

論	文
---	---

近畿大学炉におけるトリウム体系の臨界実験と解析

伊藤 哲夫, 三木 良太, 土橋 敬一郎*,
 小林 圭二**, 石原 信二**, 林 正俊**,
 代谷 誠治**, 神田 啓治**

Critical Experiment and Analysis on Thorium Assembly in Kinki University Reactor—UTR-KINKI

Tetsuo ITOH, Ryota MIKI, Keiichiro TSUCHIHASHI*,
 Keiji KOBAYASHI**, Shinji ISHIHARA**, Masatoshi
 HAYASHI**, Seiji SHIROYA** and Keiji KANDA**

(Received October 12, 1985)

Integral critical experiments on enlarged thorium assemblies (3×3 elements) which are set up in the center of the enlarged central vertical stringer, $16.4 \times 16.4 \times 122$ cm, located in the internal graphite reflector between two fuel tanks of Kinki University Research Reactor, UTR-KINKI, has been performed as a complement to the experiment in Kyoto University Critical Assembly, KUCA, to check and evaluate the nuclear data on thorium and calculation methods. Enlarged thorium assemblies are composed of square thorium metal plates and square graphite plates.

The experiments include the followings: (1) Measurement of reactivity of various enlarged thorium assemblies, (2) Measurement of relative neutron flux distribution (Au foil reaction rate distribution) in various enlarged thorium assemblies.

Calculations on reactivity and neutron flux distribution of various enlarged thorium assemblies were carried out by SRAC code system, 3-D diffusion and 2-D SN transport, on X-Y-Z and R-Z geometries.

Experimental results on reactivity effects and neutron flux distribution of various thorium assemblies are in good agreement with calculated values.

KEYWORDS

integral critical experiment, thorium assembly, nuclear data, thorium metal plate, UTR-KINKI, neutron flux distribution, reactivity effects, SRAC code system.

1. 緒 言

近畿大学炉における臨界実験によるトリウムの研究

*日本原子力研究所東海研究所
 **京都大学原子炉実験所

は、トリウム燃料原子炉の設計計算の検証に必要なトリウムの核的性質に関するデータの蓄積を目的としている。

近畿大学原子炉 (UTR-KINKI) は、90%濃縮ウラン軽水減速黒鉛反射非均質型熱中性子炉であり、炉心が互いに46cm隔てられた2分割型炉心であるため、

2つの炉心に挟まれた領域（中央黒鉛反射体部）が広く、熱中性子束もこの領域ではほぼ平坦な分布をしている。従ってこの領域の照射場を利用して原子炉物理実験用の種々の体系を組み込むことが可能である。近畿大学原子炉の炉心平面図を Fig. 1 に示す。

UTR-KINKI における実験と京都大学原子炉実験所臨界集合体 (KUCA) における一連の種々のトリウ

ム臨界実験とは互いに相補的な関係にあり、本研究では、Fig. 1 に示す中央黒鉛反射体部に新たに設けた 16.4cm×16.4cm×122cm の拡大ストリンガーを引き抜いた領域に、KUCA におけるトリウム臨界実験で使用されたものと同一寸法のアルミ角ケースを、3行×3列、合計9本挿入し、アルミ角ケースの内部に種々のトリウム体系を組み込んで臨界実験を行ない、反応度効果及び中性子束分布を測定した。炉心中心の拡大ストリンガーを引き抜いた領域の拡大図を Fig. 2 に示す。

また日本原子力研究所で開発された JAERI Thermal Reactor Standard Code System (SRAC コード・システム) を用いて3次元拡散及び2次元SN輸送計算でトリウム体系を含む炉心解析計算を行ない、実験結果と計算値を比較した。

2. 実験方法

実験に用いたトリウム体系は、アルミ角ケース内にトリウム金

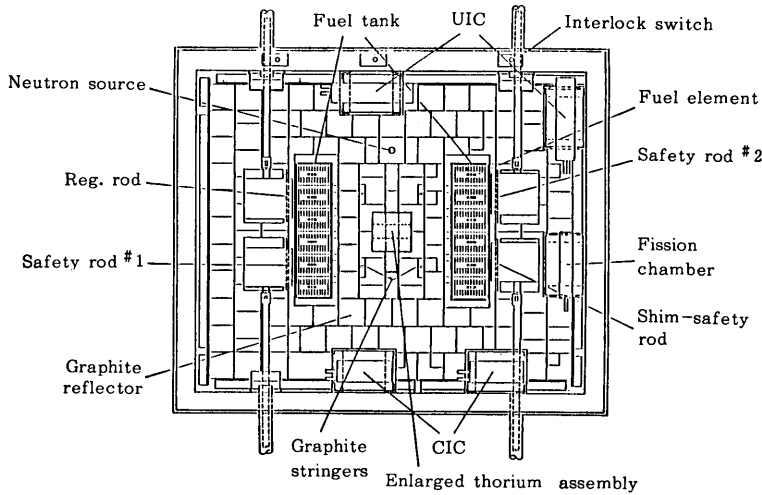


Fig. 1 Reactor core plan of UTR-KINKI and position of enlarged thorium assembly

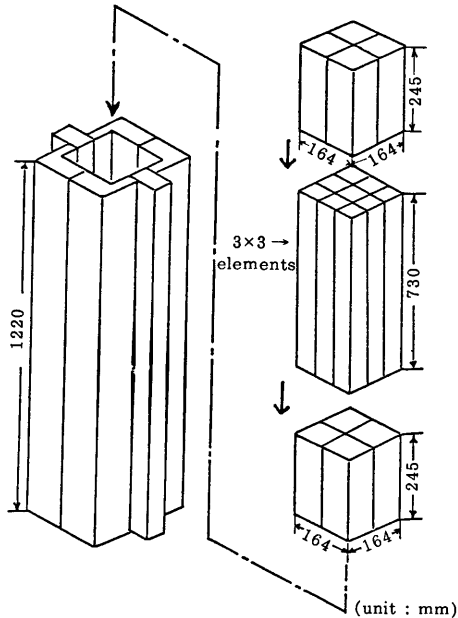


Fig. 2 Enlarged central stringer and thorium assembly (3×3 elements)

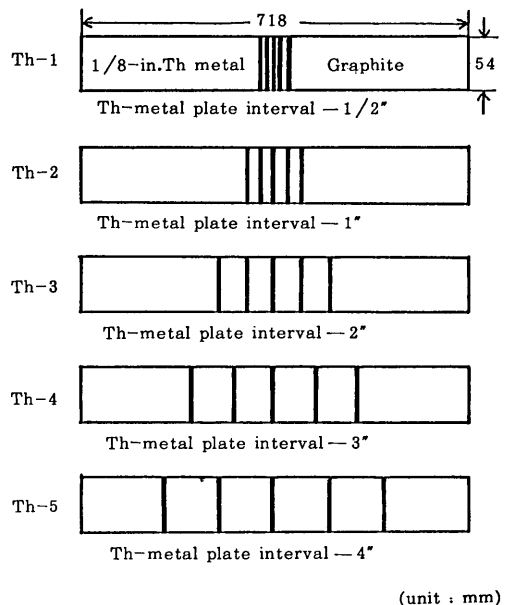


Fig. 3 Loading patterns of graphite plates and thorium metal plates in each thorium assembly unit

属板 (2"×2"×1/8") と黒鉛板 (2"×2"×1/2", 1", 2") を種々組み合わせ、トリウム金属板間隔を 1/2", 1", 2", 3" 及び 4" としてそれぞれ 5 回繰り返したパターンがアルミ角ケースの中心に位置するように装填したもので、トリウム金属板は各ケースすべて 5 枚、合計 45 枚とした。3 行×3 列の 9 本のアルミ角ケース内はすべて同じ配列である。種々のトリウム体系のトリウム金属板と黒鉛板の装填図を Fig. 3 に示す。

(1) 反応度効果の測定

臨界実験による反応度効果の測定は、Th-1~Th-5 体系を炉心に組み込んだ場合の原子炉の持つ余剰反応度 (ρ_{ex}) を正ペリオド法によって測定し、トリウム金属板を含まない黒鉛基準体系と比較することにより、反応度効果を求めた。更にトリウム金属板同士の干渉効果を検討するために、Fig. 3 に示す各アルミ角ケースの種々の位置にトリウム金属板を 1 枚ずつ挿入した体系 (トリウム金属板合計 9 枚) を作り、同様にして反応度を測定し、個別的に測定した各トリウム体系の反応度効果 ($\sum_{i=1}^5 \rho_i \langle 9\text{Th-plates} \rangle$) の和と対応するトリウム体系の反応度効果 ($\rho \langle 45\text{Th-plates} \rangle$) とと比較した。

(2) 中性子束分布の測定

中性子束分布は、Fig. 3 に示す Th-3, Th-4, Th-5 体系及びトリウム金属板を含まない黒鉛体系について、裸の金箔を用いて全エネルギーでの中性子との相対反応率として求めた。照射は、裸の金箔 (直径 9mm, 厚さ 50 μ) を各体系のアルミ角ケース中心から 1" 間隔で 3 行×3 列トリウム体系の中央のケースの中心に貼り付け、原子炉熱出力 1.0W で 1.5 時間行なった。金箔の測定は、ウエル型シンチレーションカウンターを用いた。更に金箔を 1" 間隔で同時照射した場合の金箔同士の干渉効果について検討するため、黒鉛体系において 1/2" 間隔で同時照射した場合、また黒鉛体系および Th-5 体系において 4" 間隔で金箔を貼り付け 1" ずつ高さ方向に順次ずらして照射した場合の計数率を 1" 間隔で同時照射した計数率と比較した。

3. SRAC コード・システムによる解析計算

実験を実施した各トリウム体系についての炉心解析計算は、SRAC コード・システムを用いておこなった。使用した核データ・ライブラリーは、日本原子力研究所におけるベンチ・マーク・テストの結果から JENDL-2 (U-238, Th-232, Al-27), ENDF/B-V

(U-235) 及び ENDF/B-IV (前記以外の核種) の組み合わせを用いた。

(1) 各体系の実効増倍係数 (k_{eff}) の計算

トリウムを含まない黒鉛体系及び各トリウム体系における全炉心に対する k_{eff} を求めるための計算手順を以下に述べる。

第 1 段階 多群定数 (速中性子領域 22 群, 熱中性子領域 31 群) を作成するためのセル計算を、(a) 単一燃料板, 被覆材及び冷却材から成る燃料領域モデル (b) 単一トリウム金属板と黒鉛板から成るトリウム領域モデルについてそれぞれ衝突確率計算コード (One Dimensional Slab Geometry) によっておこなった。

第 2 段階 多群定数から少数群定数を作成するための炉心計算を、トリウム体系, 黒鉛反射体, 燃料領域及び生体遮蔽タンクを含むモデルについて、1 次元拡散コード TUD (One Dimensional Cylindrical Geometry) によりおこなった。

第 3 段階 トリウムを含まない黒鉛体系及び各トリウム体系における全炉心に対する k_{eff} の計算を多次元拡散コード CITATION (Three Dimensional Slab Geometry) により、少数群 (10 群及び 2 群) について実施した。

(2) 各体系の中性子束分布の計算

種々のトリウム体系における中性子束分布は、各体系中心における金箔の反応率を以下の手順で計算した。

第 1 段階 多群定数 (速中性子領域 22 群, 熱中性子領域 31 群) を作成するためのセル計算を、単一燃料板, 被覆材及び冷却材から成る燃料領域モデルについて衝突確率計算コード (One Dimensional Slab Geometry) によっておこなった。

第 2 段階 トリウムを含まない黒鉛体系及び各トリウム体系中心における金箔反応率を求める計算を 2 次元 SN 輸送コード TWOTRAN (Two Dimensional Cylindrical Geometry) により、少数群 (16 群) について実施した。2-D (R-Z) の計算に用いたリング・コアー・モデルを Fig. 4 に示す。

4. 実験結果及び計算結果

(1) 各トリウム体系の反応度効果

トリウム金属板無し、アルミ角ケース無しの場合の k_{eff} を基準にして、各トリウム体系 (Th-1~Th-5) を組み込んだ場合の k_{eff} との差 ($-\Delta k$) として示した実験値と計算値を Table 1 及び Fig. 5 に示す。トリウム金属板間隔 2" の Th-3 体系の $-\Delta k$ が最も大きく、これよりも間隔が広くても、あるいは狭くても $-\Delta k$ は減少するという結果となり、また C/E から実験値と計算結果とは極めて良い一致を示した。

また Th-3 体系の $-\Delta k$ が最大となる原因を明らかにする目的で、トリウム体系を構成する 9 本のアルミ

角ケース内の同じ高さにトリウム金属板を 1 枚ずつ合計 9 枚挿入して、順次各トリウム体系のトリウム金属板の高さに合った位置での $-\Delta k$ を測定し、その値を合算してトリウム金属板を 45 枚の各体系での $-\Delta k$ を求めた値と、トリウム金属板 45 枚 1 度に挿入した各体系での $-\Delta k$ の値とを比較し、トリウム金属板間の間隔の違いによる干渉効果について検討した。その実験結果を Fig. 6 に示す。図中○印と△印は、トリウム金属板無し、アルミ角ケース有りの場合の k_{eff} を基準にして示した $-\Delta k$ であり、×印は Fig.5 で示したトリウム金属板無し、アルミ角ケース無しの k_{eff} を基準にして示した $-\Delta k$ である。Fig. 6 中の○印と△印の二つの曲線の差は主にトリウム金属板同士の干渉効果によるもので、トリウム金属板間隔が 1/2" の

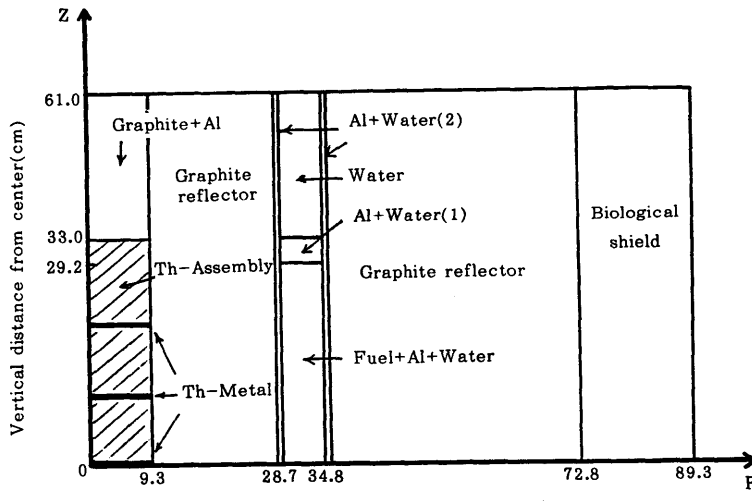


Fig. 4 Model for 2-D (R-Z) core calculation (Th-5 assembly)

Table 1 Reactivity differences between each thorium assembly and standard (no thorium) assembly

Th assembly	Th metal Plate interval	Reactivity differences ($-\Delta k \times 10^{-3}$)			C/E	
		Exp. value	Cal. value		2-Group	10-Group
			2-Group	10-Group		
Th-1	1/2"	7.24	7.15	7.07	0.987	0.976
Th-2	1"	7.48	7.47	7.43	0.999	0.993
Th-3	2"	7.67	7.68	7.65	1.001	0.997
Th-4	3"	7.54	7.48	—	0.992	—
Th-5	4"	7.23	7.34	7.23	1.015	1.000

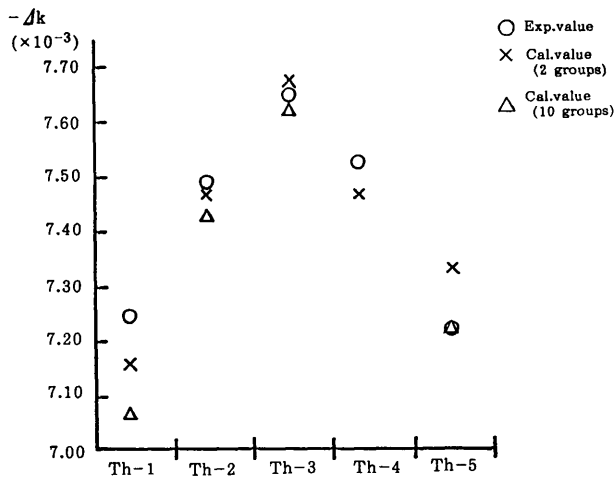


Fig. 5 Reactivity differences between each thorium assembly and standard (no thorium) assembly

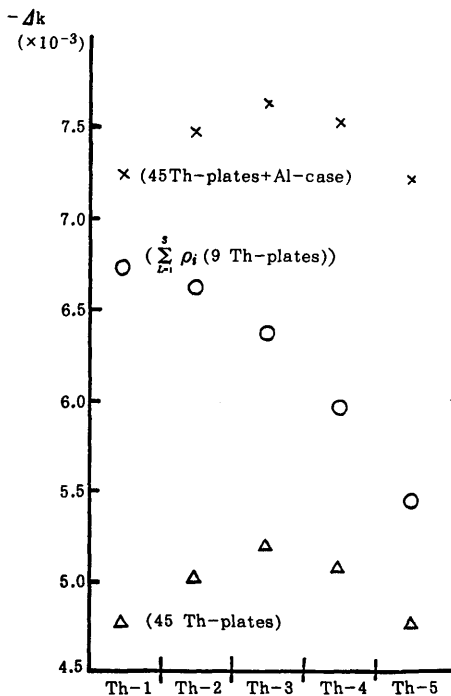


Fig. 6 Reactivity differences between each thorium assembly and standard (no thorium) assembly

時の差が最も大きく、またトリウム金属板間隔が 2" 以下で急速に干渉効果が大きくなることが判った。なお Fig. 6 中の△印と×印の差はアルミ角ケースによる反応度の差である。

(2) 各トリウム体系の中性子束分布

トリウム金属板を含まない黒鉛体系及び各トリウム体系(Th-3, Th-4, Th-5)の炉心垂直方向相対 Au 箔反応率分布の実験結果と計算結果を, Fig. 7~Fig.10 に示す。図中の○印は, 各体系中心において金箔を 1" 間隔に配置して照射した実験値であり, △印は, SRAC コード・システムを用いて計算した結果である。実験値と計算値を比較するため, 体系の上下方向の中心を規格点とした。なお, 実験値の誤差は, 計数誤差, 重量測定誤差等を含め最大± 2%程度である。いずれの体系においても実験値と計算値とはかなり良い一致を示した。

また, 金箔を 1" 間隔で同時照射した場合の金箔同士の干渉効果については, 黒鉛体系及び Th-5体系において実験値はほぼ

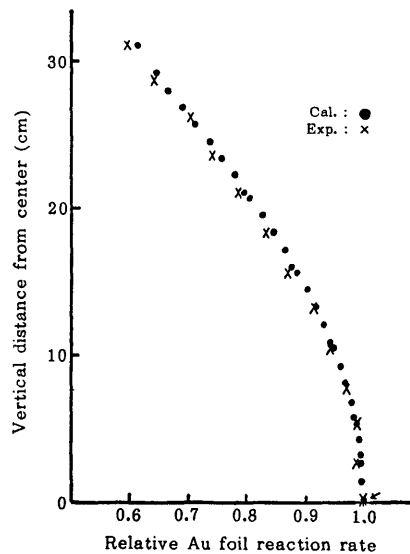


Fig. 7 Relative Au foil reaction rate distribution in graphite assembly (no thorium)

誤差範囲以内で一致し, 干渉効果はほとんど認められなかった。黒鉛体系において, 金箔をそれぞれ 1/2" 間隔同時照射, 1" 間隔同時照射及び 4" 間隔 4 分割同時照射, また Th-5 体系において, 金箔をそれぞれ 1" 間隔同時照射及び 4" 間隔 4 分割同時照射した場合の炉心垂直方向 Au 箔反応率分布を, Fig. 11 及び Fig. 12 に示す。

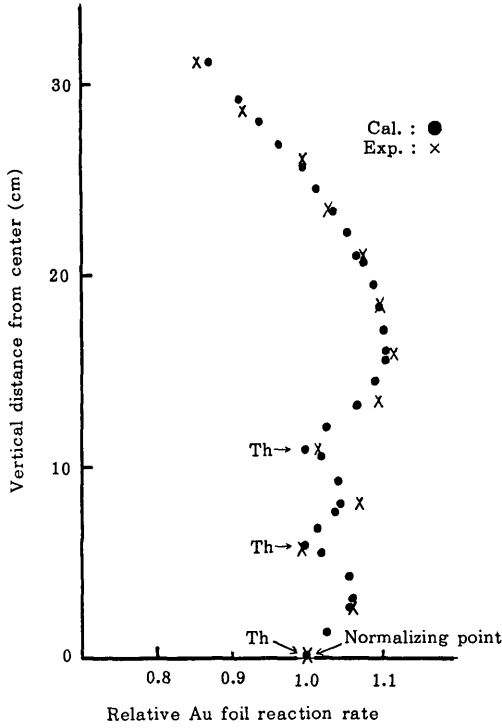


Fig. 8 Relative Au foil reaction rate distribution in Th-3 assembly (Th metal plate interval—2-in.)

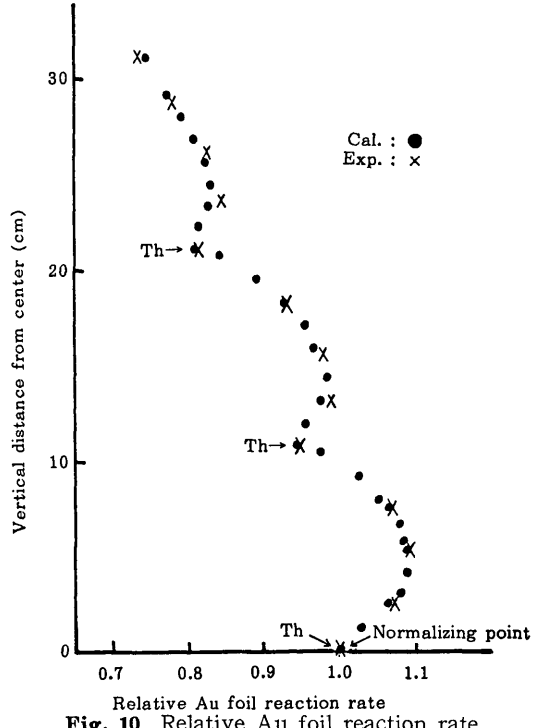


Fig. 10 Relative Au foil reaction rate distribution in Th-5 assembly (Th metal plate interval—4-in.)

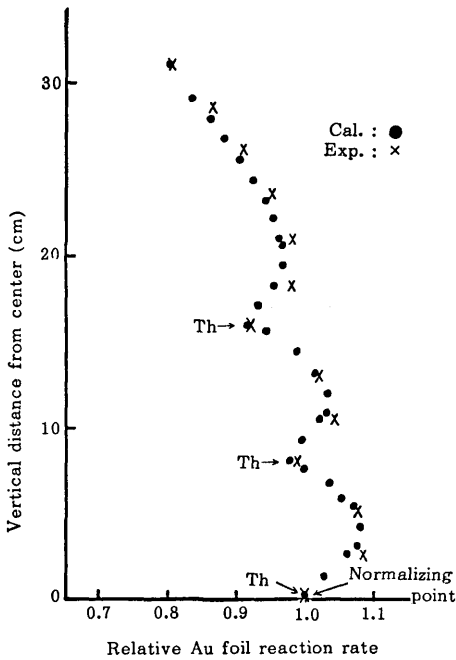


Fig. 9 Relative Au foil reaction rate distribution in Th-4 assembly (Th metal plate interval—3-in.)

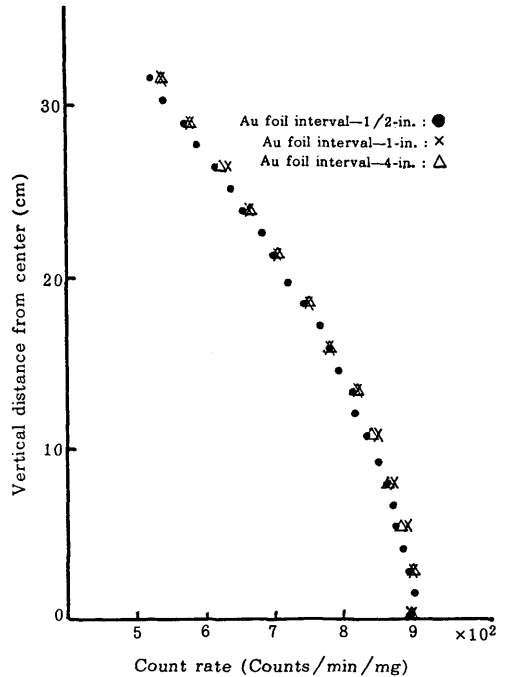


Fig. 11 Au foil reaction rate distribution in graphite assembly (no thorium, Au foil interval—1/2-in., 1-in. and 4-in.)

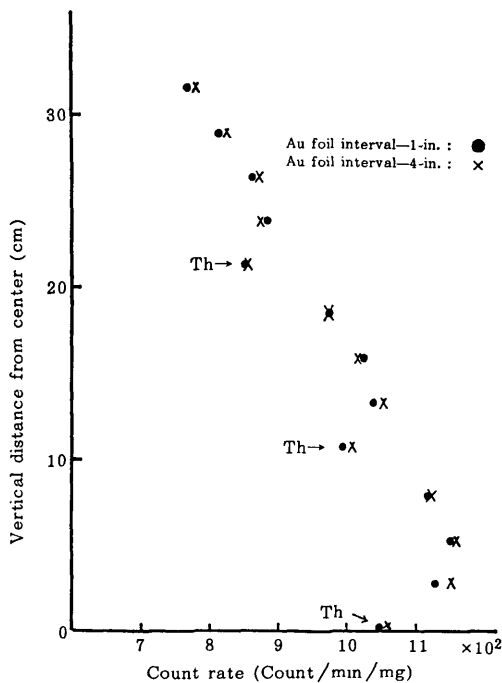


Fig. 12 Au foil reaction rate distribution in graphite assembly (Th-metal plate interval—4-in., Au foil interval—1-in., 4-in.)

5. 結 論

トリウムを含まない黒鉛体系及びトリウム体系の反応度効果及びその中性子束分布測定を通じて、一連の近畿大炉におけるトリウム体系の臨界実験の結果とSRACコード・システムを用いた解析計算結果とは、極めて良く一致しており、これらの積分実験の範囲で

は、使用したTh核データは実用的に問題がなく、また計算手法もこの種の体系に充分適用性を持つことを確認した。

本研究は、文部省科学研究費エネルギー特別研究「トリウム燃料に関する総合的研究」(代表者 柴田俊一京大教授)の一部として実施したものである。

参 考 文 献

- 1) R. Miki and T. Itoh: Experiment on a small thorium assembly in UTR-KINKI. "Research on Thorium Fuel" SPEY 9 (Jan. 1984)
- 2) K. Tsuchihashi et al.: SRAC: JAERI Thermal Reactor Standard Core System for Reactor Design and Analysis. JAERI 1285 (Jan. 1983)
- 3) K. Kanda et al.: CRITICAL EXPERIMENT WITH THORIUM USING KUCA. "THORIUM FUEL REACTORS", The Atomic Energy Society of Japan (Feb. 1985)
- 4) 伊藤哲夫, 三木良太他: 近畿大炉におけるトリウム体系の臨界実験(I), 日本原子力学会「昭和59年秋の分科会」要旨集, B65 (1984)
- 5) 三木良太, 伊藤哲夫: 近畿大炉におけるトリウム臨界実験と解析, 文部省科学研究費エネルギー特別研究「トリウム燃料に関する総合的研究」報告書, (1985)
- 6) 伊藤哲夫, 三木良太他: 近畿大炉におけるトリウム体系の臨界実験(II), 日本原子力学会「昭和60年秋の分科会」要旨集, B30 (1985)