

液体ボイズン管実験

液体ボイズン管の核特性

1979年8月

動力炉・核燃料開発事業団

1979 年 8 月

液体ポイズン管実験 液体ポイズン管の核特性

若林 利男* 北山 一宏*
金内 恒* 伊藤 靖彦**

要 旨

重水減速材中に配置された液体ポイズン管の有する核特性のうち、反応度価値、燃料集合体及びポイズン管中の軸方向中性子束分布、ならびにポイズン管周辺の径方向中性子束分布の測定をDCAを用いておこなった。今回の実験では液体ポイズン管 1 本を使用し、ポイズン液濃度、ポイズン液の液位をパラメータとし選んだ。今回の実験結果から液体ポイズン管の静的核特性について次の事が明らかになった。

- (1) 液体ポイズン管内の液の ^{10}B 濃度を 800 ppm 以上になると、液体ポイズン管の反応度価値は飽和し、ブラック吸収体として取り扱うことができる。
- (2) ポイズン液位変化による反応度変化は S 字曲線を描き、上から挿入する「ふげん」の固体制御棒の挿入、引抜きの場合とはほぼ同じ特性を有する。
- (3) ブラック吸収体であるポイズン液の液位の変化は、燃料集合体中心部の中性子束分布に大きな影響を与えない。

- (4) ブラックポイズンを含んだポイズン管周辺の径方向中性子束分布は、ポイズン管より 2cm 程度以内の位置では急激に低下しているが、グレイポイズン管の場合では大きな変化を示さない。

今回の実験結果から、液体ポイズン管は「ふげん」型重水炉の反応度制御系として核特性上十分に使用することができ、かつポイズン液の濃度変化を利用すれば、固体制御棒より核的、燃料健全性の面から有利な反応度制御特性を有することが判明した。

* 大洗工學センター重水臨界実験室

** (現) 関西電力株式会社

DCA実験グループ、八谷 雄喜、柴 公倫、樋口幸次郎、清野 英昭、福村 信男、仁米 明人、飯島 一敬、戸村 和二、相原 永史、若林 利男、小堀 泰 樹、竹村 守雄、金内 恒、柴田 邦広、中川内良雄、北山 一宏

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下さい。

〒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 大洗工學センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

目 次

1. 概 要	1
2. 実験装置及び実験条件	2
2.1 実験体系	2
2.2 液体ポイズン管	2
2.3 実験項目	2
3. 実験方法	8
3.1 反応度の測定	8
3.2 中性子束分布の測定	9
4. 実験結果及び検討	12
4.1 反 応 度	12
4.2 中性子束分布	12
5. 結 論	38
謝 辞	39
参考文献	39
付 録 ポロン濃度分析結果	40

PNC TN941 79-142

Aug., 1979

Critical Experiments on a Liquid Poison Tube

Study of Nuclear Characteristics

Toshio Wakabayashi*, Kazuhiro Kitayama*,
Makoto Kanauchi* and Yasuhiko Ito**

Abstract

Nuclear characteristics on a liquid poison tube have been studied by use of DCA. Reactivity worthes of the poison tube were measured as functions of ^{10}B content in liquid and liquid poison level. Also, radial flux distributions around the poison tube and axial flux distribution in a fuel channel, D_2O moderator and poison tube were measured.

The results of present experiment are summarized as follows.

- 1) Excess content of ^{10}B beyond 800 ppm makes no increase in reactivity change.
- 2) Reactivity change in reference to poison level change in poison tube shows the S curve like the characteristics of control rod.
- 3) Change of liquid poison level gives a small change for the axial flux distribution in the center of fuel cluster.
- 4) The depression of thermal neutron flux around the poison tube with black poison remarkably increases at about 2 cm distant from surface of poison tube. On the other hand, poison tube with gray poison makes small change in gross flux distribution at D_2O region.

* Heavy Water Critical Experiment Section, O-arai Engineering Center, PNC.

** Present Address : Kansai Electric Power Corporation.

1. 概 要

「ふげん」の反応度制御には B, C の固体制御棒が使用され、その核特性及び設計精度は、DCA 実験結果¹⁾を基に精度評価された計算コードにより、十分に確認されてきた。しかし、重水炉は高温高圧 (280℃, 69 気圧) の冷却材領域と低温低圧 (60℃, 常圧) の減速材領域が、圧力管とカランドリア管で分離しているため、この重水減速材領域の設計条件を考慮すると、多くのメリット有する液体制御棒を用いた反応度制御系の設計が可能であると考えられる。液体制御棒の核的特徴としては、液体吸収材 (液体ボイズン) の液面高さの上下により、下から挿入する BWR 用固体制御棒とはほぼ同じ反応度制御特性をもつこと、液体ボイズン中の濃度をかえることにより、グレイ吸収体からブラック吸収体まで燃料健全性を考慮した選択ができること、燃焼に伴う制御能力低下は濃度制御により防げること等が考えられる。また、核的な面以外では、固体制御棒のような駆動機構が不要なこと、また固体制御棒交換時のような被曝が少ないこと等があげられる。

世界各国の重水炉においては、これらのメリットを考慮して SGHWR では急速停止用として液体ボイズン管²⁾が、CANDU-PHW では軽水による領域制御管³⁾が設置されている。また、「ふげん」型大型炉においても、反応度制御系に液体ボイズン管の利用が検討⁴⁾されてきた。

今回の実験では、「ふげん」型炉における液体ボイズン管の核特性を実験的に把握することにも、液体ボイズン管設計における精度評価できることを目的とし、DCA に 1 本の液体ボイズン管を配置し、ボイズン濃度及びボイズン液の液位をパラメータとした場合の液体ボイズン管による炉心反応度変化及びボイズン管周辺の中性子束分布の測定をおこなった。

イゾン液位が臨界水位の1/2の場合 (^{10}B 濃度は47.6 ppmと893.5 ppm) と臨界水位と等水位の場合 (^{10}B 濃度は893.5 ppm) についておこなった。

Table 1 に今回の実験における実験項目及び実験条件を示した。

2. 実験装置及び実験条件

2.1 実験体系

実験は重水臨界実験装置 (DCA) において, Fig. 1 に示した炉心中央部重水領域にボイズ管1本を配置しておこなった。炉心には1.2 wt %濃縮 UO_2 のふげん型28本燃料クラスターを28.3 cm格子ピッチに81体配置した。冷却材ボイド率は常に0%にし, 実験中冷却材水位は, 重水臨界水位と等水位になるように調整された。

2.2 液体ボイズ管

Fig. 2 に示す断面図からわかるように, 液体ボイズ管はボイズ管をカランドリヤ蓋外側管でつつんでおり, 万一事故の場合でもボイズ管液が減速材中に漏れにくいようになっている。カランドリヤ蓋外側管の外径は92 mm ϕ (厚さ3 mm), ボイズ管の外径は80 mm ϕ (厚さ5 mm) であり, 材質は共にアルミ (A5052) である。

ボイズ管管内に入れるボイズ管液は蒸留水にホウ酸 (H_3BO_3) を溶かしたほう酸水である。今回使用したホウ酸は, 天然ボロン $\frac{^{10}\text{B}}{^{10}\text{B}+^{11}\text{B}} = 0.1983$ からなる JIS 特級ホウ酸 (Moel, Wt 61.83, 純度 99.5%) である。

ボイズ管液は3種類の濃度のものを作成し, それぞれ中和法および重量法によって濃度分析をおこなった。(付録 参照) なお, ボイズ管液の液位は, Fig. 3 に示した様な液面計を使用して測定された。この液面計はクレーンで吊り下げられ, 先端の電極部がボイズ管液面に接すると電流が流れ, 電極部と極面の接触がテスターに指示される様になっている。この液面計による液位の測定精度は ± 2 mmであった。

2.3 実験項目

今回の実験では, 液体ボイズ管による炉心の反応度変化, 液体ボイズ管内, 重水中, 燃料集合体中心の軸方向中性子束分布及びボイズ管周辺の中性子束分布の測定をおこなった。

反応度の測定におけるボイズ管液中の ^{10}B 濃度は, 47.6 ppm, 199.5 ppmおよび893.5 ppmであった。ここで47.6 ppmの ^{10}B 濃度は, 吸収材でいえばグレイ吸収材に近く 893.5 ppmはブラック吸収材として扱ってよい濃度である。さらに, その中間の濃度として199.5 ppmを選んだ。ボイズ管液位は臨界水位の1/4, 1/2, 3/4 および等水位の4種類とした。また, ボイズ管を炉心中央に配置しない場合, ボイズ管に空気が入る水を満した場合についても反応度測定をおこなった。

液体ボイズ管内, 重水中, 燃料集合体中心及びボイズ管周辺の中性子束分布の測定は, ボ

Table 1. Experimental Items

Case Number	Experiment	Absorber	Content of ^{10}B (ppm)	Absorber Height (mm)	Measurement
1	Standard Core	No	-	-	Reactivity
2	Air-filled Poison Tube	Air	-	-	Reactivity
3	Light-Water Tube	Light Water	-	Same as D_2O Critical Height	Reactivity
4	Gray Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	47.6	Same as half D_2O Height	Reactivity
5	Gray Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	47.6	Same as half D_2O Height	Axial and Radial Flux Distribution
6	Gray Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	47.6	Same as Critical Height	Reactivity
7	Gray Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	199.5	Same as Critical Height	Reactivity
8	Black Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	893.5	Same as $\frac{1}{4}\text{D}_2\text{O}$ Height	Reactivity
9	Black Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	893.5	Same as $\frac{1}{2}\text{D}_2\text{O}$ Height	Reactivity
10	Black Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	893.5	Same as $\frac{1}{2}\text{D}_2\text{O}$ Height	Axial and Radial Flux Distribution
11	Black Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	893.5	Same as $\frac{3}{4}\text{D}_2\text{O}$ Height	Reactivity
12	Black Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	893.5	Same as $\frac{3}{4}\text{D}_2\text{O}$ Height	Reactivity
13	Black Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	893.5	Same as Critical Height	Reactivity
14	Black Poison Tube	H_3BO_3 in Light Water	893.5	Same as Critical Height	Axial and Radial Flux Distribution

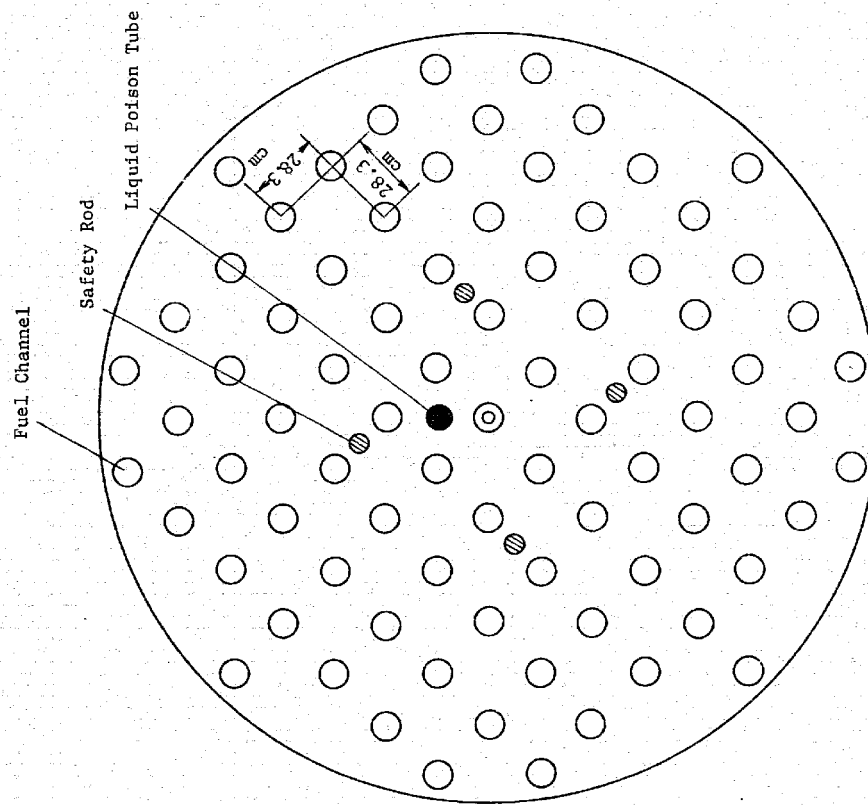


Fig. 1 Poison Tube Arrangement in DCA Core

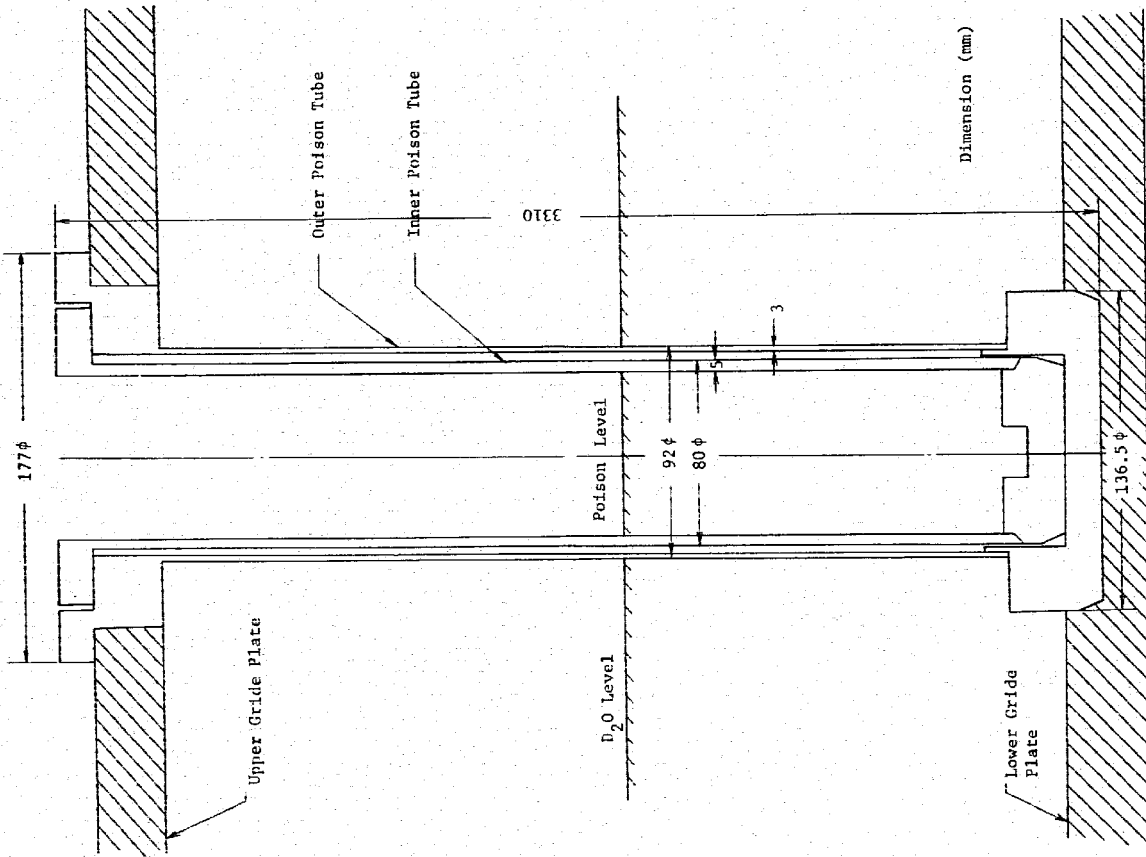


Fig. 2 Structure of Poison Tube and Poison Tube Arrangement in Core

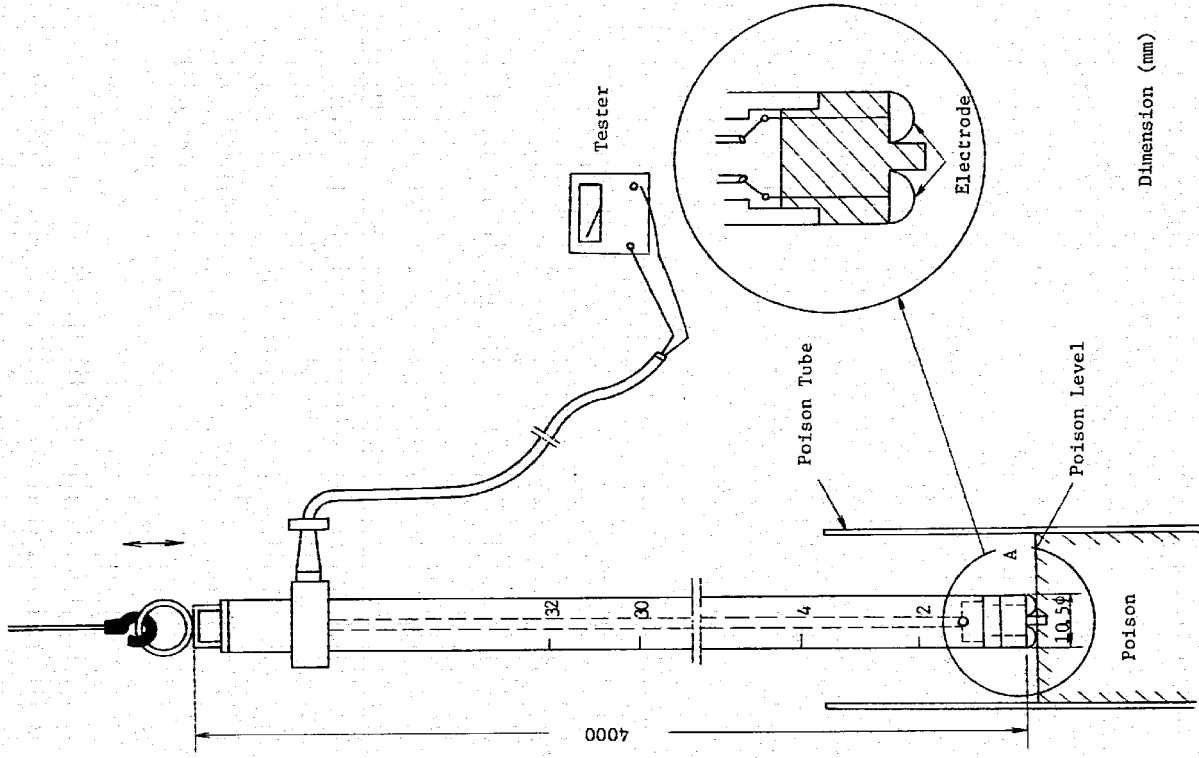


Fig. 3 Structure of Level Meter for Measurement of Liquid Poison Height

3. 実験方法

3.1 反応度の測定

1) 重水水位反応度係数の測定

本実験では、液体ボイズン管内のボイズン液水位、ボイズン液濃度の变化に伴う反応度を臨界水位差で求めた。

このための重水水位反応度係数は、DCAの臨界状態から重水水位を変化させた時生ずる正の炉周期を測定し求めた。

炉出力が2ヶタ上昇する時のダブリングタイムを4回測定し、その平均値をもって炉周期とした。

重水水位と反応度の関係は、一組拡散理論によれば次式で表わすことが出来る。

$$\frac{\delta \rho}{\delta H} = \frac{1}{\beta_{\text{eff}}} \cdot \frac{2\pi M^2}{k_{\infty}} \cdot \frac{1}{(H+\delta)^3} \quad (3.1)$$

(3.1)式で、 $\beta_{\text{eff}} \cdot M^2$, k_{∞} および δ は体系の変化によって大きく変化しないと考えて次式を得る。

$$\frac{\delta \rho}{\delta H} = \frac{\alpha}{(H+\delta)^3} \quad (3.2)$$

ここで、

$$\frac{\delta \rho}{\delta H} : \text{重水水位反応度係数 (}\delta/\text{cm)}$$

$$H : \text{重水水位 (cm)}$$

$$\delta : \text{外挿距離 (cm)}$$

$$\alpha : \frac{2\pi M^2}{\beta_{\text{eff}} \cdot k_{\infty}} (\delta \cdot \text{cm}^2)$$

δ は、Cuワイヤーの軸方向放射化分布を測定した結果より9.2 cmの値を得た。

(3.2)式を用いて、各体系における重水水位反応度係数より α の値を得る。

2) 反応度の測定

液体ボイズン管の水位、濃度が変化した際、基準となる炉心からの反応度の変化量は、重

水水位反応度係数を各々の臨界重水水位を用いて積分すれば求められる。すなわち、臨界重水水位が h_1 から h_2 まで変化し際の反応度変化は、

$$\rho = \int_{h_1}^{h_2} \left(\frac{\delta \rho}{\delta H} \right) dH$$

$$= \frac{\alpha}{2} \left(\frac{1}{(h_1 + \delta)^2} - \frac{1}{(h_2 + \delta)^2} \right) \quad (3.3)$$

$$\delta : \text{反応度変化 (}\delta\text{)}$$

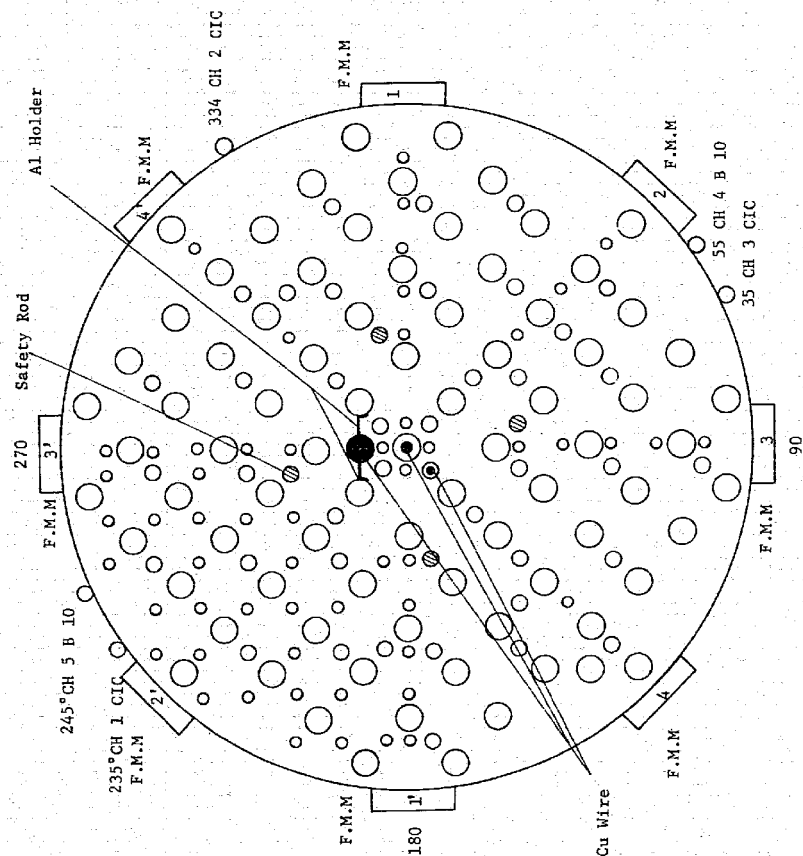
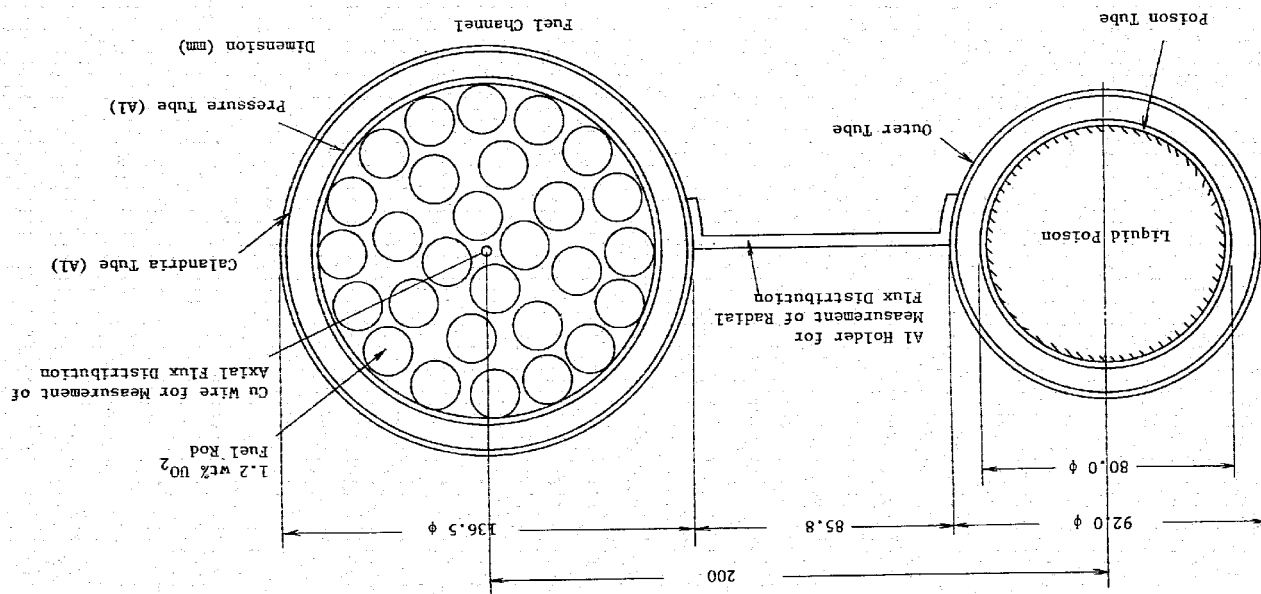
$$H : \text{臨界水位 (cm}^2\text{)}$$

$$\alpha : 1) \text{ で求めた値 } (\delta \cdot \text{cm}^2) \text{ と表わされる。}$$

3.2 中性子束分布の測定

ボイズン管内、重水中、燃料集合体における軸方向中性子束分布の測定は、3 mm ϕ の Cu ワイヤをボイズン管中心、重水中、燃料集合体中心に吊しておこなった。照射は500 Wで30分間おこない、照射後 NaI (Tl) シンチレーションカウンタで ^{64}Cu からの0.511 MeVの γ 線を測定し放射化率分布を求めた。

ボイズン管周辺の径方向中性子束分布の測定には Dy-Aℓ合金箱 (厚さ0.1 mm) を使用した。炉心内の配置は、Dy箱を幅2 mm、長さ82 mmのテーブ状に切断し、Aℓホルダーにはりつけて、Fig. 4に示した様にカランドリア管とボイズン管の間に、このホルダーを炉心上部よりナイロン糸で吊り下げておこなった。500 Wで30分間照射された Dy-Aℓテーブは、2 mmおきに切断し、CaF₂ (Eu) シンチレーションカウンタで Dy 放射化率を求めた。Fig. 5に Cu ワイヤ及び Dy-Aℓテーブの炉心内配置を示した。



4. 実験結果及び検討

4.1 反応度

Table 2 に各実験体系で測定した臨界水位及び重水水位反応度係数の値を示した。また、Table 3 には液体ポイズン管が配置されていないクリーン炉心を基準とした場合の液体ポイズン管の反応度係数値、及びポイズン管に空気が入っている場合を基準とした場合の反応度係数値を示した。また、Fig. 6 ~ Fig. 8 に圧力管内軽水水位、臨界水位及びポイズン管内の液位の位置関係を典型的な場合について示した。Fig. 9 はボロン濃度が 893.5 ppm であるポイズン管において、ポイズン液位が変化した際の反応度変化を示している。この図から液位変化による反応度変化は、固体制御棒と同じく S 字曲線を描くことがわかる。このことから固体制御棒の挿入引抜きにおける制御特性とはほぼ同じ特性が液体ポイズン管の液位制御でも得られることが認められた。Fig. 10 にはポイズン濃度と炉心反応度係数値の関係を示してある。0 ppm から 200 ppm までは濃度にはほぼ比例して反応度係数値が増大するが、濃度が 800 ppm 以上では反応度係数値が飽和していくことが実験結果を結んだ曲線より推察され、これ以上のボロン濃度では、ポイズン液をブラック吸収体として取り扱うことができると考えられる。

4.2 中性子束分布

ポイズン管内部、重水領域および燃料集合体中心において測定された Cu ワイヤの軸方向反応率分布を Table 4 ~ Table 11 及び Fig. 11 ~ Fig. 17 に示してある。Cu 反応率分布の測定誤差は ±2 % であった。Fig. 13 (ポイズン液位が臨界水位の 1/2 の場合) と Fig. 16 (ポイズン液位が臨界水位と同じ場合) の比較からわかる様に、燃料中心の軸方向反応率分布は、ブラックポイズン液の液位が変化した場合でも大きく変化しない。これは、燃料及び軽水の中性子遮蔽効果のため、燃料集合体中心までポイズン管の影響が及ばないためと考えられる。ポイズン液位の変化は、重水中の軸方向分布に対してもあまり大きな変化を与えないことが Fig. 14 と Fig. 17 より認められる。これは重水中における軸方向分布の測定がポイズン管より約 32 cm と大きく離れた場所でおこなわれたためであると考えられる。

ポイズン管中心の軸方向分布については、Fig. 15 よりポイズン液の有無の境界で大きく変化している。

DY-A ℓ テープで測定したポイズン管周辺の径方向反応率分布を Fig. 18 と Fig. 19 に示してある。Fig. 18 に示すグレイポイズン液が入っている場合のポイズン管周辺の分布は、燃料チャネル付近の分布より多少低下しているのが認められる。これに対してブラックポイズン液が入った場合のポイズン管周辺の分布は、Fig. 19 に示しているようにポイズン管から約 2

cm 以内の位置で急激に低下するのが認められる。これらのことよりグレイポイズン液を持つポイズン管はポイズン管全体の吸収により中性子束を低下させ、ブラックポイズン液のポイズン管では主としてポイズン管の表面における吸収が中性子束を低下させていることを示している。

Table 2 Experimental Results

$k_{eff} = 0.723 \%$

Case Number	Experiment	Poison (Content)	Absorber Height (mm)	Critical Height (mm)	Coolant Height (mm)	D ₂ O Level Worth ($\Delta k/k/cm$)	Measurement Item
1	Standard Core	No	-	1224.9	1225	0.185	Reactivity
2	Air-filled Poison Tube	No	-	1238.0	1245	0.188	Reactivity
3	Light-Water Tube	Light Water	1281	1260.0	1245	-	Reactivity
4	Gray Poison Tube	^{10}B (47.6ppm)	627	1251.6	1255	0.187	Reactivity
5	Gray Poison Tube	^{10}B (47.6ppm)	627	1253.2	1255	-	Axial and Radial Flux Distribution
6	Gray Poison Tube	^{10}B (47.6ppm)	1267	1267.0	1265	0.179	Reactivity
7	Gray Poison Tube	^{10}B (199.5ppm)	1307	1279.4	1275	0.168	Reactivity
8	Black Poison Tube	^{10}B (893.5ppm)	343	1250.4	1255	0.183	Reactivity
9	Black Poison Tube	^{10}B (893.5ppm)	633	1273.8	1270	0.172	Reactivity
10	Black Poison Tube	^{10}B (893.5ppm)	633	1276.0	1270	-	Axial and Radial Flux Distribution
11	Black Poison Tube	^{10}B (893.5ppm)	957	1298.9	1280	-	Reactivity
12	Black Poison Tube	^{10}B (893.5ppm)	957	1297.0	1300	0.158	Reactivity
13	Black Poison Tube	^{10}B (893.5ppm)	1320	1302.4	1320	0.150	Reactivity
14	Black Poison Tube	^{10}B (893.5ppm)	1320	1303.7	1320	-	Axial and Radial Flux Distribution

Table 3 Results of Reactivity Worth

Case Number	Poison	Content of Absorber (ppm)	Absorber Height (mm)	Reactivity ϕ , ($\Delta k/k$) ^{*)}	Reactivity ϕ , ($\Delta k/k$) ^{**)}
1	Without Poison Tube	-	-	-	-
2	Air	-	-	-68.7(-0.50)	-
3	Light Water	0.0	1281	-179.7(-1.30)	-111.0(-0.80)
4	Boron	47.6	627	-134.9(-0.98)	-66.2(-0.48)
6	Boron	47.6	1267	-213.9(-1.55)	-145.2(-1.05)
7	Boron	199.5	1307	-273.1(-1.97)	-204.4(-1.48)
8	Boron	893.5	343	-131.9(-0.95)	-63.2(-0.46)
9	Boron	893.5	633	-246.5(-1.78)	-177.8(-1.29)
12	Boron	893.5	957	-354.5(-2.56)	-285.8(-2.07)
13	Boron	893.5	1320	-378.9(-2.74)	-310.2(-2.24)

*) The reactivity worth is evaluated relative to the experimental case No. 1.

**) The reactivity worth is evaluated relative to the experimental case No. 2.

Experimental error $\pm 4\%$

Table 4 Cu Activity in Fuel Region (Case Number...6)

Distance from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (Counts/ sec)	Normalized Value
-1.10000E 00	1.45810E 03	1.220E-01
7.00000E-01	2.44853E 03	2.048E-01
7.00000E 00	2.47497E 03	2.070E-01
4.70000E 00	2.84756E 03	2.382E-01
8.70000E 00	3.28880E 03	2.751E-01
8.70000E 00	3.75182E 03	3.138E-01
1.27000E 01	4.13369E 03	3.458E-01
1.27000E 01	4.84054E 03	4.049E-01
1.47000E 01	5.28071E 03	4.417E-01
1.67000E 01	5.45031E 03	4.559E-01
1.87000E 01	6.02285E 03	5.038E-01
2.07000E 01	6.53155E 03	5.464E-01
2.27000E 01	6.89817E 03	5.721E-01
2.47000E 01	7.73231E 03	6.183E-01
2.67000E 01	8.30371E 03	6.946E-01
3.07000E 01	8.87516E 03	7.424E-01
3.27000E 01	8.95814E 03	7.493E-01
3.47000E 01	9.18466E 03	7.683E-01
3.67000E 01	9.72038E 03	8.131E-01
3.87000E 01	9.81749E 03	8.212E-01
4.07000E 01	1.01890E 04	8.523E-01
4.27000E 01	1.08156E 04	9.047E-01
4.47000E 01	1.09348E 04	9.147E-01
4.67000E 01	1.11099E 04	9.293E-01
5.07000E 01	1.14103E 04	9.543E-01
5.27000E 01	1.15810E 04	9.687E-01
5.47000E 01	1.15027E 04	9.622E-01
5.67000E 01	1.16343E 04	9.732E-01
5.87000E 01	1.18259E 04	9.892E-01
6.07000E 01	1.18422E 04	9.906E-01
6.27000E 01	1.16307E 04	9.729E-01
6.47000E 01	1.14403E 04	9.570E-01
6.67000E 01	1.19479E 04	9.994E-01
6.87000E 01	1.19547E 04	1.000E 00
7.07000E 01	1.14636E 04	9.589E-01
7.27000E 01	1.14875E 04	9.609E-01
7.47000E 01	1.14046E 04	9.540E-01
7.67000E 01	1.13798E 04	9.519E-01
7.87000E 01	1.12791E 04	9.435E-01
8.07000E 01	1.11131E 04	9.312E-01
8.27000E 01	1.10854E 04	9.079E-01
8.47000E 01	1.01844E 04	8.519E-01
8.67000E 01	1.03497E 04	8.657E-01
8.87000E 01	9.77581E 03	8.177E-01
9.07000E 01	9.32015E 03	7.796E-01
9.27000E 01	9.16864E 03	7.669E-01
9.47000E 01	8.87807E 03	7.426E-01
9.67000E 01	8.58523E 03	7.181E-01
9.87000E 01	7.77728E 03	6.506E-01
1.00700E 02	7.67743E 03	6.422E-01
1.02700E 02	7.24243E 03	6.058E-01
1.04700E 02	6.61969E 03	5.537E-01
1.06700E 02	6.18554E 03	5.174E-01
1.08700E 02	5.74209E 03	4.803E-01
1.10700E 02	5.24443E 03	4.387E-01
1.12700E 02	4.73063E 03	3.957E-01
1.14700E 02	4.14867E 03	3.470E-01
1.16700E 02	3.65283E 03	3.056E-01
1.18700E 02	3.16217E 03	2.645E-01
1.20700E 02	2.71618E 03	2.272E-01
1.22700E 02	2.12940E 03	1.781E-01
1.24700E 02	1.35141E 03	1.130E-01
1.26700E 02	9.29372E 02	7.74E-02
1.28700E 02	9.04540E 02	7.566E-02
1.30700E 02	9.44916E 02	7.904E-02
1.32700E 02	8.64239E 02	7.229E-02
1.34700E 02	8.60893E 02	7.201E-02
1.36700E 02	8.51611E 02	7.124E-02
1.38700E 02	8.32367E 02	6.963E-02

Table 5 Cu Activity in D₂O Region (Case Number...6)

Distance from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (Counts/ sec)	Normalized Value
2.40000E 00	4.77476E 03	8.979E-02
4.40000E 00	1.16154E 04	2.184E-01
6.40000E 00	1.44220E 04	2.712E-01
8.40000E 00	1.63535E 04	3.075E-01
1.04000E 01	1.92268E 04	3.616E-01
1.24000E 01	2.11829E 04	3.983E-01
1.44000E 01	2.42409E 04	4.588E-01
1.64000E 01	2.61584E 04	4.919E-01
1.84000E 01	2.79493E 04	5.256E-01
2.04000E 01	3.04811E 04	5.732E-01
2.24000E 01	3.17732E 04	5.975E-01
2.44000E 01	3.43115E 04	6.452E-01
2.64000E 01	3.58498E 04	6.741E-01
2.84000E 01	3.77325E 04	7.099E-01
3.04000E 01	3.91928E 04	7.370E-01
3.24000E 01	4.07310E 04	7.659E-01
3.44000E 01	4.23228E 04	7.996E-01
3.64000E 01	4.38966E 04	8.255E-01
3.84000E 01	4.49910E 04	8.460E-01
4.04000E 01	4.64556E 04	8.736E-01
4.24000E 01	4.71366E 04	8.864E-01
4.44000E 01	4.89509E 04	9.205E-01
4.64000E 01	5.01510E 04	9.431E-01
4.84000E 01	5.10240E 04	9.595E-01
5.04000E 01	5.21343E 04	9.804E-01
5.24000E 01	5.26730E 04	9.905E-01
5.44000E 01	5.49278E 04	9.763E-01
5.64000E 01	5.31778E 04	1.000E 00
5.84000E 01	5.28303E 04	9.935E-01
6.04000E 01	5.28654E 04	9.941E-01
6.24000E 01	5.25219E 04	9.877E-01
6.44000E 01	5.27771E 04	9.925E-01
6.64000E 01	5.21216E 04	9.801E-01
6.84000E 01	5.13233E 04	9.651E-01
7.04000E 01	5.13687E 04	9.660E-01
7.24000E 01	5.07690E 04	9.547E-01
7.44000E 01	5.05321E 04	9.502E-01
7.64000E 01	4.91707E 04	9.245E-01
7.84000E 01	4.82578E 04	9.075E-01
8.04000E 01	4.70798E 04	8.833E-01
8.24000E 01	4.58558E 04	8.623E-01
8.44000E 01	4.43659E 04	8.343E-01
8.64000E 01	4.31899E 04	8.122E-01
8.84000E 01	4.24711E 04	7.987E-01
9.04000E 01	4.03925E 04	7.596E-01
9.24000E 01	3.88949E 04	7.314E-01
9.44000E 01	3.67948E 04	6.919E-01
9.64000E 01	3.58232E 04	6.736E-01
9.84000E 01	3.31381E 04	6.232E-01
1.00400E 02	3.16527E 04	5.952E-01
1.02400E 02	2.98408E 04	5.612E-01
1.04400E 02	2.73325E 04	5.140E-01
1.06400E 02	2.51174E 04	4.723E-01
1.08400E 02	2.26121E 04	4.232E-01
1.10400E 02	2.01672E 04	3.792E-01
1.12400E 02	1.76813E 04	3.325E-01
1.14400E 02	1.55840E 04	2.931E-01
1.16400E 02	1.22465E 04	2.303E-01
1.18400E 02	9.66328E 03	1.817E-01
1.20400E 02	6.69842E 03	1.260E-01
1.22400E 02	3.81729E 03	7.178E-02
1.24400E 02	2.60575E 03	4.900E-02
1.26400E 02	2.31626E 03	4.356E-02
1.28400E 02	2.23967E 03	4.212E-02
1.30400E 02	2.02304E 03	3.804E-02
1.32400E 02	2.09567E 03	3.941E-02

Table 6. Cu Activity in Fuel Region (Case Number...10)

Distance from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (microsec)	Normalized Value
1.30000E 00	1.31537E 03	1.086E-01
1.40000E 00	2.30496E 03	1.904E-01
2.70000E 00	2.38169E 03	1.967E-01
4.70000E 00	2.76474E 03	2.283E-01
6.70000E 00	3.12814E 03	2.584E-01
8.70000E 00	3.49574E 03	2.887E-01
1.07000E 01	4.0867E 03	3.378E-01
1.27000E 01	4.49729E 03	3.714E-01
1.47000E 01	5.06773E 03	4.185E-01
1.67000E 01	5.33782E 03	4.409E-01
1.87000E 01	5.86125E 03	4.841E-01
2.07000E 01	6.71106E 03	5.543E-01
2.27000E 01	7.06299E 03	5.833E-01
2.47000E 01	7.43575E 03	6.141E-01
2.67000E 01	7.82754E 03	6.465E-01
2.87000E 01	8.12548E 03	6.711E-01
3.07000E 01	8.47756E 03	7.002E-01
3.27000E 01	8.77379E 04	7.299E-01
3.47000E 01	9.20086E 03	7.599E-01
3.67000E 01	9.07377E 03	7.494E-01
3.87000E 01	9.55164E 03	7.889E-01
4.07000E 01	9.60665E 03	7.934E-01
4.27000E 01	9.99819E 03	8.258E-01
4.47000E 01	1.03614E 04	8.723E-01
4.67000E 01	1.07141E 04	8.849E-01
4.87000E 01	1.08932E 04	8.927E-01
5.07000E 01	1.09838E 04	9.075E-01
5.27000E 01	1.12796E 04	9.316E-01
5.47000E 01	1.12668E 04	9.307E-01
5.67000E 01	1.12898E 04	9.324E-01
5.87000E 01	1.16305E 04	9.606E-01
6.07000E 01	1.17379E 04	9.694E-01
6.27000E 01	1.21017E 04	9.997E-01
6.47000E 01	1.19736E 04	9.889E-01
6.67000E 01	1.19333E 04	9.856E-01
6.87000E 01	1.20317E 04	9.917E-01
7.07000E 01	1.19106E 04	9.837E-01
7.27000E 01	1.18288E 04	9.770E-01
7.47000E 01	1.19179E 04	1.000E 00
7.67000E 01	1.19713E 04	1.087E-01
7.87000E 01	1.19318E 04	9.896E-01
8.07000E 01	1.15287E 04	9.322E-01
8.27000E 01	1.13124E 04	9.343E-01
8.47000E 01	1.11430E 04	9.203E-01
8.67000E 01	1.08344E 04	8.965E-01
8.87000E 01	1.06224E 04	8.773E-01
9.07000E 01	1.02818E 04	8.492E-01
9.27000E 01	1.03276E 04	8.530E-01
9.47000E 01	9.81950E 03	8.110E-01
9.67000E 01	9.18290E 03	7.584E-01
9.87000E 01	9.07824E 03	7.498E-01
1.00700E 01	8.76254E 03	7.237E-01
1.02700E 02	8.10240E 03	6.692E-01
1.04700E 02	7.39018E 03	6.104E-01
1.06700E 02	6.81551E 03	5.629E-01
1.08700E 02	6.14173E 03	5.073E-01
1.10700E 02	5.60400E 03	4.628E-01
1.12700E 02	5.12641E 03	4.234E-01
1.14700E 02	4.58520E 03	3.787E-01
1.16700E 02	3.88572E 03	3.209E-01
1.18700E 02	3.11263E 03	2.571E-01
1.20700E 02	2.33610E 03	1.929E-01
1.22700E 02	2.17811E 03	1.799E-01
1.24700E 02	1.75913E 03	1.453E-01
1.26700E 02	1.54108E 03	1.273E-01
1.28700E 02	1.32670E 03	1.096E-01
1.30700E 02	1.09022E 03	9.004E-02
1.32700E 02	1.06528E 03	8.798E-02
1.34700E 02	1.01063E 03	8.347E-02
1.36700E 02	9.32037E 02	7.698E-02

Table 7. Cu Activity in D2O Region (Case Number...10)

Distance from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (microsec)	Normalized Value
2.40000E 00	4.56352E 03	8.247E-02
4.40000E 00	1.13636E 04	2.054E-01
6.40000E 00	1.41032E 04	2.549E-01
8.40000E 00	1.67383E 04	3.025E-01
1.04000E 01	1.89639E 04	3.437E-01
1.24000E 01	2.13030E 04	3.850E-01
1.44000E 01	2.37506E 04	4.292E-01
1.64000E 01	2.58671E 04	4.808E-01
1.84000E 01	2.75485E 04	4.979E-01
2.04000E 01	2.98781E 04	5.400E-01
2.24000E 01	3.20769E 04	5.797E-01
2.44000E 01	3.42336E 04	6.187E-01
2.64000E 01	3.65807E 04	6.611E-01
2.84000E 01	3.77977E 04	6.831E-01
3.04000E 01	4.00932E 04	7.246E-01
3.24000E 01	4.11078E 04	7.429E-01
3.44000E 01	4.29411E 04	7.761E-01
3.64000E 01	4.41734E 04	7.983E-01
3.84000E 01	4.53231E 04	8.191E-01
4.04000E 01	4.66117E 04	8.424E-01
4.24000E 01	4.80621E 04	8.686E-01
4.44000E 01	4.94302E 04	8.933E-01
4.64000E 01	5.02085E 04	9.074E-01
4.84000E 01	5.09419E 04	9.207E-01
5.04000E 01	5.24051E 04	9.471E-01
5.24000E 01	5.24101E 04	9.472E-01
5.44000E 01	5.33443E 04	9.677E-01
5.64000E 01	5.36862E 04	9.703E-01
5.84000E 01	5.42867E 04	9.811E-01
6.04000E 01	5.44524E 04	9.841E-01
6.24000E 01	5.46572E 04	9.878E-01
6.44000E 01	5.47241E 04	9.890E-01
6.64000E 01	5.53321E 04	1.000E 00
6.84000E 01	5.48472E 04	9.912E-01
7.04000E 01	5.39724E 04	9.754E-01
7.24000E 01	5.43126E 04	9.816E-01
7.44000E 01	5.33703E 04	9.645E-01
7.64000E 01	5.26476E 04	9.515E-01
7.84000E 01	5.20735E 04	9.411E-01
8.04000E 01	5.13149E 04	9.274E-01
8.24000E 01	5.01753E 04	9.068E-01
8.44000E 01	4.88787E 04	8.834E-01
8.64000E 01	4.76483E 04	8.611E-01
8.84000E 01	4.65844E 04	8.419E-01
9.04000E 01	4.51755E 04	8.164E-01
9.24000E 01	4.39597E 04	7.945E-01
9.44000E 01	4.17754E 04	7.550E-01
9.64000E 01	3.97226E 04	7.179E-01
9.84000E 01	3.89418E 04	7.038E-01
1.00400E 02	3.70351E 04	6.693E-01
1.02400E 02	3.44079E 04	6.218E-01
1.04400E 02	3.21097E 04	5.803E-01
1.06400E 02	2.99235E 04	5.408E-01
1.08400E 02	2.80491E 04	5.069E-01
1.10400E 02	2.56308E 04	4.632E-01
1.12400E 02	2.32670E 04	4.205E-01
1.14400E 02	2.07020E 04	3.741E-01
1.16400E 02	1.79230E 04	3.239E-01
1.18400E 02	1.49096E 04	2.695E-01
1.20400E 02	1.26034E 04	2.278E-01
1.22400E 02	1.26034E 04	2.278E-01
1.24400E 02	9.66232E 03	1.746E-01
1.26400E 02	8.82970E 03	1.234E-01
1.28400E 02	3.83613E 03	6.933E-02
1.30400E 02	2.48981E 03	4.500E-02
1.32400E 02	2.39023E 03	4.320E-02
1.34400E 02	2.26877E 03	4.100E-02
1.36400E 02	2.07104E 03	3.743E-02
1.38400E 02	2.04530E 03	3.696E-02
1.40400E 02	1.87798E 03	3.394E-02
1.42400E 02	1.85933E 03	3.360E-02
1.44400E 02	1.73162E 03	3.130E-02

Table 8 Cu Activity in Poison Tube (Case Number...10)

Distances from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (Counts) /40sec	Normalized Value
0.	7.49075E 02	1.860E-02
2.0000E 00	1.69138E 03	4.200E-02
4.0000E 00	2.08342E 03	5.174E-02
6.0000E 00	2.77510E 03	8.898E-02
8.0000E 00	2.74611E 03	6.819E-02
1.0000E 01	2.91073E 03	7.228E-02
1.2000E 01	3.17153E 03	7.885E-02
1.4000E 01	3.39883E 03	8.440E-02
1.6000E 01	3.62917E 03	9.012E-02
1.8000E 01	3.87090E 03	9.612E-02
2.0000E 01	3.99862E 03	9.930E-02
2.2000E 01	4.40610E 03	1.094E-01
2.4000E 01	4.59824E 03	1.142E-01
2.6000E 01	4.63168E 03	1.150E-01
2.8000E 01	4.67948E 03	1.162E-01
3.0000E 01	4.81332E 03	1.193E-01
3.2000E 01	5.00469E 03	1.243E-01
3.4000E 01	5.31111E 03	1.319E-01
3.6000E 01	5.31963E 03	1.321E-01
3.8000E 01	5.51496E 03	1.370E-01
4.0000E 01	5.69138E 03	1.413E-01
4.2000E 01	5.62024E 03	1.396E-01
4.4000E 01	5.65139E 03	1.403E-01
4.6000E 01	5.85703E 03	1.453E-01
4.8000E 01	6.24733E 03	1.551E-01
5.0000E 01	6.21487E 03	1.543E-01
5.2000E 01	6.44066E 03	1.599E-01
5.4000E 01	6.90921E 03	1.716E-01
5.6000E 01	8.75877E 03	2.173E-01
5.8000E 01	1.99161E 04	4.946E-01
6.0000E 01	3.42089E 04	8.495E-01
6.2000E 01	3.64428E 04	9.050E-01
6.4000E 01	3.89707E 04	9.677E-01
6.6000E 01	3.93763E 04	9.778E-01
6.8000E 01	3.97192E 04	9.863E-01
7.0000E 01	4.02698E 04	1.000E 00
7.2000E 01	4.01427E 04	9.968E-01
7.4000E 01	3.98987E 04	9.908E-01
7.6000E 01	3.94728E 04	9.802E-01
7.8000E 01	3.90526E 04	9.698E-01
8.0000E 01	3.82011E 04	9.485E-01
8.2000E 01	3.80701E 04	9.454E-01
8.4000E 01	3.68834E 04	9.159E-01
8.6000E 01	3.61507E 04	8.988E-01
8.8000E 01	3.52248E 04	8.747E-01
9.0000E 01	3.36624E 04	8.354E-01
9.2000E 01	3.26907E 04	8.118E-01
9.4000E 01	3.31935E 04	8.243E-01
9.6000E 01	2.99670E 04	7.442E-01
9.8000E 01	2.82331E 04	7.011E-01
1.0000E 02	2.65737E 04	6.599E-01
1.0200E 02	2.49892E 04	6.205E-01
1.0400E 02	2.30195E 04	5.716E-01
1.0600E 02	2.10620E 04	5.230E-01
1.0800E 02	1.92789E 04	4.787E-01
1.1000E 02	1.77690E 04	4.412E-01
1.1200E 02	1.54333E 04	3.833E-01
1.1400E 02	1.35005E 04	3.353E-01
1.1600E 02	1.14139E 04	2.834E-01
1.1800E 02	9.52511E 03	2.365E-01
1.2000E 02	7.21781E 03	1.792E-01

Table 9 Cu Activity in Fuel Region (Case Number...14)

Distances from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (Counts) /40sec	Normalized Value
-1.3000E 00	1.23144E 03	1.118E-01
7.0000E-01	2.21534E 03	2.011E-01
2.7000E 00	2.18638E 03	1.983E-01
4.7000E 00	2.53185E 03	2.299E-01
6.7000E 00	2.98370E 03	2.711E-01
8.7000E 00	3.50334E 03	3.181E-01
1.0700E 01	3.78760E 03	3.439E-01
1.2700E 01	4.29311E 03	3.898E-01
1.4700E 01	4.77143E 03	4.332E-01
1.6700E 01	5.07040E 03	4.603E-01
1.8700E 01	5.45965E 03	4.957E-01
2.0700E 01	5.91913E 03	5.374E-01
2.2700E 01	6.14653E 03	5.580E-01
2.4700E 01	6.35748E 03	5.953E-01
2.6700E 01	6.82747E 03	6.199E-01
2.8700E 01	7.42535E 03	6.741E-01
3.0700E 01	7.80379E 03	7.083E-01
3.2700E 01	8.01875E 03	7.280E-01
3.4700E 01	8.25768E 03	7.497E-01
3.6700E 01	8.40039E 03	7.627E-01
3.8700E 01	9.05847E 03	8.224E-01
4.0700E 01	9.12700E 03	8.286E-01
4.2700E 01	9.55381E 03	8.674E-01
4.4700E 01	9.87717E 03	8.967E-01
4.6700E 01	9.83662E 03	8.931E-01
4.8700E 01	9.87289E 03	8.963E-01
5.0700E 01	1.02428E 04	9.299E-01
5.2700E 01	1.05877E 04	9.612E-01
5.4700E 01	1.07927E 04	9.799E-01
5.6700E 01	1.02163E 04	9.275E-01
5.8700E 01	1.06903E 04	9.706E-01
6.0700E 01	1.10146E 04	1.000E 00
6.2700E 01	1.05347E 04	9.564E-01
6.4700E 01	1.04151E 04	9.456E-01
6.6700E 01	1.06273E 04	9.648E-01
6.8700E 01	1.08323E 04	9.834E-01
7.0700E 01	1.05358E 04	9.583E-01
7.2700E 01	1.04490E 04	9.486E-01
7.4700E 01	1.03937E 04	9.436E-01
7.6700E 01	1.02737E 04	9.327E-01
7.8700E 01	1.03551E 04	9.401E-01
8.0700E 01	1.00010E 04	9.082E-01
8.2700E 01	1.00713E 04	9.145E-01
8.4700E 01	9.82216E 03	8.918E-01
8.6700E 01	9.51722E 03	8.641E-01
8.8700E 01	9.31017E 03	8.433E-01
9.0700E 01	8.93729E 03	8.114E-01
9.2700E 01	9.07391E 03	8.238E-01
9.4700E 01	8.48053E 03	7.699E-01
9.6700E 01	8.18827E 03	7.434E-01
9.8700E 01	7.85458E 03	7.131E-01
1.00700E 02	7.69595E 03	6.987E-01
1.02700E 02	6.93009E 03	6.292E-01
1.04700E 02	6.76114E 03	6.138E-01
1.06700E 02	6.30403E 03	5.723E-01
1.08700E 02	5.99033E 03	5.438E-01
1.10700E 02	5.72300E 03	5.196E-01
1.12700E 02	5.16300E 03	4.687E-01
1.14700E 02	4.74658E 03	4.309E-01
1.16700E 02	4.54311E 03	4.130E-01
1.18700E 02	3.96823E 03	3.603E-01
1.20700E 02	3.53521E 03	3.210E-01
1.22700E 02	3.02993E 03	2.751E-01
1.24700E 02	2.30366E 03	2.091E-01
1.26700E 02	1.82877E 03	1.660E-01
1.28700E 02	1.27971E 03	1.162E-01
1.30700E 02	1.15991E 03	1.053E-01
1.32700E 02	1.01357E 03	9.202E-02
1.34700E 02	9.42540E 02	8.557E-02
1.36700E 02	1.00369E 03	9.112E-02
1.38700E 02	8.89029E 02	8.071E-02
1.40700E 02	7.93297E 02	7.202E-02
1.42700E 02	7.40830E 02	6.762E-02

Table 10 Cu Activity in D₂O Region (Case Number...14)

Distance from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (Counts/ g-sec)	Normalized Value
2.4000E 00	4.6111E 02	5.018E-02
2.4000E 00	1.1021E 04	2.156E-01
4.0000E 00	1.3294E 04	3.600E-01
6.0000E 00	1.5577E 04	3.538E-01
1.0400E 01	1.8178E 04	3.551E-01
1.2000E 01	2.0163E 04	4.171E-01
1.4000E 01	2.2382E 04	4.367E-01
1.6000E 01	2.4991E 04	4.887E-01
1.8000E 01	2.6800E 04	5.195E-01
2.0000E 01	2.8851E 04	5.644E-01
2.2000E 01	3.0864E 04	5.883E-01
2.4000E 01	3.2267E 04	6.306E-01
2.6000E 01	3.4150E 04	6.800E-01
2.8000E 01	3.5508E 04	7.344E-01
3.0000E 01	3.7493E 04	7.324E-01
3.2000E 01	3.9180E 04	7.664E-01
3.4000E 01	4.0234E 04	7.666E-01
3.6000E 01	4.1875E 04	8.203E-01
3.8000E 01	4.2874E 04	8.387E-01
4.0000E 01	4.3940E 04	8.871E-01
4.2000E 01	4.5358E 04	9.022E-01
4.4000E 01	4.7230E 04	9.238E-01
4.6000E 01	4.7444E 04	9.286E-01
4.8000E 01	4.8746E 04	9.537E-01
5.0000E 01	4.9430E 04	9.667E-01
5.2000E 01	5.0538E 04	9.750E-01
5.4000E 01	5.0784E 04	9.971E-01
5.6000E 01	5.0988E 04	9.973E-01
5.8000E 01	5.0845E 04	9.943E-01
6.0000E 01	5.0577E 04	9.950E-01
6.2000E 01	5.1346E 04	9.916E-01
6.4000E 01	5.0807E 04	9.997E-01
6.6000E 01	5.1121E 04	9.718E-01
6.8000E 01	5.0322E 04	9.839E-01
7.0000E 01	4.6813E 04	9.547E-01
7.2000E 01	4.7972E 04	9.382E-01
7.4000E 01	4.7290E 04	9.248E-01
7.6000E 01	4.6674E 04	9.128E-01
7.8000E 01	4.5847E 04	8.966E-01
8.0000E 01	4.4573E 04	8.717E-01
8.2000E 01	4.3874E 04	8.580E-01
8.4000E 01	4.2757E 04	8.362E-01
8.6000E 01	4.1661E 04	8.147E-01
8.8000E 01	3.9404E 04	7.706E-01
9.0000E 01	3.8493E 04	7.528E-01
9.2000E 01	3.7053E 04	7.246E-01
9.4000E 01	3.5267E 04	6.897E-01
9.6000E 01	3.3652E 04	6.577E-01
9.8000E 01	3.1970E 04	6.252E-01
1.0000E 02	2.9919E 04	5.851E-01
1.0400E 02	2.8348E 04	5.543E-01
1.0800E 02	2.6248E 04	5.133E-01
1.1200E 02	2.4059E 04	4.705E-01
1.1400E 02	2.16757E 04	4.239E-01
1.1600E 02	1.96542E 04	3.844E-01
1.1800E 02	1.73541E 04	3.394E-01
1.2000E 02	1.46713E 04	2.908E-01
1.2200E 02	1.23712E 04	2.419E-01
1.2400E 02	9.88945E 03	1.934E-01
1.2600E 02	7.30147E 03	1.428E-01
1.2800E 02	4.66392E 03	9.082E-02
1.3000E 02	2.64202E 03	5.167E-02
1.3200E 02	2.19428E 03	4.291E-02
1.3400E 02	2.00787E 03	3.927E-02
1.3600E 02	1.89257E 03	3.701E-02
1.3800E 02	1.70952E 03	3.343E-02
1.4000E 02	1.69469E 03	3.314E-02
1.4200E 02	1.61362E 03	3.156E-02
1.4400E 02	1.58665E 03	3.101E-02

Table 11 Cu Activity in Poison Tube (Case Number...14)

Distance from Lower Grid Plate (cm)	Corrected Value (Counts/ g-sec)	Normalized Value
0.	5.61392E 02	4.306E-02
2.0000E 00	1.11730E 03	8.750E-02
4.0000E 00	1.04896E 03	8.215E-02
6.0000E 00	1.17850E 03	9.229E-02
8.0000E 00	1.18960E 03	9.316E-02
1.0000E 01	1.23949E 03	9.707E-02
1.2000E 01	1.26253E 03	9.847E-02
1.4000E 01	1.34688E 03	1.054E-01
1.6000E 01	1.29802E 03	1.017E-01
1.8000E 01	1.56138E 03	1.066E-01
2.0000E 01	1.32695E 03	1.039E-01
2.2000E 01	1.35301E 03	1.061E-01
2.4000E 01	1.55693E 03	1.219E-01
2.6000E 01	1.43882E 03	1.127E-01
2.8000E 01	1.35543E 03	1.061E-01
3.0000E 01	1.19892E 03	9.389E-02
3.2000E 01	1.65389E 03	1.297E-01
3.4000E 01	2.46443E 03	1.930E-01
3.6000E 01	3.15519E 03	2.471E-01
3.8000E 01	3.70742E 03	2.903E-01
4.0000E 01	4.64381E 03	3.637E-01
4.2000E 01	5.17408E 03	4.032E-01
4.4000E 01	5.9370E 03	4.647E-01
4.6000E 01	6.6237E 03	5.187E-01
4.8000E 01	7.43716E 03	5.824E-01
5.0000E 01	8.13568E 03	6.371E-01
5.2000E 01	8.81679E 03	6.906E-01
5.4000E 01	9.58869E 03	7.509E-01
5.6000E 01	1.00953E 04	7.906E-01
5.8000E 01	1.08536E 04	8.500E-01
6.0000E 01	1.13431E 04	8.883E-01
6.2000E 01	1.17433E 04	9.197E-01
6.4000E 01	1.21531E 04	9.517E-01
6.6000E 01	1.22596E 04	9.609E-01
6.8000E 01	1.25063E 04	9.794E-01
7.0000E 01	1.27694E 04	1.000E 00
7.2000E 01	1.24831E 04	9.776E-01
7.4000E 01	1.23030E 04	9.635E-01
7.6000E 01	1.20683E 04	9.451E-01
7.8000E 01	1.16424E 04	9.117E-01
8.0000E 01	1.14621E 04	8.976E-01
8.2000E 01	1.11139E 04	8.704E-01
8.4000E 01	1.09035E 04	8.539E-01
8.6000E 01	1.04283E 04	8.167E-01
8.8000E 01	1.00802E 04	7.894E-01
9.0000E 01	9.78606E 03	7.664E-01
9.2000E 01	9.43166E 03	7.386E-01
9.4000E 01	9.17684E 03	7.187E-01
9.6000E 01	8.69885E 03	6.805E-01
9.8000E 01	8.52376E 03	6.675E-01
1.0000E 02	8.31174E 03	6.509E-01
1.0200E 02	8.00962E 03	6.273E-01
1.0400E 02	7.43227E 03	5.820E-01
1.0600E 02	7.37241E 03	5.773E-01
1.0800E 02	7.11325E 03	5.571E-01
1.1000E 02	6.88000E 03	5.388E-01
1.1200E 02	6.54749E 03	5.127E-01
1.1400E 02	6.23614E 03	4.884E-01
1.1600E 02	6.05837E 03	4.744E-01
1.1800E 02	5.63429E 03	4.412E-01
1.2000E 02	5.53940E 03	4.336E-01
1.2200E 02	5.10163E 03	3.997E-01
1.2400E 02	4.86775E 03	3.812E-01
1.2600E 02	4.74434E 03	3.715E-01
1.2800E 02	4.52186E 03	3.541E-01
1.3000E 02	4.37436E 03	3.426E-01
1.3200E 02	3.90352E 03	3.057E-01
1.3400E 02	3.71733E 03	2.911E-01
1.3600E 02	3.60230E 03	2.821E-01
1.3800E 02	3.27815E 03	2.567E-01
1.4000E 02	3.23941E 03	2.537E-01

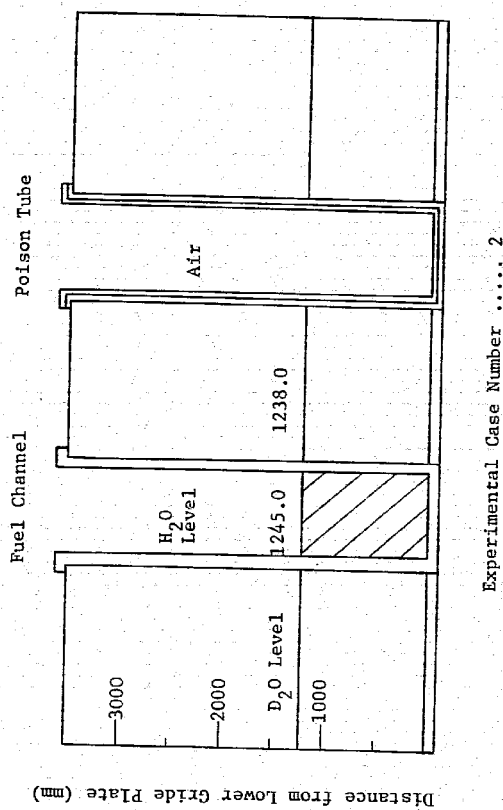
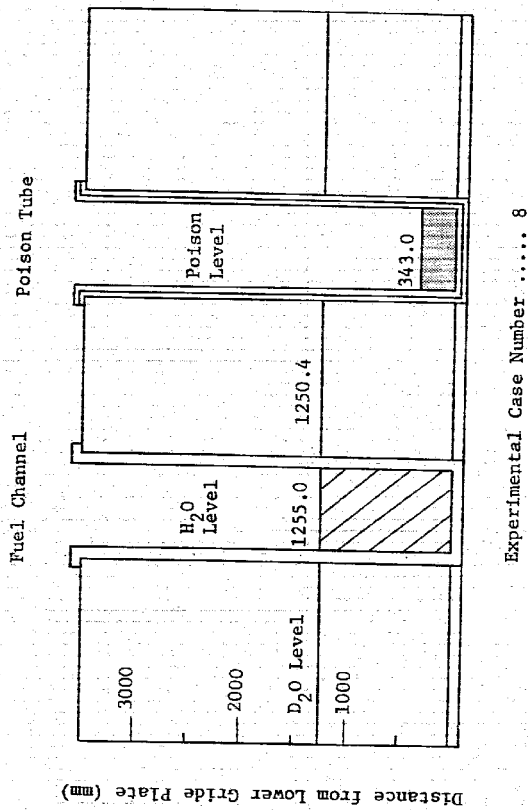
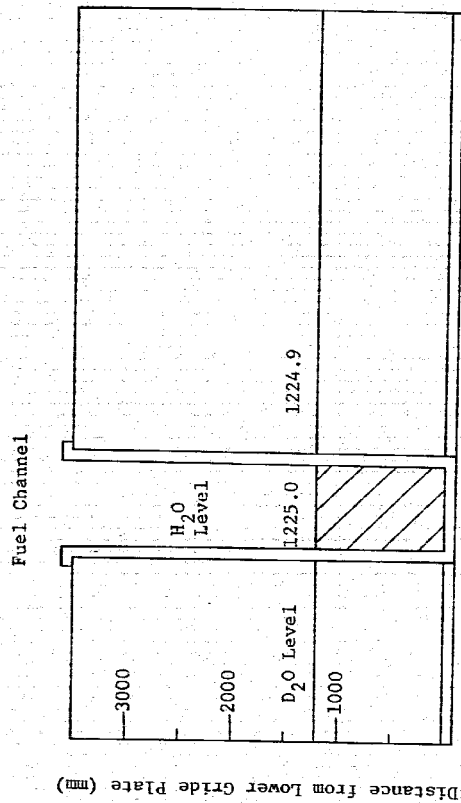


Fig. 6 Relation of Coolant, Moderator and Poison Level in Core

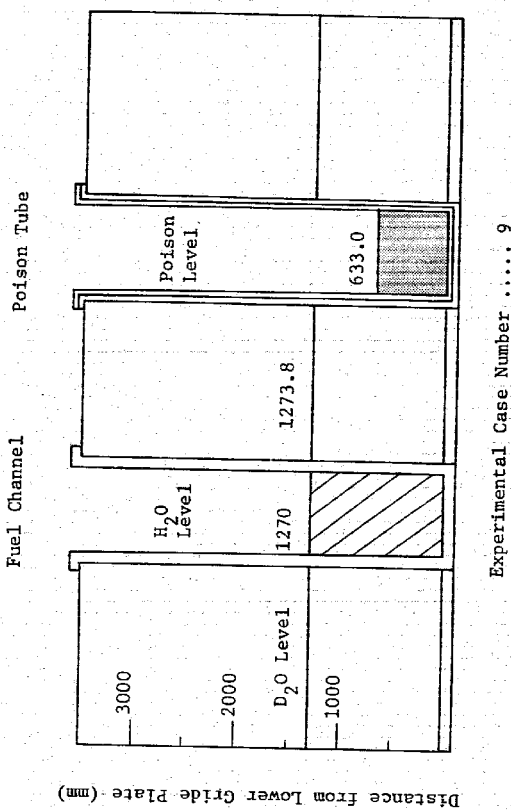
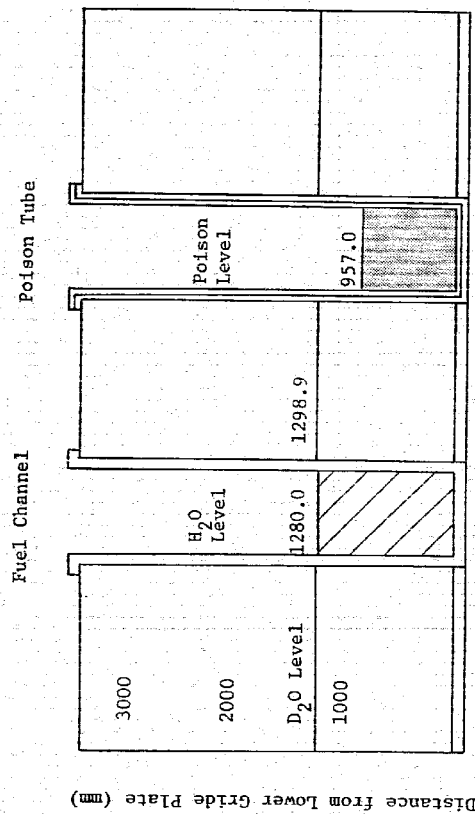
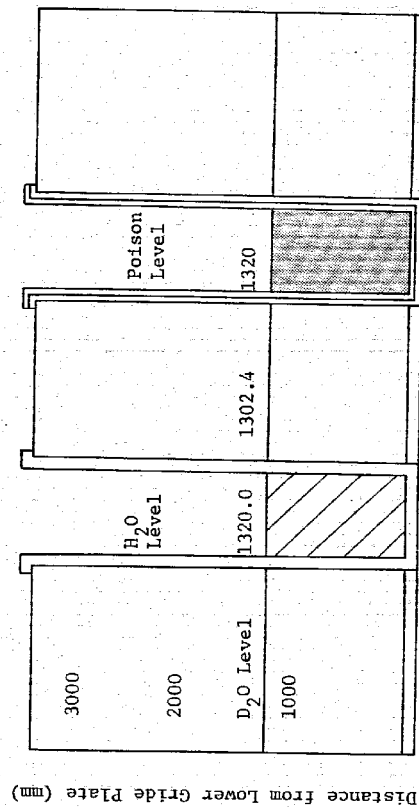


Fig. 7 Relation of Coolant, Moderator and Poison Level in Core



Experimental Case Number 11



Experimental Case Number 13

Fig. 8 Relation of Coolant, Moderator and Poison Level in Core

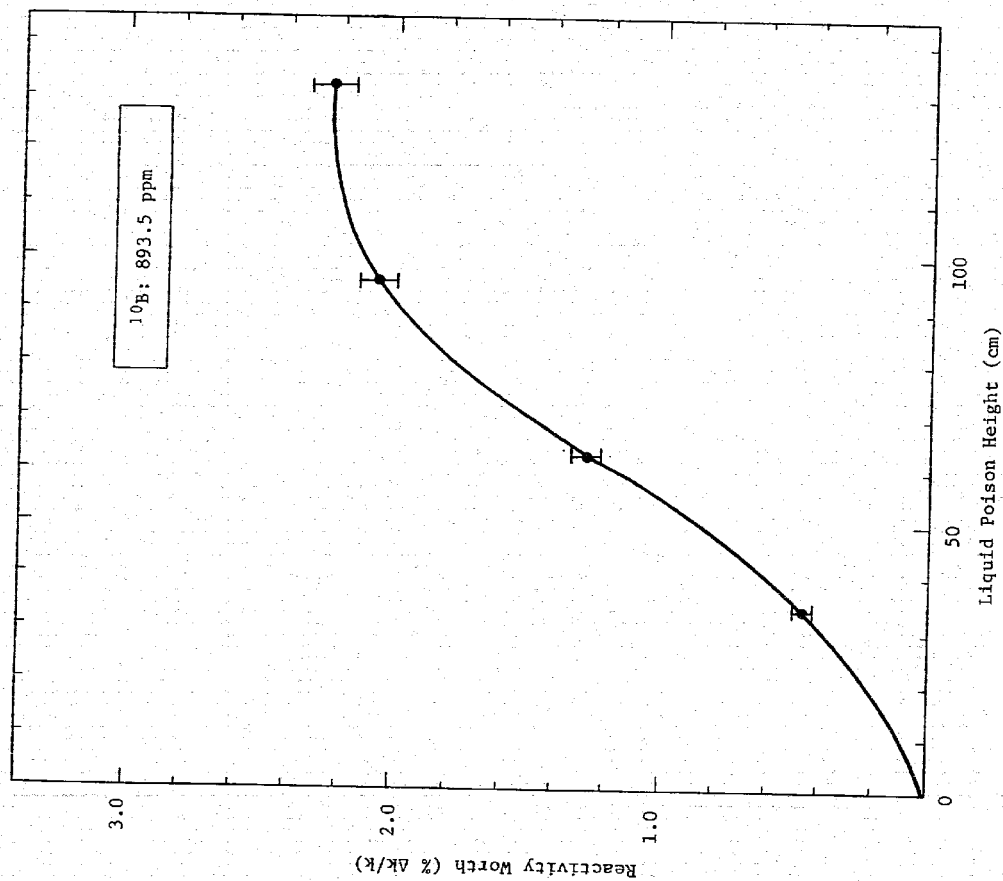


Fig. 9 Dependence of Reactivity Worth on Liquid Poison Height

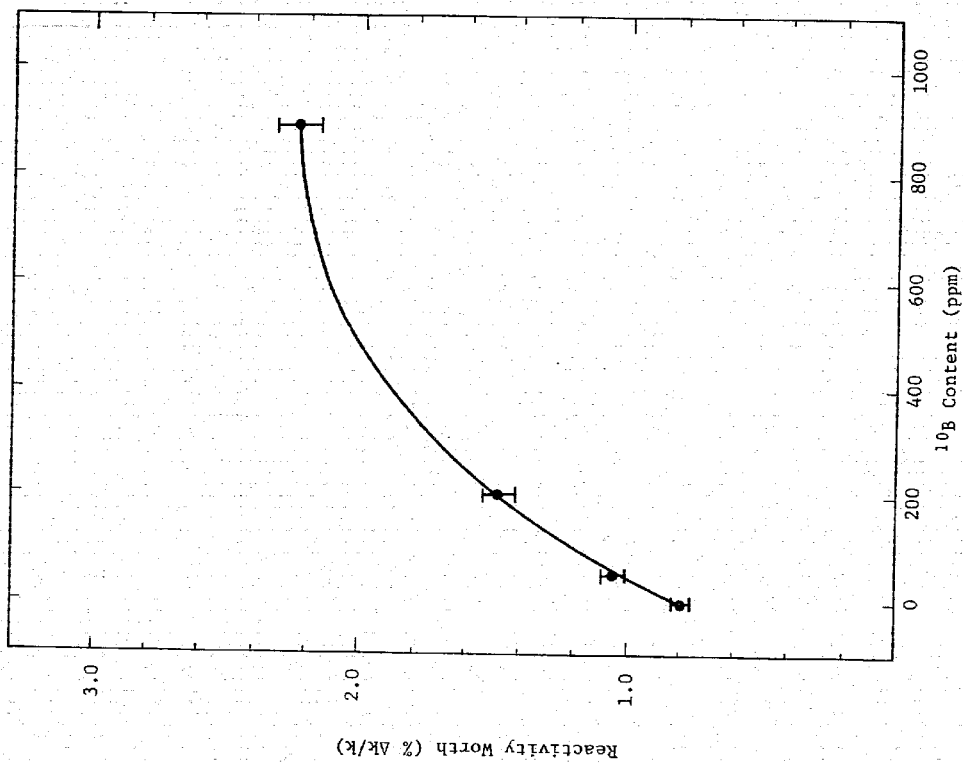


Fig. 10 Dependence of Reactivity Worth on ^{10}B Content

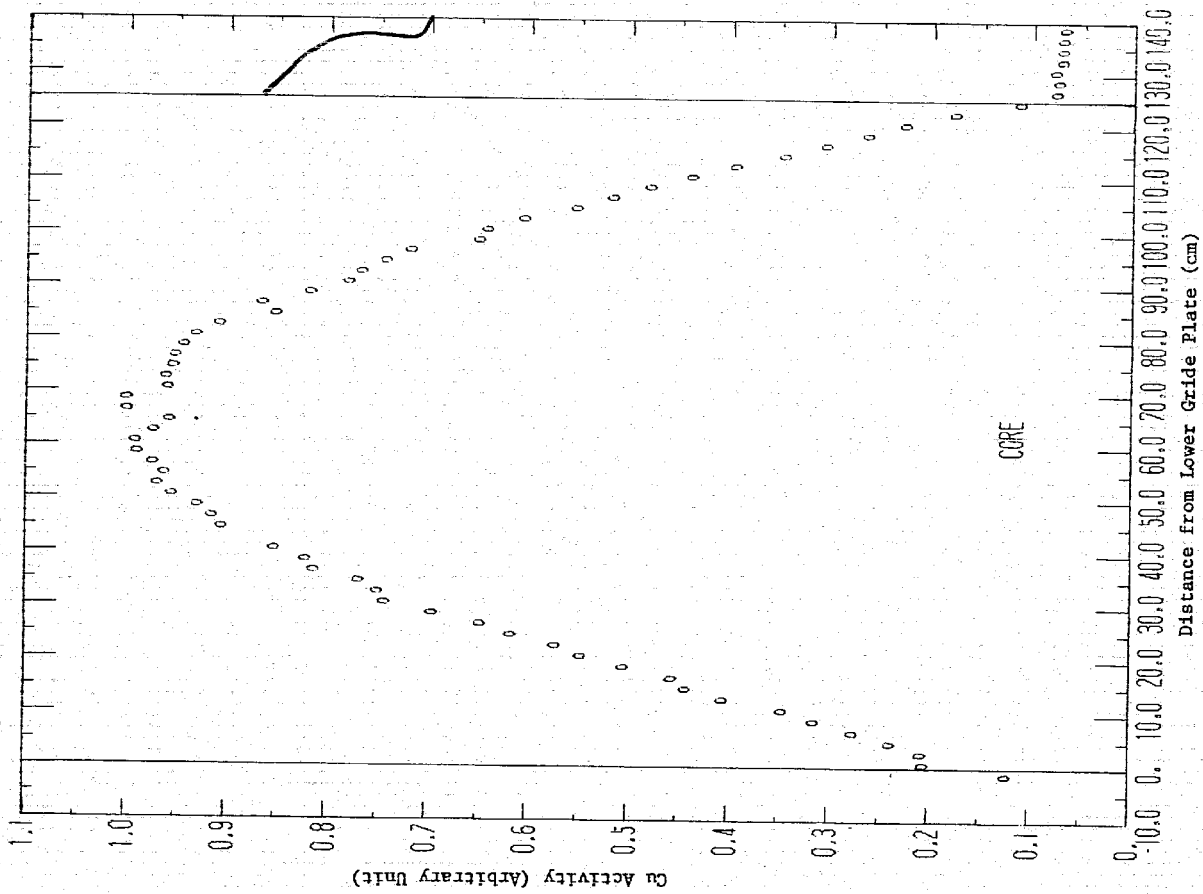


Fig. 11 Axial Flux Distribution in Fuel Region
(Experimental Case Number ... 6)

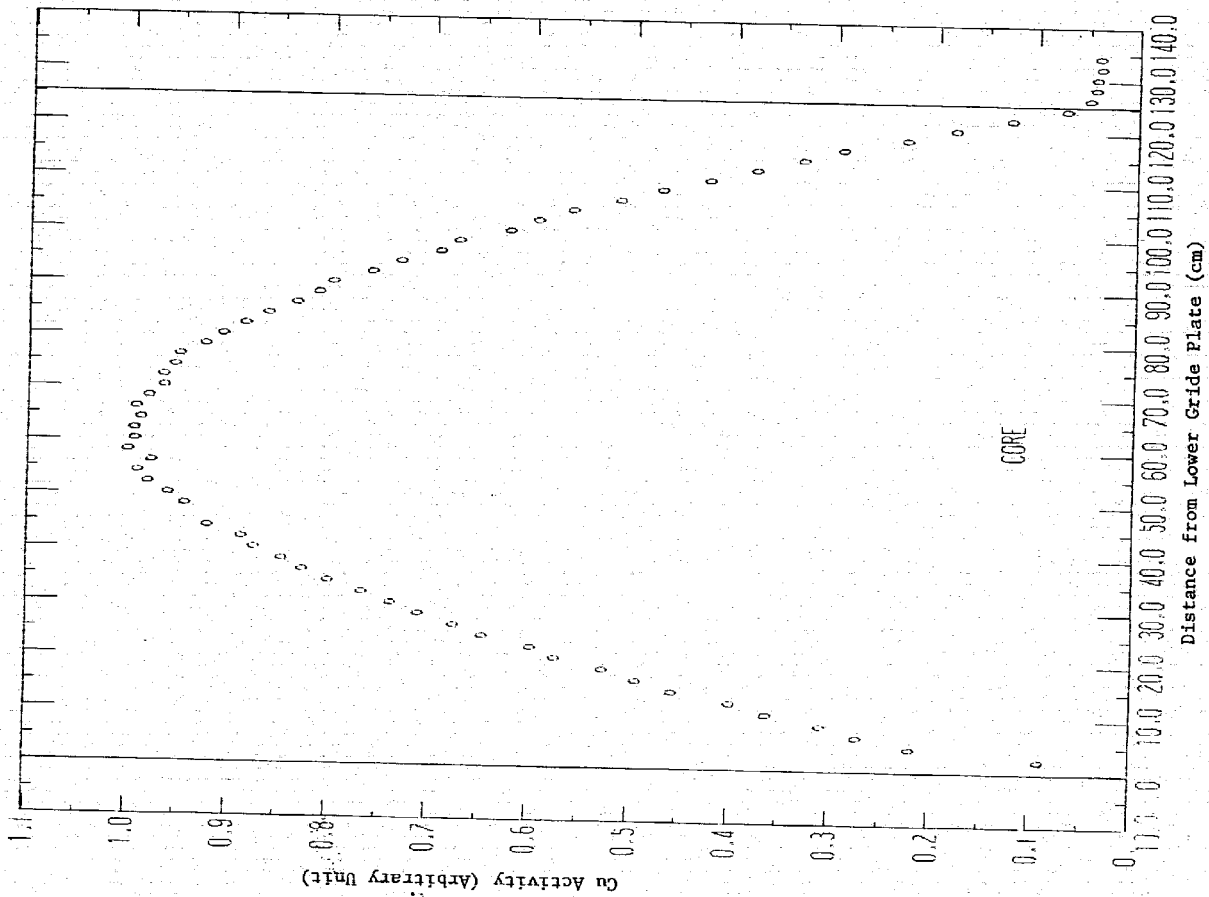


Fig. 12 Axial Flux Distribution in D₂O Region
(Experimental Case Number ... 6)

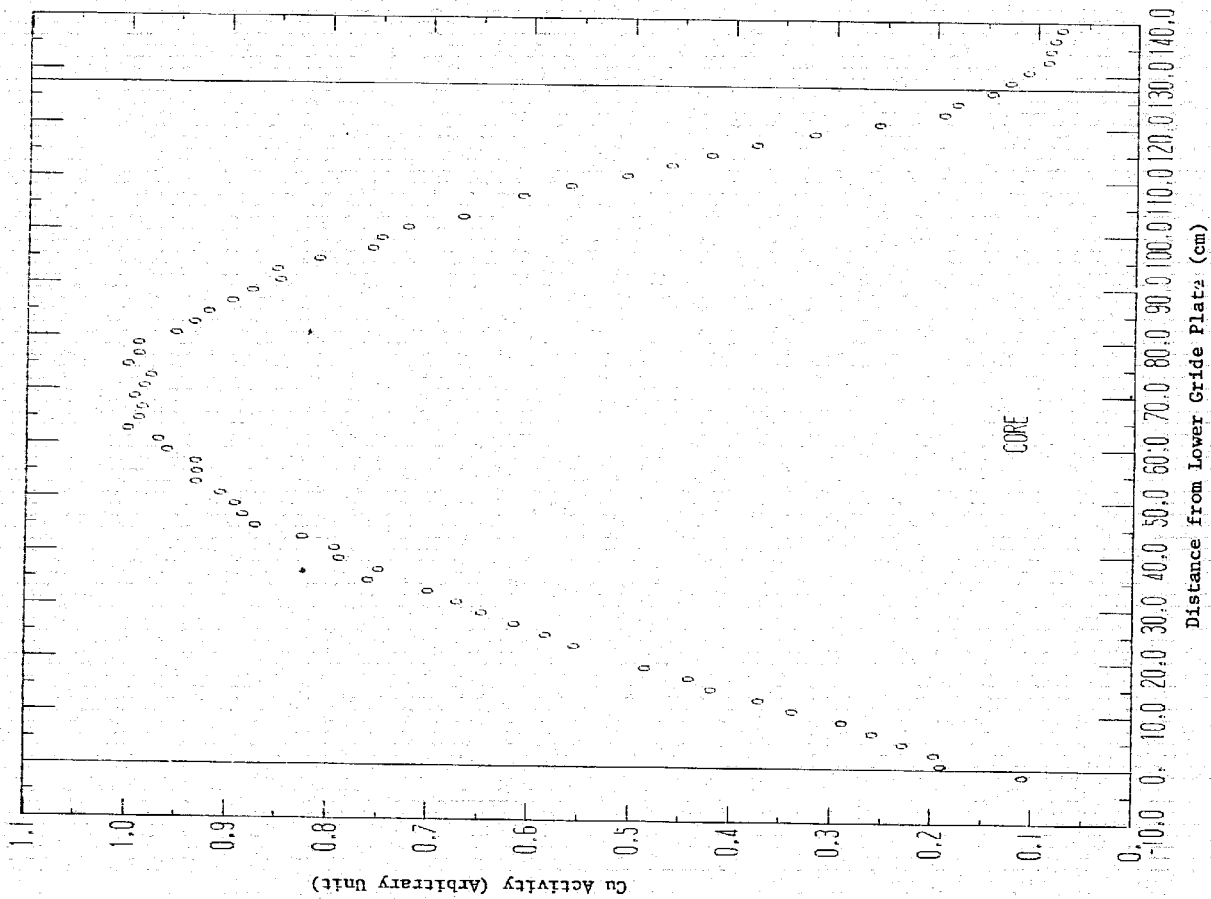


Fig. 13 Axial Flux Distribution in Fuel Region
(Experimental Case Number ... 10)

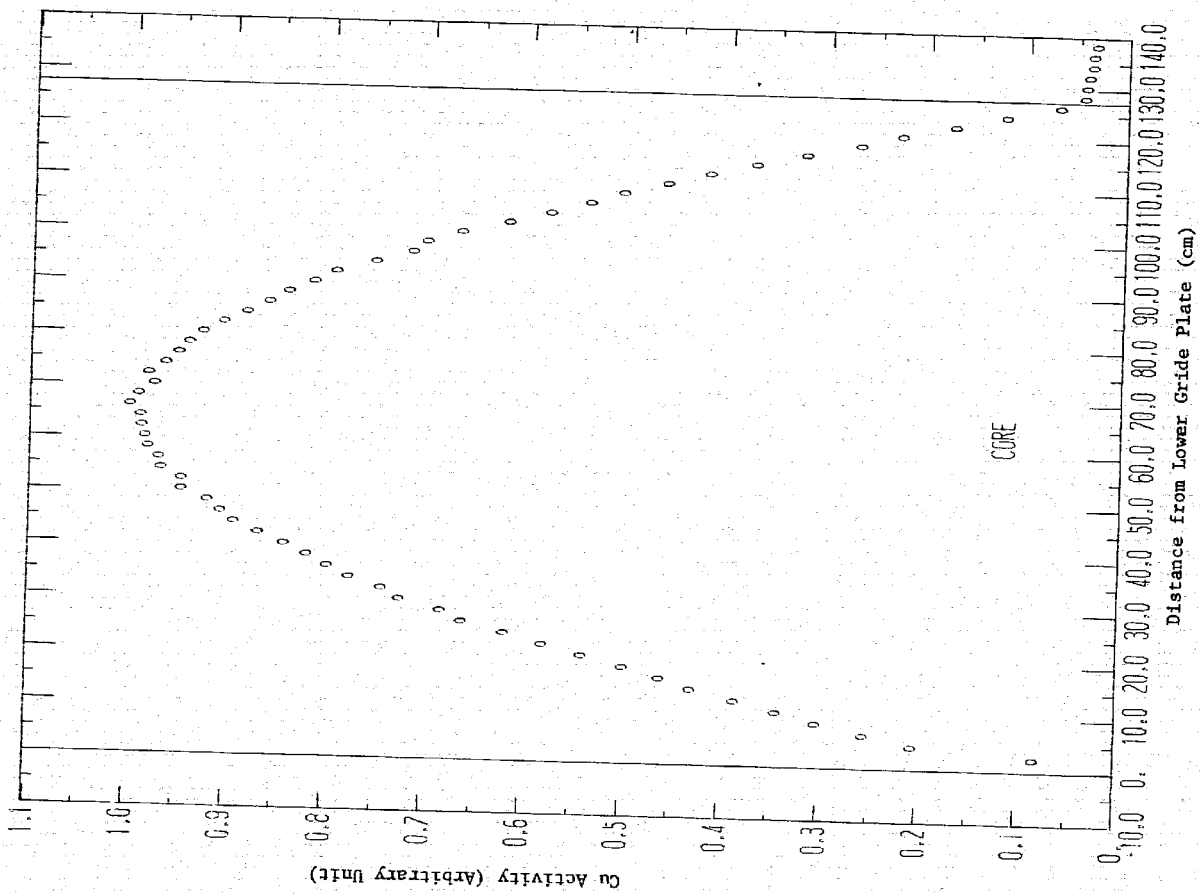


Fig. 14 Axial Flux Distribution in D₂O Region
(Experimental Case Number ... 10)

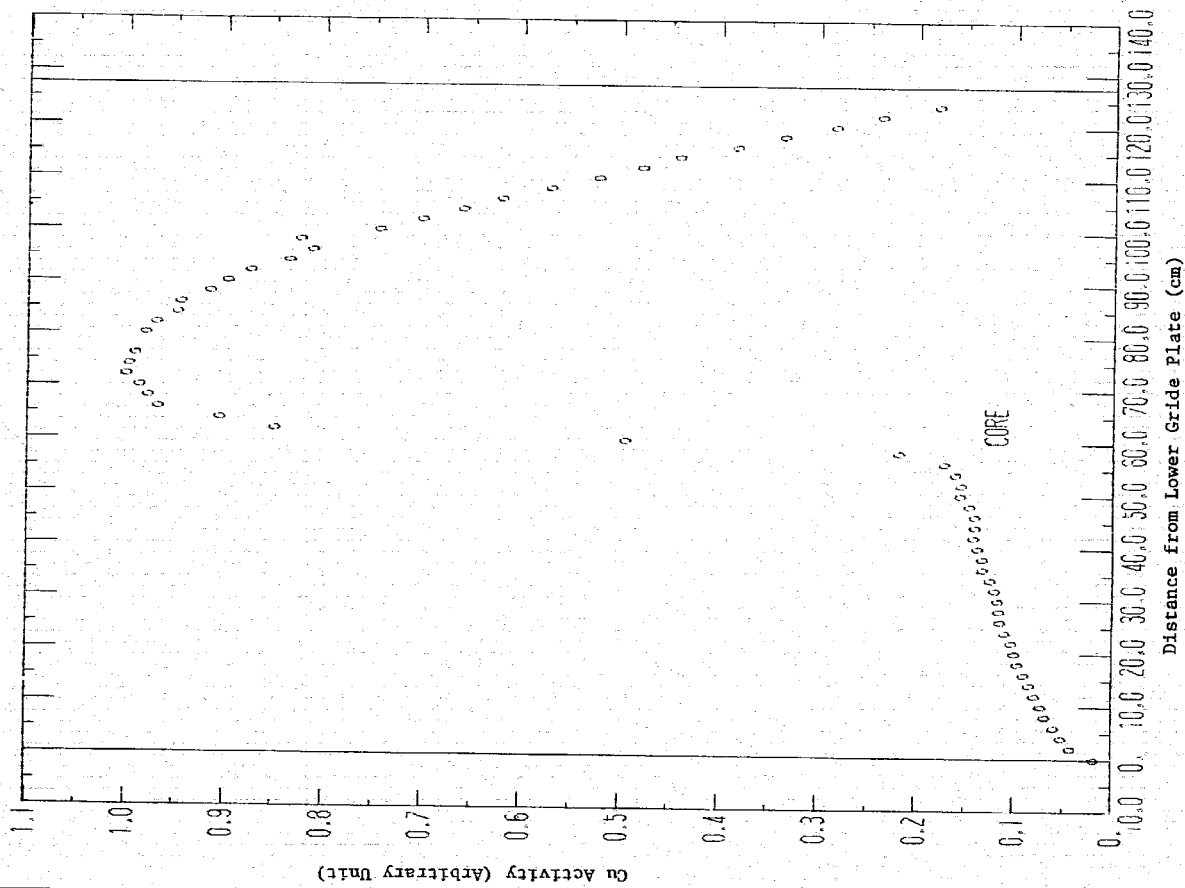


Fig. 15 Axial Flux Distribution in Poison Tube
(Experimental Case Number ... 10)

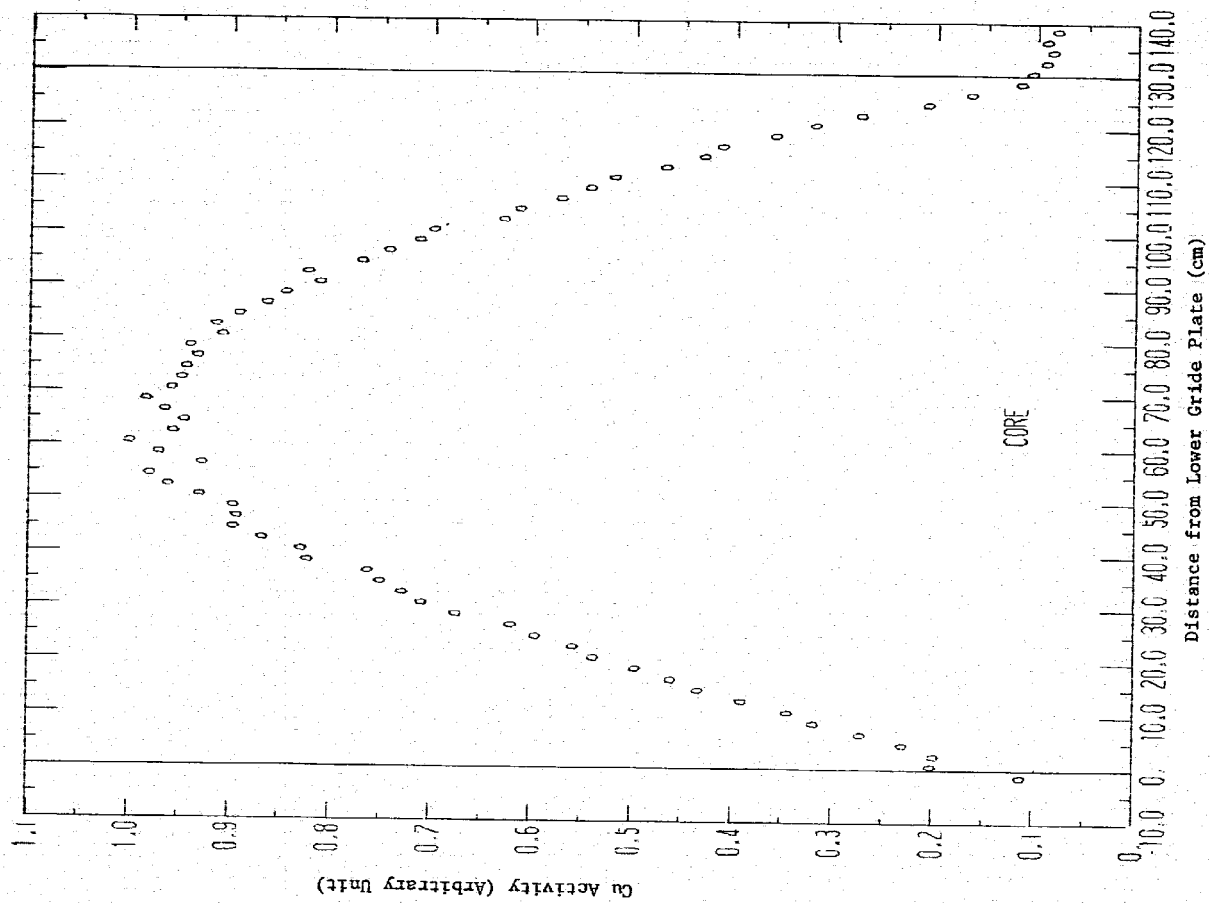


Fig. 16 Axial Flux Distribution in Fuel Region
(Experimental Case Number ... 14)

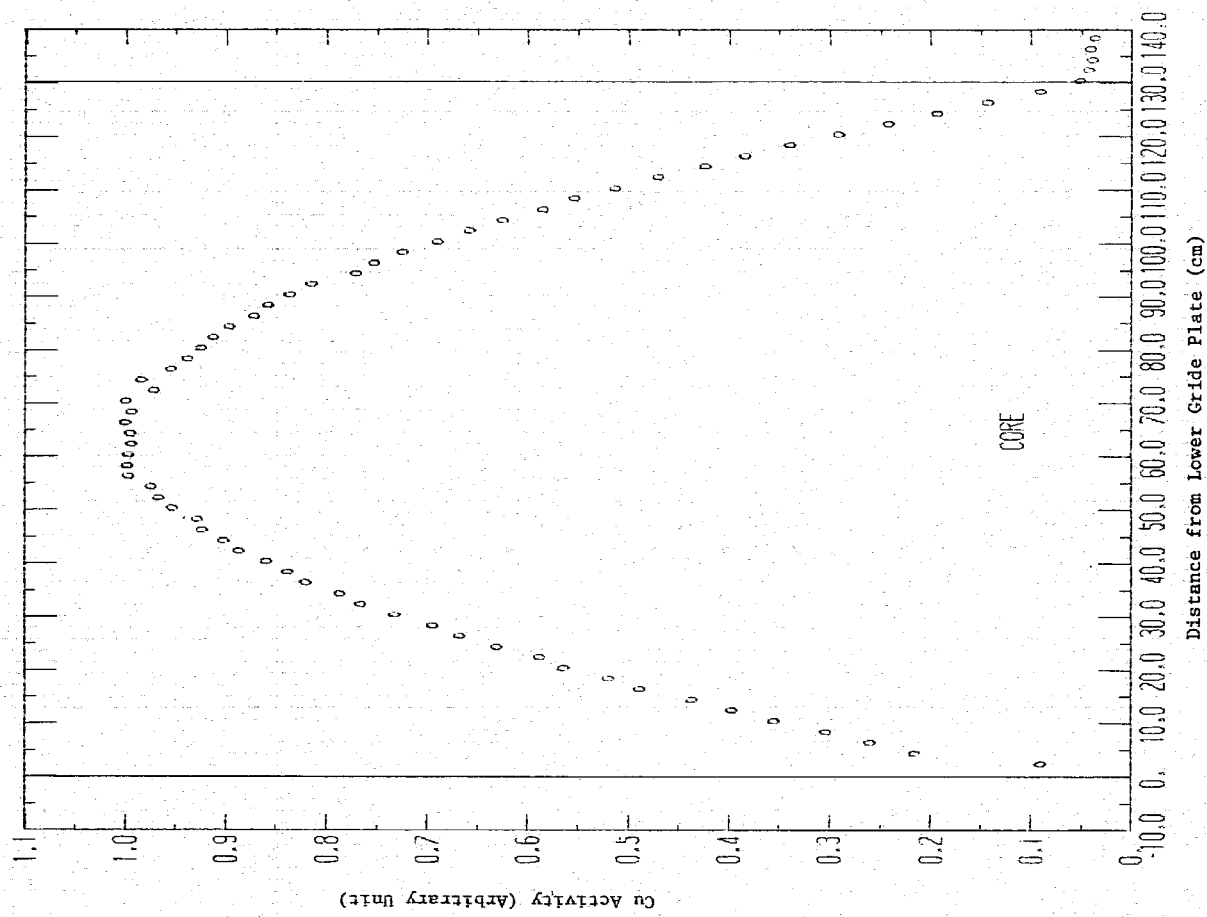


Fig. 17 Axial Flux Distribution in D₂O Region
(Experimental Case Number ... 14)

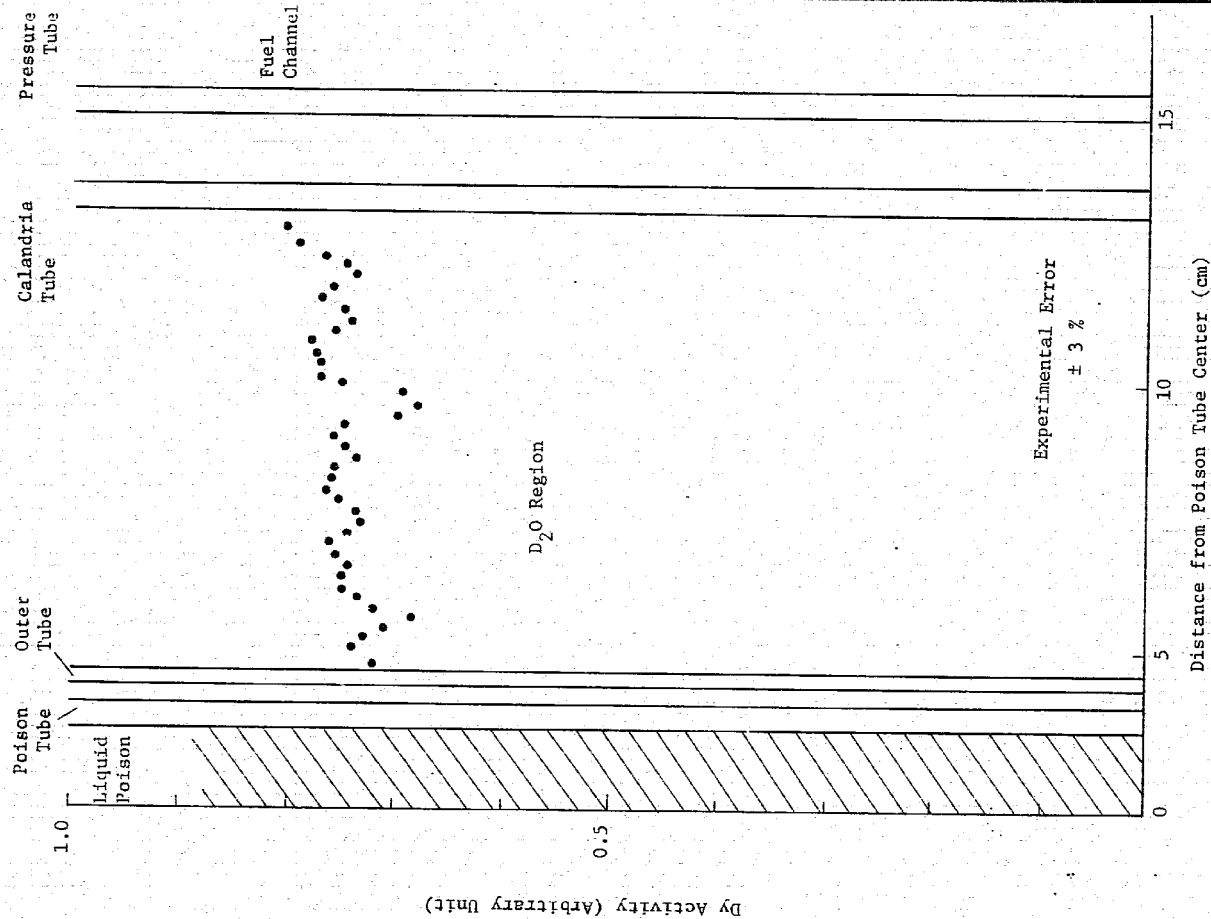


Fig. 18 Radial Flux Distribution in D_2O Region
(Experimental Case Number 5)

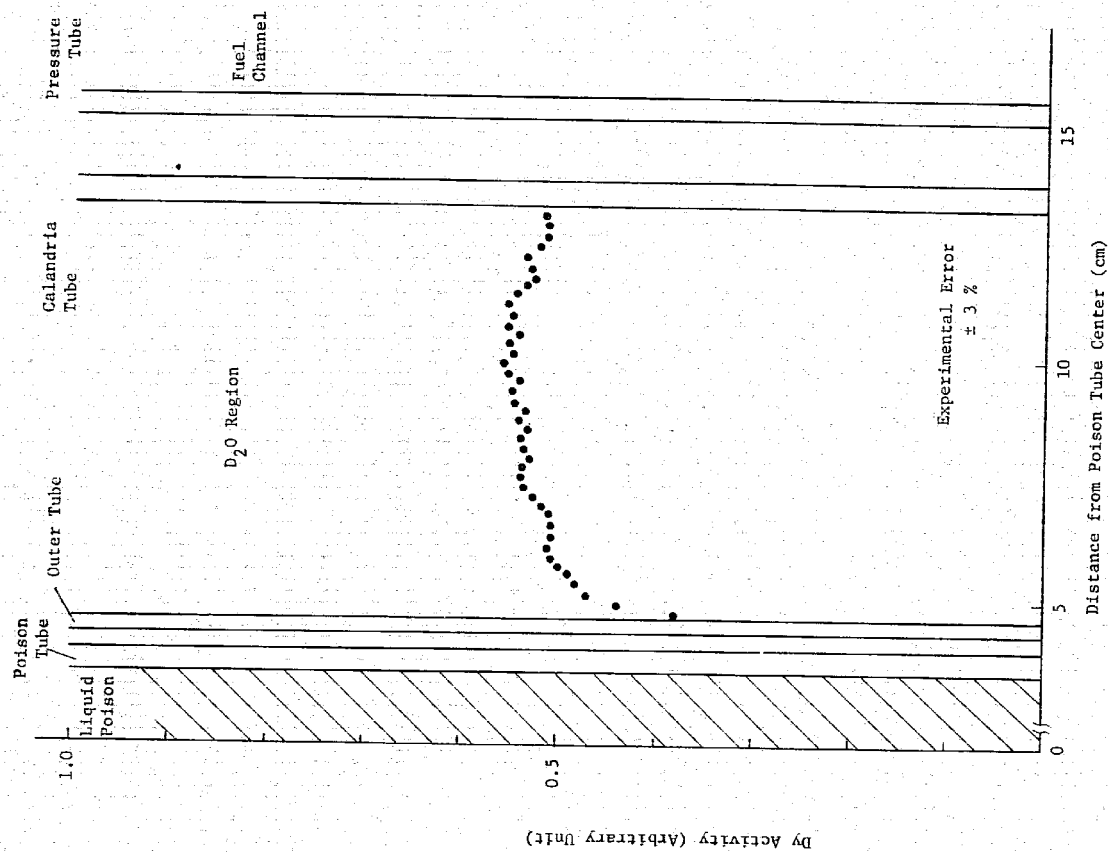


Fig. 19 Radial Flux Distribution in D_2O Region
(Experimental Case Number 14)

5. 結 論

DCA の重水減速材中に配置された液体ボイズン管の核特性のうち、特に反応度面値および中性子束分布に与える影響について実験を行った。今回の実験より次の事が明らかになった。

- (1) 液体ボイズン管内の液中の ^{10}B 濃度を変化させることにより、グレイ吸収体からブラック吸収体まで反応度変化を与えることができる。また、 ^{10}B 濃度を 800 ppm 以上にすると液体ボイズン管の反応度面値は飽和し、ブラック吸収体として取り扱うことができる。
- (2) ボイズン液位変化による反応度変化は S 字曲線を描き、上から挿入されるふげんの固体制御棒の挿入、引抜きの場合とほぼ同じ特性を有する。
- (3) ブラック吸収体であるボイズン液の液位変化は、燃料集合体中心部の中性子束には大きな影響を与えない。このことは、制御棒が下から挿入された場合における軸方向出力分布の上ふくらみは少ないと考えられる。
- (4) ブラックボイズンを含んだボイズン管周辺の径方向中性子束分布は、ボイズン管より 2cm 程度以内の位置から急激に低下しているが、グレイボイズンの場合では大きな変化は示さず全体的に中性子束が変化するのみである。

今回の実験より、液体ボイズン管は「ふげん」型重水炉の反応度制御系として核特性上十分に使用することができ、かつボイズン液の濃度変化を利用すれば固体制御棒より核的、燃料健全性の面から有利な反応度制御特性を有することが判明した。また、液体ボイズン管の設計計算における精度評価に供することができる精度良い実験データが収集された。

謝 辞

新型転換炉の開発および研究の一環としてこの研究を進めるにあたり、強力な御支援をいただきました八谷雄毅専務長、宮脇良共前室長、ならびに室員の皆様深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) BNES : "Steam Generating and other Heavy Water Reactors",
Proceedings of the Conference Held at the Institution
of Civil Engineers, 14th 16 May, 1968.
- 2) AECL : "CANDU 500MW Nuclear Power Station", Pickering Generating
Station Ontario Hydro-AECL (1969).
- 3) 若林他 : 「大型炉反応度制御系の検討、液体ボイズン制御管による制御」、PNC SN
941 77-75 (1977)。

付録 ボロン濃度分析結果

ボロン濃度の分析は勝田産業（株）勝田分析センターに依頼し、重量法及び中和法によりおこなった。

1. 試料の採取法

JIS G 1227、JIS G 1327 及び鉄鋼化学分析全書 V 01.7 に準じ、動燃提示の予想含有量を参考とし、ホウ素として 4 mg 程度を含むように採取した。尚分析の結果予想含有量と大きく異なったものについては、適正な量になるように採水し直して、再分析を行なった。

2. 分析方法

(1) 重量法

フェノールフタレンを指示薬として塩酸で微酸性とし、塩化アンモニウム溶液、酒石酸、塩化バリウムを加え、アンモニア水を加えて pH を調節し沈殿を完成させる。沈殿をろ過分離後強熱し、秤量して求める。

(2) 中和法

硫酸酸性として煮沸し、二酸化炭素を除去したのち水酸化ナトリウムを加えて pH を調整し、マンニットを加えて溶解する。マンニットを加える前の pH (6.8) にもどるまで N/20 水酸化ナトリウム溶液で滴定し求める。

3. 分析結果

(ppm)

試 番	試 料 名	推定濃度	重量法	中和法
1	グレイ-A	252.1	240.1	243.5
2	グレイ-B	1008.6	1006.1	950.1
3	ブラック	5042.9	4505.9	4431.7

4. 試料中の B¹⁰ 濃度

分析されたボロン濃度は天然ボロンの濃度であるので、これより天然ボロン中の¹⁰B 同位体比を考慮して分析試料の¹⁰B 濃度を求めた。今回の試料における¹⁰B 同位体比は NBS

のデータより $^{10}\text{B}/(^{10}\text{B} + ^{11}\text{B}) = 0.1983$ であった。これより今回使用したボロン溶液中の¹⁰B 濃度は次の様になる。

(ppm)

試 番	試 料 名	推定濃度 (¹⁰ B)	重量法 (¹⁰ B)	中和法 (¹⁰ B)
1	グレイ-A	50	47.6	48.3
2	グレイ-B	200	199.5	188.4
3	ブラック	1000	893.5	878.8

以上の結果より今回のボイズン液中のボロン B¹⁰ 濃度は重量法の分析結果を採用する。

グレイ-A (47.6 ± 0.7) ppm

グレイ-B (199.5 ± 11.1) ppm

ブラック (893.5 ± 14.7) ppm