

36本型プルトニウムクラスター格子の 格子パラメータの実験と解析

1982年6月

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

36本型プルトニウムクラスター格子の格子パラメータの実験と解析

福村 信男* 若林 利男* 戸村 和二*
 北山 一宏* 金内 信** 柴田 邦広**
 八谷 雄喜*

要 旨

36本型燃料クラスター格子の核特性把握及び核計算精度評価のため、DCA手持ちの「ふげん」28本型太径燃料棒からなる36本型クラスターを用いた臨界実験および解析を行った。

実験に用いた炉心は、炉心中央部9体に0.54w/o(s)PuO₂-UO₂ 36本型クラスターを、周囲のドライバー領域には1.2w/oUO₂ 28本型クラスター88体を装荷した25.0cmピッチの正方格子で、冷却材は軽水(0%ボイド)および空気(100%ボイド)である。

測定した炉物理量は、格子パラメータである²³⁸Uの共鳴捕獲比 ρ^{28} 、²³⁵Uの熱外核分裂比 δ^{25} 、²³⁹Puの熱外核分裂比 δ^{49} 、²³⁸Uの高速核分裂比 δ^{28} および²³⁹Puと²³⁵Uの核分裂比 δ_{25}^{49} である。これらの量は、プルトニウム箔、濃縮ウラン箔、天然ウラン箔または劣化ウラン箔の裸状とカドミカバー状の2種類を用いた箔放射化法により求めた。

解析は、「ふげん」炉心性能評価に用いている2次元衝突確率法に基づくWIMSコードにより行った。測定結果および解析結果を表に示す。表には燃料クラスターの平均値(cell)を示してある。

表 格子パラメータの結果

格子パラメータ (セル平均値) 実験および解析		ρ_{cell}^{28}	δ_{cell}^{25}	δ_{cell}^{49}	δ_{cell}^{28}	$\delta_{25, cell}^{49}$
0% ボイド	実験値	1.044 ± 0.063	0.097 ± 0.003	0.070 ± 0.003	0.129 ± 0.008	1.149 ± 0.057
	解析値	1.104	0.076	0.063	0.121	1.120
100% ボイド	実験値	1.577 ± 0.095	0.154 ± 0.005	0.105 ± 0.004	0.151 ± 0.009	1.210 ± 0.061
	解析値	1.396	0.119	0.094	0.151	1.137

* 大洗工学センター重水臨界実験室：八谷雄喜，福村信男，飯島一敬，清野英昭，樋口幸次郎，戸村和二，相原永史，小綿泰樹，若林利男，北山一宏，安保昌憲**，金内信**，柴田邦広**，竹村守雄***

** 現 三菱重工

*** 現 川崎重工

Jun. 1982

Measurements and Analyses of Lattice Parameters
in 36-rod PuO₂-UO₂ Fuel Clusters

Nobuo FUKUMURA*, Toshio WAKABAYASHI*,
Katsuji TOMURA*, Kazuhiro KITAYAMA*,
Makoto KANEUCHI**, Kunihiro SHIBATA**, and
Yuuki HACHIYA*

Abstract

Measurements and analyses of lattice parameters have been made by use of the 36-rod PuO₂-UO₂ fuel clusters (0.54 w/o PuO₂-UO₂) which are composed of the rods with the same diameters as the ones of Fugen type fuel rods.

The nine 36-rod fuel clusters were loaded in the central region of the DCA core with the square lattice of 25.0cm pitch and the surrounding region was occupied with eighty-eight 1.2w/o enriched UO₂ 28-rod fuel clusters. The experiments have been performed with (0% void) and without (100% void) H₂O coolant in the pressure tube.

The lattice parameters such as ²³⁸U resonance capture ratio (ρ^{28}), the epithermal fission ratio of ²³⁵U or ²³⁹Pu (δ^{25} or δ^{49}), the fast fission ratio of ²³⁸U (δ^{28}) and the fission ratio of ²³⁹Pu to ²³⁵U ($\delta^{49/25}$) were obtained by the foil activation method using foils of plutonium and enriched, natural and depleted uranium.

The analyses have been made by use of the sophisticated cell calculation code WIMS which is used for nuclear design of the commercial FUGEN.

The results are shown in the table. Here, indices "cell" represent cell averaged values. It is concluded from these results that the code WIMS underestimates the fission reaction rates of ²³⁸U, ²³⁵U and ²³⁹Pu, and capture reaction rates of ²³⁸U resonance.

* Heavy Water Critical Experiment Section, Oarai Engineering Center, PNC.

** Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

Table Results of Lattice Parameters

Lattice	Exp. or Cal.	Cell Averaged Values				
		ρ_{cell}^{28}	$\delta_{\text{cell}}^{25}$	$\delta_{\text{cell}}^{49}$	$\delta_{\text{cell}}^{28}$	$\delta_{25, \text{cell}}^{49}$
0 %	Experiment	1.044 ± 0.063	0.097 ± 0.003	0.070 ± 0.003	0.129 ± 0.008	1.149 ± 0.057
Void	Calculation	1.104	0.076	0.063	0.121	1.120
100 %	Experiment	1.577 ± 0.095	0.154 ± 0.005	0.105 ± 0.004	0.151 ± 0.009	1.210 ± 0.061
Void	Calculation	1.396	0.119	0.094	0.151	1.137

目 次

1. はじめに	1
2. 測定量および測定方法	2
2.1 測定量ならびに測定原理	2
2.2 測定方法	7
3. 実験体系	9
4. 結果および考察	10
4.1 実験結果	10
4.2 計算結果	11
4.3 結果の考察	12
5. 結 論	15
参考文献	16
付 録	34

1. はじめに

ATR実証炉では、燃料チャンネルあたりの熱出力向上を目指し、従来の「ふげん」型 28 本クラスター(28 本型)に対し、燃料棒を細くし、かつチャンネルあたりの燃料棒本数を 36 本に増加した燃料クラスター(36 本型)の設計となっている。燃料棒の細径化は同一格子ピッチ、同一圧力管径の場合減速材対燃料体積比の増大をもたらすため、即ちVolume Ratioの増大のため冷却材ボイド反応度を正側に移行させるおそれがある。同様にクラスター内燃料棒本数の多数本化は熱中性子遮蔽効果の増加をもたらし、局所出力ピーキング係数(LPF)の増大となる。従って 36 本型クラスター格子の反応度および LPF に直接関連づけられる基本的炉物理量である単位格子内格子パラメータの評価は、ATR実証炉の安全性および運転信頼性の観点から必要不可欠である。

DCAでは、36 本型クラスター格子の核特性の把握のため、手持ちの「ふげん」型 28 本クラスターの太径燃料棒からなる 36 本型クラスターを用いて臨界実験を行っている。ここではこの 36 本型クラスターを用いた単位格子実験の結果および 2 次元衝突確率法に基づく詳細格子計算コード WIMS の解析結果について報告する。

2. 測定量および測定方法

2.1 測定量ならびに測定原理

単位格子実験で求めた格子パラメーターの定義を次式に示す。

$$\rho^{28} \equiv \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta^{25} \equiv \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \dots\dots\dots (2)$$

$$\delta^{49} \equiv \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE \dots\dots\dots (3)$$

$$\delta^{28} \equiv \int_{E_T}^{\infty} N_f^{28} \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE / \int_0^{\infty} N_f^{25} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta_{25}^{49} \equiv \int_0^{\infty} N_f^{49} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE / \int_0^{\infty} N_f^{25} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

- E_{cd} : 実効カドミ切断エネルギー
- E_T : ^{238}U の核分裂しきい値エネルギー
- $\sigma_c^{28}(E)$: ^{238}U の捕獲断面積
- $\phi(E)$: 中性子束
- $\sigma_f^{28}(E), \sigma_f^{25}(E), \sigma_f^{49}(E)$: $^{235}\text{U}, ^{238}\text{U}$ または ^{239}Pu の核分裂断面積
- $N_f^{25}, N_f^{28}, N_f^{49}$: $^{235}\text{U}, ^{238}\text{U}$ または ^{239}Pu の燃料棒単位体積あたりの個数密度

を示す。

上式の定義から明らかなように ρ^{28} は燃料中の ^{238}U の共鳴捕獲率と熱中性子による捕獲率との比である共鳴捕獲比を、 δ^{25} は燃料中の ^{235}U の熱外核分裂率と熱中性子による核分裂率との比である ^{235}U の熱外核分裂比を、同様に δ^{49} は ^{239}Pu の熱外核分裂比を、 δ^{28} は燃料中の ^{238}U と ^{235}U との全核分裂比である ^{238}U の高速核分裂比を、 δ_{25}^{49} は燃料中における ^{239}Pu と ^{235}U の全核分裂率との比をそれぞれ示す。

格子パラメーターの測定には通常箔放射法が用いられる。これは対象とする核種の含有率が異なる放射化箔を用い、その比放射能より格子パラメーターを導出する方法である。

今、ウラン濃縮度の異なる2種類の箔のサフィックスをそれぞれd, e (dの方が濃縮度が低いものとする)プルトニウム箔のサフィックスをpとし、 ^{238}U の捕獲による比放射能を N_p ,核分裂によるFPの比放射能をF, 裸箔およびカドミカバー箔のサフィックスをそれぞれb, cとすると、測定される N_p およびFはそれぞれ次式で与えられる。

$$\begin{aligned} (N_p)_d^b &\equiv \epsilon_d N_d^{28} \int_0^{\infty} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE + \epsilon_d N_d^{25} \mu_{25}(t) \int_0^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE + \\ &\quad + \epsilon_d N_d^{28} \mu_{28}(t) \int_{E_T}^{\infty} \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE \\ &= \epsilon_d N_d^{28} \int_0^{\infty} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE + \epsilon_d \mu_{25}(t) \int_0^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \cdot \\ &\quad \cdot \left\{ N_d^{25} + N_d^{28} \frac{\mu_{28}(t) \int_{E_T}^{\infty} \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE}{\mu_{25}(t) \int_0^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} \right\} \end{aligned}$$

$$= \epsilon_d N_d^{28} \int_0^\infty \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE + \epsilon_d \mu_{25}(t) \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \cdot \left\{ N_d^{25} + N_d^{28} \cdot \frac{1}{P_{28}(t)} \cdot \frac{N_f^{25}}{N_f^{28}} \cdot \delta^{28} \right\} \dots\dots(6)$$

$$[N_p]_d \equiv \epsilon_d N_d^{28} \int_{E_{cd}}^\infty \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE + \epsilon_d \mu_{25}(t) \int_{E_{cd}}^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \cdot \left\{ N_d^{25} + N_d^{28} \cdot \frac{1}{P_{28}(t)} \cdot \frac{N_f^{25}}{N_f^{28}} \cdot \delta^{28} \cdot \left(\frac{1}{\delta^{25}} + 1 \right) \right\} \dots\dots(7)$$

$$[F]_e^b \equiv \epsilon_e \mu_{28}(t) N_e^{28} \int_{E_T}^\infty \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE + \epsilon_e \mu_{25}(t) N_e^{25} \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE$$

$$= \epsilon_e \mu_{25}(t) N_e^{25} \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \left\{ 1 + \frac{N_e^{28}}{N_e^{25}} \cdot \frac{\mu_{28}(t)}{\mu_{25}(t)} \cdot \frac{\int_{E_T}^\infty \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} \right\}$$

$$= \epsilon_e \mu_{25}(t) N_e^{25} \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \left\{ 1 + \frac{N_e^{28}}{N_e^{25}} \cdot \frac{1}{P_{28}(t)} \cdot \frac{N_f^{25}}{N_f^{28}} \cdot \delta^{28} \right\} \dots\dots(8)$$

$$\approx \epsilon_e \mu_{25}(t) N_e^{25} \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \dots\dots(9)$$

$$[F]_e^c \equiv \epsilon_e \mu_{25}(t) N_e^{25} \int_{E_{cd}}^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \left\{ 1 + \frac{N_e^{28}}{N_e^{25}} \cdot \frac{1}{P_{28}(t)} \cdot \frac{N_f^{25}}{N_f^{28}} \cdot \delta^{28} \cdot \left(\frac{1}{\delta^{25}} + 1 \right) \right\} \dots\dots(10)$$

$$\approx \epsilon_e \mu_{25}(t) N_e^{25} \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \dots\dots(11)$$

$$[F]_p^b \equiv \epsilon_p \mu_{49}(t) N_p^{49} \int_0^\infty \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE \cdot \left\{ 1 + \frac{\mu_{40}(t)}{\mu_{49}(t)} \cdot \frac{N_p^{40}}{N_p^{49}} \cdot \frac{\int_0^\infty \sigma_f^{40}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE} + \frac{\mu_{41}(t)}{\mu_{49}(t)} \cdot \frac{N_p^{41}}{N_p^{49}} \cdot \frac{\int_0^\infty \sigma_f^{41}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE} \right\} \dots\dots(12)$$

$$\approx \epsilon_p \mu_{49}(t) N_p^{49} \int_0^\infty \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE \dots\dots(13)$$

但し、

$$P_{28}(t) \equiv \frac{\mu_{25}(t)}{\mu_{28}(t)} \dots\dots(14)$$

ここで、Nは各箔に含まれる各核種の個数密度、εは各箔の捕獲および核分裂によるガンマ線検出効率、μ(t)は各核種の核分裂あたりのガンマ線強度を示す。

今回対象としている実験の範囲内では、 $\frac{N_f^{25}}{N_f^{28}} \sim \frac{1}{140}$ 、 $P_{28}(t) \sim 1$ 、 $\delta^{28} \sim 0.2$ 、 $\delta^{25} \sim 0.2$ 、

$$\frac{N_e^{28}}{N_e^{26}} \sim 0.1, \quad \frac{N_p^{40}}{N_p^{49}} \sim 0.06, \quad \frac{N_p^{41}}{N_p^{49}} \sim 0.003,$$

$$\int_0^\infty \sigma f^0(E) \cdot \phi(E) dE / \int_0^\infty \sigma f^9(E) \cdot \phi(E) dE \sim 10^{-3}$$

$\int_0^\infty \sigma f^1(E) \cdot \phi(E) dE / \int_0^\infty \sigma f^9(E) \cdot \phi(E) dE \sim 1$ となり、(8)式、(10)式、(12)式の { } 内第2項以降は1より十分小さいので無視でき、それぞれ(9)式、(11)式、(13)式のような近似が成り立つ。

(6)式と(7)式の両式から明らかなように²³⁸Uの捕獲ガンマ線を測定する場合、第2項以降はFPによるガンマ線の影響の補正係数となる。この補正係数は、(6)式、(7)式から明らかなように $\frac{N_d^{25}}{N_d^{28}}$ の異なる種類の箔のガンマ線を測定することにより得られる。

即ち、濃縮度の異なるガンマ線の比放射能を $[N_p]_d^b$ および $[N_p]_e^b$ とすると(6)式から、次式が得られる(裸箔の場合)。

$$\begin{aligned} \frac{[N_p]_d^b}{\epsilon_d N_d^{28}} &= \int_0^\infty \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE + \mu_{25}(t) \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \cdot \left(\frac{N_d^{25}}{N_d^{28}} + C \right) \\ &= A + B \cdot C' \end{aligned} \quad \dots\dots (15)$$

$$= A \left(1 + \frac{B}{A} \cdot C' \right) \quad \dots\dots (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{[N_p]_e^b}{\epsilon_d N_e^{28}} &= \int_0^\infty \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE + \mu_{25}(t) \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \cdot \left(\frac{N_e^{25}}{N_e^{28}} + C \right) \\ &= A + B \cdot C'' \end{aligned} \quad \dots\dots (17)$$

$$= A \left(1 + \frac{B}{A} \cdot C'' \right) \quad \dots\dots (18)$$

但し、

$$A \equiv \int_0^\infty \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE \quad \dots\dots (19)$$

$$B \equiv \mu_{25}(t) \int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \quad \dots\dots (20)$$

$$C \equiv \frac{N_f^{25}}{N_f^{28}} \cdot \delta^{28} \cdot \frac{1}{P_{28}(t)} \quad \dots\dots (21)$$

$$C' \equiv \frac{N_d^{25}}{N_d^{28}} + C \quad \dots\dots (22)$$

$$C'' \equiv \frac{N_e^{25}}{N_e^{28}} + C \quad \dots\dots (23)$$

(16)、(18)式から両者の比を求めると、

$$\frac{B}{A} = \frac{1 - [N_p]_d^b / [N_p]_e^b}{\{ [N_p]_d^b / [N_p]_e^b \} \cdot C'' - C'} \quad \dots\dots (24)$$

となる。

(19)式から $\frac{B}{A}$ が補正量となり、この補正量を用いることにより ^{238}U の捕獲量が求められる。今回の実験条件では、この補正量はカドミ比で約 0.4% となり無視できる量である。⁽¹¹⁾

従って(1)式から、

$$\rho^{28} = \frac{\int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE}{\int_0^{E_{cd}} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE} = \frac{1}{\frac{\int_0^{\infty} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE}{\int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE} - 1} \dots\dots (25)$$

$$= \left[\frac{[N_p]_d^b}{[N_p]_d^a} - 1 \right]^{-1}$$

となる。(25)式から ρ^{28} は劣化ウラン箔の捕獲ガンマ線のカドミ比を測定することにより求まることがわかる。

同様にして(9)、(11)式および(13)式から δ^{25} 、 δ^{49} は次式のようにして求められる。

$$\delta^{25} \equiv \frac{\int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE}{\int_0^{E_{cd}} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} = \frac{1}{\frac{\int_0^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE}{\int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} - 1} = \left[\frac{[F]_e^b}{[F]_e^a} - 1 \right]^{-1} \dots\dots (26)$$

$$\delta^{49} \equiv \frac{\int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE}{\int_0^{E_{cd}} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE} = \left[\frac{[F]_p^b}{[F]_p^a} - 1 \right]^{-1} \dots\dots (27)$$

即ち(26)式から δ^{25} は濃縮ウラン箔のFPガンマ線のカドミ比から求まることがわかる。

故に、高濃縮プルトニウム箔を用いて、FPガンマ線強度のカドミ比を求めることにより δ^{49} が求まる。

次に(8)式から、 $r(t) \equiv \frac{[F]_d^b}{[F]_e^a}$ とすると、(4)式を用い δ^{28} は次式で与えられる。

$$\delta^{28} \equiv \frac{N_i^{28}}{N_i^{25}} \cdot \frac{\int_{E_T}^{\infty} \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE}{\int_0^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} = \frac{N_i^{28}}{N_i^{25}} \cdot P_{28}(t) \cdot \frac{\left[\frac{N_e^{25}}{N_d^{28}} \cdot r(t) - \frac{N_d^{25}}{N_d^{28}} \right]}{\left[1 - \frac{N_e^{28}}{N_d^{28}} \cdot r(t) \right]} \dots\dots (28)$$

従って、濃縮度が異なる2種類の箔の核分裂によって生成されるFPの比放射能により(28)式から δ^{28} が求まる。

最後に(8)式と(12)式から(5)式で定義された δ_{28}^{49} を導出する。

(8)式と(12)式は(9)式と(13)式のように近似できるので、既に論じたようにこれらの比は、次式で与えられる。

$$\frac{[F]_p^b}{[F]_e^a} = \frac{\mu^{49}(t) N_p^{49} \int_0^{\infty} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE}{\mu^{25}(t) N_e^{25} \int_0^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} = \frac{1}{P_{49}(t)} \cdot \frac{N_p^{49} \int_0^{\infty} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE}{N_e^{25} \int_0^{\infty} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} \dots\dots (29)$$

但し、

$$P_{49}(t) \equiv \frac{\mu^{25}(t)}{\mu^{49}(t)} \quad \dots\dots (30)$$

従って(5)式と(29)式から δ_{25}^{49} は次式で与えられる。

$$\delta_{25}^{49} \equiv \frac{N_p^{49}}{N_p^{25}} \cdot \frac{\int_0^\infty \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE} = \frac{N_p^{49}}{N_p^{25}} \cdot P_{49}(t) \cdot \frac{[F]_p^b}{[F]_e^b} \cdot \frac{N_e^{25}}{N_p^{49}} \quad \dots\dots (31)$$

一方、 $P_{28}(t)$ 、 $P_{49}(t)$ は(8)式および(12)式と同様にして $\mu(t)$ に相当するFP生成率が既知である¹⁴⁰LaのFP r 線を測定することにより求められる $[F]_{d,e}^b$ 、 $[F]_{e,e}^b$ および $[F]_{p,e}^b$ を用いて、 δ^{28} および δ_{25}^{49} と(28)式および(31)式の δ^{28} および δ_{25}^{49} が等しいとおくことにより求まる。即ち次式のようなになる。

$$P_{28}(t) \equiv \frac{\mu_{25}(t)}{\mu_{28}(t)} = \frac{\beta^{25}}{\beta^{28}} \cdot \frac{[F]_{d,1}^b - \frac{N_d^{25}}{N_e^{25}}}{[F]_{e,1}^b - \frac{N_d^{25}}{N_e^{25}}} \cdot \frac{r(t) - \frac{N_d^{28}}{N_e^{28}}}{\frac{N_d^{25}}{N_e^{25}} - r(t)} \quad \dots\dots (32)$$

$$P_{49}(t) \equiv \frac{\mu_{25}(t)}{\mu_{49}(t)} = \frac{[F]_e^b}{[F]_p^b} \cdot \frac{[F]_{d,1}^b}{[F]_{e,1}^b} \cdot \frac{\beta^{25}}{\beta^{49}} \cdot \frac{1 + \frac{\beta^{28}}{\beta^{25}} \cdot \frac{\int_{ET}^\infty N_e^{28} \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty N_e^{25} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE}}{1 + \frac{\beta^{41}}{\beta^{49}} \cdot \frac{\int_0^\infty N_p^{41} \sigma_f^{41}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty N_p^{49} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE}} \cdot \frac{1 + \frac{\mu_{41}(t)}{\mu_{49}(t)} \cdot \frac{\int_0^\infty N_p^{41} \sigma_f^{41}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty N_p^{49} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE} + \frac{\mu_{40}(t)}{\mu_{49}(t)} \cdot \frac{\int_0^\infty N_p^{40} \sigma_f^{40}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty N_p^{49} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE}}{1 + P_{28}(t) \cdot \frac{\int_{ET}^\infty N_e^{28}(E) \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE}{\int_0^\infty N_e^{25}(E) \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE}} \approx \frac{\beta^{25}}{\beta^{49}} \cdot \frac{[F]_e^b}{[F]_p^b} \cdot \frac{[F]_{p,1}^b}{[F]_{e,1}^b} \quad \dots\dots (33)$$

ここで β は各核種の核分裂あたりの¹⁴⁰La生成率である。⁽²⁾

なお格子平均値は次式のようにして求められる。

$$\rho_{Cell}^{28} \equiv \frac{\sum_i V_i \{ \int_{E_{cd}}^\infty \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE \}_i}{\sum_i V_i \{ \int_0^{E_{cd}} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE \}_i} \quad \dots\dots (34)$$

$$\delta_{Cell}^{25} \equiv \frac{\sum_i V_i \{ \int_{E_{cd}}^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \}_i}{\sum_i V_i \{ \int_{E_{cd}}^\infty \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE \}_i} \quad \dots\dots (35)$$

$$\delta_{\text{Cell}}^{49} \equiv \frac{S_{\text{um}} V_i \left\{ \int_{E_{\text{cd}}}^{\infty} \sigma_i^{49}(E) \phi(E) dE \right\}_i}{S_{\text{um}} V_i \left\{ \int_{E_{\text{cd}}}^{\infty} \sigma_i^{49}(E) \phi(E) dE \right\}_i} \dots\dots (36)$$

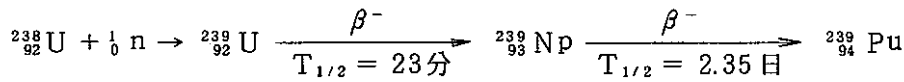
$$\delta_{\text{Cell}}^{28} \equiv \frac{S_{\text{um}} V_i \left\{ \int_{E_{\text{T}}}^{\infty} N_i^{28} \sigma_i^{28}(E) \phi(E) dE \right\}_i}{S_{\text{um}} V_i \left\{ \int_0^{\infty} N_i^{25} \sigma_i^{25}(E) \phi(E) dE \right\}_i} \dots\dots (37)$$

$$(\delta_{\frac{49}{25}})_{\text{cell}} \equiv \frac{S_{\text{um}} V_i \left\{ \int_0^{\infty} N_i^{49} \sigma_i^{49}(E) \phi(E) dE \right\}_i}{S_{\text{um}} V_i \left\{ \int_0^{\infty} N_i^{25} \sigma_i^{25}(E) \phi(E) dE \right\}_i} \dots\dots (38)$$

但し、 S_{um} は 36 本燃料クラスター同心円各リングの燃料棒体積を示し、 $V_1 = 6$ 、 $V_2 = 12$ 、 $V_3 = 18$ である。

2.2 測定方法

2.1 節で既述したように ρ^{28} は劣化ウラン箔の捕獲ガンマ線を測定することにより求まる。即ち劣化ウラン箔中の ^{238}U は中性子を捕獲して次のように崩壊する。



ここで、 $T_{1/2}$ は半減期を示す。

従って ^{239}Np から ^{239}Pu への崩壊の際にできる 103 KeV、106 KeV の X 線、 γ 線に着目してこれを Ge 半導体検出器でもって計測した。

測定系を第 1 図に示す。測定は Ge - NaI の同時計数により行った。

^{239}Np のエネルギー巾の設定は ^{57}Co の 122 KeV、 ^{22}Na の 511 KeV の γ 線ピークにより校正された直線より 75 KeV から 130 KeV とした。

この Ge 検出器は ORTEC 社製の Hyperpure Germanium LEPS (Low Energy Photon Spectrometer) で、Li drift ではない。従って、液体窒素による冷却は使用 6 時間前に行えばよく使用時以外は冷却の必要はない。またこの Ge 検出器は低エネルギー用、高分解能用に製作されたもので、結晶の直径は 25 mm、厚みは 10 mm を有している。検出器の特性として ^{57}Co の 122 KeV のピーク半値巾分解能は 615 eV 以下、 ^{55}Fe の 5.9 KeV のピーク (Mn K α 線) 半値巾分解能は 360 eV 以下であり、検出器中心部での効率 ^{57}Co 122 KeV で 13%、中心部より外側に 8 mm の点で 10% という効率の一様性を有している (付録 1 参照)

FP ガンマ線の測定は第 2 図に示す測定系により測定した。

各核種の核分裂反応率は高濃縮ウランまたは高富化プルトニウムとアルミニウム合金箔および天然ウラン箔または劣化ウラン箔を用いて、照射後の FP のガンマ線を測定することにより求められた。プルトニウム燃料格子で用いられた箔の配置図を第 3 図に示す。図に示されているようにプル

プルトニウム燃料棒では、箔は0.02 mm厚のアルミニウム箔でカセット状に包まれ、 $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ の粉末もしくは密着しているペレットから核分裂破片による汚染を防いだ。カセットに用いられたアルミニウム箔は、最大エネルギーを持つ核分裂破片を十分に止めることができる厚さを有している。照射後燃料棒から取り出されたプルトニウム箔のみは新たなカセットに包みなおした後、放射能の測定が行われた。

ウラン箔およびプルトニウム箔のいずれについても照射後1000分から1400分(約1日後)の間に、 ^{238}U の捕獲による影響をさけるため、 ^{239}Np の最大 β 線エネルギーに起因する制動放射X線である0.72 MeV以上の全FP γ 線を数回測定した。

照射後1週間位から1.6 MeVのガンマ線のホトピークをとらえることにより、 ^{140}La の測定を行った。ガンマ線のエネルギー巾は1.5 MeVから0.3 MeVである。この ^{140}La は ^{140}Ba の娘核種で半減期は40時間であるが、照射後1週間位から ^{140}Ba と放射平衡に達し、 ^{140}Ba の半減期12.8日で崩壊していく。

2" ϕ \times 2"厚のNaIシンチレーション検出器を用いて ^{140}La の測定を行った。各箔の比放射能はバックグラウンド、不感時間、重量を補正することにより求められた。カドミ比を求める場合さらに軸方向の中性子束強度差とカドミによる中性子束の歪みを補正した。

測定に用いた各箔の仕様を第1表に示す。付録(2)に各箔の分析結果を示す。

3. 実 験 体 系

実験は重水臨界実験装置(DCA)を用いて行った。炉心タンクはアルミニウム製で、高さ3,500mm、直径3,005mm、壁厚10mmの円筒である。

燃料中心間距離(格子ピッチ)は250mmで、炉心中央部9体に5Sプルトニウム36本型クラスターを、その周囲に1.2 w/o 濃縮ウラン28本型クラスター88体を装荷した炉心配置となっている。さらに中心1体の36本型クラスターに照射箔を挿入してある。第4図に炉心配置図を、第5図に36本型クラスター断面図を、第6図に28本型クラスター断面図を示す。

減速材である重水の純度は99.4mol%で、冷却材は軽水(0%ボイド)または空気(100%ボイド)を用いた。

今回の実験に用いた格子の寸法、組成を第2表から第6表に示す。

4. 結果および考察

4.1 実験結果

格子パラメータの実験結果を第7表に示す。結果を図示したものを第7図から第12図に示す。表示された実験誤差は次のように評価した。

(1) ρ^{28}

統計誤差として、検出箔の純度のばらつき、燃料被覆管の曲り、ペレットの平面度、計測系の変動等が考えられるが、これらはくりかえし実験の再現性および測定回数に現われる。

今回は第3リングでの対称な2点の測定値および測定回数による測定値のばらつきから統計的誤差として $\pm 5.6\%$ を採用した。

系統誤差としてカドミ比を求めていることを考慮すると、次の項目が考えられる。

イ) 高さ方向の位置の差による補正

裸箔とカドミカバー箔は20 cm離し同時照射しているため位置の違いによる中性子束強度の差を補正した。

高さ方向の熱中性子束分布は銅放射能の分布より求めた。この補正による誤差は1%以下なので無視した。

ロ) FP γ 線の捕獲 γ 線への影響

2.1節で記述したように、今回対象にした実験では、FP γ 線の捕獲 γ 線への影響は十分小さく無視した。

FP γ 線の影響は、別途補正実験として劣化ウラン箔の劣化度と補正係数の関数として求めた。⁽¹⁾ この結果によると照射後約3日頃から測定を行うとFP γ 線の影響は最小となり補正量として約0.4%となる。今回の測定もこれに順じ、1%以下なので無視した。

ハ) 箔の厚み効果の影響

箔の厚みは、自己遮蔽効果および中性子束歪み等の効果をおよぼす。この影響も別途補正実験で得られている。⁽¹⁾ この結果によると箔による γ 線自己吸収のみを考慮すればよく、今回用いた箔の範囲内では、カドミ比を求めているため無視できる。

ニ) 裸箔とカドミカバー箔の検出効率の差の補正

検出器の径方向の検出効率は、中心から外側にむかって小さくなる。また、裸箔やカドミカバー箔は²³⁸Uが大きい共鳴吸収をもっているので比放射能は箔内中心に比べて外側にむかって大きくなる。裸箔およびカドミカバー箔によってもこの差があるため、検出効率の補正実験として別途求められている。⁽¹⁾ これは照射箔を硝酸(HNO₃)に溶解させた場合と非溶解の場合との ρ^{28} の差から補正因子を求めている。しかし今回の実験では、補正実験はわずか1回きりの実験であることおよび検出器の効率変化は前回の検出器のそれよりも良好なため誤差に含め、誤差として $\pm 1.5\%$ と評価した。

ホ) カドミ・カバーの影響

カドミは燃料ペレットに比べて熱外中性子に対する吸収断面積が小さいため、燃料ペレット間に挿入されたカドミ層を通して燃料ペレット外から熱外中性子束の流れ込みが生じるため、2 mm厚の燃料ペレット(ディスクペレット)をカドミ層内に挿入して実験を行った。このディスクペレットおよびカドミ・カバーの影響については別途補正実験で求められている。⁽¹⁾しかし補正量としては実験誤差内で一致しているため、カドミ・カバーを用いた総合的な補正実験の誤差を用い2%の誤差として評価した。但し、カドミによる熱中性子束の歪みは5%とした。

以上述べた系統誤差を総合して2.5%、統計誤差5.6%を考慮して総合誤差は±6%と評価した。

(2) δ^{25}

核分裂によるガンマ線の測定は、2.2節で述べたように捕獲によるガンマ線の影響を除外し、かつ高 γ エネルギーの範囲で測定しているため、(1)で述べた系統誤差としてはカドミ・カバーによる効果の誤差のみを考慮した。これは別途補正実験により求められ⁽²⁾カドミ比の補正量として $(1.13)^{-1}$ 、誤差として2.1%が得られている。統計誤差として対称な2点のばらつきおよび測定回数のばらつきから2.1%と評価した。従って総合誤差として±3%と評価した。

(3) δ^{49}

δ^{25} と同様にして系統誤差として2.1%、統計誤差として3.1%、総合誤差として±4%と評価した。

(4) δ_{25}^{49}

$P_{49}(t)$ は ^{140}La から求めている。従って ^{140}La の生成量に起因する $P_{49}(t)$ の誤差2.4%、燃料の個数密度比からくる誤差1.0%、対称な2点のばらつきおよび測定回数のばらつきからの誤差4.2%、総合誤差として±5%と評価した。

(5) δ^{28}

(4)と同様に $P_{25}(t)$ は ^{140}La から求めている。従ってこれによる誤差2.8%、燃料の個数密度比からくる誤差1.0%およびばらつきからくる誤差5.2%、総合誤差として±6%と評価した。

4.2 計算結果

計算結果を実験結果と対比させ、まとめて第7表および第7図から第12図に示した。今回の解析に用いたコードは2次元衝突確率法に基づく格子計算コードWIMSである。

このコードは英国のAskew⁽³⁾等により開発されたもので、熱領域42群、共鳴領域13群、高速領域14群の計69群の断面積ライブラリーセットが準備されている。

今回解析に用いた入力条件として、エネルギー群数18(熱群7)、空間メッシュ数36、また水素の散乱カーネルモデルはNelkinモデルを、重水素の散乱カーネルモデルはHoneckモデルを用いた。温度条件は22°Cとした。これらの入力条件の1例を付録(3)に示した。

反応率のカドミ比から導出される ρ^{28} , δ^{25} および δ^{49} の値の実験値と計算値とを比較するためには、各体系の測定条件の下でのカドミ切断エネルギー E_{cd} を正確に推定し、この切断エネルギーに対応した計算を行う必要がある。特にプルトニウム体系では 0.3 eV 近傍および 1 eV 近傍で中性子スペクトルの大きな歪みが生じているため、マックスウェル分布からのずれが生じ、カドミ切断エネルギーの推定を困難にしている。ここでは、カドミ切断エネルギーを正確に推定するため、⁽⁴⁾ プルトニウム炉心でも比較的良好に DCA 実験を再現している WIMS コードおよび熱領域 (1.97 eV 以下) 50 群の LAMP-DCA コード⁽⁵⁾ の両者を用いた。また断面積はコードに内蔵されているライブラリーを導入した。

両者の熱中性子スペクトルを用いて求めたカドミ切断エネルギーの差異は殆んどない (0.02 eV 以下) ことがわかったので、今回は WIMS コードのスペクトルで求めたものを採用した。結果は第 7 表に示されている。第 7 表からあきらかなようにカドミ切断エネルギーは δ^{49} , δ^{25} , ρ^{28} の順に高くなっている。これは各核種毎の断面積の違いによるものである。即ちプルトニウム-239 箔を用いて求めた δ^{49} のカドミ切断エネルギーは 0.3 eV 近傍の大きな共鳴吸収のためかなり低くなっている。またほぼ 1/V 型断面積を示している ²³⁵U の場合でも 0.3 eV 近傍に小さな共鳴吸収があるため完全な 1/V 型断面積を有する ²³⁸U のカドミ切断エネルギーよりも小さく、プルトニウム検出器の場合よりは大きくなっている。カドミ切断エネルギーの変化が各格子パラメーターにおよぼす効果も第 7 表に示してある。この場合カドミ切断エネルギーを 0.5 eV に設定した。表から明らかのように ρ^{28} , δ^{25} , δ^{49} の順にカドミ切断エネルギーの移動の効果が大きいことがわかる。また燃料クラスター内での燃料棒位置およびボイド率によってもカドミ切断エネルギーは若干かわるが今回はその差異は無視した。

従って今回の実験で得られたカドミ切断エネルギーは ρ^{28} は 0.7 eV, δ^{25} は 0.625 eV, δ^{49} は 0.5 eV とした。

4.3 結果の考察

第 7 表および第 7 図から第 12 図までに示した実験および計算の結果について考察する。

ρ^{28} の燃料クラスター内分布の傾向については 0% ボイド格子では、実験と計算とは比較的よく一致しているが、100% ボイド格子では、ずれが大きい (第 7 図参照)。

一方、格子平均の値でみると 0% ボイドでは実験値と計算値とは実験誤差内で一致している。しかし 100% ボイドの場合ずれとして約 12% 計算値は実験値を過小評価している。

これは第 7 図から明らかのように 100% ボイドの場合内層、中間層の計算は、0% ボイドの場合の計算値と殆んど変わらず、実験値とのずれが 20% 程度に達しているためである。この原因としては次のように考えられる。

本実験に用いた 36 本クラスターの中央部冷却材領域は直径 18 mm となり、28 本クラスターの直径 7 mm に比べかなり大きく、体積で約 6.6 倍もの差がある。このため冷却材の中央部領域の効果が

クラスタ内中性子束分布に微妙な影響を与えている。⁽⁶⁾ また 36 本燃料棒配列は 28 本燃料棒配列に比べかなり稠密になっている (V_c/V_f で約 8 % の差がある)。このような複雑な構造に対して従来用いられている WIMS コードでの ^{238}U の共鳴吸収の近似手法は妥当でないことを示している。即ち、WIMS コードの共鳴吸収計算では、クラスタ型燃料に対して、軽水炉の無限格子系の平均燃料ピンの集合として取り扱っているため、特に共鳴吸収効果の大きい 100 % ボイド格子では、自己遮蔽効果を過小評価する傾向となり、100 % ボイド格子の計算値の ρ^{28} は過小評価となっている。これを改善するため今回採用した近似手法的なやり方ではなく、正確な手法により共鳴吸収計算を行った結果と実験結果との比較を第 8 図に示す (WIMS のオプションによる手法)。同図から明らかなように 100 % ボイド格子の計算値は大幅に改善され、格子平均でのずれは 10 % 以下となった。また 0 % ボイド格子の結果も改善され、ずれとして 4 % 以下となり、さらに実験値に近づくことがわかる。

δ^{25} のクラスタ内分布の傾向は計算の方が実験に比べ平坦な分布を示し、値としては 0 % ボイド格子、100 % ボイド格子ともに計算値は実験値を過小評価している。その度合は 0 % ボイド格子、100 % ボイド格子ともほぼ同じ程度で約 20 % となる。このずれは、28 本クラスタ型プルトニウム燃料格子と同じである。⁽⁷⁾ δ^{25} は熱外中性子束と熱中性子束との比に比例する量であるため計算値の δ^{25} の過小評価は熱中性子のクラスタ内遮蔽効果の過小評価を意味し、熱中性子量を過大評価していることになる。即ち実験値は燃料クラスタ内中心にむかって熱中性子が大きく遮蔽され、 δ^{25} は大きく増加しているが計算値は実験値に比べ平坦となっている。このことは今回用いた解析コードは、 ^{235}U の熱中性子吸収断面積を過小評価していることに相当し、熱中性子遮蔽効果を過小評価することを意味している (第 9 図参照)。

δ^{49} についても δ^{25} とほぼ同じ傾向を示している。即ち δ^{49} のクラスタ内分布に関して計算値は実験値より平坦な分布を示し、値として計算値は約 10 % 実験値を過小評価している (第 10 図参照)。 δ^{49} はプルトニウムの 0.3 eV 近傍の共鳴吸収を含んだ熱中性子束と熱外中性子束との比に比例する量であるため、計算値の δ^{49} の過小評価は熱中性子遮蔽効果の過小評価を意味している。即ち、解析コードは、プルトニウムの 0.3 eV 近傍の共鳴吸収を過小評価しているため熱中性子遮蔽効果を過小評価していることを意味している。

^{238}U の高速核分裂量の指標である δ^{28} については第 11 図からも明らかなように 0 % ボイド格子、100 % ボイド格子いずれにおいても計算値と実験値のクラスタ内分布および値は実験誤差内で一致している。計算値と実験値のずれが小さいことは、既述したように解析コードは ^{235}U の熱中性子吸収断面積を過小評価しているため、 ^{238}U の高速領域の核分裂断面積を過小評価していることを意味し、両者の比である δ^{28} は一致する傾向であることを意味している。即ち、本実験解析に用いた格子計算コードは ^{235}U および ^{238}U の核断面積を過小評価している。

最後に第 12 図を用いて $\delta_{\text{格}}^{28}$ の結果について考察する。図から明らかなように格子平均でみると計算値は実験値を過小評価しているがその度合は 6 % 程度で、 δ^{28} とほぼ同程度で実験誤差内である。

0%ボイド格子と100%ボイド格子とを比べれば後者の方が過小評価の度合いが大きくなっている。これはクラスタ内分布からも明らかなように100%ボイド格子内層の $\delta_{239}^{0.3}$ のずれが大きくなっているためである。

$\delta_{239}^{0.3}$ は ^{239}Pu の0.3 eV共鳴吸収近傍の中性子スペクトルの指標であることから $\delta_{239}^{0.3}$ の過小評価はこの共鳴吸収の過小評価に結びつけられ、 δ^{49} の傾向と対応している。

次にクラスタ内分布を詳細に考察する。100%ボイド格子では外層で大きな表面吸収をうけた0.3 eV近傍の中性子は殆んど中間層へは浸透しないため中間層の $\delta_{239}^{0.3}$ の実験値は外層に比べ非常に小さくなっている。

しかし、更に内側の最内層では逆に大きくなっている。これは外層で0.3 eVの表面吸収効果は飽和してしまい、中間層から最内層にむかって熱中性子のスペクトル硬化のため(熱中性子束の減少のため)逆に0.3 eV近傍の中性子数が増加し、 $\delta_{239}^{0.3}$ の値が大きくなっている。⁷⁾

一方、計算値は既述したように ^{239}Pu の0.3 eV近傍の核断面積を過小評価しているため、表面吸収効果の飽和現象が生じず、内層にいくに従って0.3 eV近傍の中性子が徐々に歪み $\delta_{239}^{0.3}$ の値が小さくなっている。

一方、0%ボイド格子では冷却材である軽水の散乱効果により外層で表面吸収をうけた0.3 eV近傍の中性子スペクトルの歪みが回復されるが、内側にいくに従って熱中性子束の減少のため $\delta_{239}^{0.3}$ の値が大きくなる。⁷⁾しかし36本クラスタ格子の場合既述したように28本クラスタ格子に比べ冷却材体積(Vc)対燃料体積(Vf)比が小さいため(約8%の差)、軽水による回復効果が小さく、外層での表面吸収効果が中間層までには回復できず $\delta_{239}^{0.3}$ が小さくなるが、内層では中心軽水冷却材体積が大きいので回復し、 $\delta_{239}^{0.3}$ が大きくなっている。しかし、計算値は既述したように ^{239}Pu の核断面積を過小評価しているため、0.3 eVの表面吸収効果が小さく、熱中性子束のしゃへい効果のため内側にむかい $\delta_{239}^{0.3}$ が単調増大している。

反応度の評価につながる格子パラメータの反応度への寄与度はプルトニウム格子の場合 ρ^{28} が一番大きく、以下 δ^{28} 、 $\delta_{239}^{0.3}$ 、 δ^{25} 、 δ^{49} となり、 δ^{49} の寄与が一番小さい。既に考察した結果から本実験に用いた体系では、WIMSコードの格子パラメータは0%ボイド格子、100%ボイド格子ともに実験値を過小評価しているが、過小評価の度合いは100%ボイド格子の方が大きい。過小評価の度合いは反応度に大きく寄与する ρ^{28} が最大であるため、計算コードの反応度は正側に評価する。また、冷却材ボイド反応度、ボイド係数はこれら両者の反応度差で表わされるためWIMSコードは36本クラスタ格子でも冷却材ボイド反応度、ボイド係数を正側に評価する傾向にあることがわかる。

5. 結 論

原型炉「ふげん」で用いている太径燃料棒からなる36本クラスタ(0.54 w/o PuO₂-UO₂)格子の実験結果と解析結果から以下のことが明らかとなった。

- 1) 本実験で得られた実験精度は最大6%となり、「ふげん」型28本クラスタで得られた実験精度とほぼ同じ程度である。
- 2) ²³⁸Uの共鳴捕獲比を示す ρ^{28} の実験値と解析値とを比べると、解析値は実験値を過小評価している。これは解析コードは、²³⁸Uの共鳴吸収を過小評価しているためである。
- 3) プルトニウムまたはウランの核分裂反応率を示す δ_{238}^{238} 、 δ^{49} 、 δ^{25} および δ^{28} の実験値と詳細格子解析コードWIMSによる解析値とを比べると、いずれも解析値は実験値を過小評価している。これは、解析コードの核断面積特に²³⁵Uの熱中性子断面積および²³⁹Puの0.3 eV近傍の共鳴吸収断面積を過小評価しているためである。
- 4) WIMSコードは36本クラスタプルトニウム格子の場合でも、冷却材ボイド反応度、ボイド係数を正側に評価する傾向にある。

参 考 文 献

- (1) 坂田 肇, 他 : PNC SN943-72-01 (1972年2月)
- (2) 福村 信男, 他 : PNC ZN941-74-44 (1974年6月)
- (3) Askew, J. R., et al : J. Brit. Nucl. Energy Soc., 54, 564 (1966)
- (4) Takeda, R. et al : J. Nucl. Sci. Technol., 1〔5〕, 172 (1964)
- (5) Iijima, K. et al : 日本原子力学会 秋の分科会, A6 (1974)
- (6) 清野 英昭, 福村 信男, 他 : PNC ZN941-81-184 (1981年7月)
- (7) Fukumura, N. : J. Nucl. Sci. Technol., 18〔4〕, 285 (1981)

謝 辞

本実験に使用した各種箔の同位体分析は、東海事業所技術部分析課第3係の方々に行って頂きました。貴重な分析データを御提供下さった第3係の方々に深謝の意を表します。

Table 1 Detector Foil Description

Foil ID	Dimension	Specification	Measured Quantity
d	14.8 mm ϕ 0.10 mm ^t	274 ppm ²³⁵ U depleted U - metal	ρ^{28} , δ^{28}
n	14.8 mm ϕ 0.10 mm ^t	Natural (0.72 w/o ²³⁵ U) U - metal	δ^{28}
e	14.8 mm ϕ 0.10 mm ^t	9.98 w/o U-Al alloy 93.2 w/o ²³⁵ U/U	δ^{25} , δ_{25}^{49}
p	14.8 mm ϕ 0.10 mm ^t	5.27 w/o Pu-Al alloy Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Pu-242 <u>0.01 % 94.04 % 5.67 % 0.26 % 0.02 %</u>	δ^{49} , δ_{25}^{49}

Table 2 Fuel Description

(1) 0.54w/o PuO₂-UO₂ Element

	Inner Dia. (cm)	Outer Dia. (cm)	Material	Density (g/cm ³)
Pellet	-	1.469	0.542 w/o enriched PuO ₂ -UO ₂	10.17
Gap	1.469	1.506	Helium	-
Sheath	1.506	1.668	Zry-2	6.523

(2) 1.2 ²³⁵U w/o UO₂ Element

	Inner Dia. (cm)	Outer Dia. (cm)	Material	Density (g/cm ³)
Pellet	-	1.480	1.203 w/o enriched UO ₂	10.36
Gap	1.480	1.503	Helium	-
Sheath	1.503	1.673	Aluminium	2.674

Composition		w/o
Pellet	U-235	0.6214
	U-238	86.782
	Pu-238	0.000102
	Pu-239	0.4304
	Pu-240	0.04115
	Pu-241	0.004359
	Pu-242	0.000303
	O	12.12
Sheath	Zr	98.22
	Sn	1.48
	Fe	0.14
	Cr	0.10
	Ni	0.06

Composition		w/o
Pellet	U-235	1.057
	U-238	86.793
	O	12.150
Sheath	Al	96.98
	Mg	2.60

Date of Analysis : 23 August 1971

Table 3 Fuel Ring Description (36 Elements/Assembly in 3 Circular Rings)

Ring	No. of Elements	Circle Diameter of Elements (cm)
1	6	3.65
2	12	7.25
3	18	10.78

Table 4 Fuel Channel Description (36-rod Cluster)

	Inner Dia. (cm)	Outer Dia. (cm)	Material	Density (g/cm)
Pressure Tube	13.03	13.63	Aluminum A 5052	2.673
Air Gap	13.63	14.65	Air	0.001205
Calandria Tube	14.65	15.35	Aluminum A 5052	2.673

Composition		w/o in Al	w/o in Air	Atomic No. Density
Al		96.75		0.05772
Mg		2.70		0.00179
Air	O		23.5204	0.00001067
	N		76.4796	0.00003962

Table 5 Fuel Ring Description (28 Elements/Assembly in 3 Circular Rings)

Ring	No. of Elements	Circle Diameter of Elements (cm)
1	4	2.625
2	8	6.000
3	16	9.515

Table 6 Fuel Channel Description (28-Rod Cluster)

	Inner Dia. (cm)	Outer Dia. (cm)	Material	Density (g/cm ³)
Pressure Tube	11.68	12.08	Aluminum Alloy	2.674
Air Gap	12.08	13.25	Air	0.001205
Calandria Tube	13.25	13.65	Aluminum Alloy	2.674

Composition		w/o in Al	w/o in Air	Atomic No. Density
Al		96.98		0.05788
Mg		2.60		0.00172
Air	O		23.5204	0.00001067
	N		76.4796	0.00003962

Table 7 Comparison of Lattice Parameters between Experiment and Calculation

Void	Position	ρ^{28}					δ^{25}					δ^{49}			δ_{25}^{49}			δ^{28}		
		Experiment (E)	Cal.* (C)	C/E-1 (%)	Cal.** (C)	C/E-1 (%)	Experiment (E)	Cal.* (C)	C/E-1 (%)	Cal.** (C)	C/E-1 (%)	Experiment (E)	Cal.** (C)	C/E-1 (%)	Experiment (E)	Cal. (C)	C/E-1 (%)	Experiment (E)	Cal. (C)	C/E-1 (%)
0%	1st	1.455 ± 0.088	1.718	+ 18	1.642	+ 13	0.152 ± 0.005	0.131	- 14	0.114	- 25	0.100 ± 0.004	0.089	- 11	1.180 ± 0.059	1.160	- 1.7	0.197 ± 0.012	0.184	- 6.6
	2nd	1.510 ± 0.091	1.414	- 6.4	1.357	- 10	0.120 ± 0.004	0.109	- 9.2	0.095	- 21	0.081 ± 0.003	0.076	- 6.2	1.127 ± 0.056	1.139	+ 1.1	0.167 ± 0.010	0.156	- 6.6
	3rd	0.858 ± 0.051	0.942	+ 9.8	0.911	+ 6.2	0.078 ± 0.002	0.071	- 9.5	0.061	- 22	0.060 ± 0.002	0.052	- 12	1.157 ± 0.058	1.105	- 4.0	0.102 ± 0.006	0.095	- 6.7
	Cell	1.044 ± 0.063	1.147	+ 9.9	1.104	+ 5.7	0.097 ± 0.003	0.087	- 10	0.076	- 22	0.070 ± 0.003	0.063	- 9.9	1.149 ± 0.057	1.120	- 2.5	0.129 ± 0.008	0.121	- 6.2
100%	1st	2.109 ± 0.121	1.756	- 13	1.622	- 20	0.225 ± 0.007	0.180	- 20	0.158	- 30	0.155 ± 0.006	0.121	- 22	1.334 ± 0.067	1.129	- 15	0.213 ± 0.013	0.220	+ 3.3
	2nd	1.786 ± 0.107	1.503	- 16	1.390	- 22	0.177 ± 0.005	0.155	- 12	0.136	- 23	0.127 ± 0.005	0.105	- 17	1.117 ± 0.056	1.132	+ 1.3	0.185 ± 0.011	0.184	- 0.5
	3rd	1.450 ± 0.087	1.455	0	1.353	- 6.7	0.131 ± 0.004	0.119	- 8.8	0.104	- 13	0.084 ± 0.003	0.084	- 0.2	1.223 ± 0.061	1.141	- 6.7	0.121 ± 0.007	0.121	0
	Cell	1.577 ± 0.095	1.504	- 4.6	1.396	- 12	0.154 ± 0.005	0.138	- 10	0.119	- 23	0.105 ± 0.004	0.094	- 10	1.210 ± 0.061	1.137	- 6.0	0.151 ± 0.009	0.151	0

* E_{cd} : 0.5 eV** E_{cd} : 0.7 eV for ρ^{28} , 0.625 eV for δ^{25} and 0.5 eV for δ^{49}

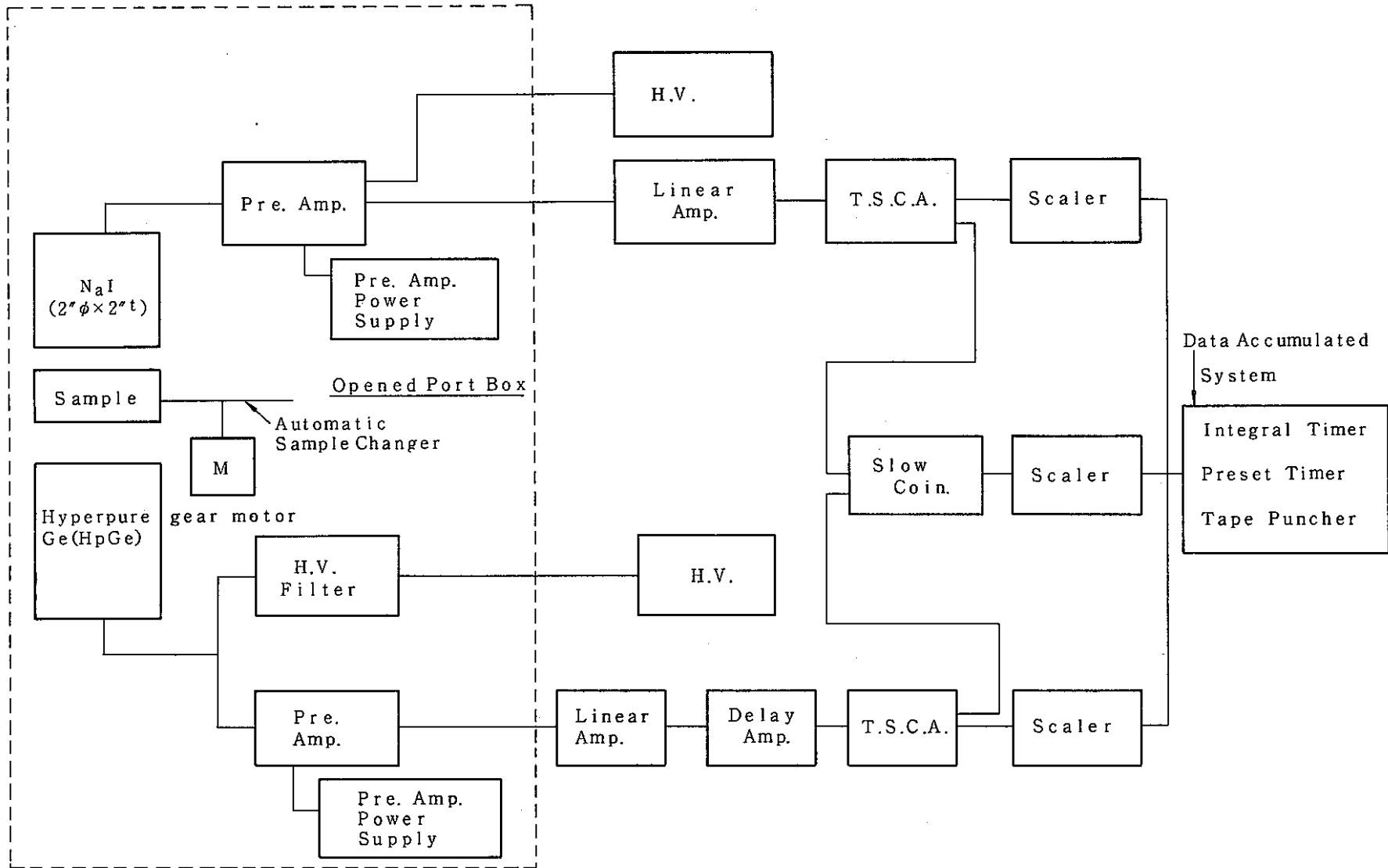


Fig.1 Block Diagram of Measurements for ^{239}NP γ -Rays

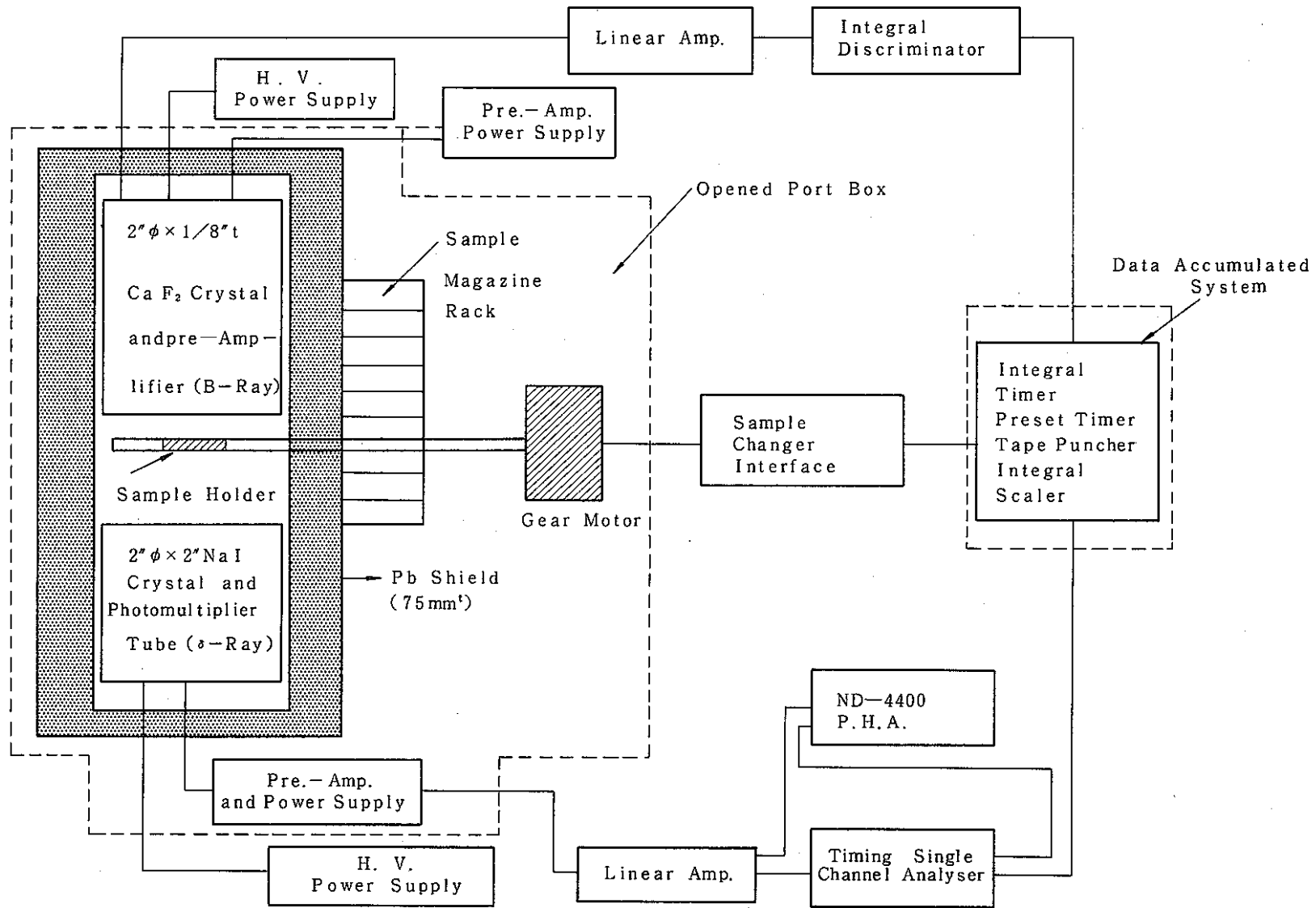


Fig.2 Block Diagram of γ -Ray Measurements for Fission Products

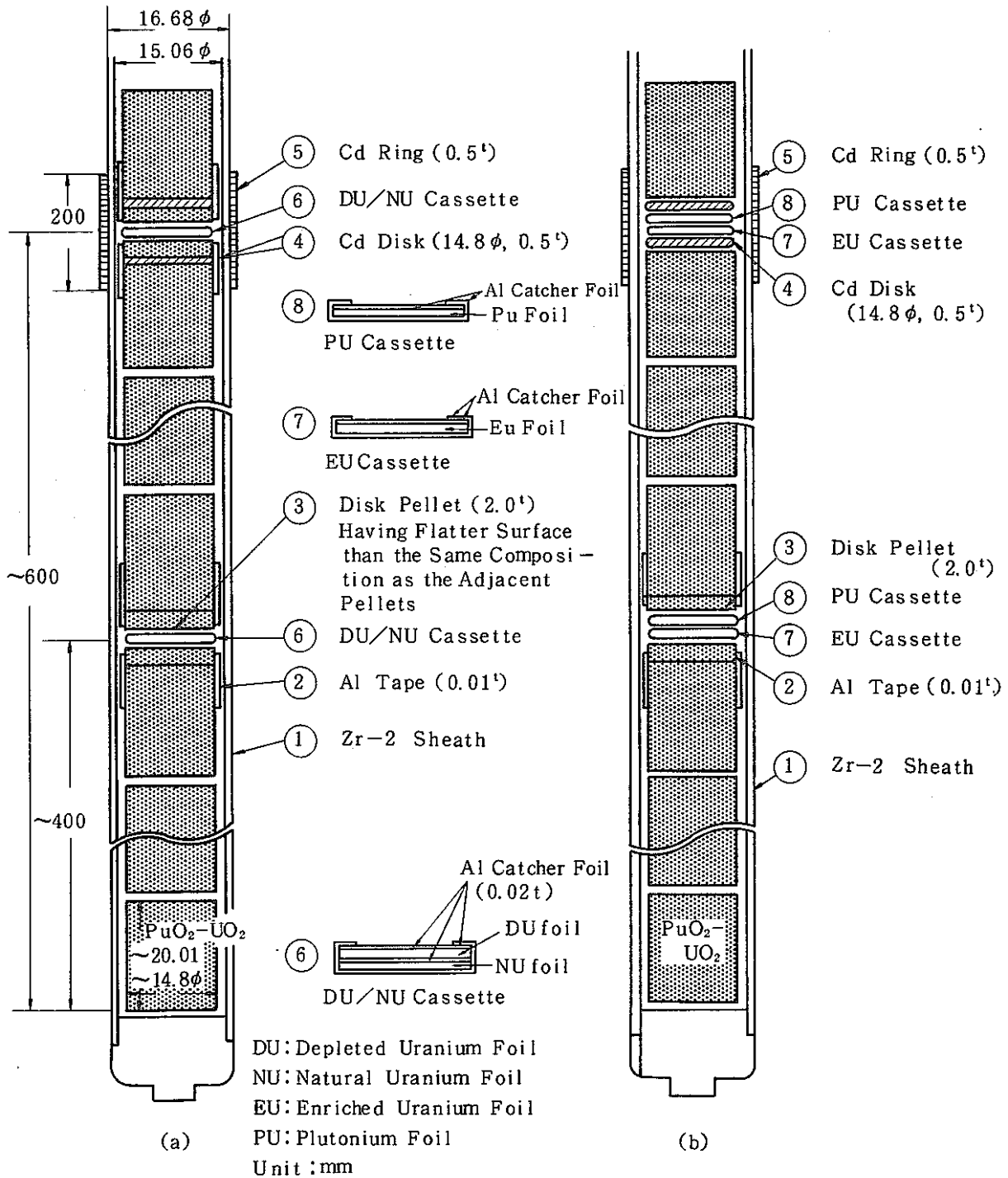
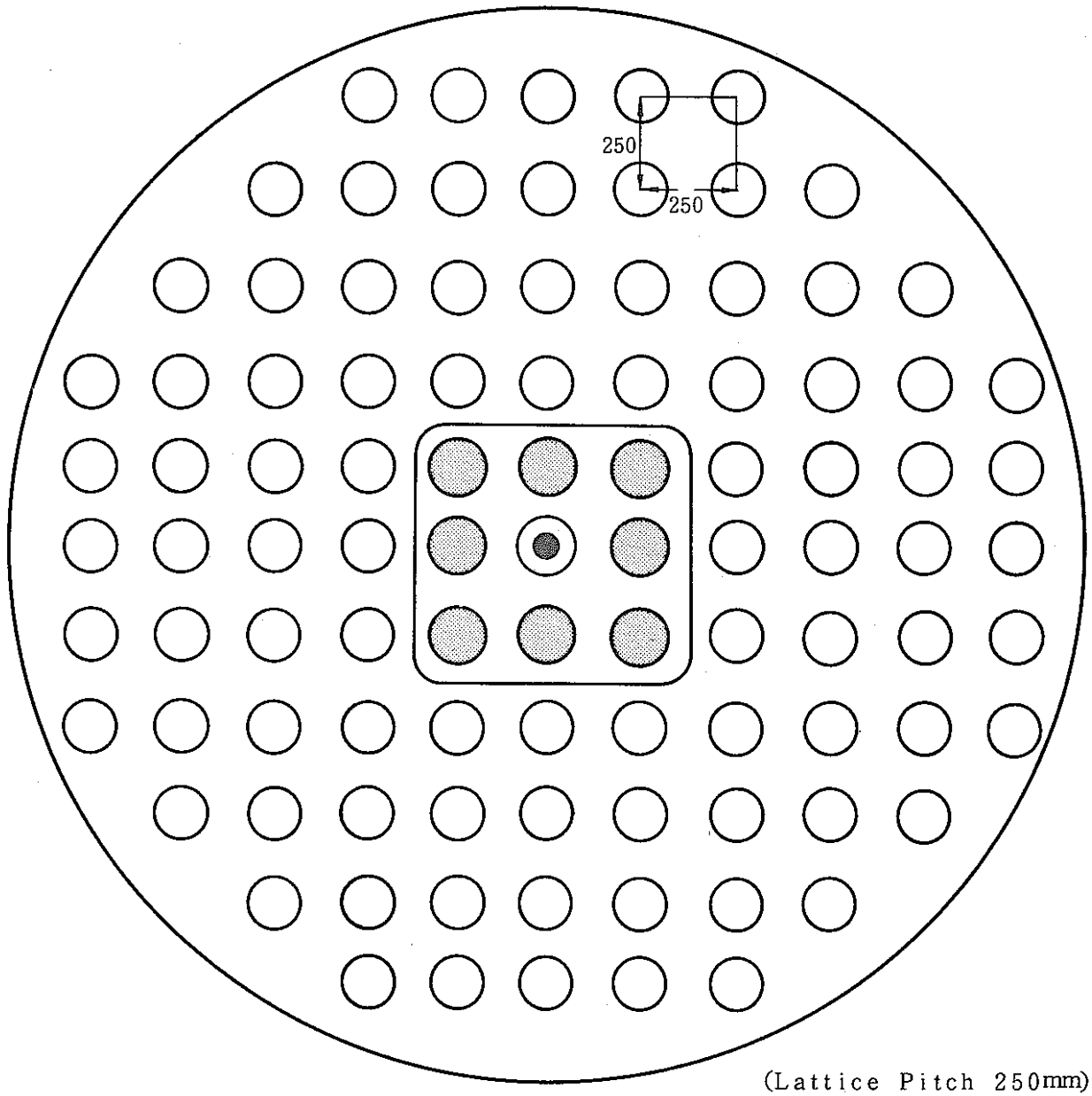


Fig.3 Foil Arrangement in Pu Fuel Pin






- 
0.54wt% PuO₂-UO₂ Fuel(0% or 100% Void)
(36-Rod)
(Cluster with Irradiation Foils)
- 
0.54wt% PuO₂-UO₂ Fuel(0% or 100% Void)
(36-Rod)
- 
1.2wt% UO₂ Fuel(0% or 100% Void)
(28-Rod)

Fig.4 Core Configuration Loaded by 5sPu (36-Rod) Cluster in the Central Region

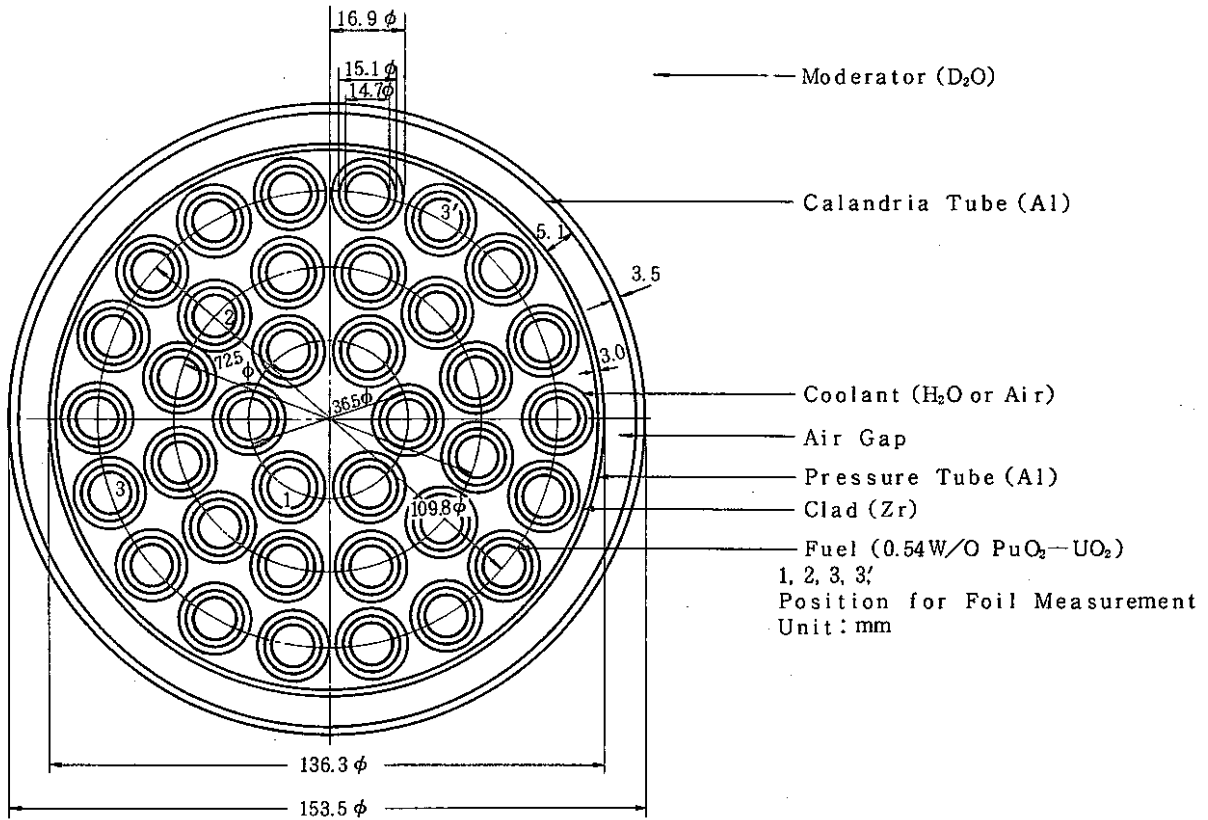


Fig.5 Cross-Sectional View of 36-Fuel-Rod Cluster

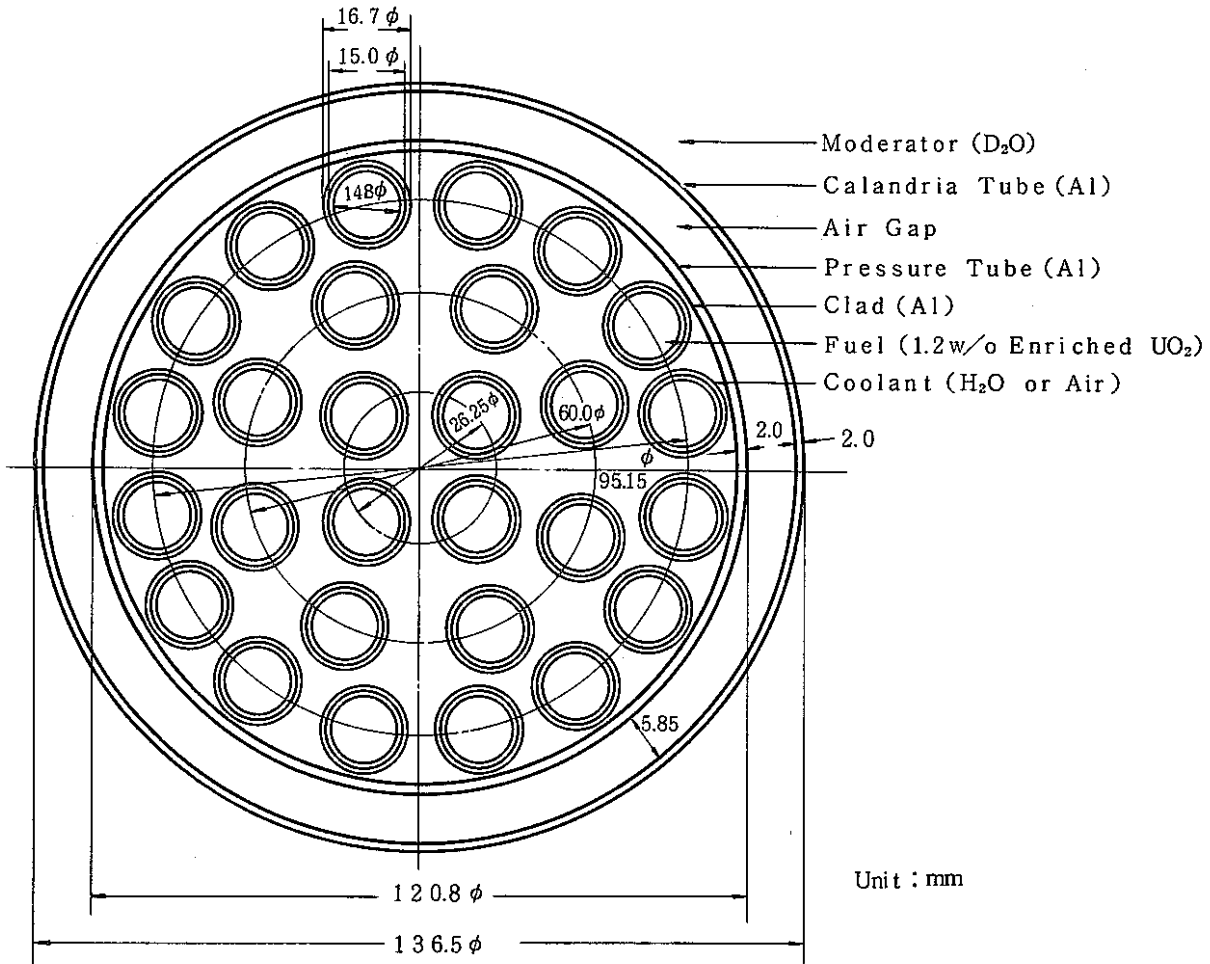


Fig.6 Cross-Sectional View of 28-Fuel-Rod Cluster

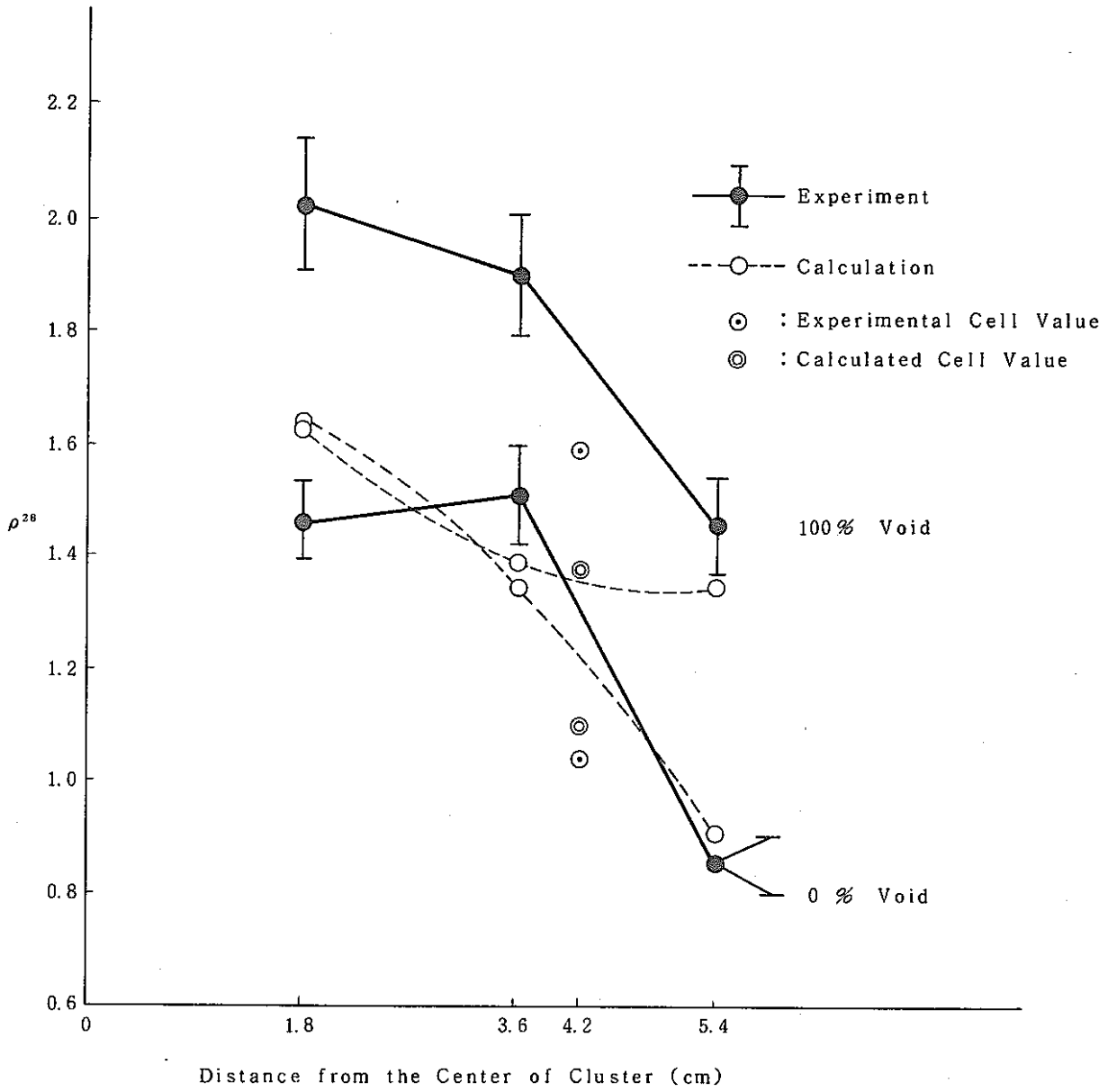


Fig.7 Comparison between Experiment and Calculation (ρ^{28})

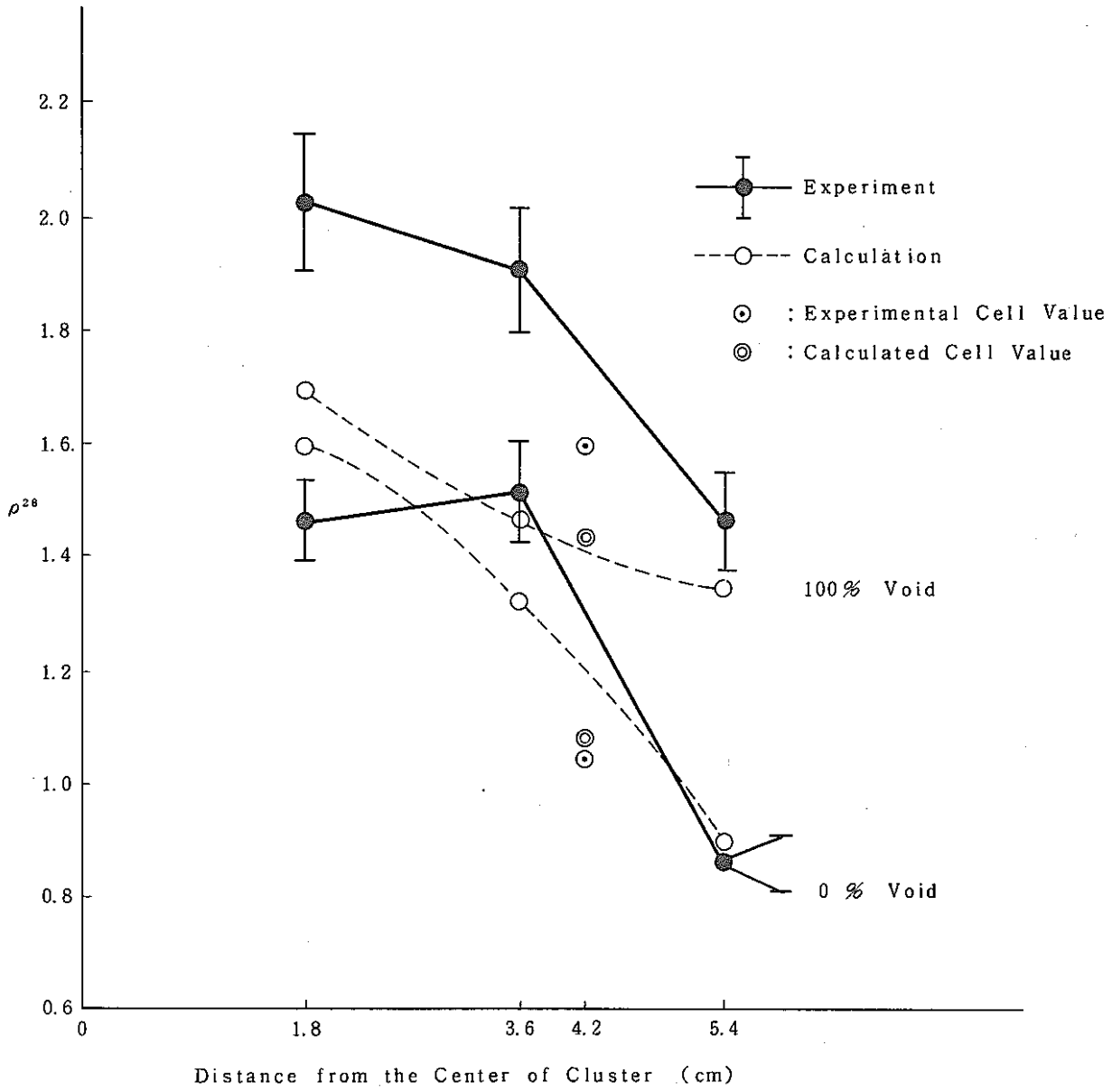


Fig. 8 Comparison between Experiment and Calculation (ρ^{28})

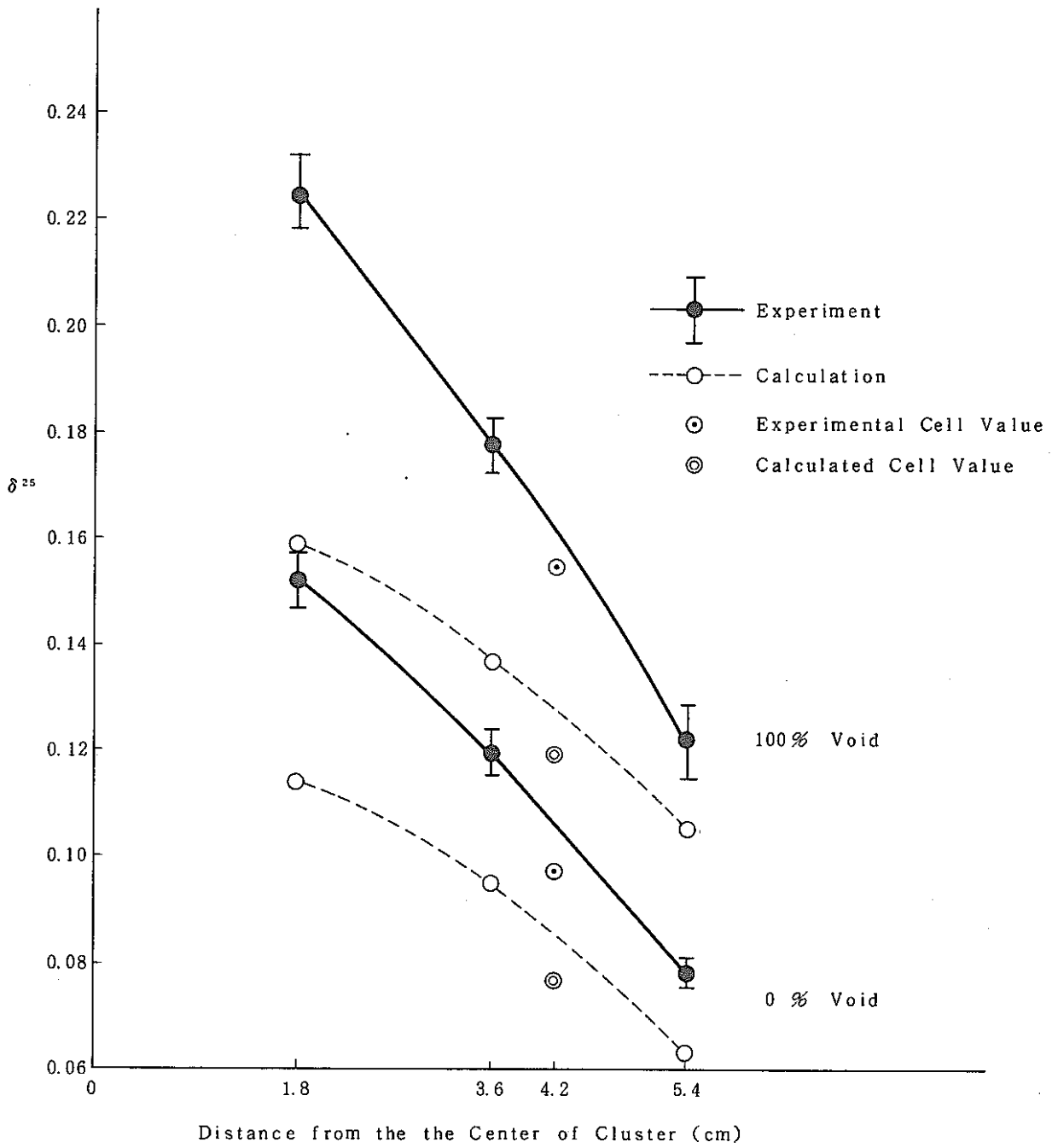


Fig.9 Comparison between Experiment and Calculation (δ^{25})

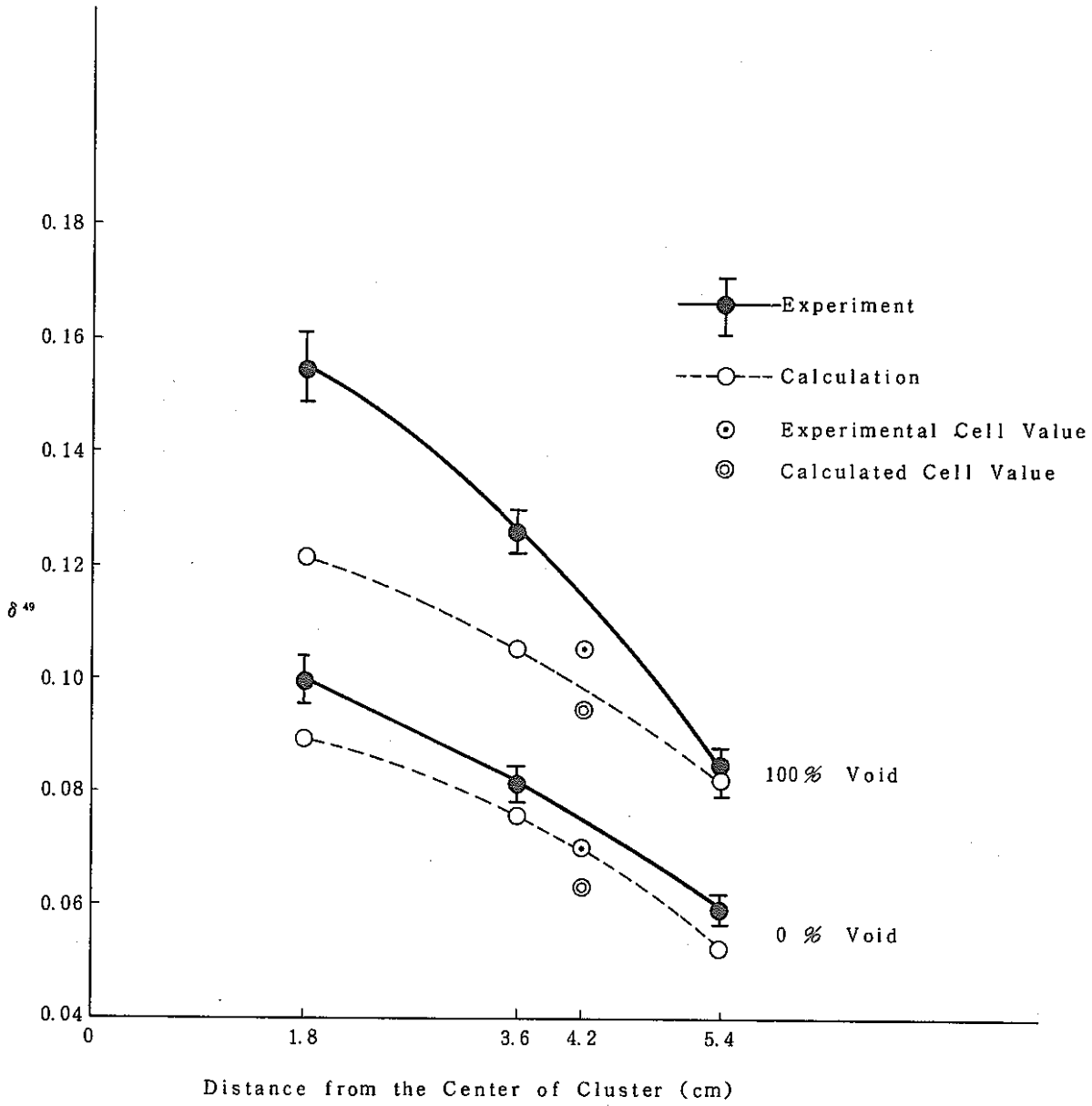


Fig.10 Comparison between Experiment and Calculation (δ^{49})

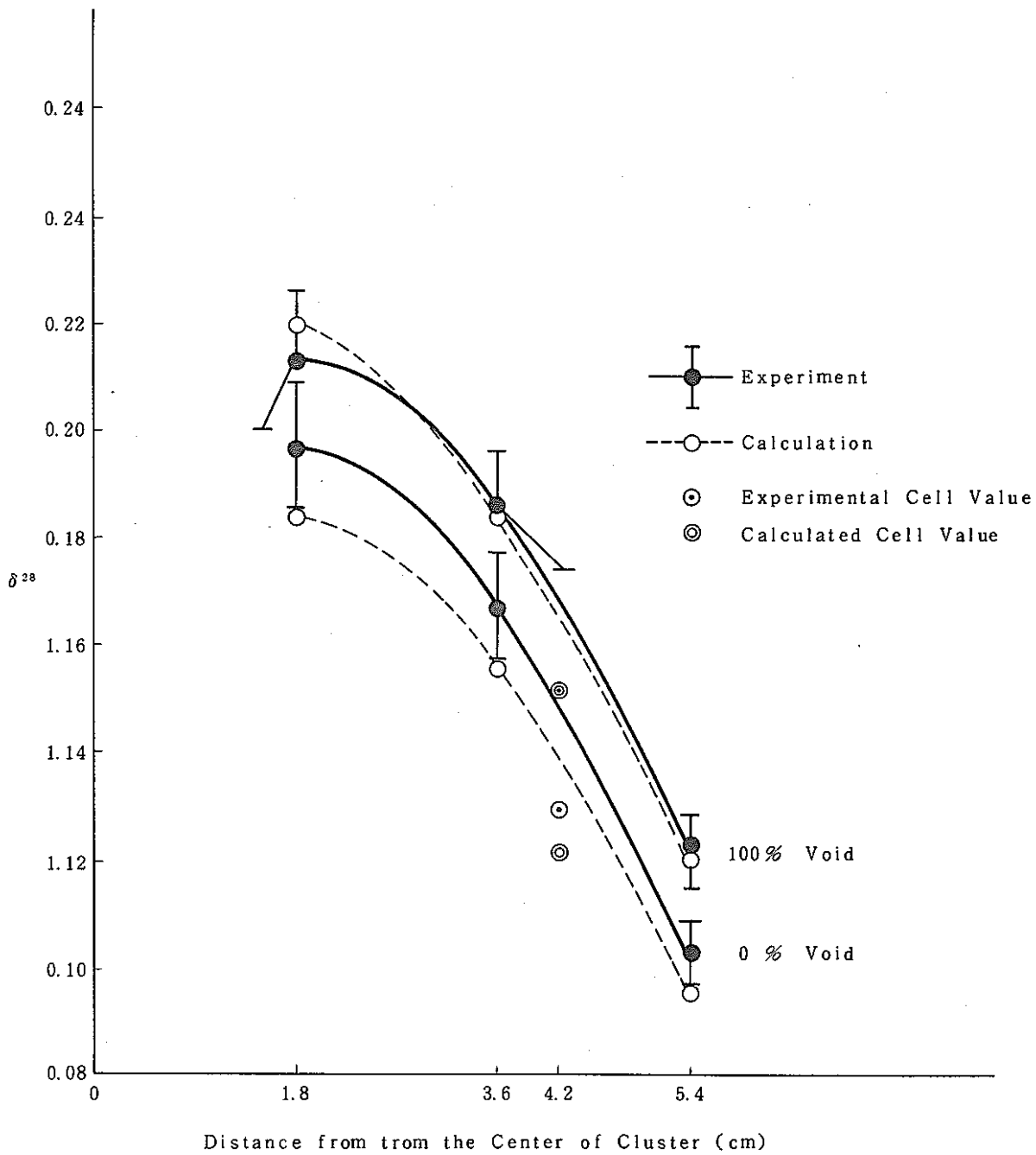


Fig.11 Comparison between Experiment and Calculation (δ^{28})

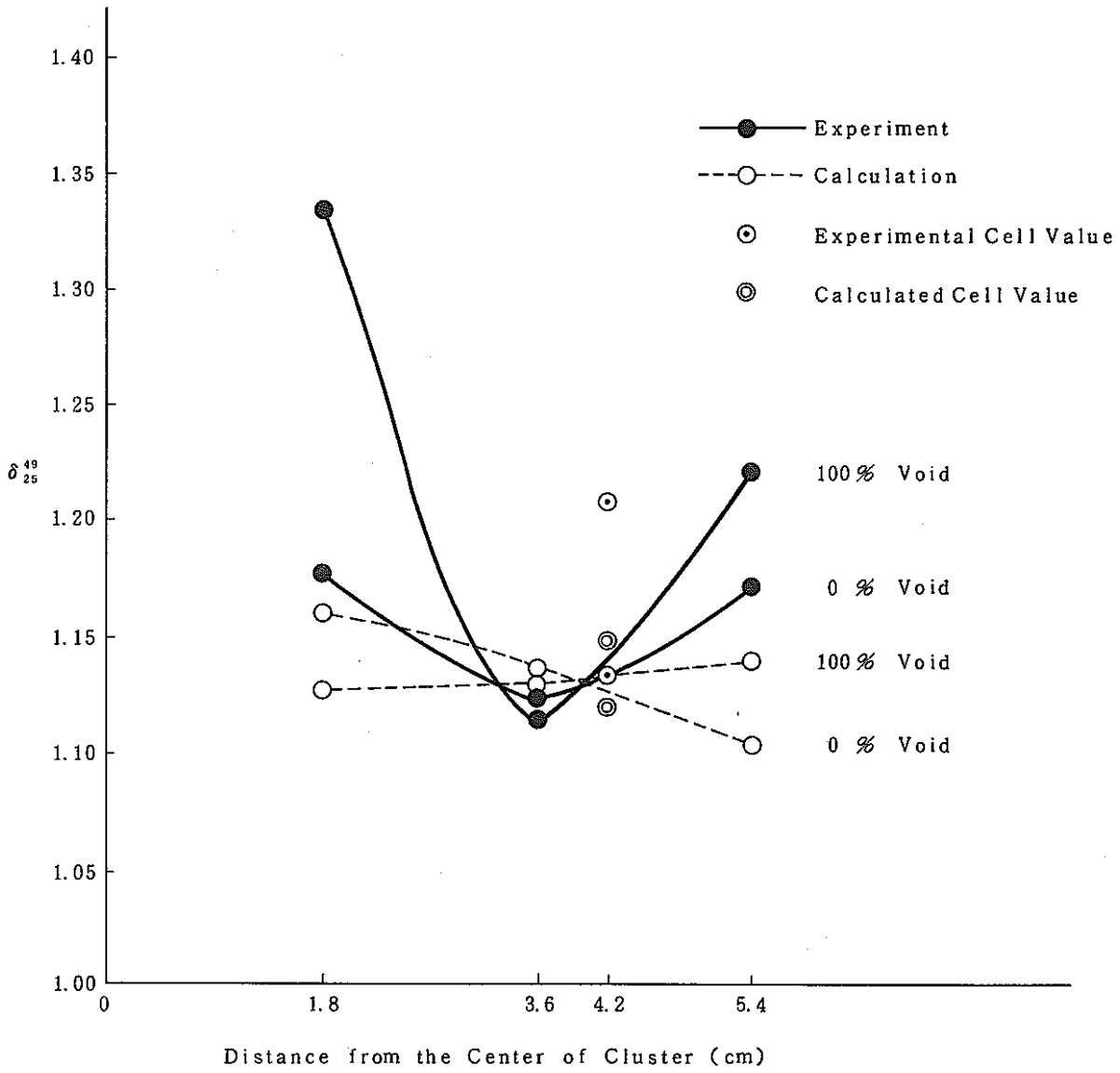


Fig.12 Comparison between Experiment and Calculation (δ_{25}^{49})

付 録 (1)

高分解能純Ge検出器

米国オーテックス社製

モデル 1013-25360-S 高分解能 γ 線検出器

検 査 要 領 書

東京都江東区亀戸6丁目31番1号
株式会社第二精工舎科学機器部
取締役 原 禮 之 助

1. 概 要

本検査要領書は、貴団注文番号 201534 号の見積仕様書の内容に基づき、実施される納入前の検査内容を記入したものです。

2. 実施日時

昭和52年11月7日 午後1時より5時まで。

3. 実施場所

(株)第二精工舎 科学機器部

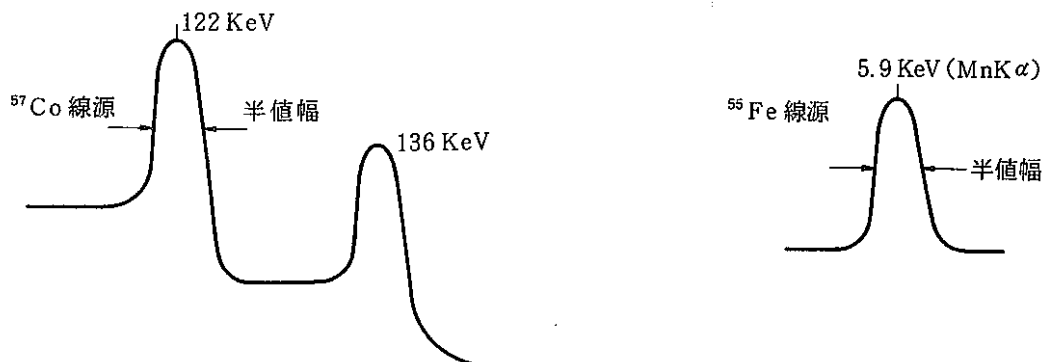
東京都江東区亀戸 6-31-1

TEL 03-682-1111 (代表)

4. 実施内容

4.1 分解能の測定(使用回路は別図の通りです)

- (1) ^{57}Co の標準線源を使用して、122 KeV のピークで半値幅分解能が、615 eV 以下であることを確認致します。(最大値とその最大値の1/2の所の比)。
- (2) ^{55}Fe の標準線源を使用して、5.9 KeV のピーク(Mn $K\alpha$)で半値幅分解能が、360 eV 以下であることを確認致します。



4.2 検出効率の測定

(1) 絶対効率測定

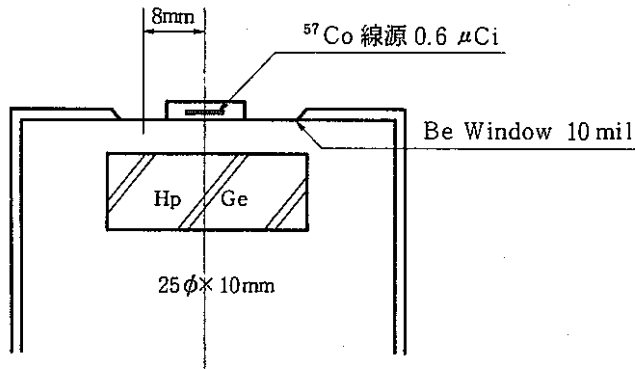
^{57}Co の標準線源を使用して、 ^{57}Co の 122 KeV のピークのネット面積が線源よりの総 γ 線量に対して、5%以上であることを確認致します。

現在の強さは、0.6 μCi ですので、検出器の中心部に密着(実際には密着ではない)させますと、ほぼ 19000 γ PS の γ 線を放出致しますので、1000 sec 位の測定で行ないます。

(2) 絶対効率の一様性測定

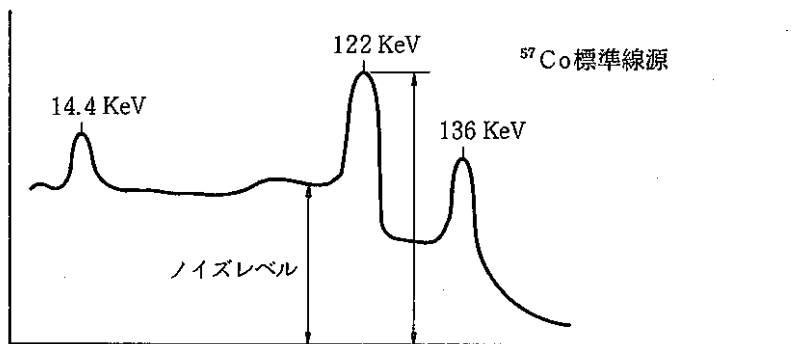
検出器の中心部より外側に 8 mm の点に ^{57}Co の標準線源を移動させ、効率を測定します。

中心部における効率が5%の場合は、その70%以上、すなわち、3.5%以上の効率を有する事を確認致します。



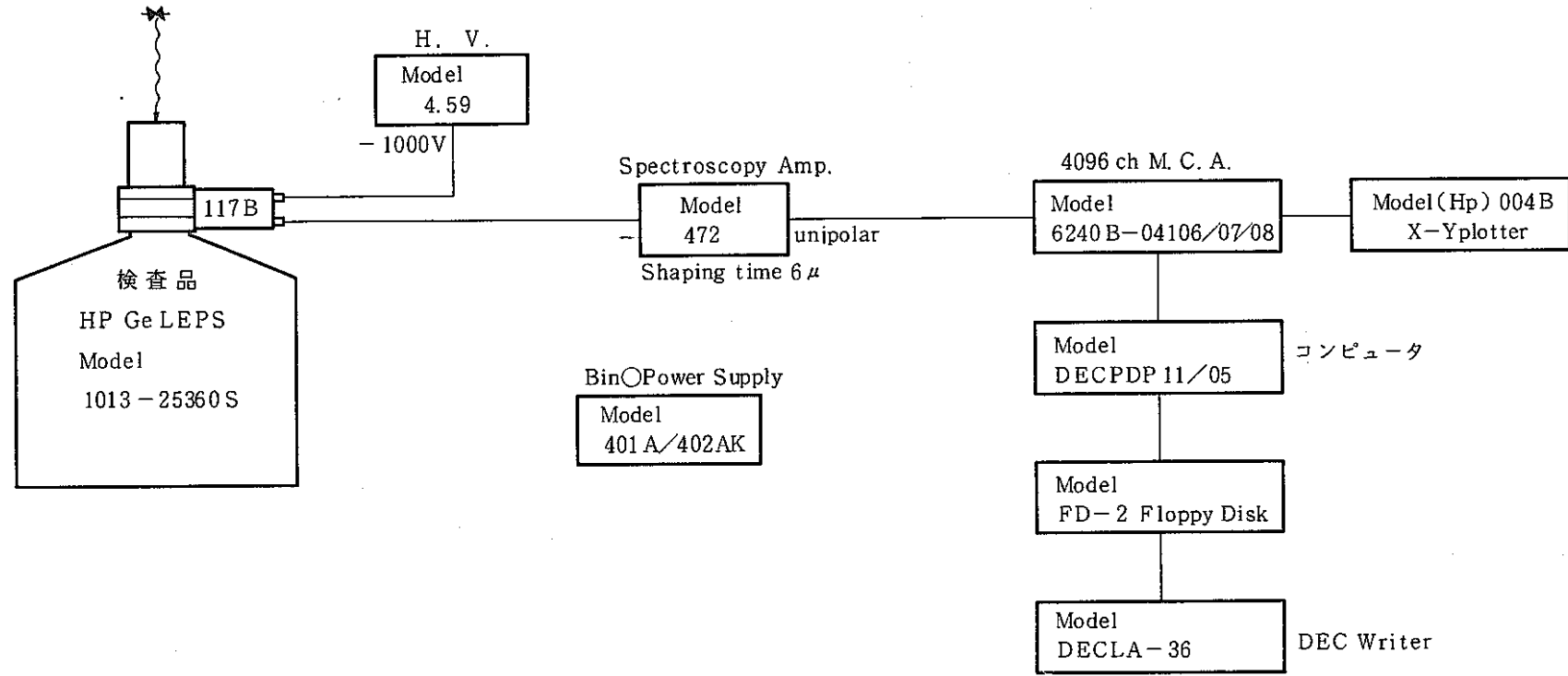
4.3 検出器 S/N 比の測定

- (1) ^{57}Co の標準線源を使用して、122 KeV のピークに対してノイズレベルとの比が30 以上である事を確認致します。
- (2) 同じく ^{57}Co の標準線源を使用して、14.4 KeV のピークの1/2 を越える線源固有のピーク以外のピークがない事を確認していただきます。



4.4 検出器の使用方法及び外観確認

- (1) 液体窒素注入口の位置とその使用方法……本体を移動させる事なく、パイプに依る注入が可能である事の確認。
- (2) 液体窒素容器の大きさ……1回の注入で、60時間以上使用可能である事の確認。
- (3) ピュアゲルマニウム結晶を使用している事、書類確認……未使用時、液体窒素の補給なく放置する事ができる事の確認の為。
- (4) 外観の寸法及びキズの有無、確認……エンドキャップ部の寸法の確認の為(70 mm ϕ 以下×90 mmL以上)。



別図 検査使用機器名及びブロック図

純 Ge 検収データ

第二精工舎 佐藤, 高橋, 原

1. 日時 52年11月7日(月) 第二精工舎 科学機器部5階(動燃仁紫立会)

2. 測定

(1) 分解能の測定

- Ⓐ 11:15 preset 1000 sec Ⓐ ⁵⁷Co ... (headより1.5 cm)
- Ⓑ 11:50 prest 1000 sec ⁵⁵Fe 密着(12 μCi)

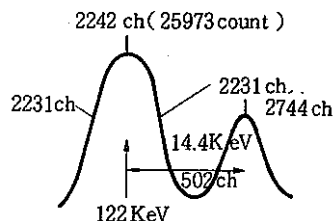


Fig. ⁵⁷Co 波高分析

Ⓐ ⁵⁷Co 分解能

$$\frac{1}{2} \text{ ch} \dots \begin{cases} 2231 \text{ ch} \dots 12902 \text{ count} \\ 2232 \text{ ch} \dots 14651 \end{cases} \leftarrow \frac{1}{2} \text{ ch は } 2231.05 \text{ ch}$$

$$\text{peak} \dots \begin{cases} 41 \text{ ch} \dots 25802 \\ 2242 \text{ ch} \dots 25973 \\ 43 \text{ ch} \dots 25928 \end{cases} \leftarrow \text{peak は } 2242 \text{ ch}$$

$$\frac{1}{2} \text{ ch} \dots \begin{cases} 2252 \text{ ch} \dots 13529 \text{ count} \\ 2253 \text{ ch} \dots 11765 \end{cases} \leftarrow \frac{1}{2} \text{ ch は } 2252.31 \text{ ch}$$

$$28.68 \text{ eV/ch}$$

$$\Delta \text{ ch} = 2252.31 - 2231.05 \text{ ch} = 21.26 \text{ ch} \left(\times \frac{14.4 \text{ KeV}}{502 \text{ ch}} = 610 \text{ eV} \right)$$

Ⓑ ⁵⁵Fe の分解能 (1000 sec)

$$\frac{1}{2} \text{ ch} \dots \begin{cases} 522 \text{ ch} \dots 13317 \text{ count} \\ 523 \text{ ch} \dots 14465 \text{ count} \end{cases} \leftarrow 552.347 \text{ ch}$$

$$\text{peak} \dots 537 \text{ ch} \dots 27430 \text{ count}$$

$$\frac{1}{2} \text{ ch} \dots \begin{cases} 553 \text{ ch} \dots 14109 \text{ count} \\ 554 \text{ ch} \dots 13007 \end{cases} \leftarrow 553.357 \text{ ch}$$

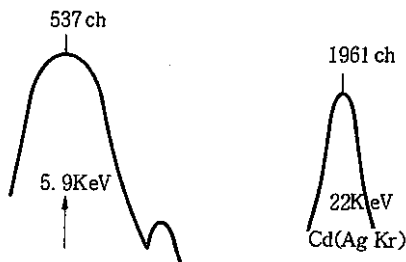


Fig. ⁵⁵Fe (Mn Kr) 波高分析

$$11.3 \text{ eV/ch}$$

$$\Delta \text{ ch} = 553.357 - 552.347 \text{ ch} = 31.01 \text{ ch} \left(\times \frac{16.1 \text{ KeV}}{1424 \text{ ch}} = 350.6 \text{ eV} \right)$$

Ⓒ 13:10 preset 1000 sec ⁵⁷Co ……二回目 (Table 2)

$$\frac{1}{2} \text{ ch} \dots \begin{cases} 2248 \text{ ch} \dots 11134 \text{ count} \\ 2249 \text{ ch} \dots 12221 \text{ count} \end{cases} \leftarrow 2248.81 \text{ ch が } \frac{1}{2} \text{ ch}$$

peak	{	58 ch..... 23442 count	← peak 2259 ch
			59 ch..... 24028 count	
			2260 ch..... 23392 count	
			61 ch..... 23110 count	
$\frac{1}{2}$ ch	{	2269 ch..... 12376 count	← 2269.25 ch
			70 ch..... 10936 count	

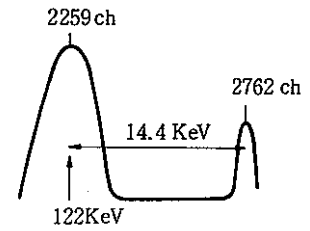


Fig. ⁵⁷Co 波高分析

$$\Delta \text{ch} = 2269.25 - 2248.81 \text{ ch} = 20.44 \text{ ch} \times \frac{14.4 \text{ KeV}}{503 \text{ ch}}$$

$$= 585 \text{ eV}$$

(2) Ge 検出効率 (Ge head 密着点における)

⁵⁷Co の decay

⁷⁴/8/1 12.10 μ Ci

⁷⁷/11/8 x μ Ci

days = (3 × 365 + 1) + (31 + 30 + 31 + 7) = 1195

x μ Ci = 12.10 × e ^{$\frac{0.693}{270.5} \times 1195$} = 0.56649 μ Ci

0.04682

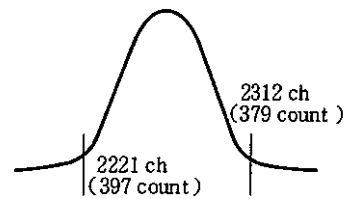
⁵⁷Co (122 KeV) の decay 数 λN

$\lambda N = 0.56649 \mu\text{Ci} \times 3.7 \times 10^{10} \times 0.865 = 18130 \text{ count/sec.}$

Net count (1000 sec live time)

正味 count (2312 ch - 2221 ch) = 2431221 counts

Net count = 2395525 counts



効率 η (%)

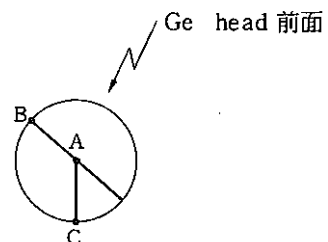
$$\eta = \left[\frac{2395.525 \text{ counts}}{1000 \text{ sec}} / 18130 \text{ count} \right] \times 100\% = 13.2\%$$

(3) 場所による効率変化

⁵⁷Co 線源 A点 2395525 counts/1000 sec

" B点 Net { 1877387 counts/1000 sec
1841553

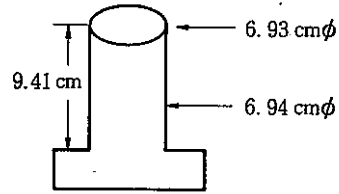
" C点 Net { 2233051 counts/1000 sec
2194365



$$\Delta \eta_{B/A} = 1841553 / 2395525 \times 100 = 76.9 \%$$

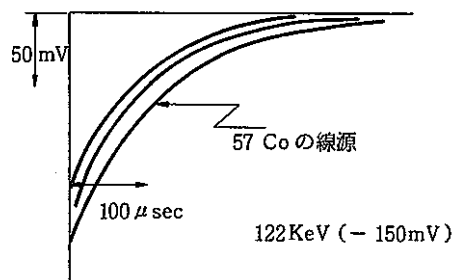
$$\Delta \eta_{C/A} = 2194365 / 2395525 \times 100 = 91.6 \%$$

(4) 寸法



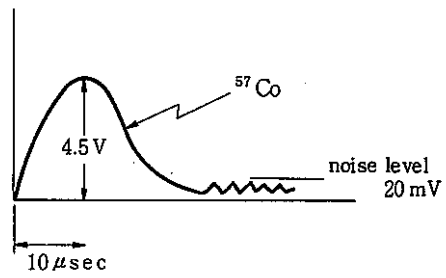
(5) 測定系

Ge → preamp 117 → の out



Fig

Lin. Amp unipolar の out



付 録 (2)

Pu-A1,U-A1 ホイル中のPu,Uの定量結果の報告
—Isotope Dilution Mass Spectrometry Method—

分析期間：52.7.8～52.9.1

分析者：Y.W, M.K, T.W

責任者：H.Onishi

昭和52年9月2日

東海事業所・技術部・分析課・第3係

1. Sample NO

I : Pu-A1

II : Pu-A1

III : U-A1

- * ◦ アルミケースに番号が記入してあった。
- NO. IIは半分に割れていた。

2. Sample Weight

I : 0.04855 g (Pu-1-17)

II : 0.04510 g (Pu-30)

III : 0.0605 g (Pu-10)

- * 秤量はアルコールで洗浄後行なった。

3. 分析結果

測定は各試料につき2 determinations 行なった。

3.1 Weight %, (Pu/Pu+A1, u/u+A1)

Sample NO		Weight % (Pu/Pu+A1, u/u+A1), $\pm 2\sigma$	av, $\pm 2\sigma$
I	1	7.23 ₉ \pm 0.02 ₈	7.23 ₅ \pm 0.02 ₀
	2	7.23 ₁ \pm 0.03 ₀	
II	1	5.26 ₂ \pm 0.02 ₂	5.26 ₅ \pm 0.01 ₄
	2	5.26 ₈ \pm 0.02 ₀	
III	1	9.96 ₈ \pm 0.03 ₈	9.98 ₂ \pm 0.02 ₆
	2	9.99 ₅ \pm 0.03 ₈	

- * 表示誤差は分散合成により計算したものの。

3.2 同位体存在度 (Atom %, Weight %)

(1) Sample NO I

Nuclide	Atom %, $\pm 2\sigma$	Weight %, $\pm 2\sigma$
Pu-238	0.00163 \pm 0.00004	0.00163 \pm 0.00004
239	99.0859 \pm 0.0008	99.0820 \pm 0.0008
240	0.8888 \pm 0.0008	0.8925 \pm 0.0008
241	0.01567 \pm 0.00006	0.01580 \pm 0.00006
242	0.00801 \pm 0.00005	0.00811 \pm 0.00005

(2) Sample NO II

Nuclide	Atom%, $\pm 2\sigma$	Weight %, $\pm 2\sigma$
Pu-238	0.0105 \pm 0.0002	0.0105 \pm 0.0002
239	94.065 \pm 0.003	94.041 \pm 0.003
240	5.652 \pm 0.003	5.674 \pm 0.003
241	0.2525 \pm 0.0003	0.2546 \pm 0.0003
242	0.01931 \pm 0.00006	0.01955 \pm 0.00006

(3) Sample NO III

Nuclide	Atom%, $\pm 2\sigma$	Weight %, $\pm 2\sigma$
U-234	0.6170 \pm 0.0002	0.6139 \pm 0.0002
235	93.224 \pm 0.003	93.156 \pm 0.003
236	0.4084 \pm 0.0003	0.4098 \pm 0.0003
238	5.751 \pm 0.003	5.821 \pm 0.003

濃縮ウラン合金シート
試験検査成績書

GULF UNITED
NUCLEAR FUELS CORPORATION

U 地金

CERTIFIED DATA FOR ENRICHED URANIUM METAL

CUSTOMER: Sumitomo Shoji America, Inc.

LOT NO.: B-03-G71

CUSTOMER ORDER NO.: SA-73-XFHP-201471

GULF UNITED SALES NO.: 7159

LOT-WEIGHT: 14.935 kgs.

Isotopic Assay

% U ²³⁵	<u>93.134</u>
% U ²³⁴	<u>0.612</u>
% U ²³⁶	<u>0.424</u>
% U ²³⁸	<u>5.830</u>

Impurities, PPM

	<u>Lot</u>	<u>Spec.</u>		<u>Lot</u>	<u>Spec.</u>
Al	<u>10</u>	<u>100</u>	Mg	<u>38</u>	<u>Info.</u>
B	<u>< 0.1</u>	<u>1</u>	Mn	<u>< 5</u>	<u>Info.</u>
C	<u>71</u>	<u>300</u>	Mo	<u>< 10</u>	<u>Info.</u>
Ca	<u>15</u>	<u>200</u>	N	<u>77</u>	<u>Info.</u>
Cd	<u>< 0.2</u>	<u>1</u>	Ni	<u>72</u>	<u>Info.</u>
Co	<u>< 0.2</u>	<u>Info.</u>	Pb	<u>< 1</u>	<u>Info.</u>
Cx	<u>11</u>	<u>Info.</u>	Si	<u>< 10</u>	<u>100</u>
Cu	<u>< 5</u>	<u>Info.</u>	Ag	<u>< 1</u>	<u>Info.</u>
Fe	<u>209</u>	<u>Info.</u>	Sn	<u>< 1</u>	<u>Info.</u>
Li	<u>< 1</u>	<u>2</u>	V	<u>< 1</u>	<u>Info.</u>
			Total	<u>537.5</u>	<u>1500</u>
			EBC	<u>0.72</u>	<u>3</u>

Maximum piece weight < 400 gms.

Minimum piece weight > 50 gms.

CERTIFIED BY: *Q H [Signature]*

Date 9-6-73

形式番号 山崎式 713

アルミニウム出荷案内書兼分析書(I)

AL-10

品名	出荷月	昭和	年	月	日	品名	規格	重量 (kg)	手配
納入先 51770 ネット 5-7-1 - プシマ キンゾク KK	御中					10K	99.99	103	174
送り先	御中								
級別	御中					10	103		

分析項目				分析内容							
試料番号	分析回数	重量	色別	Si	Fe	Cu					Al
		(t)		0.001	0.000	0.001					99.99
RH808				0.000	0.000	0.001					99.99
RH805				0.000	0.000	0.001					99.99
RH806				0.000	0.000	0.001					99.99
RF809				0.001	0.000	0.001					99.97
RH804				0.000	0.000	0.001					99.99

東京港区東区深川新大橋1-6 電話東京 (034) 0911
 日本軽金属株式会社 新大橋倉庫

AL-10



C. S. 系 2		試験検査結果	
工事名	濃縮ウラン合金シート	測定者	
工事オーダー	7635	Q. O 担当者	横山 50. 9. 19.
試験検査項目	不純物分析およびB当量		
		担当長	
採取方法			

元素	規格	材料		B当量						
Ag	(PPM)	< 1	0.01							
B	"	< 0.5	0.5							
Fe	"	1000	0.67							
Cd	"	< 1	0.33							
C	"	70	0.00							
Mn	"	25	0.09							
Ni	"	10	0.01							
Si	"	710	0.05							
Ca	"	100	0.09							
Co	"	< 5	0.05							
Cu	"	20	0.00							
Li	"	< 1	0.15							
Hg	"	100	0.00							
U	(%)	10.01								
B 当量	≤ 10 ppm		1.95							

製 品 重 量 証 明 書

昭和 50 年 9 月 30 日

品名 濃縮ウラン合金シート		化合物名・形状 U-A ₀ 合金		区 分 濃縮ウラ：		濃 縮 度 U ²³⁵ 93.13 %	
№	正 味 重 量 (g)	U-%	U 重 量 (g)	U ²³⁵ 重 量 (g)	備 考		
1	3.5016	10.01	0.35	0.33			
2	3.5385	10.01	0.35	0.33			
3	3.4157	10.01	0.34	0.32			
4	3.4226	10.01	0.34	0.32			
合 計	13.8784		1.38	1.30			

弊社において実施した検定計量の結果は上記の通りであることを証明いたします。

作成責任者 藤 永 昭 三

職 位 名 原子燃料部
燃料製作課長



付 録 (3)

Input Data of Cell Calculation.

```

CELL          7  1  1
SEQUENCE      4
NMESH         36
NREGION       30  3
NMATERIAL     14  3
NGROUPS       18  7
NRODS         36 -12 45 10 3 2 1
NREACT        11
PREOUT
    
```

```

* DCA 36P. CLUSTER 0.54PU   LP=25.0CM
* 100 VOID
    
```

INITIATE

```

ANNULUS 1 0.4000 1
ANNULUS 2 0.60000 1
ANNULUS 3 0.80000 1
ANNULUS 4 1.51173 2
ANNULUS 5 1.95241 2
ANNULUS 6 2.39308 2
ANNULUS 7 2.83376 2
ANNULUS 8 3.17583 3
ANNULUS 9 3.51780 3
ANNULUS 10 3.85996 3
ANNULUS 11 4.20203 3
ANNULUS 12 4.5441 3
ANNULUS 13 4.82565 4
ANNULUS 14 5.10721 4
ANNULUS 15 5.38877 4
ANNULUS 16 5.67033 4
ANNULUS 17 5.95188 4
ANNULUS 18 6.23344 4
ANNULUS 19 6.51500 4
ANNULUS 20 6.81500 5
ANNULUS 21 7.32500 6
ANNULUS 22 7.67500 7
ANNULUS 23 8.00000 8
ANNULUS 24 8.50000 8
ANNULUS 25 9.00000 8
ANNULUS 26 10.00000 8
ANNULUS 27 11.00000 8
ANNULUS 28 12.00000 8
ANNULUS 29 13.00000 8
ANNULUS 30 14.10450 8
ARRAY 1 1 6 1.825 0.5235987
ARRAY 2 1 12 3.625 0.2617993
ARRAY 3 1 18 5.390 0.1745329
RODSUB 1 1 0.7345 9
RODSUB 1 2 0.834 12
RODSUB 2 1 0.7345 10
RODSUB 2 2 0.834 13
RODSUB 3 1 0.7345 11
RODSUB 3 2 0.834 14
MATERIAL 1 0.001205 295.0 3 16 23.5204 14 76.4796
MATERIAL 2 0.001205 295.0 3 16 23.5204 14 76.4796
MATERIAL 3 0.001205 295.0 3 16 23.5204 14 76.4796
MATERIAL 4 0.001205 295.0 3 16 23.5204 14 76.4796
MATERIAL 5 2.674 295.0 3 27 97.764
MATERIAL 6 0.001205 295.0 4 16 23.5204 14 76.4796
MATERIAL 7 2.674 295.0 4 27 97.764
MATERIAL 8 1.1045 295.0 4 2001 0.05036 4002 20.0223 16 79.9283
MATERIAL 9 10.17 295.0 1 235.4 0.6214 2238.4 86.782 3239.1 0.4304
    242 0.000303 1240 0.04115 241. 0.004359 16 12.12
MATERIAL 10 10.17 295.0 1 235.4 0.6214 2238.4 86.782 3239.1 0.4304
    242 0.000303 1240 0.04115 241. 0.004359 16 12.12
MATERIAL 11 10.17 295.0 1 235.4 0.6214 2238.4 86.782 3239.1 0.4304
    242 0.000303 1240 0.04115 241. 0.004359 16 12.12
MATERIAL 12 5.3728 295.0 2 91 98.15 56 0.16 52 0.1 58 0.05
    
```

```

MATERIAL 11 1.077E-4 207 1.54
MATERIAL 13 5.3728 295.0 2 91 98.15 56 0.16 52 0.1 58 0.05 #
MATERIAL 14 5.3728 295.0 2 91 98.15 56 0.16 52 0.1 58 0.05 #
MATERIAL 11 1.077E-4 207 1.54
BELL 1.114
FEWGROUPS 2 5 10 15 23 24 26 27 36 39 45 48 53 56 60 63 66 69
NPIJAN 25
MESH 1 1 1 1 3 1 1 1 1 3 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
BUCKLING 0.000243 0.0007272
BEGINC

I# 15, KOMPDS= 39
DNBO 1 0.0 0.0 0.00001067 0.0
DNBO 2 0.0 0.0 0.00001067 0.0
DNBO 3 0.0 0.0 0.00001067 0.0
DNBO 4 0.0 0.0 0.00001067 0.0
DNBO 5 0.0 0.0 0.0 0.0
DNBO 6 0.0 0.0 0.00001067 0.0
DNBO 7 0.0 0.0 0.0 0.0
DNBO 8 0.0003334 0.0066684 0.033342 0.0
DNBO 9 0.0 0.0 0.046415 0.0
DNBO 10 0.0 0.0 0.046415 0.0
DNBO 11 0.0 0.0 0.046415 0.0
DNBO 12 0.0 0.0 0.0 0.0
DNBO 13 0.0 0.0 0.0 0.0
DNBO 14 0.0 0.0 0.0 0.0
DIFFUSION 5 1 1
PARTITION 5 15 36 45 47 56 69
REACTION 235 295 2238 295 3239 295 1240 295 241 295 242 295 #
164 295.0 176 295.0 #
1000 295.0 63 295.0 153 295.0
PRINTC 0 0 0
BEEONE 1
THERMAL 7
LEAKAGE 7
BUCKLING 0.000243 0.0007272
BEGINC

```