400  
POWER= 0.0 MW, BURNUP= 0.0 MWD, FLUX= 3.20E+17N/CN\*\*2-SEC

Zirconium-hydride

SUMMARY TABLE: RADIOACTIVITY, CURIES

CHARGE	NA CAPSULE (ZRH2)										00002700			
	0.0S	1.0D	10.0D	14.0D	30.0D	90.0D	150.0D	210.0D	270.0D	330.0D		1.0YR		
B 12	0.0	2.612E+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
N 16	0.0	1.715E+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
O 19	0.0	3.863E-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
F 20	0.0	3.315E+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
AL 28	0.0	3.747E-01	1.043E-16	7.846E-20	7.833E-20	2.327E-25	4.334E-46	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CR 51	0.0	4.297E-05	4.190E-05	3.346E-05	3.027E-05	2.029E-05	4.522E-06	1.008E-06	2.247E-07	5.009E-08	1.117E-08	4.623E-09	7.349E-18	7.349E-18
Y 90	0.0	7.310E-03	5.637E-03	5.433E-04	1.921E-04	3.001E-06	5.060E-13	7.537E-18	7.423E-18	7.394E-18	7.365E-18	7.365E-18	7.365E-18	7.365E-18
Y 91	0.0	2.250E-05	2.283E-05	2.064E-05	1.968E-05	1.629E-05	8.000E-06	3.930E-06	1.931E-06	9.483E-07	4.659E-07	3.068E-07	3.068E-07	3.068E-07
ZR 95	0.0	9.792E-03	9.686E-03	8.786E-03	8.414E-03	7.075E-03	3.693E-03	1.928E-03	1.006E-03	5.254E-04	2.743E-04	1.872E-04	1.872E-04	1.872E-04
ZR 97	0.0	1.292E+00	4.828E-01	6.859E-05	1.337E-06	1.933E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NB 95	0.0	1.156E-11	1.889E-04	1.653E-03	2.179E-03	3.671E-03	4.512E-03	3.150E-03	1.888E-03	1.060E-03	5.763E-04	3.994E-04	3.994E-04	3.994E-04
NB 95H	0.0	7.619E-13	1.191E-05	5.454E-05	5.748E-05	5.225E-05	2.740E-05	1.430E-05	7.467E-06	3.898E-06	2.035E-06	1.389E-06	1.389E-06	1.389E-06
NB 97	0.0	5.562E-08	4.852E-01	7.391E-05	1.344E-06	2.083E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NB 97M	0.0	7.061E-05	4.573E-01	6.497E-05	1.267E-06	1.831E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HF178M	0.0	1.439E+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
HF179H	0.0	2.447E+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
HF181	0.0	9.872E-05	9.712E-05	8.383E-05	7.833E-05	6.045E-05	2.267E-05	8.499E-06	3.187E-06	1.195E-06	4.480E-07	2.518E-07	2.518E-07	2.518E-07
W187	0.0	4.165E-03	2.076E-03	3.997E-06	2.470E-07	3.597E-12	2.622E-30	1.911E-48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUM10T	0.0	3.078E+02	1.443E+00	1.139E-02	1.098E-02	1.090E-02	8.267E-03	5.106E-03	2.907E-03	1.592E-03	8.536E-04	5.886E-04	5.886E-04	5.886E-04
TOTAL	0.0	3.082E+02	1.444E+00	1.140E-02	1.099E-02	1.091E-02	8.275E-03	5.110E-03	2.909E-03	1.593E-03	8.541E-04	5.890E-04	5.890E-04	5.890E-04

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, ZRH) OUTPUT UNIT = 6 PAGE 31  
 POWER= 0.0 MW, BURNUP= 0.0 MWD, FLUX= 3.20E+17N/CM\*\*2-SEC  
 ACTIVATION PRODUCTS  
**Zirconium-hydride**

SUMMARY TABLE: RADIOACTIVITY, CURIES  
 NA CAPSULE (ZRH2) 00002700

CHARGE	0.0S	1.00	10.00	14.00	30.00	90.00	150.00	210.00	270.00	330.00	1.0YR	
B	0.0	2.612E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
N	0.0	1.715E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
O	0.0	3.863E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
F	0.0	3.315E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
AL	0.0	3.747E-01	1.043E-16	7.846E-20	7.833E-20	2.327E-25	4.334E-46	0.0	0.0	0.0	0.0	
CR	0.0	7.018E-03	4.190E-05	3.346E-05	3.027E-05	2.029E-05	4.522E-06	1.008E-06	2.247E-07	5.009E-08	1.117E-08	4.623E-09
Y	0.0	2.943E-02	5.808E-03	5.640E-04	2.118E-04	1.929E-05	8.000E-06	3.930E-06	1.931E-06	9.483E-07	4.659E-07	3.068E-07
ZR	0.0	1.302E+00	4.925E-01	8.855E-03	8.415E-03	7.075E-03	3.693E-03	1.928E-03	1.007E-03	5.254E-04	2.743E-04	1.872E-04
NB	0.0	7.070E-05	9.427E-01	1.846E-03	2.239E-03	3.723E-03	4.539E-03	3.165E-03	1.896E-03	1.064E-03	5.784E-04	4.008E-04
HF	0.0	2.591E+02	1.261E-04	8.892E-05	8.341E-05	6.462E-05	2.497E-05	9.769E-06	3.888E-06	1.582E-06	6.617E-07	4.025E-07
W	0.0	1.916E-01	2.078E-03	5.769E-06	1.955E-06	1.476E-06	8.544E-07	4.954E-07	2.877E-07	1.675E-07	9.780E-08	7.140E-08
SUMTOT	0.0	3.080E+02	1.443E+00	1.139E-02	1.098E-02	1.090E-02	8.271E-03	5.108E-03	2.908E-03	1.592E-03	8.539E-04	5.888E-04
TOTAL	0.0	3.082E+02	1.444E+00	1.140E-02	1.099E-02	1.091E-02	8.275E-03	5.110E-03	2.909E-03	1.593E-03	8.541E-04	5.890E-04

CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	0.0	3.082E+02	1.444E+00	1.140E-02	1.099E-02	1.091E-02	8.275E-03	5.110E-03	2.909E-03	1.593E-03	8.541E-04	5.890E-04
ACT+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
AP+ACT+FP	0.0	3.082E+02	1.444E+00	1.140E-02	1.099E-02	1.091E-02	8.275E-03	5.110E-03	2.909E-03	1.593E-03	8.541E-04	5.890E-04

PAGE 32  
**Zirconium-hydride**

OUTPUT UNIT = 6  
 00014400

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, ZRH  
 (ALPHA,N) NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC

00002700

BASIS= NA CAPSULE (ZRH2)

0.0S 1.00 10.00 14.00 30.00 90.00 150.00 210.00 270.00 330.00 1.0YR

TOTALS

TABLE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACTUAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

PAGE 33  
**Zirconium-hydride**

OUTPUT UNIT = 6  
 00014400

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, ZRH  
 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC

00002700

BASIS= NA CAPSULE (ZRH2)

0.0S 1.00 10.00 14.00 30.00 90.00 150.00 210.00 270.00 330.00 1.0YR

TOTALS

TABLE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACTUAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

OVERALL

TOTALS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TABLE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACTUAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

OUTPUT UNIT = 6

PHOTON SPECTRUM FOR ACTIVATION PRODUCTS

COOLING TIME STEP (NA CAPSULE IRRADIATION AT PSE, ZRH 00014400  
POWER= 0.0 MW, BURNUP= 0. MWD, FLUX= 3.20E+17 N/CM\*\*2-SEC

18 GROUP PHOTON RELEASE RATES, PHOTONS/SECOND  
BASIS= NA CAPSULE (ZRH2)

00002700

EMEAN	CHARGE	0.0S	1.0D	10.0D	14.0D	30.0D	90.0D	150.0D	210.0D	270.0D	330.0D	1.0YR
1.500E-02	0.0	1.006E+12	1.308E+10	4.975E+07	3.272E+07	2.232E+07	1.350E+07	7.632E+06	4.160E+06	2.225E+06	1.177E+06	8.076E+05
2.500E-02	0.0	2.270E+11	2.645E+09	9.314E+06	5.684E+06	3.545E+06	2.105E+06	1.181E+06	6.410E+05	3.421E+05	1.808E+05	1.240E+05
3.750E-02	0.0	1.546E+11	1.724E+09	5.838E+06	3.444E+06	2.044E+06	1.184E+06	6.563E+05	3.541E+05	1.883E+05	9.932E+04	6.805E+04
5.750E-02	0.0	2.375E+11	2.491E+09	8.959E+06	5.354E+06	3.115E+06	1.597E+06	8.210E+05	4.216E+05	2.168E+05	1.118E+05	7.581E+04
8.500E-02	0.0	1.574E+11	1.488E+09	4.386E+06	2.205E+06	9.983E+05	5.263E+05	2.786E+05	1.464E+05	7.670E+04	4.008E+04	2.736E+04
1.250E-01	0.0	1.121E+11	9.734E+08	4.348E+06	2.791E+06	1.656E+06	6.795E+05	2.874E+05	1.248E+05	5.561E+04	2.545E+04	1.627E+04
2.250E-01	0.0	1.809E+11	1.623E+09	3.836E+06	1.833E+06	7.666E+05	3.918E+05	2.038E+05	1.061E+05	5.521E+04	2.875E+04	1.960E+04
3.750E-01	0.0	1.054E+11	9.491E+08	1.941E+06	9.466E+05	3.779E+05	1.319E+05	4.851E+04	1.831E+04	7.062E+03	2.777E+03	1.619E+03
5.750E-01	0.0	7.995E+10	2.172E+10	6.350E+06	2.446E+06	1.653E+06	6.222E+05	2.354E+05	8.941E+04	3.415E+04	1.315E+04	7.543E+03
8.500E-01	0.0	4.560E+10	1.530E+10	3.399E+08	3.433E+08	3.498E+08	2.691E+08	1.670E+08	9.529E+07	5.232E+07	2.803E+07	1.933E+07
1.250E+00	0.0	3.234E+10	1.148E+09	2.354E+05	3.010E+04	2.275E+03	9.622E+02	5.063E+02	2.818E+02	1.709E+02	1.157E+02	9.721E+01
1.750E+00	0.0	3.416E+10	3.328E+08	5.304E+04	3.230E+03	3.627E+02	1.848E+02	1.027E+02	5.705E+01	3.170E+01	1.762E+01	1.247E+01
2.250E+00	0.0	6.765E+09	1.049E+06	5.993E-01	2.121E-01	3.689E-03	3.709E-04	3.623E-04	3.541E-04	3.463E-04	3.388E-04	3.345E-04
2.750E+00	0.0	8.602E+09	3.899E+05	1.123E+01	1.330E-01	1.170E-06	1.142E-06	1.118E-06	1.094E-06	1.071E-06	1.048E-06	1.035E-06
3.500E+00	0.0	6.125E+09	1.300E+04	7.694E-03	9.113E-05	1.792E-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.000E+00	0.0	2.287E+09	1.729E+00	7.997E-05	9.472E-07	1.862E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.000E+00	0.0	4.162E+11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.100E+01	0.0	4.264E+08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.0	2.813E+12	6.348E+10	4.349E+08	4.007E+08	3.863E+08	2.899E+08	1.783E+08	1.014E+08	5.543E+07	2.971E+07	2.048E+07
MEV/SEC	0.0	3.322E+12	2.896E+10	2.972E+08	2.956E+08	2.996E+08	2.298E+08	1.424E+08	8.122E+07	4.451E+07	2.388E+07	1.647E+07