

JAERI-M

9147

KENO-IV コードベンチマーク計算(10)

(軽水型原子炉臨界集合体による臨界実験)

1980年11月

小室雄一・野村 靖・内藤淑孝・鶴田新一郎・片倉純一

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

この報告書は、日本原子力研究所がJAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

KENO-N コードベンチマーク計算(10)
(軽水型原子炉臨界集合体による臨界実験)

日本原子力研究所東海研究所安全解析部
+ 小室 雄一・野村 靖・内藤 俊孝 +
鶴田新一郎・片倉 純一

(1980年9月30日受理)

原研で整備中の臨界安全性評価コードシステムのうち、モンテカルロ法コード KENO-N と新たに開発された多群定数ライブラリー MGCL との組合せによる臨界計算の精度検証のために、一連のベンチマーク計算作業が実施された。本報告書では、原研の軽水臨界集合体(TCA)に関する実験データを用いて実施されたベンチマーク計算の結果を記す。

UO_2 あるいは $\text{UO}_2 + \text{PuO}_2$ 燃料棒を用いて構成した正方格子炉心体系の、格子配列形状および中性子吸収材の有無などを変化させて得られた 125 ケースの臨界水位測定データについて、実効増倍係数を計算し、その頻度分布を作成してみると平均値 0.995 の周りに標準偏差 0.004 で分布していることがわかった。特に中性子吸収板つきの炉心体系の実験データ 26 ケースについての実効増倍率計算結果は、平均値 \pm 標準偏差が 0.998 ± 0.003 となり、臨界体系を高精度に計算できることが確認された。

KENO-IV Code Benchmark Calculation (10)
(A Light Water Reactor Critical Assembly)

Yuichi KOMURO⁺, Yasushi NOMURA, Yoshitaka NAITO⁺,
Shinichiro TSURUTA and Jun'ichi KATAKURA
Division of Reactor Safety Evaluation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received September 30, 1980)

A series of benchmark tests has been undertaken in JAERI in order to examine the capability of JAERI's criticality safety evaluation system consisting of the Monte Carlo calculation code KENO-IV and the newly developed multi-group library MGCL. The present report describes the results of a benchmark test using criticality experiments at the Tank-type critical Assembly (TCA) of JAERI.

In all, 125 cases of experiments have been calculated for H_2O moderated square lattice of UO_2 or UO_2+PuO_2 mixed oxide fuel rods with varying lattice configurations.

For all the 125 cases, the effective multiplication factor (k_{eff}) can be predicted as 0.995 ± 0.004 by this calculational method. Particularly for the 26 cases dealing with neutron absorbers, the k_{eff} can be predicted as 0.998 ± 0.003 , which is very accurate calculation compared with other cases.

Keywords: Criticality Safety, Benchmark Calculation, KENO-IV Monte Carlo Code, MGCL Multi-group Constants Library, Tank-type Critical Assembly, Water Moderated Square Lattice, Uranium-Dioxide Fuel Rod, Mixed Oxide Fuel Rod

+ Division of JPDR, Tokai, JAERI

目 次

1. まえがき	1
2. 実験体系と実験データ	1
2.1 実験体系	1
2.1.1 TCA の概要	1
2.1.2 燃料棒	1
2.1.3 燃料格子構造	2
2.1.4 減速材	3
2.1.5 中性子吸収材	3
2.2 実験データ	3
2.2.1 U(2.6)O ₂ - 軽水の炉心体系	3
2.2.2 PuO ₂ - U(Natural)O ₂ - 軽水の炉心体系	4
2.2.3 U(2.6)O ₂ - 硼酸水溶液の炉心体系	4
2.2.4 U(2.6)O ₂ - 中性子吸収板 - 軽水の炉心体系	4
3. 計算手法と計算モデル	14
3.1 計算手法	14
3.2 計算モデル	15
4. 計算結果及び考察	16
4.1 U(2.6)O ₂ - 軽水の炉心体系	16
4.2 PuO ₂ - U(Natural)O ₂ - 軽水の炉心体系	16
4.3 U(2.6)O ₂ - 硼酸水溶液の炉心体系	17
4.4 U(2.6)O ₂ - 中性子吸収板 - 軽水の炉心体系	17
5. 結論	31
謝辞	31
参考文献	32
Appendix 燃料格子配列パターン図	33

Contents

1. Introduction	1
2. Experiment.....	1
2.1 Experimental System	1
2.1.1 Description of TCA	1
2.1.2 Fuel Rods	1
2.1.3 Lattice Structure	2
2.1.4 Moderator	3
2.1.5 Neutron Absorbers	3
2.2 Experimental Data	3
2.2.1 U(2.6)O ₂ - Light Water System	3
2.2.2 PuO ₂ - U(Nat.)O ₂ - Light Water System	4
2.2.3 U(2.6)O ₂ - Boric Acid Solution System	4
2.2.4 U(2.6)O ₂ - Neutron Absorber-Light Water System	4
3. Calculation.....	1 4
3.1 Calculational Method	1 4
3.2 Modeling	1 5
4. Calculated Results and Discussions	1 6
4.1 U(2.6)O ₂ - Light Water System	1 6
4.2 PuO ₂ - U(Nat.)O ₂ - Light Water System	1 6
4.3 U(2.6)O ₂ - Boric Acid Solution System	1 7
4.4 U(2.6)O ₂ - Neutron Absorber-Light Water System	1 7
5. Conclusion	3 1
Acknowledgement	3 1
References	3 2
Appendix Patterns of Lattice Configurations	3 3

1. まえがき

この報告書は原研で整備中の臨界安全性評価コードシステムの臨界計算精度評価を目的として計画された原子炉外臨界体系の解析の成果をまとめたもの一分冊である。ここでは、原研の軽水臨界実験装置 TCA (Tank-type Critical Assembly) で行なわれた臨界水位測定実験データ^{1),2)}をベンチマーク計算の対象とした。計算は、多群定数ライブラリ MGCL³⁾とモンテカルロコード KENO-N⁴⁾の組み合わせにより、各臨界形状の実効増倍係数を求めた。

TCAで行なわれた実験は、燃料種類、格子配列パターン、格子配列ピッチ、中性子吸収材の有無等を種々変化させて行なわれ、このうち解析に使用された実験ケース数は 125 である。

本報告書では、第2章で実験体系と実験データ、第3章で計算コード、データライブラリおよび計算モデルを説明し、第4章で計算結果と考察、第5章で結論を述べる。

2. 実験体系と実験データ

実験はすべて TCA で行なわれた。実験には、燃料として U (濃縮度 2.6 w/o) O₂ , U (Natural) O₂ , PuO₂ - U (Natural) O₂ , 減速材として軽水、中性子吸収材として硼酸、ボラール板、あるいはアルミニウムーカドミウム合金板が使われた。

これらの燃料、減速材、中性子吸収材の組み合わせにより、次に掲げる 4 種類の臨界実験体系を構成した。

1. U (2.6) O₂ - 軽水
2. PuO₂ - U (Natural) O₂ - 軽水
3. U (2.6) O₂ - 硼酸水溶液
4. U (2.6) O₂ - (アルミニウムーカドミウム合金板あるいはボラール板) - 軽水

2.1 実験体系

2.1.1 TCA の概要

TCA は、燃料棒、格子板、炉心タンク (直径 1.83 m, 高さ 2.08 m) から構成される。TCA の垂直及び水平断面図を Fig. 1 と Fig. 2 に示す。炉心タンクの垂直断面図を Fig. 3 に示す。この体系の臨界到達は、炉心タンク内に燃料格子を構成し、そこへタンク底部からポンプにより給水し、タンク水位を上昇することにより行なわれる。燃料格子周辺の外側へ 1.5 cm 離れた位置にはほぼ等角度間隔に 6 個の中性子検出器が据付けられている。TCA の最大限界運転出力は 200 W である。

2.1.2 燃料棒

燃料棒は、U(2.6)O₂、U(Natural)O₂、PuO₂-U(Natural)O₂の3種類が用意された。1つの臨界炉心に装荷される燃料本数は、炉心パターンによって異なるが、最少で約300本、最大で約600本である。

(1) U(2.6)O₂ 燃料棒

この燃料棒の寸法、材質、形状をFig. 4に示し、燃料の濃縮度と核種組成およびペレット寸法などの仕様値をTable 1に示す。U(2.6)O₂燃料棒は、²³⁵U濃縮度が2.6w/oのUO₂ペレット（直径1.25cm）を厚さ0.076cmのアルミニウム管で被覆したものである。燃料棒の有効長さは144.15cmである。ペレットタイプ燃料棒の他にスウェージタイプ燃料棒も使われたが、この燃料棒の濃縮度およびウラニウム密度などの性質はペレットタイプのものと同一である。

(2) PuO₂-U(Natural)O₂燃料棒

寸法、材質、形状をFig. 4に示し、Pu富化度、U濃縮度、および核種組成、それにペレット寸法などの仕様値をTable 1に示す。この燃料(PuO₂+UO₂)のうち3w/oはPuO₂である。Puのうち²⁴⁰Puは、燃料棒製造時には22w/o含まれている。また、Pu中の²⁴¹Puは²⁴¹Amに壊変していくのでPuの成分組成は時間と共に変化する。燃料棒製造後と、各年度初め毎の²⁴¹Puと²⁴¹Amの原子個数密度の計算値をTable 2に示す。なお、ウラニウムは天然組成のものである。直径1.07cmに焼結されたペレットは厚さ0.07cmのジルカロイ-2被覆管に収納されている。燃料棒の有効長さは70.6cmである。

2.1.3 燃料格子構造

燃料格子はタンク内に格子板によって垂直に保持される。この格子板は、炉心タンク内の上下2個所の位置にある。但し、PuO₂-U(Natural)O₂燃料格子の場合に限り上下格子板の中間にもう1枚の格子板が設置されている。この中間格子板の位置は、燃料有効部より9cm上側にある。燃料格子を上側から見た様子をPhoto. 1に、また格子板を上、下、中間に配置した様子をPhoto. 2に示す。

燃料格子配列の水平断面形状は、正方形または長方形であり、各燃料棒は縦横ともに等間隔に並べられ、正方格子セルを形成している。格子セルの水対燃料の体積比はピッチの異なる格子板を使って変化させることができる。ピッチの誤差は0.02mm以下（この数値は格子板と燃料棒間の空隙も含む）である。

U(2.6)O₂燃料棒を使った実験で、数ケースには燃料配列間に水ギャップを有するものがある。このギャップは燃料配列からその燃料の列あるいは行を取り除くことで形成される。そして水ギャップの巾は格子ピッチの整数倍である。

水反射体厚さは炉心周辺水平方向に40cm以上確保されている。炉心より下側の部分には水反射体の他に燃料棒下部端栓、燃料支持板などがあり、これらを含めた炉心下側の反射体厚さは約30cmである。

燃料格子配列は、水対燃料体積比と燃料の種類によって分けられ、それぞれに名称がつけられている。たとえば、格子名1.50Uとは、UO₂燃料を水対燃料の体積比が1.50となるように配列されていることを意味し、格子名2.42PUとはPuO₂-UO₂燃料を水対燃料の体

積比が 2.42 となるように配列されていることを意味する。格子名、水素対燃料原子個数比および対応する格子ピッチについて Table 3 に示す。

2.1.4 減速材

TCA では減速材として軽水を使用し、その水位を上昇することにより臨界に到達させる。但し、軽水減速材に中性子吸収材として硼酸を混合したケースもある。

2.1.5 中性子吸収材

実験では下に示す均質・非均質 2 種類の中性子吸収材が使われた。

(1) 硼酸 (H_3BO_3)

硼酸水溶液が減速材として使われた実験が 4 ケースあり、水溶液中のボロン濃度はそれぞれ 7.2 PPM, 14.7 PPM, 34.5 PPM, 55.4 PPM であった。

(2) ポラール板およびアルミニウムーカドミウム板

中性子吸収板としては、 B_4C 含有量 3.5 w/o のポラール板と、カドミウム含有量がそれぞれ 0.35 w/o, 0.60 w/o, 1.15 w/o, 2.15 w/o, 4.50 w/o の 5 種類のアルミニウムーカドミウム合金板が用意された。各板の寸法、密度、カドミウム含有量、およびカドミウム原子数密度を Table 4 に示す。

2.2 実験データ

実験データは炉心形状と臨界炉水位のデータからなる。臨界水位は炉水温度が 10 ~ 30 °C の範囲内にあるときに測定されたが、以下に示す実験データはすべて炉水温度 20 °C に於ける臨界水位に換算したものである。これには、20 °C と実測温度との差を、あらかじめ求めておいた反応度温度係数のデータにより反応度差に変換し、次にこれを水位ワースの測定データにより水位差に変換して実測水位を補正する手法を用いた。つぎに炉心体系の種類ごとに実験データを説明する。

2.2.1 U(2.6)O₂ - 軽水の炉心体系

この体系では、燃料として U(2.6)O₂ が、また減速材として軽水が使われた。格子ピッチは Table 3 に示すものの内、1.849 cm, 1.956 cm, 2.150 cm, 2.293 cm の 4 種類が用いられた。これらの格子ピッチと、縦横に並べる燃料棒本数を変えて種々の炉心パターンを形成し、臨界水位を測定して Table 5 に示すごとき 40 ケースの実験データが得られた。次に燃料および減速材は同一のものを使用するが、燃料格子内に水ギャップを有する炉心体系の臨界実験も行なわれた。この実験での格子ピッチは 1.849 cm と 2.293 cm の 2 種類があり、Table 7 に示すごとく 7 ケースの実験データが得られた。炉心パターン番号に対応する燃料格子配列形状を Appendix に示す。

2.2.2 PuO_2 - U (Natural) O_2 - 軽水の炉心体系

この体系では PuO_2 - U (Natural) O_2 が燃料として使われ、減速材としては軽水が用いられた。格子ピッチは Table 3 に示すものの内 1.825 cm , 1.956 cm , 2.225 cm , 2.474 cm の 4 種類が用いられた。これらの格子ピッチと縦横に並べる燃料棒本数を変えて種々の炉心パターンを形成し、臨界水位を測定し、Table 6 に示すごとき 48 ケースの実験データが得られた。これらには、燃料中の ^{241}Pu が ^{241}Am に壊変していくことにより燃料組成が変化するため、同一ピッチ、同一パターンの炉心について一年毎に臨界水位を測定したデータが含まれている。実験データに対応する炉心パターンを Appendix に示す。

2.2.3 $\text{U}(2.6)\text{O}_2$ - 硼酸水溶液の炉心体系

この体系では 2.6 w/o 濃縮の UO_2 燃料、それに減速材として硼酸水溶液が使われた。格子ピッチ 1.956 cm の炉心で、水溶液中のボロン濃度を 7.2 ppm , 14.6 ppm , 34.5 ppm , および 55.4 ppm と変化させて、Table 8 に示すごとき 4 ケースの実験データが得られた。ここで臨界水位を約 9.0 cm 一定に保つため、ボロン濃度の高いものを使用する場合には格子配列が大きくなっている。たとえば 7.2 ppm のボロン濃度の減速材を用いる場合には 1.8×1.9 の格子配列とし、 55.4 ppm のボロン濃度の減速材を用いる場合には 2.5×2.5 の格子配列が形成された。実験データに付記した炉心パターン番号に対応する燃料格子配列形状を Appendix に示す。

2.2.4 $\text{U}(2.6)\text{O}_2$ - 中性子吸収板 - 軽水の炉心体系

この体系では燃料として ^{235}U が 2.6 w/o に濃縮された UO_2 が、また減速材として軽水が使われ、さらに格子セルの間には中性子吸収板が装荷された。炉心の大きさは装荷する中性子吸収板の種類によって異なり、アルミニウム - カドミウム合金板は 2.7×1.4 炉心に、毒物効果の大きなボラール板は 3.2×1.5 炉心にそれぞれ装荷された。アルミニウム - カドミウム板の装荷された炉心形状の一例を Fig. 5 に示す。格子ピッチ 1.956 cm の炉心で、炉心格子セルの間の中性子吸収板の位置および組成を変えて臨界水位を測定し、Table 9 に示すごとき 26 ケースの実験データが得られた。実験データに付記した炉心パターン番号に対応する燃料格子配列形状を Appendix に示す。

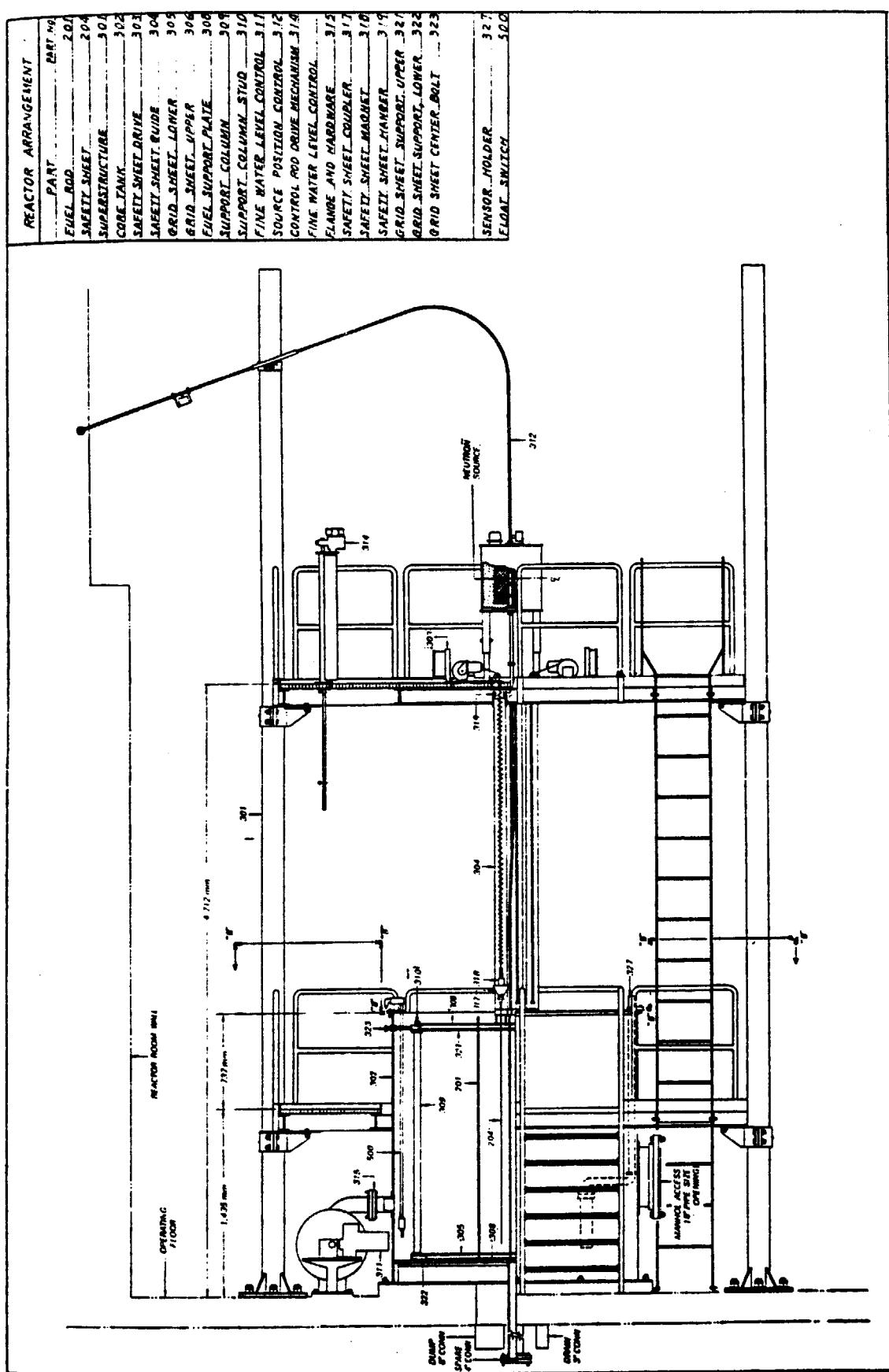


Fig. 1 Vertical cross-sectional view of TCA

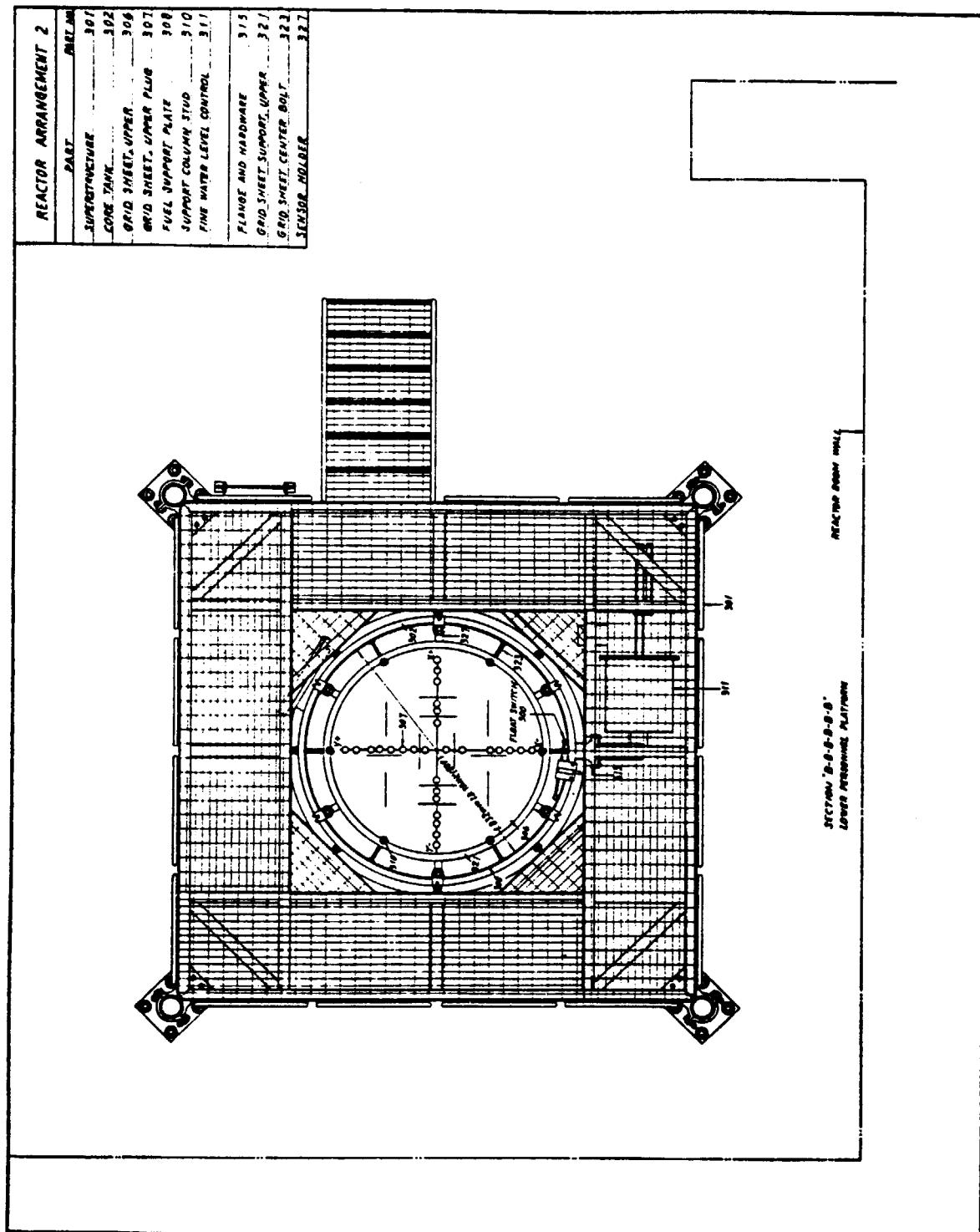


Fig. 2 Horizontal cross-sectional view of TCA

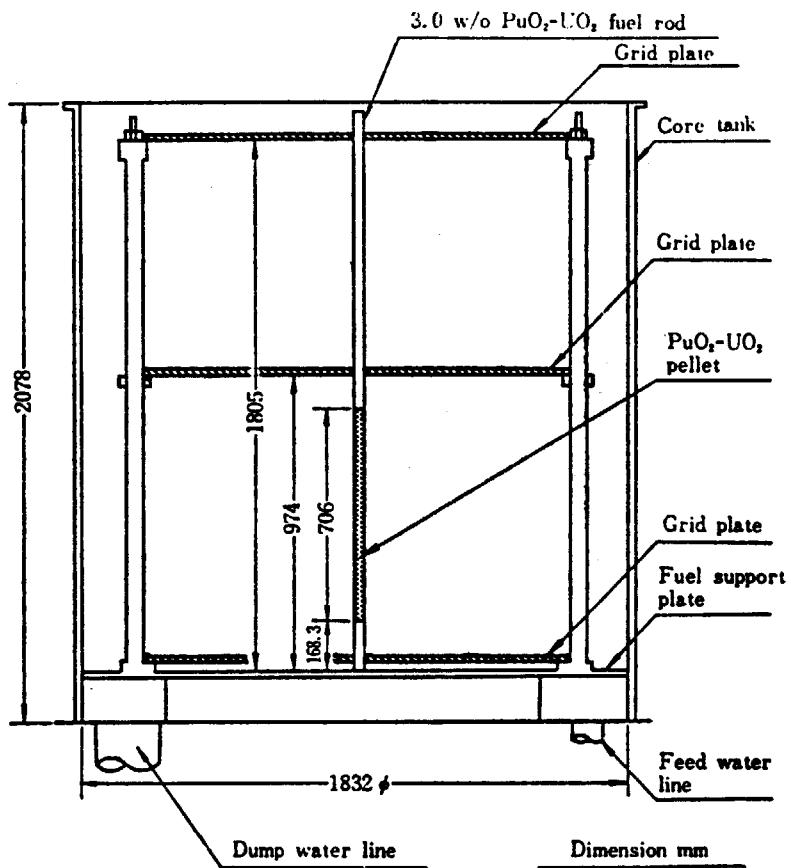
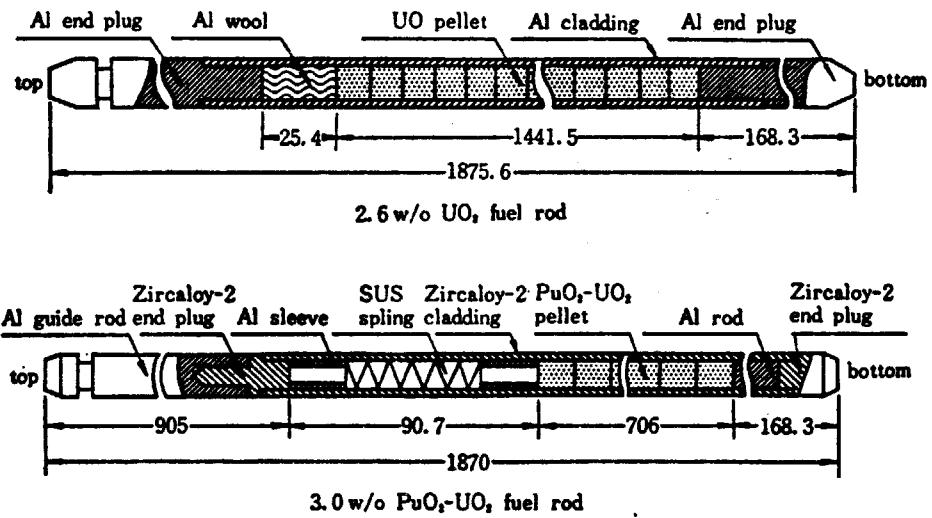


Fig. 3 Vertical cross-sectional view of core tank

Fig. 4 2.6w/o UO₂ and 3.0w/o PuO₂-natural UO₂ fuel rods

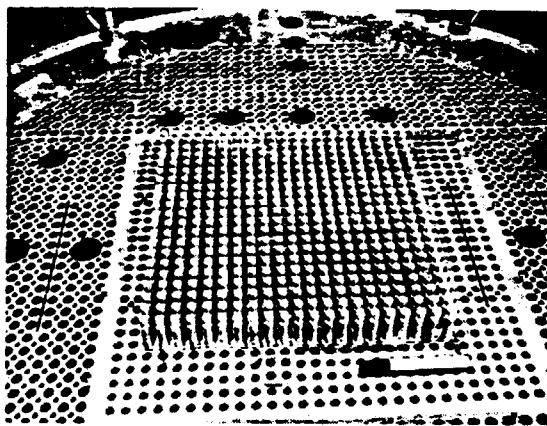


Photo. 1 Top view of 4.24 Pu lattice.

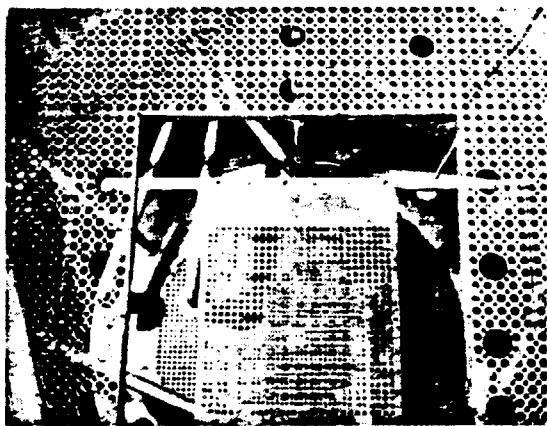


Photo. 2 Arrangement of grid plates at upper, middle,
and lower positions.

Table 1 Fuel Specification for Enriched UO_2 and $\text{PuO}_2\text{-}\text{UO}_2$ Pellet

	UO_2	$\text{PuO}_2\text{-}\text{UO}_2$
<i>Fuel</i>		
Enrichment, w/o	2.596, ^{235}U	3.01 ± 0.05 , $\frac{\text{PuO}_2}{(\text{PuO}_2 + \text{UO}_2)}$
Isotope ratio, w/o		
Uranium		Natural
^{235}U	2.596	
^{238}U	97.404	
Plutonium		
^{239}Pu	—	0.494 (1971-8-19)*
^{240}Pu	—	68.18 (1971-8-19)
^{241}Pu	—	22.02 (1971-8-19)
^{242}Pu	—	7.26 (1971-8-19)
^{243}Pu	—	2.04 (1971-8-19)
Americium		
^{241}Am	—	530 ppm (1971-8-16) in PuO_2
Impurity content	—	$0.90^{+0.09}_{-0.12}$ ppm equivalent boron concentration in $\text{PuO}_2\text{-}\text{UO}_2$
O/M	2.04	2.07
Pellet		
Fabrication method	Sintered	Mechanically blended and pre-sintered
Diameter, mm	12.50	10.65
Density, g/cm ³	10.40	6.056 ± 0.076
Stack length, mm	1441.5 ± 3	706 ± 3
<i>Cladding</i>		
Material	Al	Zircaloy-2
Inner diameter, mm	12.65	10.83 ± 0.06
Thickness, mm	0.76	0.70 ± 0.07

* Date of assaying.

Table 2 Atomic Number Densities of ^{241}Pu and ^{241}Am

Date	Elapsed time (days)	Atomic number density ($\times 10^{24}$ atoms/cm ³)	
		^{241}Pu	^{241}Am
1971-8-19	0	2.903×10^{-5}	2.121×10^{-7}
1972-4-1	226	2.819	1.059×10^{-6}
1973-4-1	591	2.687	2.374
1974-4-1	956	2.562	3.629
1975-4-1	1321	2.442	4.824
1976-4-1	1686	2.328	5.964
1977-4-1	2051	2.219	7.051

Table 3 Name of Lattice

Lattice name	H/U or H/Pu	Lattice pitch (cm)
1.50U	4.33	1.849
1.83U	5.28	1.956
2.48U	7.16	2.150
3.00U	8.65	2.293
2.42PU	402	1.825
2.98PU	494	1.956
4.24PU	703	2.225
5.55PU	921	2.474

Table 4 Al-Cd Poison Sheet

Poison	Dimension	Density	Cd Content	Atomic Number Density of Cd
1	1600 × 300 × 3.19 mm	2.67 g/cm ³	0.35 w/o	5.01 × 10 ¹⁹ atom/cc
2	" × 3.16	2.67	0.60	8.59
3	" × 3.16	2.67	1.15	16.5
4	" × 3.10	2.68	2.15	30.9
5	" × 3.14	2.69	4.50	65.0
Boral	1900 × 254 × 2.2	2.53	35. *	38.58 × 10 ²¹ **

* This value shows the B₄C content in the Boral sheet.

** Atomic number density of B.

Table 5 Critical Water Levels of UO₂ Lattices at 20°C

Lattice name	Pattern	Critical water level (cm)	Error, ±δk _{eff}	Lattice name	Pattern	Critical water level (cm)	Error, ±δk _{eff}
1.50U	18	99.45	3 × 10 ⁻⁴	1.83U	18	60.38	3 × 10 ⁻⁴
	20	73.73	7		19	55.53	1
	22	60.81	5		20	51.65	2
	24	53.23	5		21	48.62	1
	26	47.81	3		22	46.01	1
	28	43.94	1		23	43.91	1
	29	40.89	1		24	42.12	1
1.83U	25	40.50	1		25	40.50	1
	1	131.94	1 × 10 ⁻⁴	2.48U	11	78.67	2 × 10 ⁻⁴
	2	69.01	1		13	59.96	1
	3	85.36	1		15	50.52	1
	4	135.70	1		18	44.55	1
	6	139.72	1		20	40.44	1
	7	113.95	1		21	39.00	1
	8	94.58	1		22	38.00	1
	9	83.45	1		23	37.00	1
	10	75.74	1		24	36.00	1
	12	120.73	1		25	35.00	1
	13	114.59	3		26	34.00	1
	14	81.17	1		27	33.00	1
	15	75.32	6		28	32.00	1
	16	66.90	1		29	31.00	1

Table 6 Critical Water Levels of
PuO₂-U (natural) O₂-H₂O Systems at 20 °C

Lattice Name	Pattern	Critical Water Level [cm]	Date
242P	24	69.41	72-6- 5
	25	69.57	74-5-14
	26	59.55	72-6- 7
	26	61.90	73-5-14
	26	64.06	74-5-14
	26	66.46	75-5-16
	27	60.06	74-5-14
	28	53.30	72-6- 7
	28	56.68	74-5-14
	28	58.36	75-5-16
	298Pu	67.10	72-5-18
	22	61.50	72-5-18
	22	64.39	73-5-22
	22	66.87	74-5-28
	22	69.40	75-5-21
298PU	23	57.38	72-5-18 73-5-22
	23	60.37	73-6- 6
	23	61.92	74-5-28
	23	63.88	75-5-21
	24	57.83	74-5-28
	25	54.72	74-5-28
	26	51.94	74-5-28
	27	49.82	74-5-28
	28	47.78	74-5-28
	28	48.68	75-5-21
4.24PU	19	68.67	73-5-29
	20	60.32	72-4-13
	20	62.95	73-5-29
	20	65.63	74-6- 5
	20	68.18	75-5-28

Lattice Name	Pattern	Critical Water Level [cm]	Date
4.24PU	21	61.07	74-6- 5
	22	53.41	72-4-14
	22	55.48	73-5-29
	22	57.28	74-6- 5
	22	59.05	75-5-28
	23	54.33	74-6- 5
	24	51.74	74-6- 6
	26	47.72	74-6- 6
	28	44.67	74-6- 6
	28	45.62	75-5-28
5.55PU	21	69.16	73-6- 6
	22	62.05	72-4-28
	22	64.53	{ 73-6- 6 73-6- 7
	23	58.73	72-4-26
	23	61.10	73-6- 6
	24	58.08	73-6- 6
26	25	55.69	73-6- 6
	26	53.50	73-6- 6

Table 7 Critical Water
Levels for Water
Gap Patterns

Lattice Name	Pattern	Critical Water Level [cm]
1.50U	104	4242
	108	4880
	111	6405
	112	10047
3.00U	101	4684
	105	6581
	109	13077

Table 8 Critical Water Levels for UO₂ Lattices with Boric Acid Solution

Lattice Name	Pattern	Critical Water Level (cm)	Boron Concentration (ppm)
1.83U	16	85.78	72.3
	18	96.85	146.6
	24	84.99	345.0
	29	85.79	554.0

Table 9 Critical Water Levels for UO₂ Lattices with Poison Sheet

Lattice name	Pattern	Critical water level (cm)	Lattice name	Pattern	Critical water level (cm)
1.83U	(Boral)		1.83U	(Al-CdNa3)	
	16P16	120.4		13P14	115.87
	13P19	100.1		10P17	105.85
	11P21	83.9		6P21	87.40
1.83U	(Al-CdNa1)			3P24	78.08
	13P14	86.62		1P26	74.32
	10P17	83.92	1.83U	(Al-CdNa4)	
	6P21	78.11		9P18	118.38
	3P24	73.96		6P21	94.04
	1P26	72.00		3P24	80.39
1.83U	(Al-CdNa2)			1P26	75.76
	13P14	98.24	1.83U	(Al-CdNa5)	
	0P17	93.27		8P19	126.60
	6P21	82.46		6P21	102.13
	3P24	75.92		3P24	83.32
	1P26	73.10		1P26	77.40

Al-Cd Poison Sheet

Poison No.	Cd Content
1	0.35 w/o
2	0.60
3	1.15
4	2.15
5	4.50

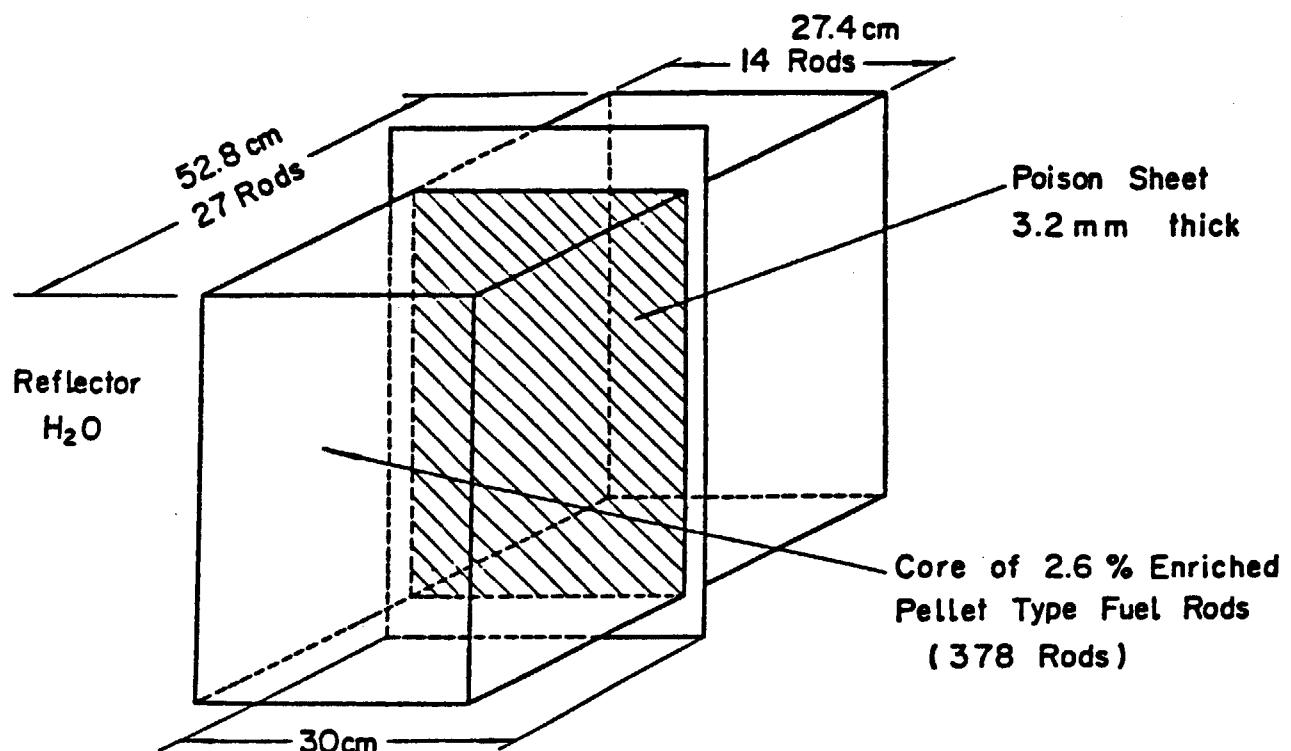


Fig. 5 Core Configuration Controlled by a Al-Cd Sheet

3. 計算手法と計算モデル

3.1 計算手法

臨界計算はモンテカルロ法による計算コード KENO-⁴⁾Nにより行う。モンテカルロ法は、階差近似法やSn法とは異なり、複雑な3次元幾何形状を正確に扱える利点をもっている。KENO-Nは多群定数を用いるモンテカルロ計算コードであり、HANSEN-ROACH 16群核断面積データセット⁶⁾を使用しての計算がこれまで多く報告されている。今回の計算には、原研で開発整備中の多群定数ライブラリ MGCL³⁾を用いた。

MGCLは、ENDF/B-N⁶⁾の中性子核データをRESEND-D, SUPERTOG,⁷⁾⁸⁾ PIXSE等で処理して作成した多群定数であり、マスターライブラリは137群である。MGCLの多群定数はABBNセット¹⁰⁾やJAERI-FAST-SET¹¹⁾と同様な表現方式の中性子遮蔽因子 $f(\sigma_j^j, T)$ と無限希釈断面積 σ_∞^j で与えられている。また標準スペクトルも内蔵しており、このスペクトルを用いて他の任意の群数を持つ群定数へ縮約することも可能である。ただし、この標準スペクトルは核分裂スペクトル、1/E、およびマクスウェル分布を用いて作成されたものである。

今回の計算では、基本的には上記マスターライブラリから標準スペクトルで縮約した26群の多群定数が用いられた。137群と26群のエネルギー構造をTable 10に示す。このMGCLを用いて、処理コードMAILによりKENO-N用の巨視的実効断面積セットが作成される。MAILでは、計算対象の各領域の核種個数密度と幾何形状を入力データとして、下記の式を用いて巨視的実効断面積 Σ_{eff} を求めている。計算の流れをFig. 6に示す。

$$\begin{aligned}\sigma_{eff} &= \sigma_\infty^j \cdot f(\sigma_j^j, T) \\ \sigma_j^j &= \frac{1}{N_j} \left(\sum_{i \neq j} N^i \sigma_t^i + \frac{aG}{\ell} \right) \\ \Sigma_{eff} &= \sum_j N^j \sigma_{eff}^j\end{aligned}$$

ここで

ℓ : 燃料ブロックの平均弦長

G : ダンコフ補正因子

a : ベル補正因子

i, j : 核種を示す添字

T : 燃料温度

MGCLの中の散乱マトリックスは高速群についてはSUPERTOGにより、また熱群についてはFLANGE、あるいはPIXSEにより求められており、中性子散乱の角度依存性は散乱

断面積をLEGENDRE 展開したときの P_3 成分までが考慮されている。MAILコードでは、前述した巨視的断面積の1次元データの他に今述べた散乱マトリックス・データをKENO-N用データセットに編集している。KENO-Nの中では方向余弦を散乱の P_0 成分と P_1 成分から求めている。

以上述べたごとく、今回用いた手法ではKENO-N用のデータ・セットは各計算ケースごとに作成する必要がある。元々、KENO-N計算ではKENO-N用のデータ・セット（例えばHANSEN-ROACH 断面積セット）は各計算ケース共通に使い、各元素のID番号と個数密度を入力すると、計算コード内で巨視的断面積が作成されるようになっている。ただし、中性子の自己遮蔽効果はポテンシャル断面積で取り入れるため、使用者は前以ってポテンシャル断面積を計算し、このポテンシャル断面積に対応する微視的断面積を選択しそのID番号を入力することが必要となる。ただし、非均質効果の計算はKENO-Nのコード内では行れないもので、これを考慮する必要がある場合にはあらかじめ計算しポテンシャル断面積に取り入れるようにしなければならない。

今回の計算では、前に述べたように非均質効果はMAILコードによる処理の段階で考慮されており、またバックグラウンド断面積 σ_0 についてはコードの中で繰り返し法により計算され、これに対応する実効断面積は内挿法で求められる。

3.2 計算モデル

燃料棒セルの計算モデルは、燃料棒の寸法上の違いから2種類あり、ひとつは UO_2 燃料棒に対するもので、外径 $1.25\text{ mm} \times$ 長さ 1441.5 mm の円柱状 UO_2 領域を外径 14.17 mm の Al 領域で包み、その外側を与えられた格子ピッチの長さを一辺とする正方形断面の水減速材領域で囲んだものである。他の一つは $PuO_2 - U$ (Natural) O_2 燃料棒に対するもので、外径 $1.065\text{ mm} \times$ 長さ 706 mm の円柱状 $PuO_2 - U$ (Natural) O_2 領域を、外径 12.23 mm のジルカロイ-2領域で包み、その外側を与えられた格子ピッチを一辺とする正方形断面の水減速材領域で囲んだものである。両モデルとも燃料ペレットと被覆管内面との間のギャップの部分は被覆管と同じ物質の原子で満たされているものと仮定し、被覆管端栓は省略した。次にこの燃料棒セルのモデルを縦横に並べて、実験時の格子パターンに一致するような配列形状モデルを作成した。計算ではさらにこの正方格子配列の外側（水平方向および下方向）を厚さ 4.0 cm 以上の水反射体で囲み、この水反射体の外側は真空と仮定した。従って、格子配列を保持する格子板、およびその他の支持構造材はすべて水で置きかえた簡単化した計算モデルが使用された。Fig. 7 に UO_2 燃料棒格子配列計算モデルを示す。

炉心を構成する各物質の原子個数密度はTable 11 に示す値を用いた。 PuO_2 燃料については ^{241}Pu が ^{241}Am に壊変するので、成分組成は時間と共に変化し、次式により計算した値を用いた。

$$N_{\theta}^{Pu} = N_0^{Pu} \cdot e^{-\lambda_{Pu} \cdot t}$$

$$N^{Am} = N_0^{Am} + N_0^{Pu} (1 - e^{-\lambda_{Pu} \cdot t})$$

ここで、

N^{Pu} , N^{Am} : ^{241}Pu , ^{241}Am の原子個数密度

N_0^{Pu} , N_0^{Am} : 各元素の初期原子個数密度

λ_{Pu} : ^{241}Pu の崩壊定数 ($1.31 \times 10^{-4} \text{ day}^{-1}$)

t : 経過時間 (day)

Table 2 に燃料棒製造後、および各年度初めにおける ^{241}Pu と ^{241}Am の原子個数密度を示した。

4. 計算結果及び考察

MGCL137群核断面積セットとKENO-Nコードを組合せて計算を実施した時の条件は次に示すとおりである。

エネルギー群数	137
一世代当たりの中性子数	300
計算世代数	200
スキップ世代数	3
初期中性子発生分布	平担
中性子平均重み	0.5

ただし、水ギャップ付炉心体系についての計算では中性子数を 150 とした。

4.1 U (2.6)O₂ - 軽水の炉心体系

この炉心体系における実験データ 40 ケースについて計算した結果を Table 12 に示す。また、このヒストグラムを Fig. 8 に示す。これから k_{eff} 計算値は 0.984 から 1.002 までの範囲に分布し、平均値は 0.992 となることがわかる。水ギャップを有する炉心体系 7 ケースについての計算結果を Table 14 に示すが、この場合 k_{eff} 計算平均値は 0.996 となる。

4.2 PuO₂ - U (Natural) O₂ - 軽水の炉心体系

この炉心体系に於ける実験データ 48 ケースについて計算した結果を Table 13 に示す。また、このヒストグラムを Fig. 9 に示す。これから、 k_{eff} 計算値は 0.984 から 1.006 までの範囲に分布し、平均値は 0.995 となることが判る。

4.3 U (2.6) O₂ - 硼酸水溶液の炉心体系

この炉心体系における実験データ 4 ケースについて計算した結果を Table 15 に示す。4 ケースの平均値は 1.002 となる。

4.4 U (2.6) O₂ - 中性子吸収板 - 軽水の炉心体系

この炉心体系に於ける実験データ 26 ケースについて計算した結果を Table 16 に示す。これのヒストグラムを Fig. 10 に示す。これから k_{eff} 計算値は 0.988 から 1.006 までの範囲に分布し、平均値は 0.998 となることがわかる。

以上 4 種類の炉心体系のそれぞれについて k_{eff} 計算結果を示したが、すべてのケースについては k_{eff} が 0.984 から 1.006 までの範囲に分布することがわかる。

なお、以上の計算結果は中性子数 300 および計算世代数 200 として中性子のヒストリ数を 60000 にとって得られたものであるが、U (2.6) O₂ - 軽水と PuO₂ - U (Natural) O₂ - 軽水の各炉心体系について、中性子数 200 および計算世代数 150 として中性子ヒストリ数を 30000 にとって計算すると、Fig. 11, Fig. 12 のヒストグラムに示すような結果を得た。両炉心体系とも k_{eff} の平均は 60000 ヒストリで得られた結果とほぼ同じ値になるが、分布のバラツキは大きくなることがわかる。

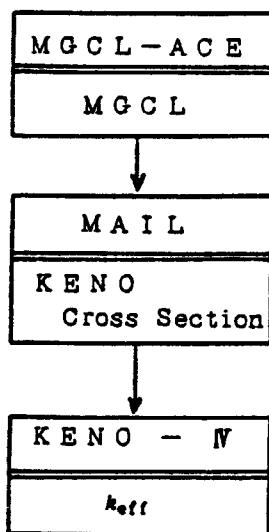


Fig.6 Flow Diagram for KENO Calculation

Table 10 Energy Structure of MGCL 137 and MGCL 26

Group NO.	Upper Energy Boundary	Lethergy width ΔU	Group NO.	Upper Energy Boundary	Lethergy width ΔU
26 ⁷ G _n	137G _n		26G _n	137G _n	
1	1	16.487 Mev	38	161.63 Kev	0.125
	2	14.550	39	142.64	0.125
	3	12.840	40	125.88	0.125
	4	11.331	41	111.09	0.125
	5	10.000	42	98.037	0.125
	6	8.825	43	86.517	0.125
	7	7.788	44	76.351	0.125
	8	6.8729	45	67.379	0.125
	9	6.0653	46	59.462	0.125
	10	5.3526	47	52.475	0.125
2	11	47.237	48	46.309	0.125
	12	41.686	49	40.868	0.125
	13	36.788	50	36.066	0.125
	14	32.465	51	31.828	0.125
	15	28.650	52	28.088	0.125
	16	25.284	53	24.788	0.125
	17	22.313	54	21.875	0.125
	18	19.691	55	19.305	0.125
	19	17.377	56	17.036	0.125
	20	15.335	57	15.034	0.25
	21	13.533	58	11.709	0.25
	22	11.943	59	9.1188	0.25
3	23	1.0540	60	7.1017	0.25
	24	930.14 Kev	61	5.5308	0.25
	25	820.85	62	4.3075	0.25
	26	724.40	63	3.3546	0.25
	27	639.28	64	2.6126	0.25
	28	564.16	65	2.0347	0.25
	29	497.87	66	1.5846	0.25
	30	439.37	67	1.2341	0.25
	31	387.74	68	961.12 ev	0.25
	32	342.18	69	748.52	0.25
	33	301.97	70	582.95	0.25
	34	266.49	71	454.00	0.25
	35	235.18	72	353.58	0.25
	36	207.54	73	275.36	0.25
4	37	183.16	74	214.45	0.25

Table 10 Energy Structure of MGCL 137 and MGCL 26 (Continued)

Group NO.		Upper Energy Boundary	Lethergy width ΔU	Group NO.		Upper Energy Boundary	Lethergy width ΔU
26 G _n , 137 G _n				26 G _n , 137 G _n			
8	75	167.02 ev	0.25	17	110	0.29792 ev	270 m/sec
9	76	130.07	0.25	18	111	0.27699	270
	77	101.30	0.25	18	112	0.25683	270
	78	78.893	0.25	18	113	0.23742	270
	79	61.442	0.25	19	114	0.21871	270
	80	47.851	0.25	19	115	0.20090	270
	81	37.267	0.25	19	116	0.18378	270
10	82	29.023	0.25	20	117	0.16743	270
	83	22.603	0.25	20	118	0.15183	270
	84	17.603	0.25	20	119	0.13700	270
	85	13.710	0.25	21	120	0.12293	270
	86	10.677	0.25	21	121	0.10962	270
	87	8.3153	0.25	21	122	0.09708	270
11	88	6.4760	0.25	22	123	0.085295	270
	89	5.0435	0.25	22	124	0.074274	270
	90	3.9279	0.25	22	125	0.064015	270
	91	3.0590	0.25	23	126	0.054518	270
	92	2.3824	0.25	23	127	0.045783	270
12	93	1.8554	0.125	23	128	0.037811	270
	94	1.6374	0.125	24	129	0.030600	270
	95	1.4450	0.125	24	130	0.024152	270
13	96	1.2752	0.125	24	131	0.018465	270
	97	1.1254	0.125	25	132	0.013541	270
	98	0.99312	0.125	25	133	0.009379	270
14	99	0.87642	0.125	25	134	0.005979	270
	100	0.77344	0.125	26	135	0.003341	270
15	101	0.68256	0.125	26	136	0.001465	270
	102	0.60236	0.125	26	137	0.000352	270
	103	0.53158	0.125			0.000033	270
	104	0.46912	0.125				
16	105	0.41399	270 m/sec				
	106	0.38925	270				
	107	0.36528	270				
17	108	0.34206	270				
	109	0.31961	270				

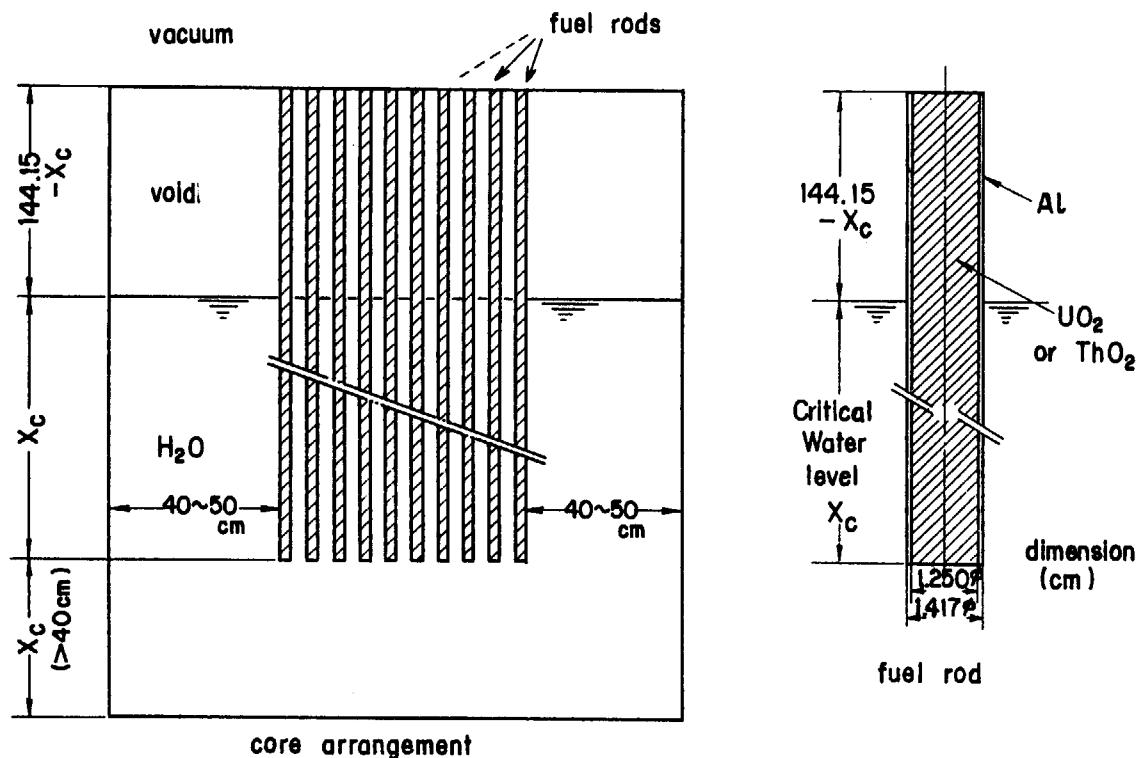
Fig. 7 Calculational model for UO_2 fuel lattice

Table 11 Atomic Number Densities

Region	Material	Atomic number density at 20°C ($\times 10^{24}$ atoms/cm ³)	
		2.6 w/o UO_2	3.0 w/o PuO_2-UO_2
Fuel	^{234}U	—	7.436×10^{-7}
	^{238}U	6.086×10^{-4}	9.393×10^{-5}
	^{235}U	2.255×10^{-2}	1.295×10^{-2}
	^{239}Pu	—	2.000×10^{-6}
	^{240}Pu	—	2.749×10^{-4}
	^{241}Pu	—	8.843×10^{-5}
	^{242}Pu	—	$2.903 \times 10^{-5\text{a)}$
	^{241}Am	—	8.124×10^{-6}
	O	4.725×10^{-2}	$2.121 \times 10^{-7\text{a)}$
Cladding (with air gap)	Aluminum Zircaloy-2	5.587×10^{-2} —	— 3.840×10^{-2}
Moderator	H_2O	3.338×10^{-2}	
	B	4.024×10^{-5}	
	72 ppm	8.155×10^{-5}	
	147 "	1.919×10^{-6}	
	345 "	3.082×10^{-6}	

*) Date of assaying; on 1971-8-16.

Table 1 2 Calculational Results for U (2 . 6) O₂ –
H₂O Systems

Lattice Name	Pattern	Critical Water Level (cm)	K _{eff}	$\pm \sigma$
1.50U	18	9 9 4 5	0.9 9 5 9 7	0.0 0 3 1 2
	20	7 3 7 3	1.0 0 0 1 0	0.0 0 2 8 2
	22	6 0 8 1	0.9 9 8 5 2	0.0 0 2 9 3
	24	5 3 2 3	0.9 9 2 7 6	0.0 0 2 7 5
	26	4 7 8 1	0.9 9 5 1 0	0.0 0 2 8 2
	28	4 3 9 4	0.9 9 4 6 9	0.0 0 3 0 0
	29	4 0 8 9	0.9 8 9 6 0	0.0 0 2 8 8
1.83U	1	1 3 1 9 4	0.9 9 4 0 5	0.0 0 3 1 1
	2	6 9 0 1	0.9 9 1 1 3	0.0 0 2 9 5
	3	8 5 3 6	0.9 9 2 3 4	0.0 0 3 2 1
	4	1 3 5 7 0	0.9 8 6 4 5	0.0 0 2 8 3
	6	1 3 9 7 2	0.9 9 1 7 5	0.0 0 2 7 1
	7	1 1 3 9 5	0.9 9 7 1 7	0.0 0 2 8 1
	8	9 4 5 8	0.9 9 8 1 2	0.0 0 2 8 9
	9	8 3 4 5	0.9 9 0 6 8	0.0 0 3 0 5
	10	7 5 7 4	0.9 9 3 1 1	0.0 0 2 9 0
	12	1 2 0 7 3	0.9 8 4 6 5	0.0 0 2 8 2
	13	1 1 4 5 9	0.9 9 0 9 1	0.0 0 3 2 8
	14	8 1 1 7	0.9 9 2 1 8	0.0 0 2 8 6
	15	7 5 3 2	0.9 9 3 6 4	0.0 0 3 0 2
	16	6 6 9 0	0.9 9 3 2 1	0.0 0 3 0 7
	18	6 0 3 8	0.9 9 0 5 0	0.0 0 2 7 9
	19	5 5 5 3	0.9 9 5 9 7	0.0 0 2 8 5
	20	5 1 6 5	0.9 9 2 8 8	0.0 0 3 5 1
	21	4 8 6 2	0.9 9 2 7 7	0.0 0 2 7 8
	22	4 6 0 1	0.9 9 8 7 5	0.0 0 2 8 5

Table 1 2 Calculational Results for U(2.6)O₂ -
H₂O Systems (continued)

Lattice Name	Pattern	Critical Water Level [cm]	K _{eff}	$\pm \sigma$
1.83U	23	4 3.9 1	0.99278	0.00291
	24	4 2.1 2	0.99256	0.00286
	25	4 0.5 0	0.98987	0.00299
248U	11	7 8.6 7	0.99121	0.00286
	13	5 9.9 6	0.99120	0.00294
	15	5 0.5 2	0.99181	0.00258
	18	4 4.5 5	0.99235	0.00295
	20	4 0.4 4	0.98858	0.00301
3.00U	5	9 0.7 5	0.99343	0.00304
	11	6 4.4 2	0.98876	0.00299
	13	5 2.8 7	0.98980	0.00289
	15	4 6.0 6	0.98756	0.00305
	17	4 1.7 9	0.99043	0.00274
	18	4 1.5 4	0.99038	0.00292

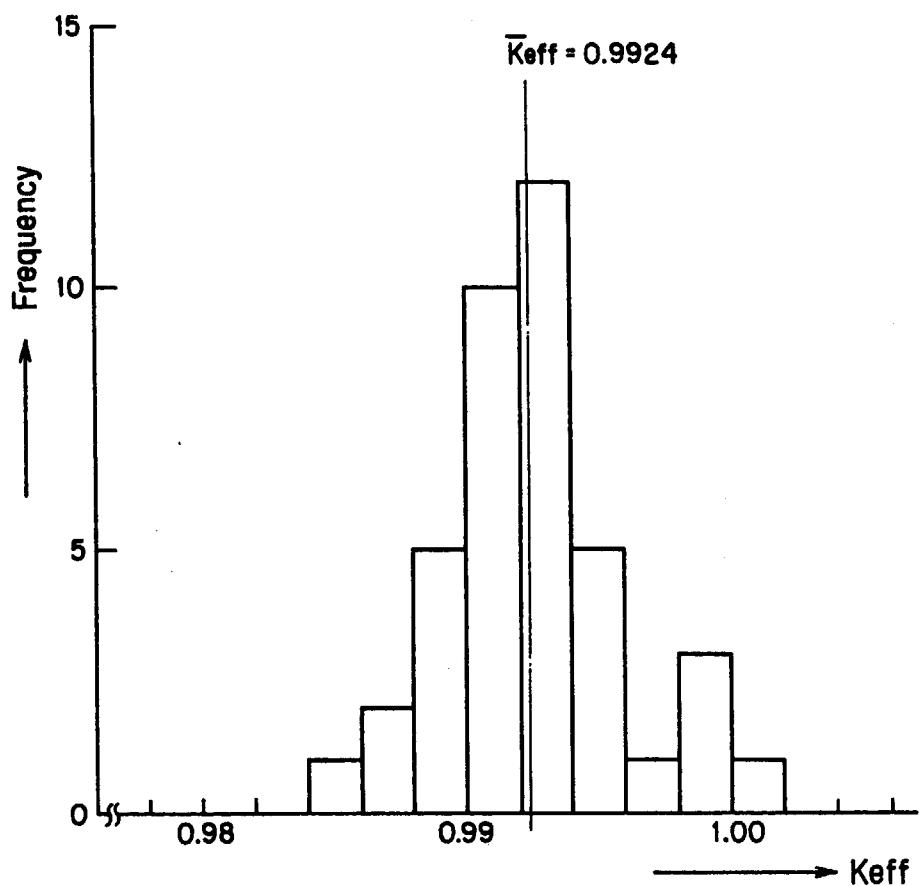


Fig. 8 Histogram of K_{eff} for $U(2.6)O_2 - H_2O$ systems calculated with the MGCL137 and KENO-IV under 200 generations with 300 neutrons per generation.

Table 13 Calculational Results for PuO₂-UO₂-H₂O Systems

Lattice Name	Patt-ern	Critical Water Level [cm]	Date	K _{eff}	$\pm \sigma$
242PU	24	69.41	72-6- 5	1.00128	0.00295
	25	69.57	74-5-14	0.99391	0.00311
	26	59.55	72-6- 7	0.99998	0.00304
	26	61.90	73-5-14	0.99355	0.00304
	26	64.06	74-5-14	0.99493	0.00305
	26	66.46	75-5-16	0.99618	0.00320
	27	60.06	74-5-14	0.99612	0.00277
	28	53.30	72-6- 7	0.99423	0.00313
	28	56.68	74-5-14	0.99815	0.00310
	28	58.36	75-5-16	0.99559	0.00302
298PU	21	67.10	72-5-18	0.99724	0.00300
	22	61.50	72-5-18	0.99734	0.00294
	22	64.39	73-5-22	0.99565	0.00283
	22	66.87	74-5-28	0.99804	0.00297
	22	69.40	75-5-21	1.00584	0.00282
	23	57.38	72-5-18	0.99879	0.00278
	23	60.37	{ 73-5-22 73-6- 6 }	1.00051	0.00282
	23	61.92	74-5-28	0.99861	0.00306
	23	63.88	75-5-21	0.99502	0.00311
	24	57.83	74-5-28	0.99467	0.00296
	25	54.72	74-5-28	0.99452	0.00262
	26	51.94	74-5-28	0.99676	0.00290
	27	49.82	74-5-28	0.99315	0.00303
	28	47.78	74-5-28	0.99592	0.00275
	28	48.68	75-5-21	1.00151	0.00306
424PU	19	68.67	73-5-29	0.99338	0.00283
	20	60.32	72-4-13	0.99223	0.00288
	20	62.95	73-5-29	0.99556	0.00267
	20	65.63	74-6- 5	0.98485	0.00297
	20	68.18	75-5-28	1.00048	0.00285
	21	61.07	74-6- 5	0.99072	0.00278
	22	53.41	72-4-14	0.99066	0.00279
	22	55.48	73-5-29	0.99490	0.00300
	22	57.28	74-6- 5	1.00086	0.00291

Table 13 Calculational Results for $\text{PuO}_2\text{-UO}_2\text{-H}_2\text{O}$ System
(continued)

Lattice Name	Pattern	Critical Water Level [cm]	Date	K_{eff}	$\pm \sigma$
4.24 PU	22	5 9.0 5	7 5 - 5 - 2 8	0.9 9 8 9 7	0.0 0 2 6 5
	23	5 4.3 3	7 4 - 6 - 5	0.9 9 8 8 6	0.0 0 2 8 2
	24	5 1.7 4	7 4 - 6 - 6	0.9 9 3 0 7	0.0 0 2 8 9
	26	4 7.7 2	7 4 - 6 - 6	0.9 9 3 4 9	0.0 0 2 8 8
	28	4 4.6 7	7 4 - 6 - 6	0.9 9 1 0 9	0.0 0 2 8 5
	28	4 5.6 2	7 5 - 5 - 2 8	0.9 9 4 1 9	0.0 0 3 1 1
5.55 PU	21	6 9.1 6	7 3 - 6 - 6	0.9 9 1 9 2	0.0 0 2 5 7
	22	6 2.0 5	7 2 - 4 - 2 8	0.9 9 6 6 2	0.0 0 2 8 6
	22	6 4.5 3	7 3 - 6 - 7	0.9 9 9 8 9	0.0 0 2 7 9
	23	5 8.7 3	7 2 - 4 - 2 6	0.9 8 5 1 7	0.0 0 2 7 1
	23	6 1.1 0	7 3 - 6 - 6	0.9 9 0 4 8	0.0 0 2 7 8
	24	5 8.0 8	7 3 - 6 - 6	0.9 8 9 6 0	0.0 0 2 4 8
	25	5 5.6 9	7 3 - 6 - 6	0.9 9 5 5 7	0.0 0 2 6 1
	26	5 3.5 0	7 3 - 6 - 6	0.9 9 1 5 5	0.0 0 2 8 6

Table 14 Calculational Result for Water-gap Pattern

Lattice name	Pattern	Critical water Level cm	K _{eff}	$\pm \sigma$
1.50U	104	424.2	0.99447	0.00448
	108	488.0	0.99836	0.00404
	111	640.5	0.99565	0.00414
	112	1004.7	0.99850	0.00387
300U	101	468.4	0.99365	0.00429
	105	658.1	0.99438	0.00411
	109	1307.7	0.99764	0.00394

Table 15 Calculational Result for UO₂ Lattices with Boric Acid Solution

Lattice name	Pattern	Boron Concentration ppm	Critical Water level cm	K _{eff}	$\pm \sigma$
1.83U	16	723	85.78	0.99828	0.00322
	18	146.6	96.85	0.99579	0.00298
	24	345.0	84.99	1.00547	0.00301
	29	554.0	85.79	1.00672	0.00277

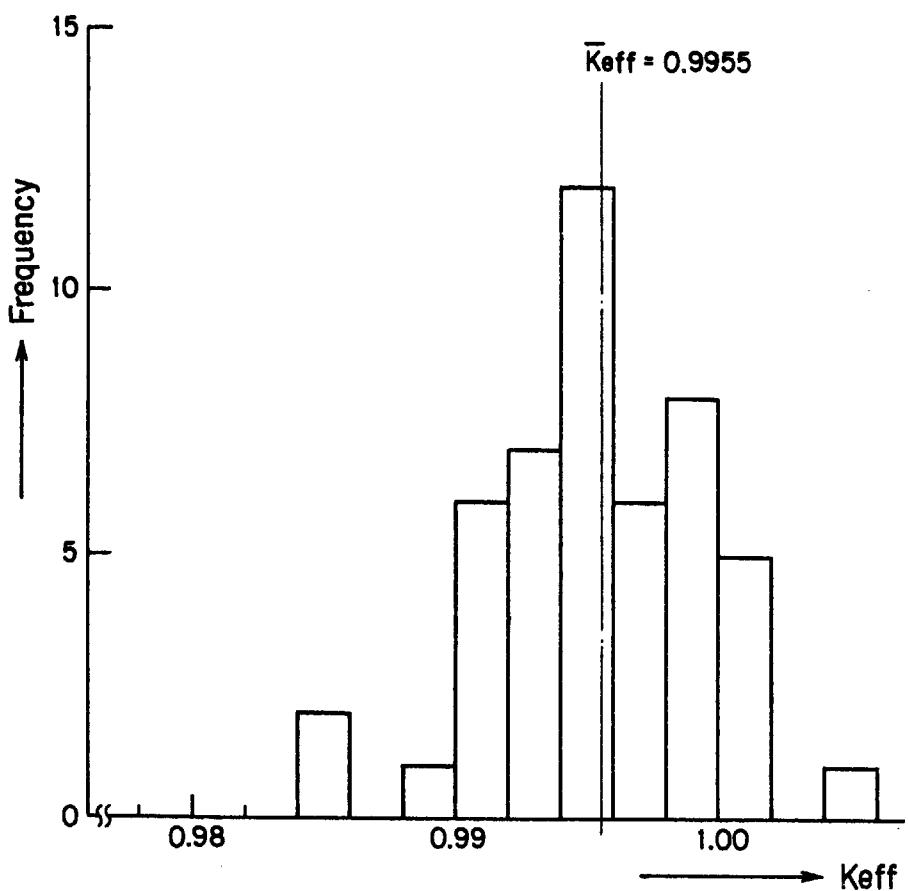


Fig. 9 Histograms of K_{eff} for $\text{PuO}_2\text{-U(Natural)} \text{ O}_2\text{-H}_2\text{O}$ systems calculated with the MGCL137 and KENO-IV under 200 generations with 300 neutrons per generation.

Table 16 Calculational Results for UO₂ Lattices with Poison Sheet

Lattice name	Poison Name	Position	Critical Water level (cm)	K _{eff}	$\pm \sigma$
1.83U	Boral	16P16	120.4	1.00058	0.00297
		13P19	100.1	0.99959	0.00275
		11P21	83.9	1.00438	0.00296
1.83U	Al-Cd	13P14	86.62	0.99994	0.00284
		10P17	83.92	0.99808	0.00323
		6P21	78.11	0.99762	0.00291
		3P24	73.96	0.98999	0.00315
		1P26	72.00	0.99794	0.00303
1.83U	Al-Cd	13P14	98.24	1.00262	0.00300
		10P17	93.27	0.99671	0.00294
		6P21	82.46	0.99705	0.00315
		3P24	75.92	1.00237	0.00275
		1P26	73.10	0.99393	0.00305
1.83U	Al-Cd	13P14	115.87	1.00058	0.00283
		10P17	105.85	1.00161	0.00307
		6P21	87.40	0.99796	0.00280
		3P24	78.08	0.99696	0.00292
		1P26	74.32	0.99988	0.00321
1.83U	Al-Cd	9P18	118.38	1.00036	0.00319
		6P21	94.04	1.00153	0.00296
		3P24	80.39	0.99392	0.00271
		1P26	75.76	0.99998	0.00306
1.83U	Al-Cd	8P19	126.60	0.99526	0.00295
		6P21	102.13	0.99535	0.00293
		3P24	83.32	0.99680	0.00321
		1P26	77.40	0.99616	0.00313

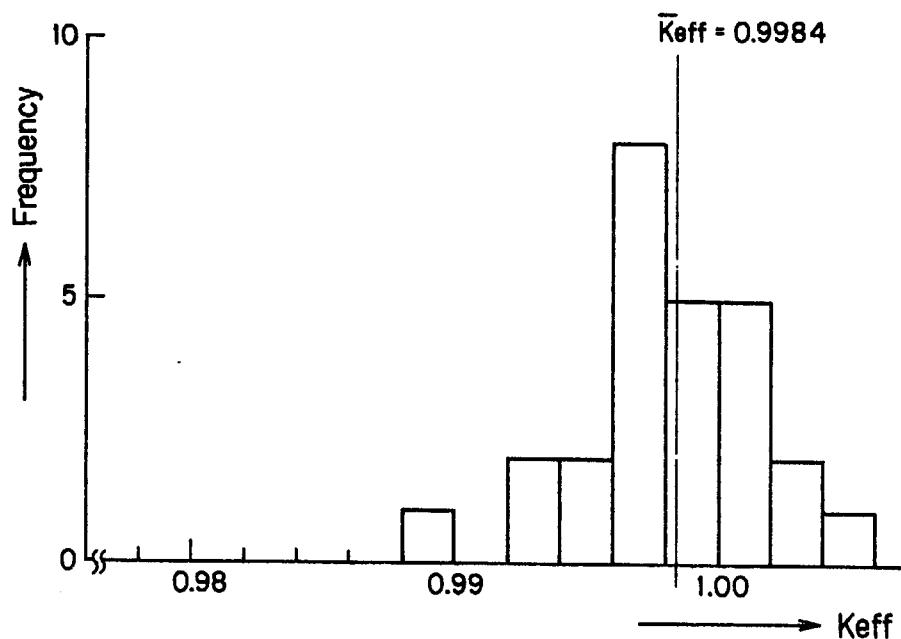


Fig.10 Histogram of k_{eff} for $\text{U}(2.6)\text{O}_2$ -Poison sheet- H_2O systems calculated with the MGCL137 and KENO-TV under 200 generations with 300 neutrons per generation.

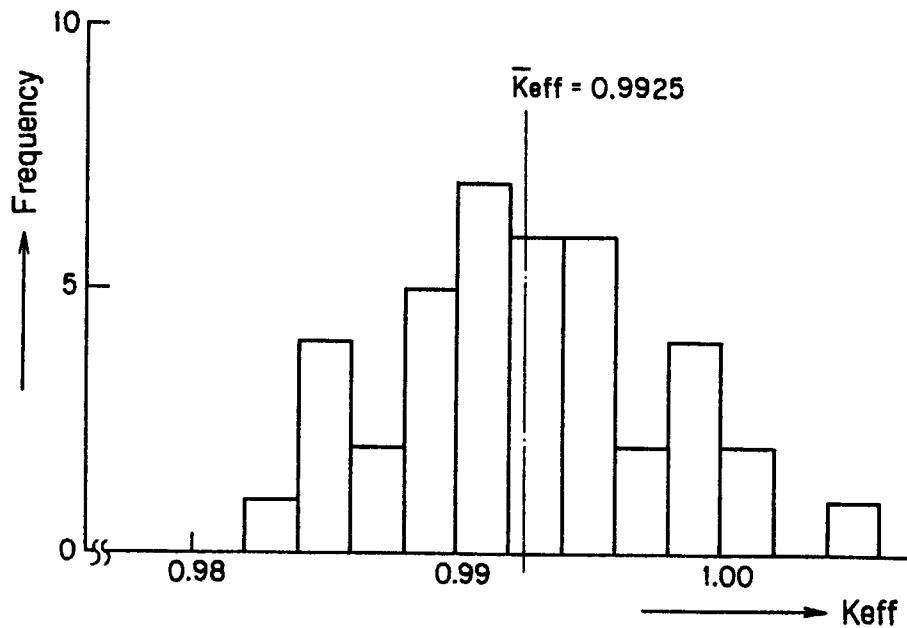


Fig.11 Histogram of k_{eff} for $\text{U}(2.6)\text{O}_2$ - H_2O systems calculated with the MGCL 137 and KENO-TV under 150 generations with 200 neutrons per generation.

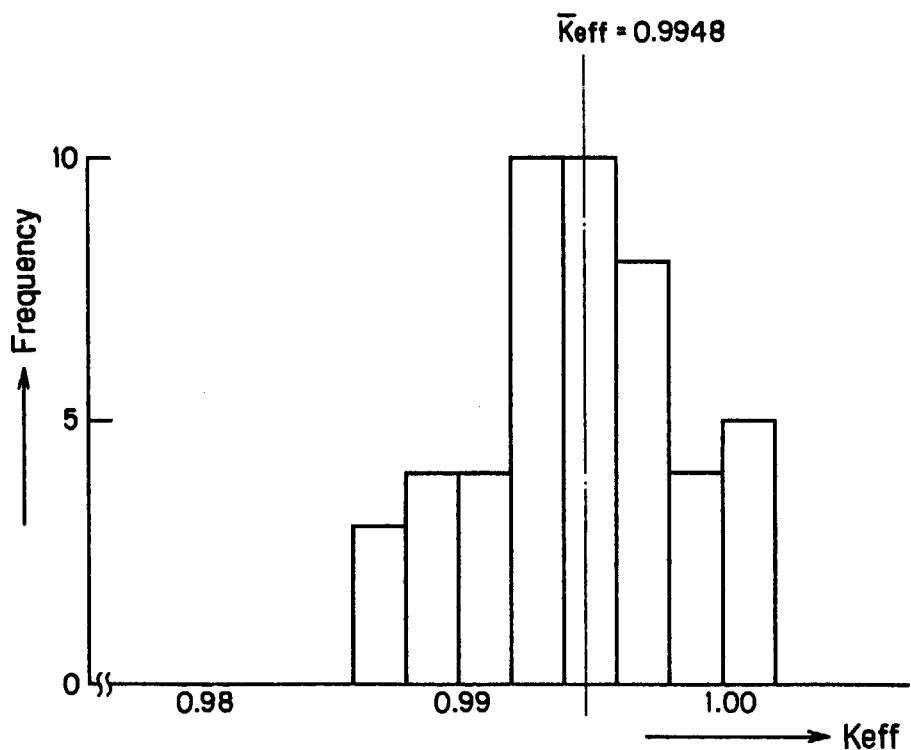


Fig.12 Histogram of k_{eff} for PuO_2 -U(Natural) O_2 - H_2O systems calculated with the MGCL137 and KENO-IV under 150 generations with 200 neutrons per generation.

5. 結 論

低濃縮 ($\epsilon = 2.6 \text{ w/o}$) UO_2 燃料棒、あるいは $\text{PuO}_2 - \text{U} (\text{Natural}) \text{O}_2$ 燃料棒を用いて正方格子配列を形成し、タンク内で減速材および反射材として働く軽水の水位を上昇させて行なわれた臨界実験データに基づき、KENO-NとMGCL137群データセットとの組合せによる臨界計算結果を述べたが、これから次のようにまとめられる。

(i) すべてのデータ125ケースについての k_{eff} 計算値の平均は 0.995 であり、標準偏差 $\sigma = 0.004$ の分布をなす。炉心体系の種類毎にみると、 $\text{U}(2.6)\text{O}_2$ - 中性子吸收板 - 軽水の炉心体系についての k_{eff} 計算値が最も臨界値 1.0 に近く、平均値 0.998、標準偏差 0.003 の分布をなす。

(ii) $\text{PuO}_2 - \text{U} (\text{Natural}) \text{O}_2$ 燃料を用いた体系の k_{eff} 計算値の平均は 0.995 ± 0.004 となり、 $\text{U}(2.6)\text{O}_2$ 燃料を用いた体系の k_{eff} 計算値の平均 0.992 ± 0.003 より 0.003 だけ臨界値 1.0 に近い。

以上の結果より、MGCL137群データセットと KENO-N を用いる計算手法は、ここで扱ったような軽水炉心体系の臨界計算に対し十分な計算精度を与えることが判った。

謝 辞

計算に使用する入力データの作成に対して協力して下さいました小林岩夫 J P D R 開発室長および TCA グループのメンバーに対して謝意を表します。また、本研究の遂行にあたり種々助言を下さいました下桶敬則原子炉データ解析室長に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) H. TSURUTA and I. KOBAYASHI et al., "Critical Sizes of Light Water Moderated UO₂ and PuO₂ - UO₂ Lattices," JAERI-1254, Japan Atomic Energy Research Institute (1977).
- 2) I. KOBAYASHI et al., "Experimental Study On the Reactivity of the Absorbing Materials-I," JAERI-memo 2861 (published), Japan Atomic Energy Research Institute (1967).
- 3) Y. NAITO et al., to be published.
- 4) L.M. PETRIE and N.F. CROSS, "KENO-IV-An Improved Monte Carlo Criticality Program," ORNL-4938, Oak Ridge National Laboratory (1975).
- 5) G.E. HANSEN and W.H. ROACH, "Six and Sixteen Group Cross Sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies," LAMS-2543, Los Alamos Scientific Laboratory (1961).
- 6) M.K. DRAKE, "Data Formats and Procedures for the ENDF Neutron Cross Section Library," BNL-50274, Brookhaven National Laboratory (1970).
- 7) O. OZER, "Program RESEND," BNL-17134, Brookhaven National Laboratory (1972).
- 8) R.Q. WRIGHT et al., "SUPERTOG; A Program to Generate Group Constants and Pu Scattering Matrices from ENDF/B," ORNL-TM-2679, Oak Ridge National Laboratory (1969).
- 9) J.D. MACDOUGALL, "PIXSE," AEEW-M 318, Atomic Energy Establishment, Winfrith (1963).
- 10) I.I. BONDARENKO et al., "Group Constants for Nuclear Reactor Calculations," Consultants Bureau, New York (1964).
- 11) S. KATSURAGI et al., "JAERI Fast Reactor Group Constant System, Pt.1 & 2," JAERI-1195, Japan Atomic Energy Research Institute (1970).
- 12) H.C. HONECK and D.R. FINCH, "FLANGE II; A Code to Process Thermal Neutron Data from an ENDF/B Tape," DP-2179, E.I. Du Pont De Nemours & Company (1971).

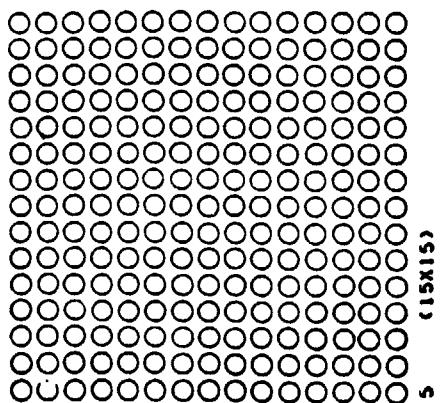
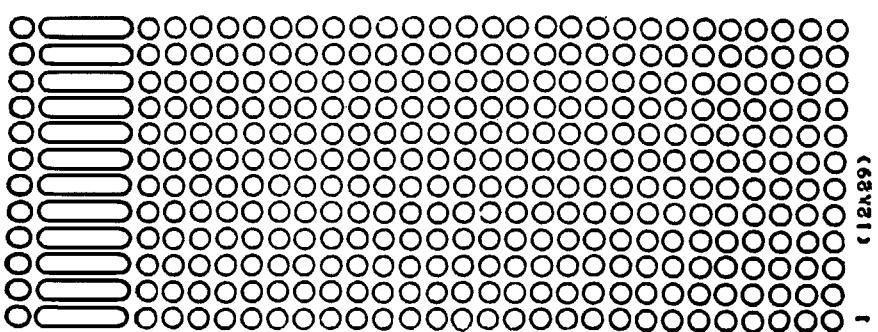
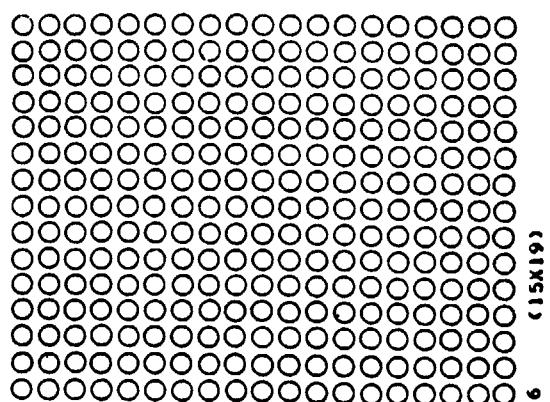
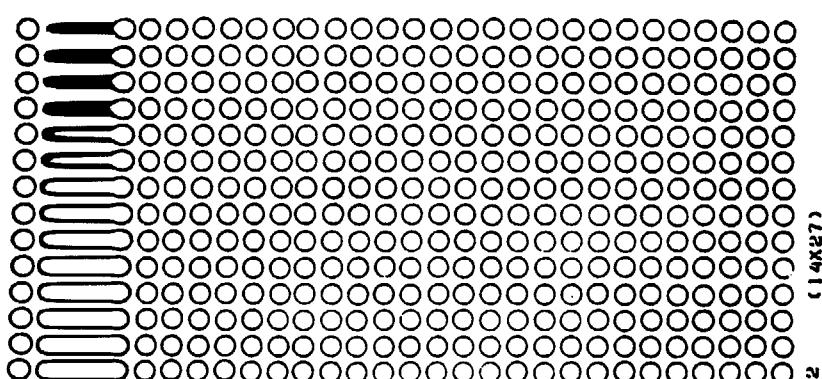
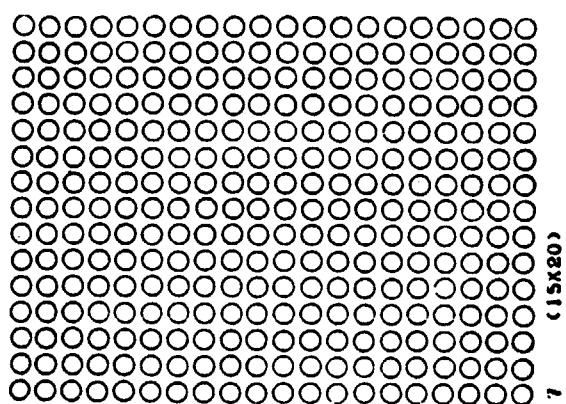
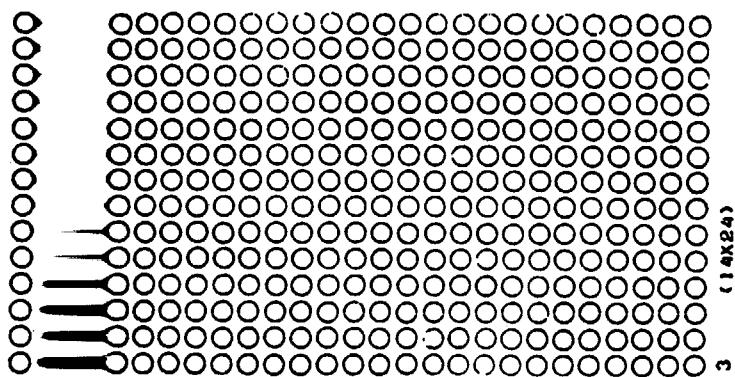
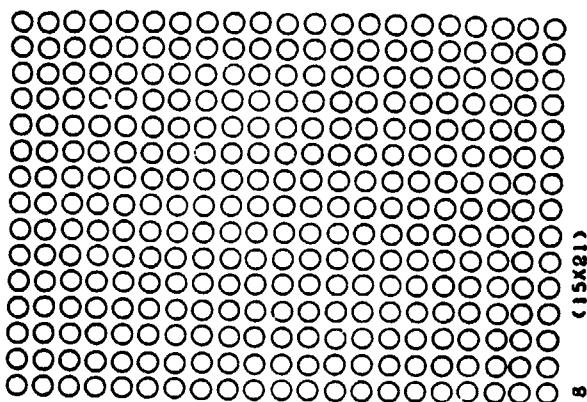
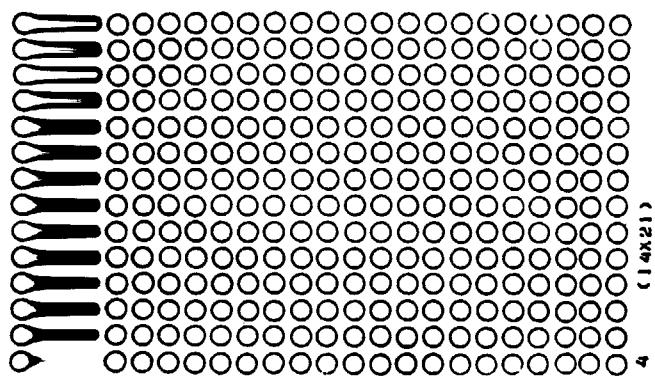
Appendix 燃料格子配列パターン図

TCAで臨界実験のために構成された燃料棒配列の水平断面図を、各炉心パターン番号ごとに示す。

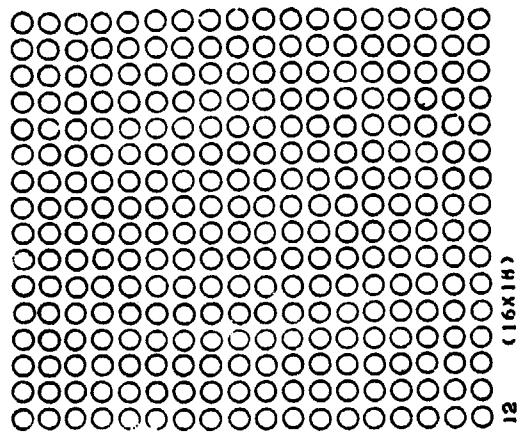
1から30までの炉心パターン番号は規則正しい燃料棒配列に対応し、101から112までの炉心パターン番号は水ギャップ付燃料棒配列に対応する。また中性子吸収板の装荷された臨界実験については、中性子吸収板装荷位置ごとに13P14から11P21に示す。

各水平断面図において、丸印は燃料棒を、直線は中性子吸収板を表わし、その他の部分は減速材に相当する。

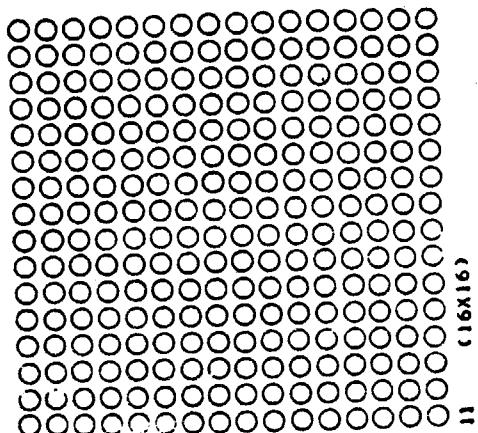
Appendix Patterns of lattice configurations (1)



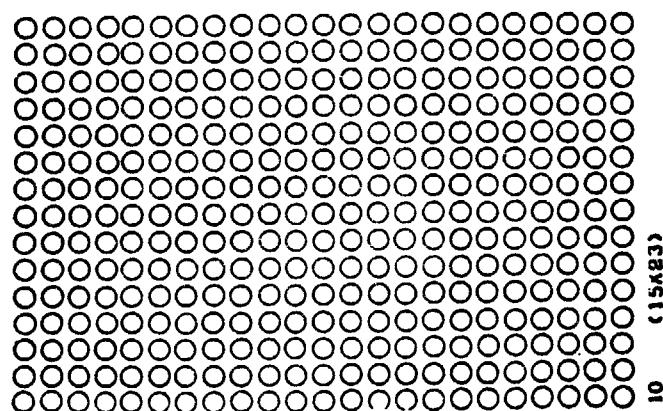
Appendix Patterns of lattice configurations (2)



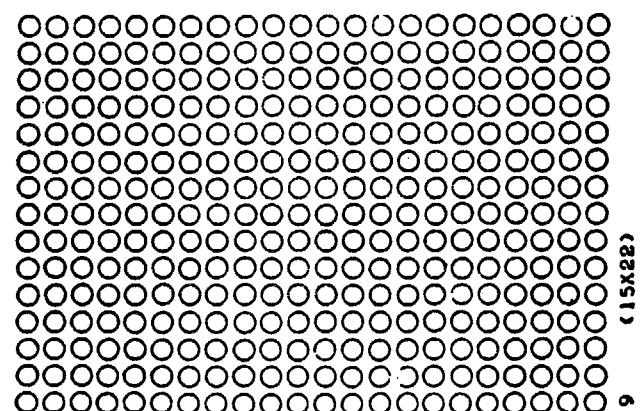
12 (16x16)



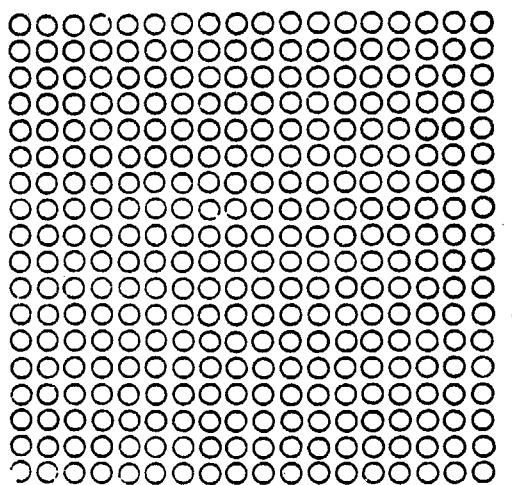
11 (16x16)



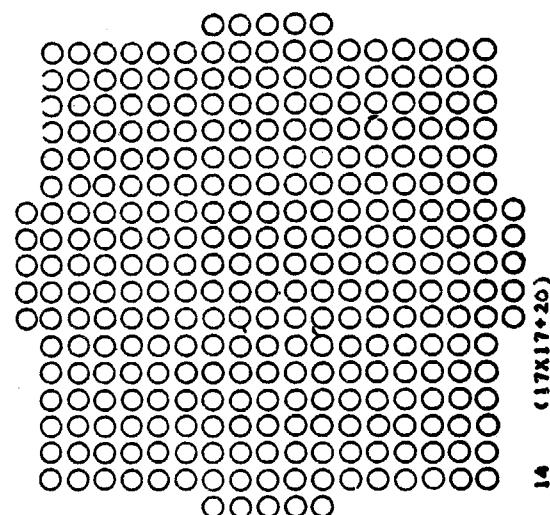
10 (15x23)



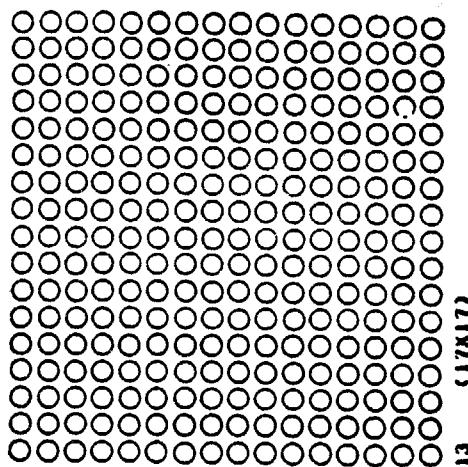
9 (15x22)



15 (18x18)

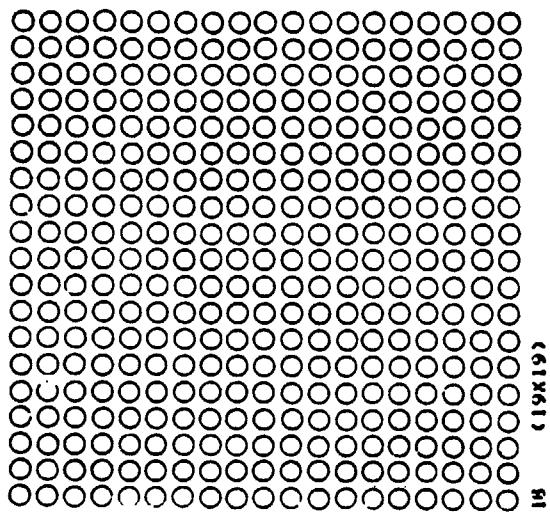


14 (17x20)

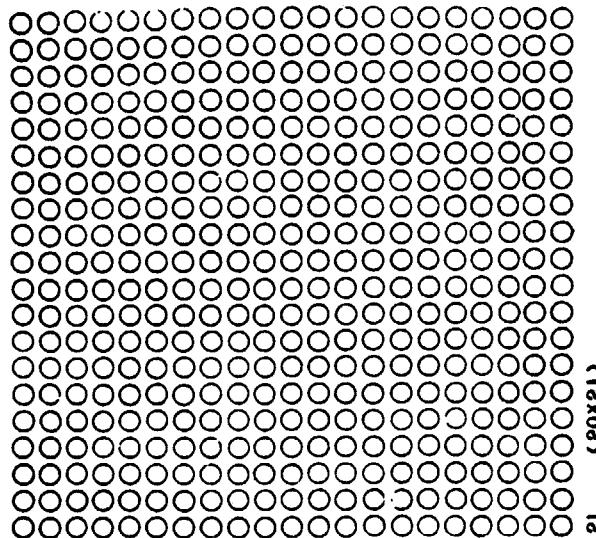


13 (17x17)

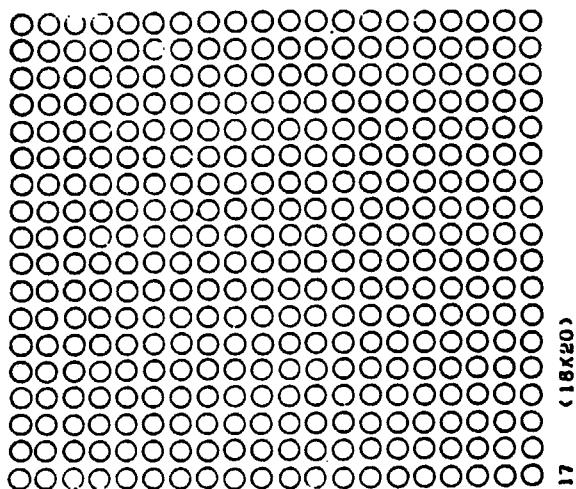
Appendix Patterns of lattice configurations (3)



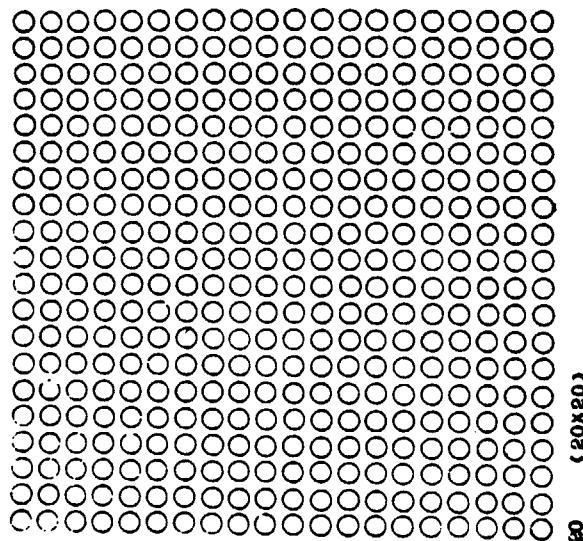
16



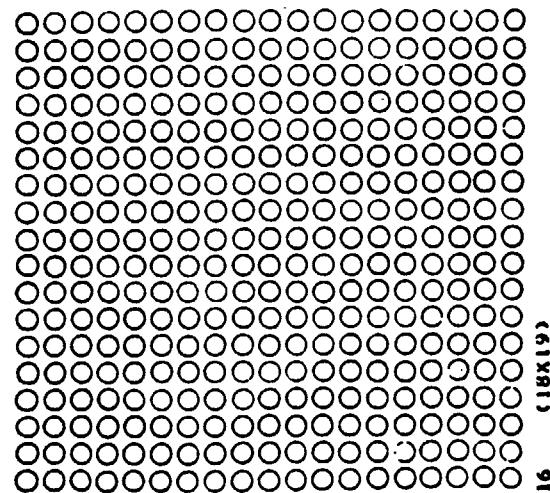
21



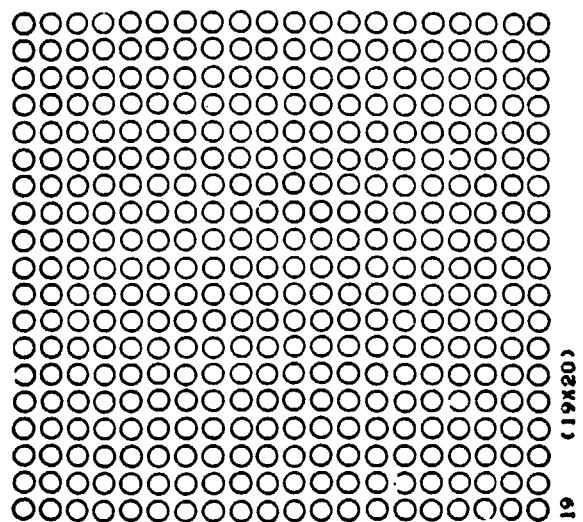
17



20

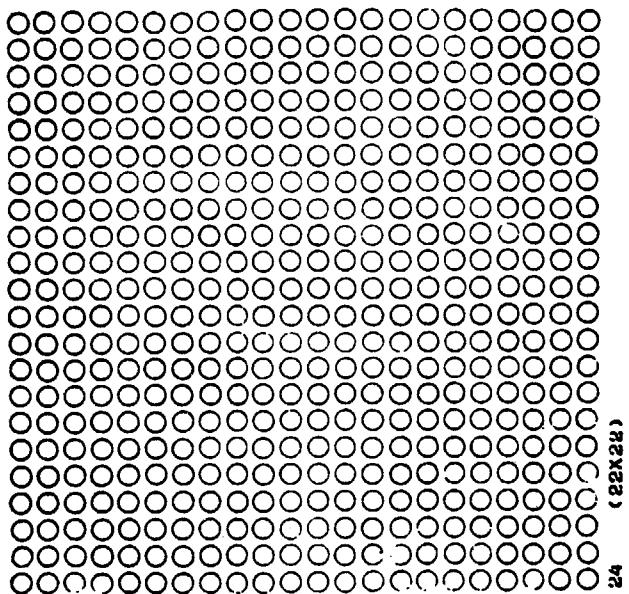


18

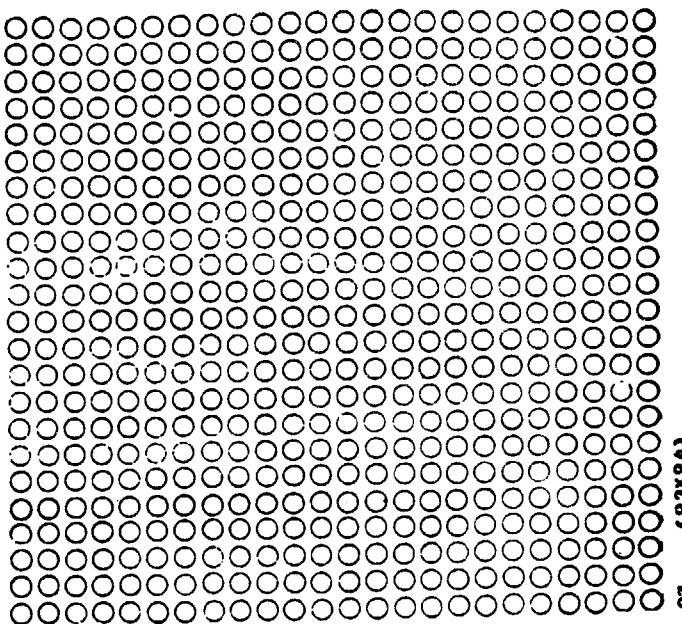


19

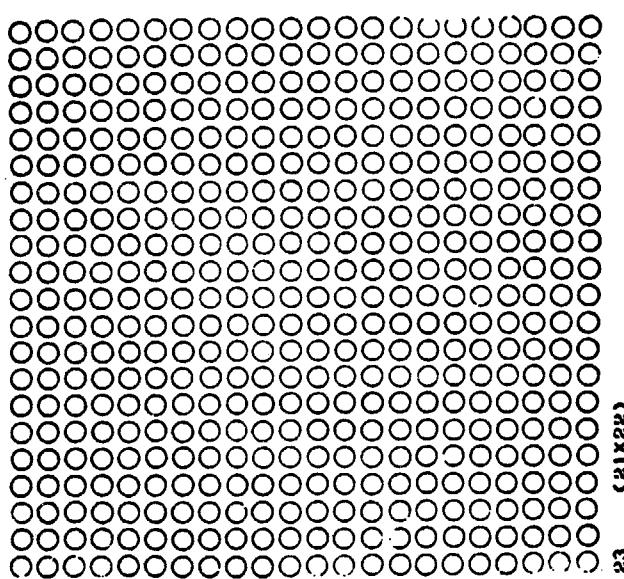
Appendix Patterns of lattice configurations (4)



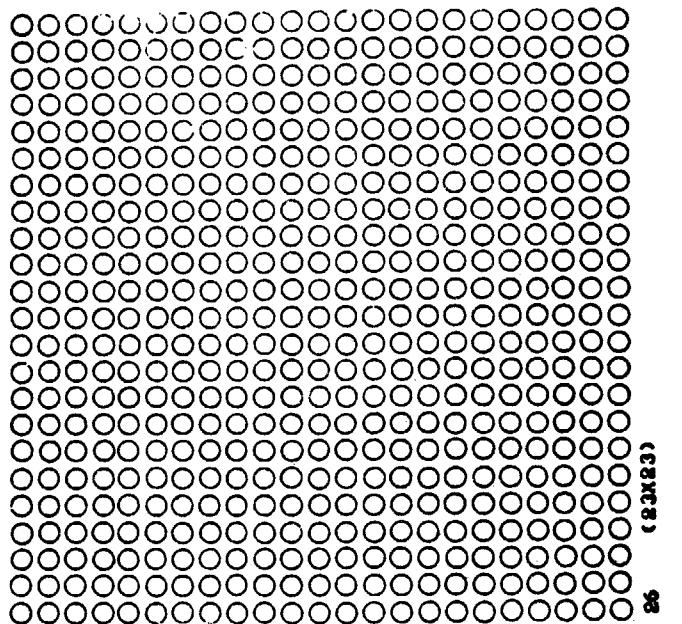
(22x22) 24



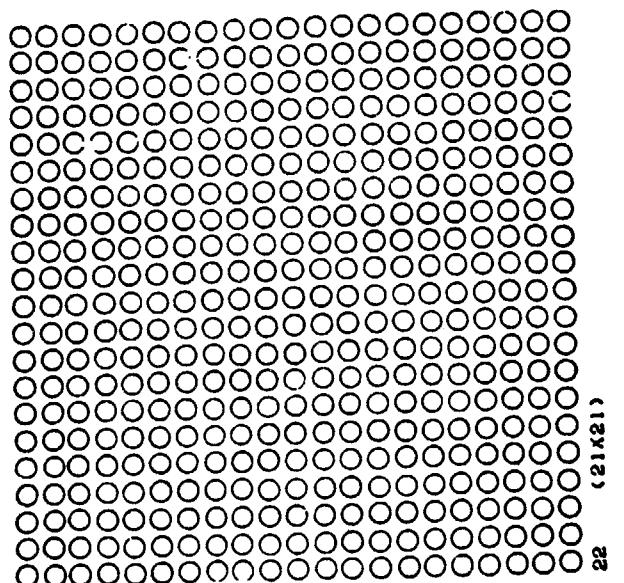
(23x23) 25



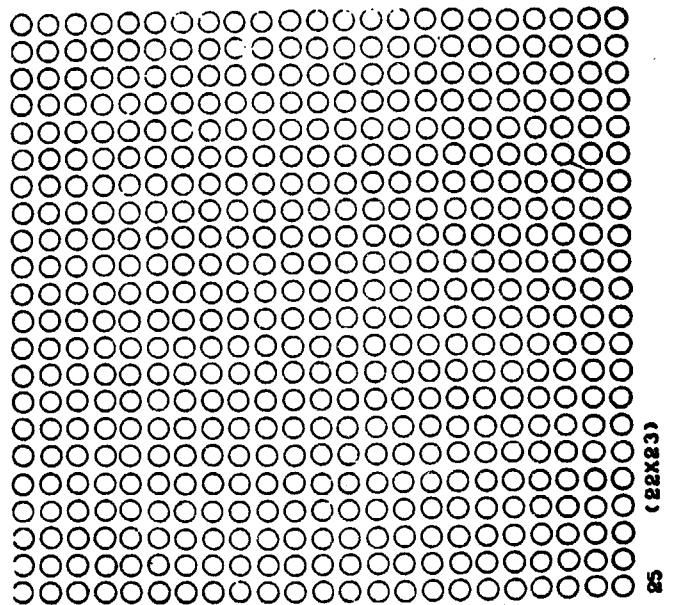
(21x22) 26



(23x24) 27

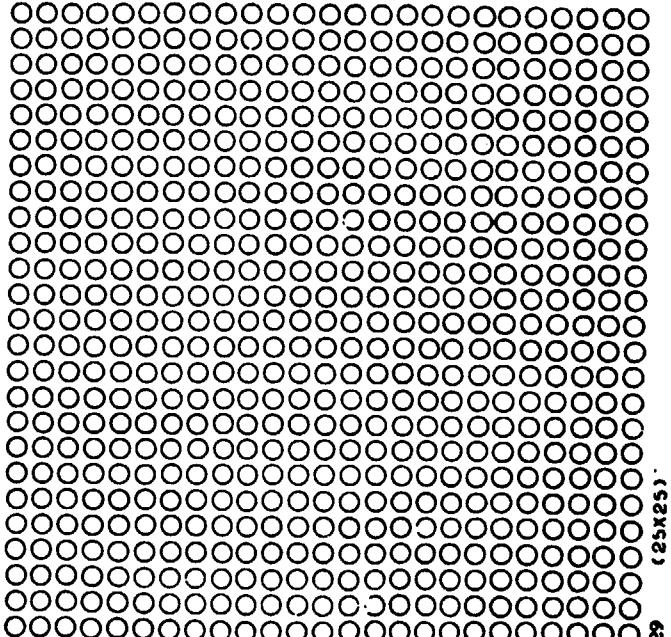
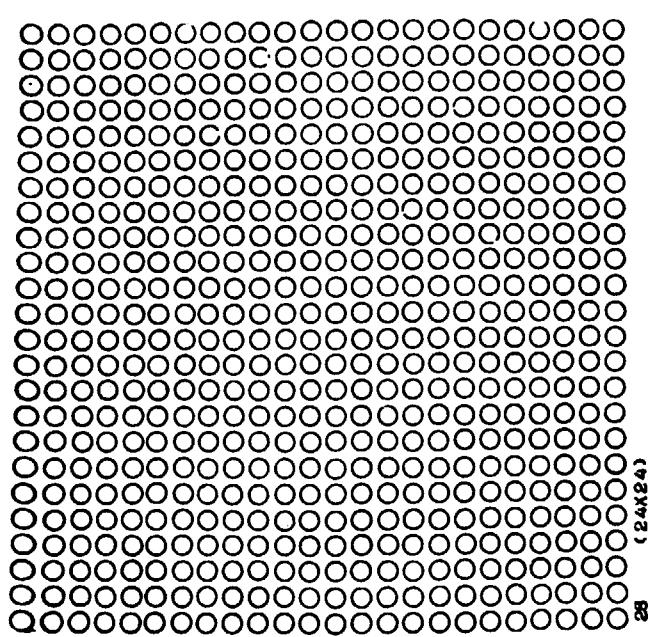
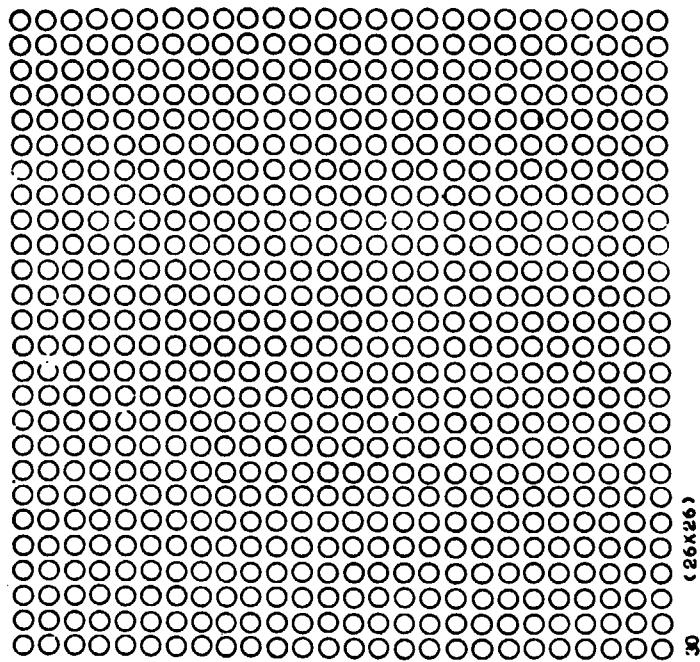


(21x21) 28

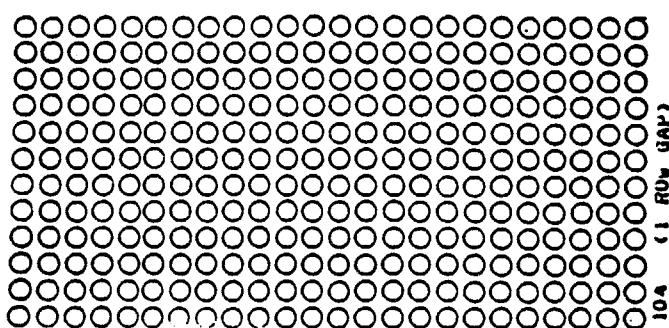
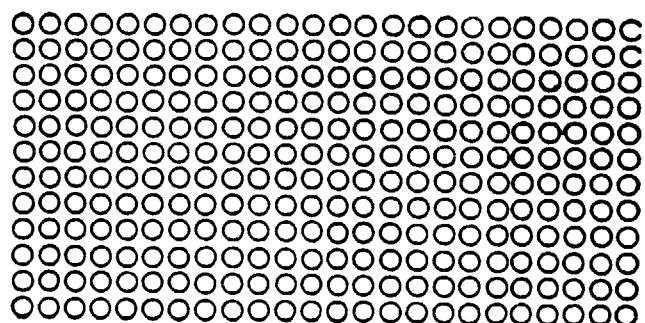
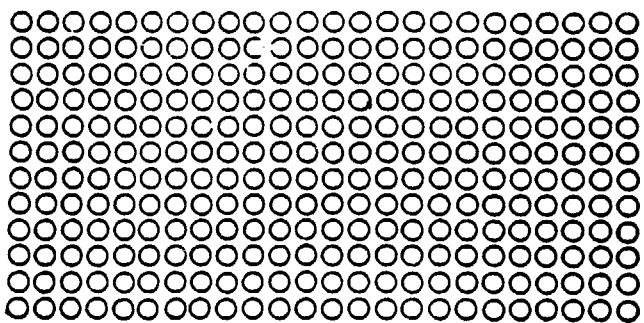


(22x22) 29

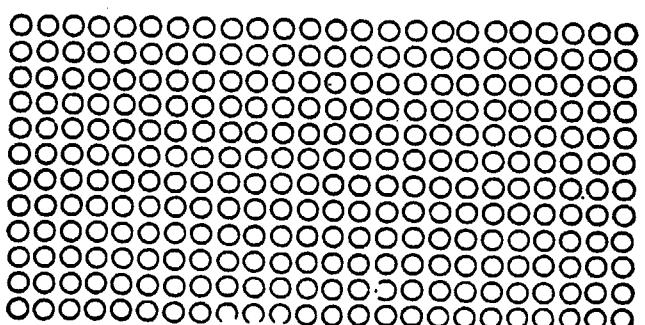
Appendix Patterns of lattice configurations (5)



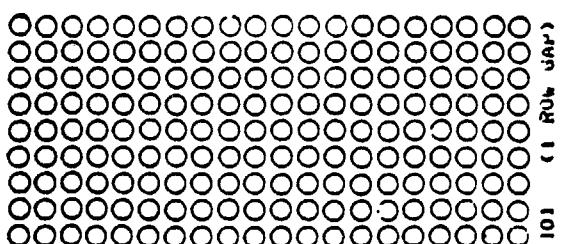
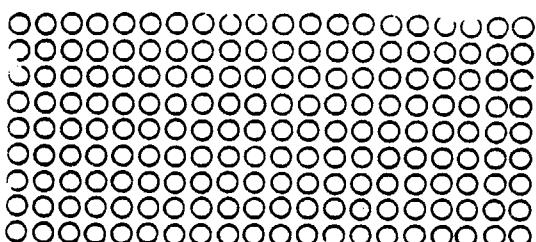
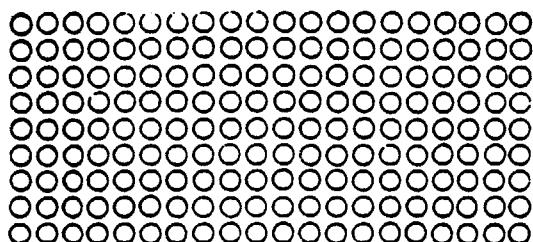
Appendix Patterns of lattice configurations (6)



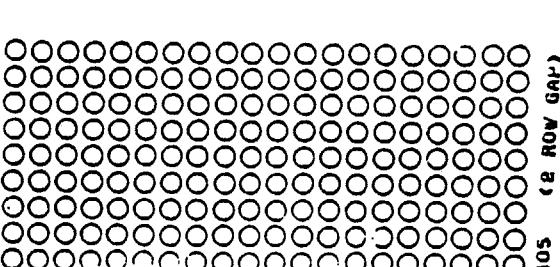
104 «1 ROW GAP»



108 «2 ROW GAP»

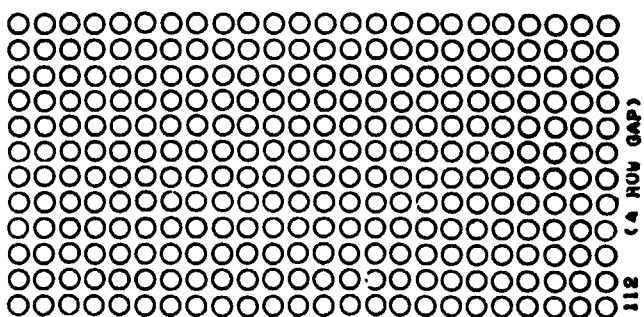
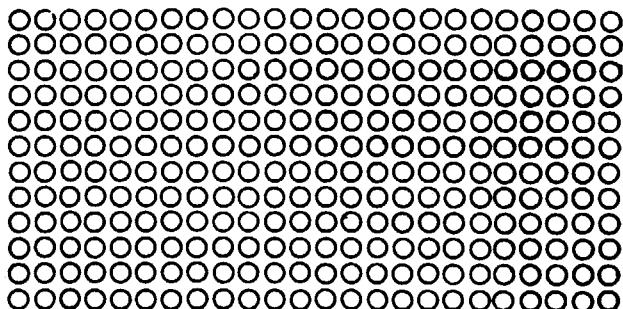
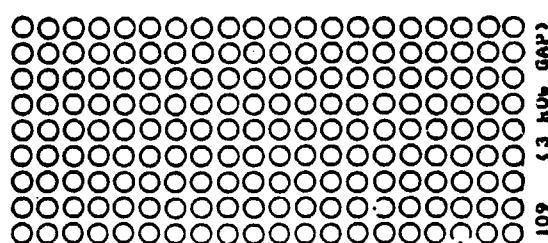
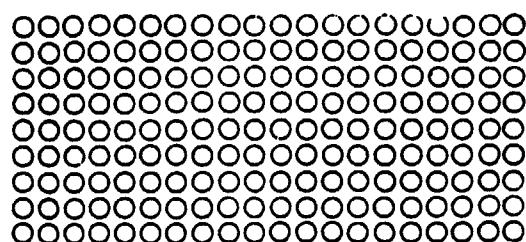
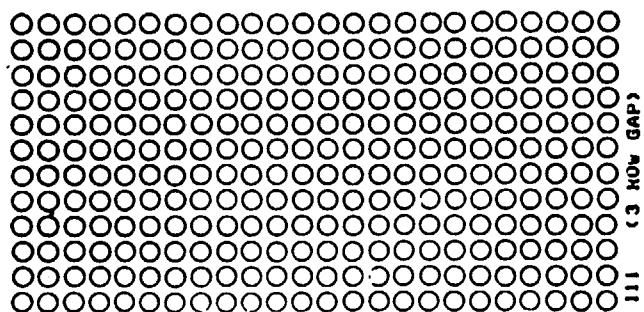
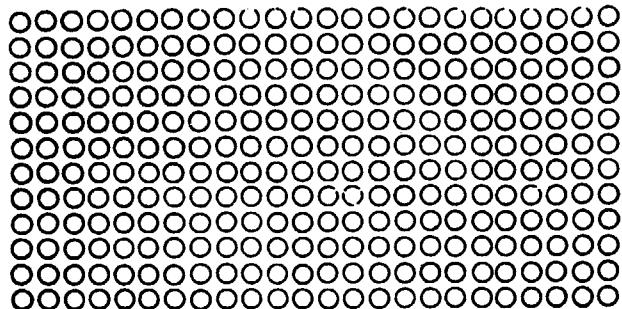


101 «1 ROW GAP»

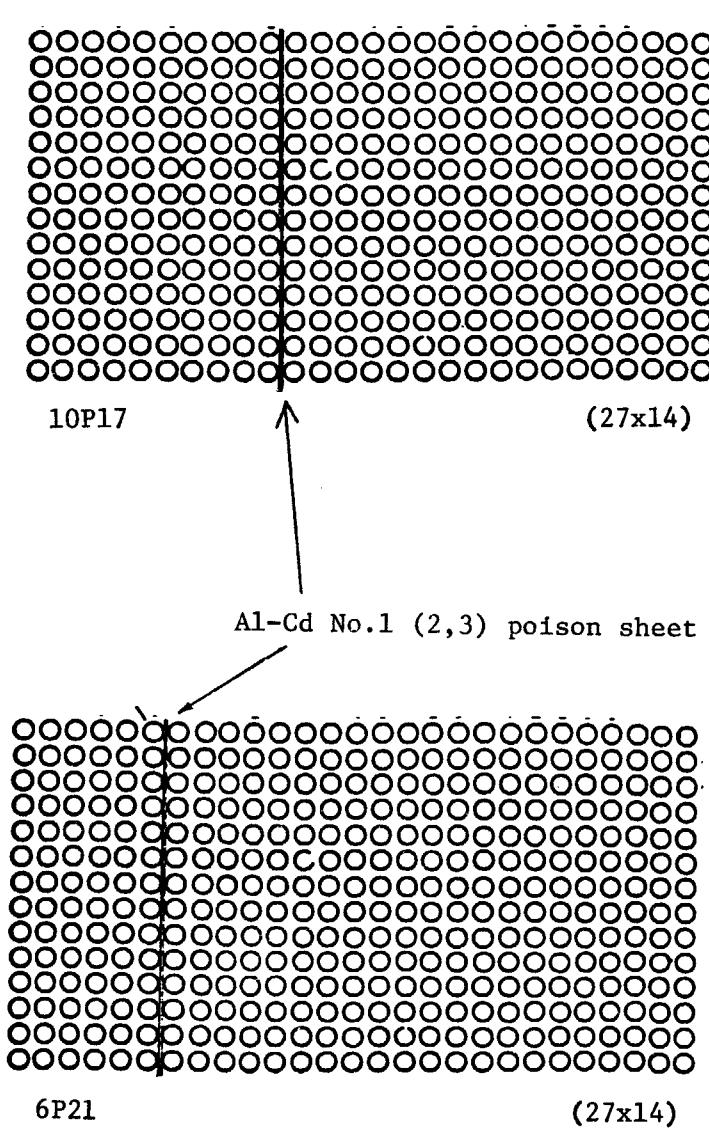
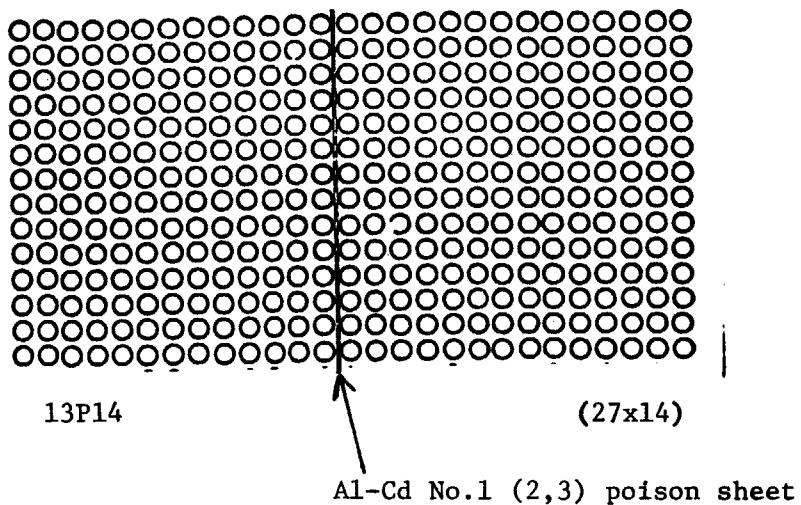


105 «2 ROW GAP»

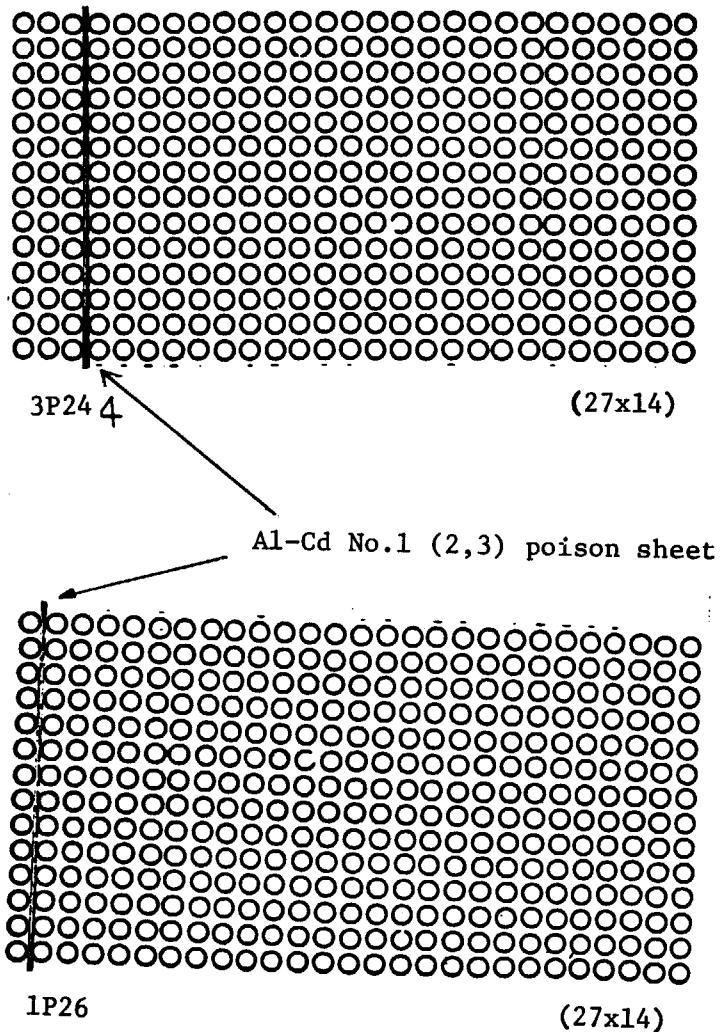
Appendix Patterns of lattice configurations (7)



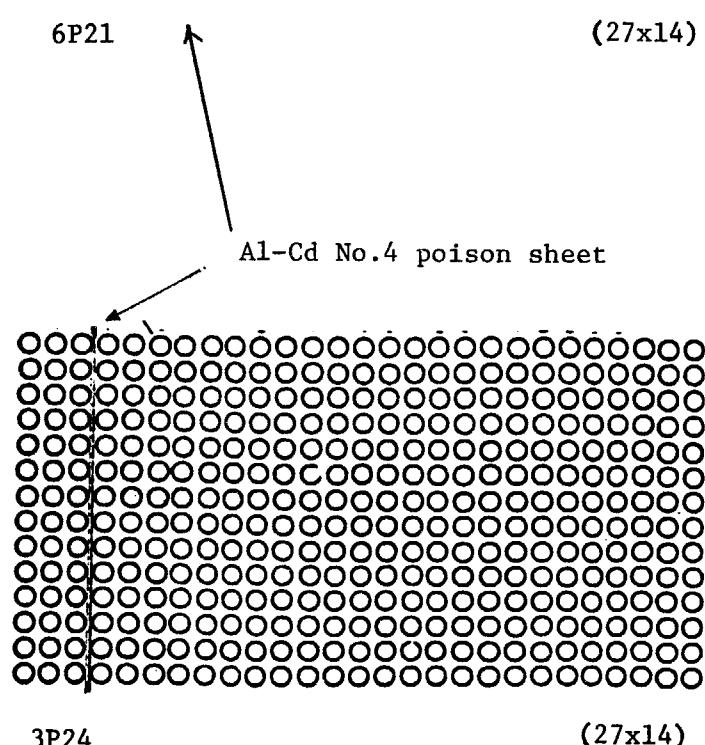
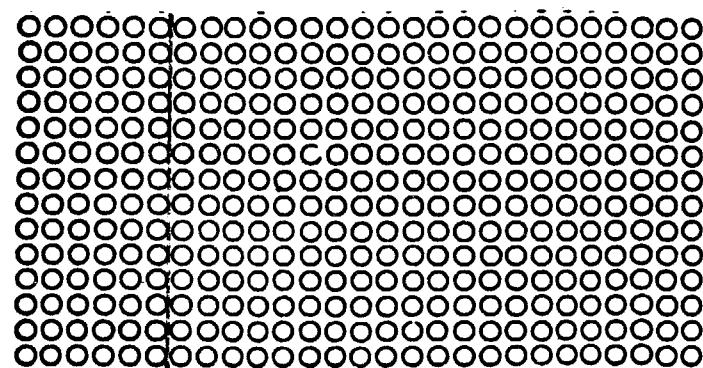
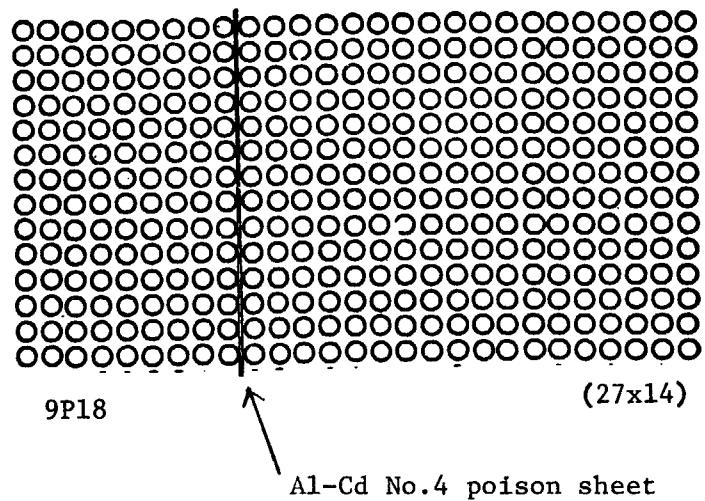
Appendix Patterns of lattice configurations (8)



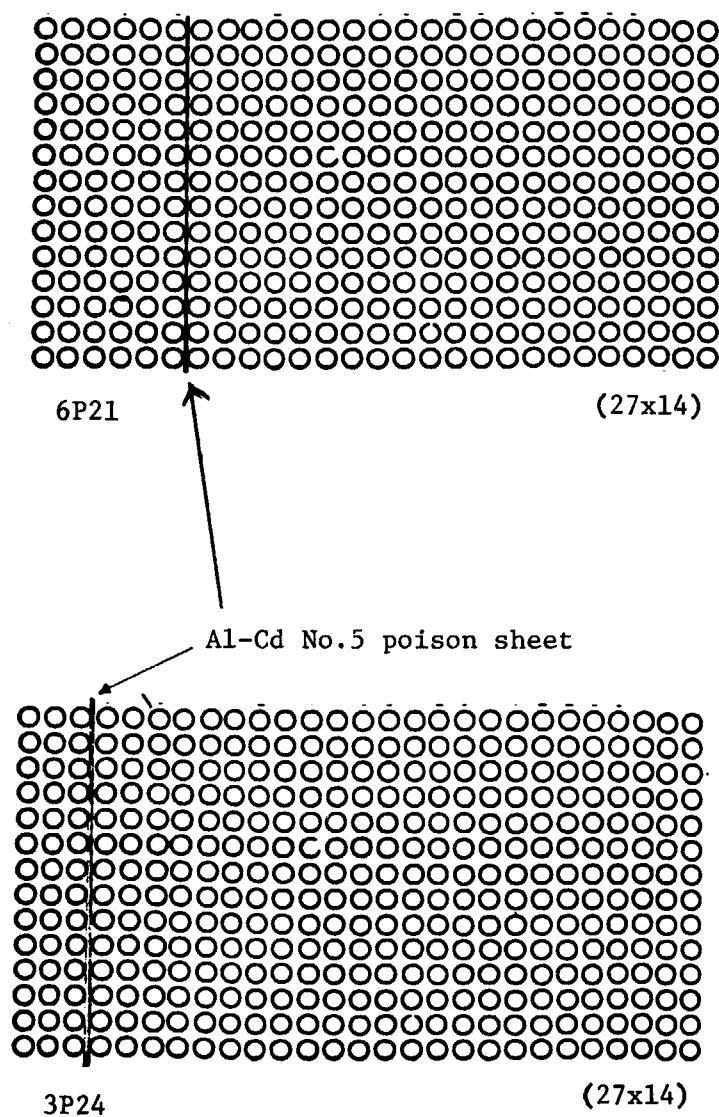
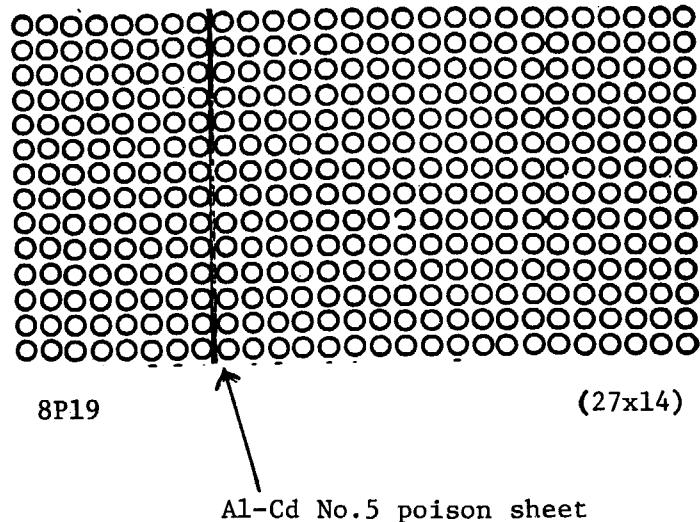
Appendix Patterns of configurations (9)



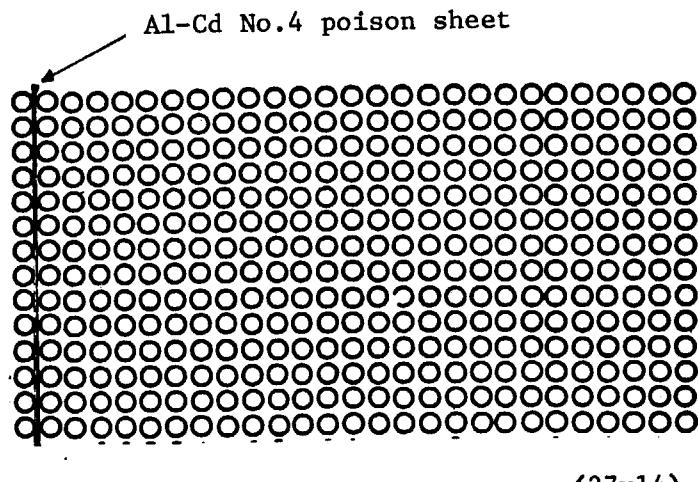
Appendix Patterns of lattice configurations (10)



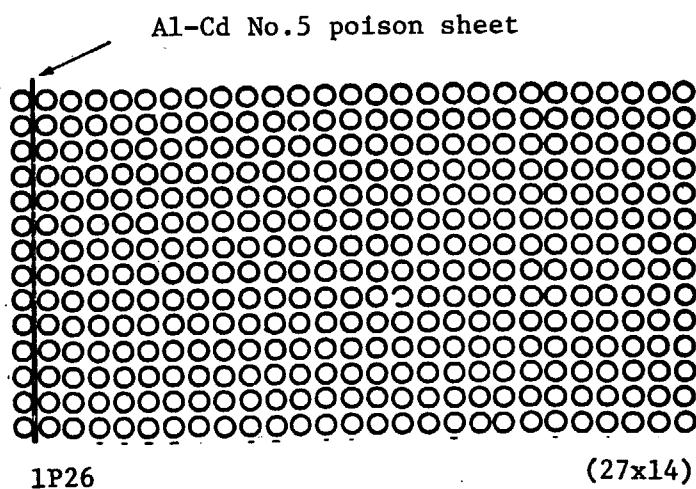
Appendix Patterns of lattice configurations (11)



Appendix Patterns of latticee fonfigurations (12)



1P26



1P26

Appendix Pater Appendix Patterns of lattice configurations (13)

