

# DCA未臨界度測定試験体系の炉心基本特性の評価

1997年10月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

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-chō, 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) 1997

## DCA未臨界度測定試験体系の炉心基本特性の評価

羽様 平\*

### 要旨

重水臨界実験装置（DCA）の未臨界度測定試験体系の臨界特性（重水臨界水位、水位反応度、安全棒（制御棒）反応度値、中性子束分布）を測定し、Sn法及びモンテカルロ法による計算結果と比較評価した。

未臨界度測定試験体系は体系内にボイド領域を含むため、新型転換炉（ATR）の炉心核特性評価に用いられてきた拡散コードを適用することができない。ここではボイド領域を含む体系に適用できる輸送計算コードによる計算を行い、計算精度等の適用性を評価した。輸送コードとしては、2次元SN法によるTWODANTコードと、従来原子炉の計算にはあまり適用されていない多群モンテカルロ計算コードKENOを使用した。

ATR等の原子炉炉心と比較して複雑な形状の未臨界度測定試験体系の炉心核特性を評価した結果、重水臨界水位等の臨界特性については、多群モンテカルロコードKENOの評価精度が $0.5\% \Delta k/k$ 以内であることが確認され、中性子束の炉心内空間分布については、2次元SNコードTWODANTによって正しく評価できることが明らかとなった。特にモンテカルロコードは、炉心構造の違いによる微少な反応度変化を正確に再現しており、複雑な原子炉炉心の評価に極めて有効であることが確認された。

# Evaluation of Nuclear Characteristics of DCA Modification Core for Sub-critical Measurement

Taira Hzama\*

## Abstract

Critical experiments were carried out on Deuterium Critical Assembly (DCA) modification core.

DCA modification core has two regions, that is, test region and driver region. The test region consists of various types of fuel and moderator, while the driver region remains the same as the original DCA core (ATR simulated core).

Critical characteristics were measured with various types of core patterns and were compared with calculated values based on SCALE code system.

Monte carlo code KENO was found to be very accurate in the core analysis. The accuracy stays below 0.5 %dk/k in keff even if core configuration is extremely complicated.

---

\* Criticality Engineering Section, Experimental Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC.

## 目次

1. 緒言 .....	1
2. 炉心の概要 .....	3
2.1 未臨界度測定試験体系.....	3
2.2 炉心構成 .....	9
3. 炉心基本特性測定 .....	22
3.1 測定方法 .....	22
3.2 測定結果 .....	24
3.3 臨界特性のまとめ.....	39
4. 解析 .....	42
4.1 計算コード概要 .....	43
4.2 計算方法 .....	49
4.3 計算結果 .....	53
5. 測定値と計算値の比較 .....	77
5.1 炉心ごとの比較 .....	77
5.2 計算精度の評価 .....	99
5.3 中性子束分布 .....	109
6. まとめ.....	121
7. 謝辞 .....	123
8. 参考文献 .....	123
APPENDIX.....	124
1 原子数密度データ .....	124
2 SCALE 入力（断面積作成例） .....	126
3 KENO 入力例.....	134
4 TWODANT 入力例 .....	139

## 図表一覧

### 第2章 炉心概要

- 図 2-1 D C A未臨界度測定試験体系
- 図 2-2 ドライバー燃料集合体
- 図 2-3 ドライバー燃料断面図
- 図 2-4 安全棒（挿入模式図（上）、断面図（下））
- 図 2-5 試験体
- 図 2-6 炉心配置図(S1-1,S1-2)
- 図 2-7 炉心配置図(S1-3,S1-4)
- 図 2-8 炉心配置図(S1-5)
- 図 2-9 炉心配置図(S1-6)
- 図 2-10 炉心配置図(S1-7)
- 図 2-11 炉心配置図(S2-1)
- 図 2-12 炉心配置図(S2-2,S2-3,S3-1,S3-2)
- 図 2-13 炉心配置図(S3-3)
- 図 2-14 炉心配置図(S4-1)
- 図 2-15 炉心配置図(S4-2,S4-3,S4-4)

表 2-1 炉心構成一覧

表 2-2 制御棒の直径及び設置位置

### 第3章 測定結果

- 図 3-1 試験体の装荷による臨界水位の変化
- 図 3-2 試験体の種類を変えた時の試験体減速材水位に対する臨界特性
- 図 3-3 試験体減速材のみを使用した時の試験体減速材水位に対する臨界特性
- 図 3-4 ドライバー領域を変化させた時の試験体減速材水位に対する臨界特性

表 3-1～45 各炉心について以下の項目を記載

- 重水臨界水位と水位反応度係数
- 重水水位反応度の算出の基となる倍加時間の測定値
- 安全棒（又は制御棒）反応度価値

## 第4章 解析

- 図 4-1 計算のフロー図
- 図 4-2 炉心計算モデル
- 図 4-3 セル計算における均質化モデル
- 図 4-4 ドライバーセルのリング状セル計算モデル
- 図 4-5 セル内中性子束分布計算値

表 4-1 SCALE27 群ライブラリーのエネルギー群構造

表 4-2 安全棒反応度価値の評価手法の妥当性

表 4-3～62 各炉心について以下の項目を比較

- 重水臨界水位と重水水位反応度係数
- 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(KENO)
- 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(TWODANT)
- 安全棒（又は制御棒）反応度価値

## 第5章 測定値と計算値の比較

図 5-1～45 各炉心について以下の項目について比較

- 重水臨界水位
- 水位反応度係数
- 安全棒（又は制御棒）反応度価値

図 5-46～54 重水臨界水位についての比較のまとめ

図 5-55～59 安全棒（制御棒）反応度価値についての比較のまとめ

図 5-60～61 重水中へのボロン添加の影響

図 5-62～63 試験体装荷の影響

図 5-64～65 試験体に装荷する試験体の種類及び試験体減速材の影響

図 5-66～71 ドライバー領域の燃料体本数の影響

図 5-72～74 圧力管内ボイド率の影響

図 5-75～76 外側カランドリア管の影響

図 5-77 クラスター内中性子束分布測定結果

図 5-78～97 中性子束分布の測定値と計算値の比較

表 5-1 ドライバー領域均質化の影響

表 5-2 ドライバー領域均質化の影響 (DRY 領域を空気で置換)

表 5-3 外挿距離の評価

## 1. 緒言

大洗工学センター実験炉部臨界工学試験室では、核燃料施設、特に高速炉燃料再処理施設や燃料貯蔵施設、核燃料輸送容器の臨界安全設計の合理化に資することを目的として、未臨界度測定技術の開発を実施している。未臨界度測定技術の確立によって、核燃料物質を含む体系の状態の変化に対して、実効増倍率の変化を所定の時間で検知できる未臨界度モニターを開発する。

重水臨界実験装置（DCA）は、新型転換炉（ATR）のための臨界集合体として1968年5月に初臨界を達成し、ATRの炉心核特性データの取得に利用されてきたが、研究開発テーマとして上記の未臨界度測定技術の開発を実施することとなり、炉心を改造した。

改造後の炉心である未臨界度測定試験体系では、炉心タンクの中央部に燃料棒を配列した試験体を装荷する。試験体には、減速材として軽水、重水、あるいはその混合液を供給する。試験体の燃料としては、DCAで従来使用してきた低濃縮のウラン燃料棒、低富化度のMOX燃料棒の他、高富化度のMOX燃料である高速実験炉「常陽」のMK-I燃料棒を様々なピッチで装荷する事が可能であり、多様な未臨界体系を構成できる。試験体領域の外側はATRのクラスター燃料で構成されるドライバー領域である。試験体単独では未臨界であり、ドライバー領域の重水の水位によって臨界とする。

試験体領域を含まないATR体系の炉心核特性の計算には、衝突確率法による格子計算コードWIMSと拡散計算コードCITATIONが使用され、実効増倍率については±1%以内で予測できるという実績が得られている<sup>[1]</sup>。未臨界度測定試験体系では、クラスター燃料で構成されるドライバー領域と燃料棒を配列した試験体領域との間にボイド領域が存在する事、ドライバー領域と試験体領域の減速材水位が異なる事等、幾何学的及び炉物理的に構造が複雑であり、従来の拡散計算手法では炉心特性が評価できない。拡散コードによるボイド領域の取り扱いでは、しばしば固体アルミニウムをボイドの代わりに使用する近似手法が採られるが、本体系のボイド領域は2領域を結びつける重要な領域であり、中性子束も大きく変化するため、近似的な手法では必要な精度が期待できない。ボイド領域を正確に取り扱うためには輸送計算コードの採用が必要となる。本報告では、輸送計算コードとしては、Sn法に基づく2次元輸送計算計算コードTWODANTと、多群モンテカルロコードKENOを適用し、炉心核特性を評価する。

モンテカルロコードは従来、遮へい計算や、溶液燃料の体系等単純な炉心の計算に適用されてきたコードであるが、近年ではPWR、高速炉、板状燃料を使用するJMTR等にも適用が試みられている<sup>[2][3][4]</sup>。未臨界度測定試験体系にモンテカルロコードを使用し、重水炉並びに2領域炉心に対する適用性を評価した。

次章では平成 6 年度から平成 8 年度の期間に構成された全炉心の概要について述べ、第 3 章で特性試験の概要及び測定結果について述べ、第 4 章で臨界特性の計算手法及び計算結果について述べ、第 5 章で測定値と計算値を炉心の特徴ごとに分類して比較し、計算精度を評価する。

本報告書は、未臨界度測定試験とは別に臨界集合体の原子炉としての臨界特性試験との評価をまとめたものであり、未臨界度測定試験体系に対する最適な計算手法を確立することを目的とする。得られた成果は、炉心の運転管理及び未臨界度測定実験の解析に活用される。

## 2. 炉心の概要

### 2.1 未臨界度測定試験体系

DCAの未臨界度測定試験体系は、ドライバーと試験体の2領域で構成される（図2-1）。

ドライバー領域は、1.2%濃縮二酸化ウラン燃料集合体（図2-2）、圧力管、カンドリア管で構成され、減速材として重水を使用する（図2-3）。燃料集合体、圧力管を収納するカランドリア管は、ピッチ20cmで炉心タンク内に配置され、最大136体まで装荷する事ができる。圧力管内には軽水を注入することが可能である。原子炉の緊急停止用に、安全棒（図2-4）が6本設置されている。又、実験用として制御棒が2本設置可能である。

試験体領域は、2.7%濃縮二酸化ウランやATR規格の低富化度二酸化プルトニウム、常陽MK-Iプルトニウム（平成9年度使用予定）などの燃料棒が格子状に配列できる試験体（図2-5）が装荷可能であり、減速材として重水、軽水又はその混合液を使用する。試験体の減速材はドライバー領域の重水とは独立した系統によって給水される。試験体減速材を供給しても試験体単独では臨界にはならず、未臨界度測定試験体系は、ドライバー領域の重水水位の調整によって臨界とする。

未臨界度測定試験体系では、

- ①ドライバー領域と試験体領域の燃料、減速材構成が異なる
- ②ドライバー領域と試験体領域間にボイド領域が存在する
- ③試験体領域とドライバー領域で減速材水位が異なる。

ことが特徴であり、従来のDCA炉心（ATR開発用の炉心、ATR体系と称する）と比較して、炉物理的に、幾何学的に非常に複雑である。

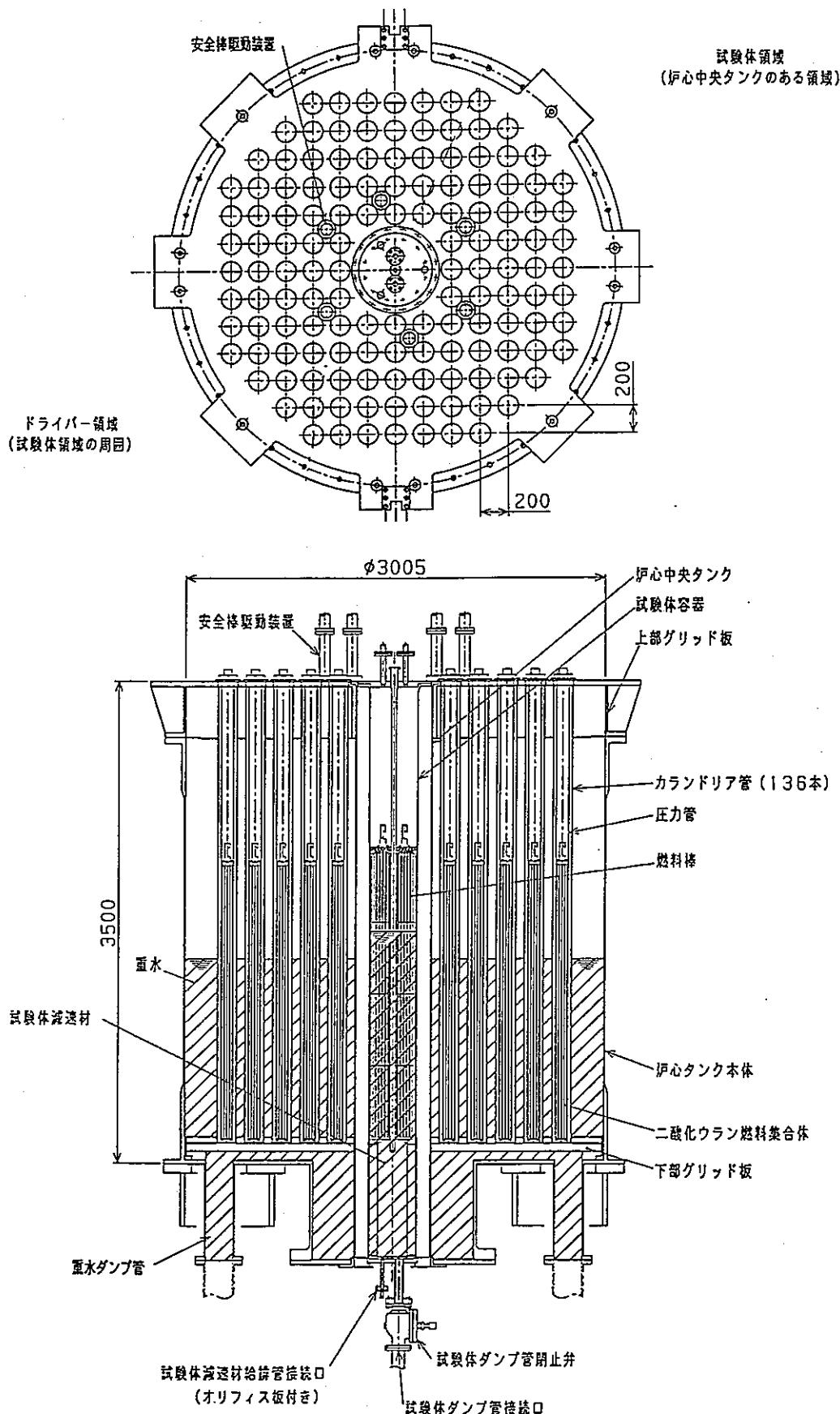


図 2-1 D C A 未臨界度測定試験体系

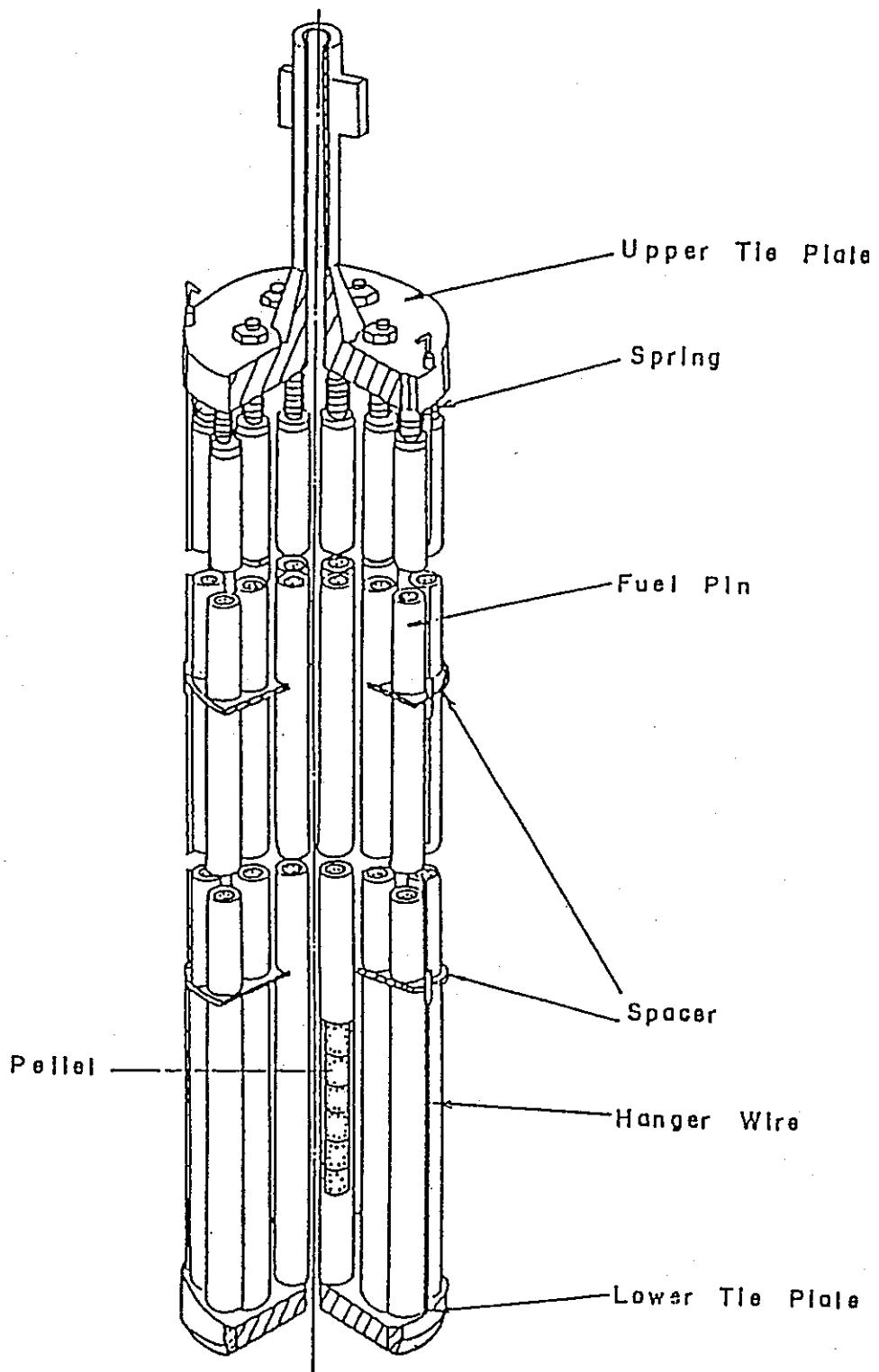


図 2-2 ドライバー燃料集合体

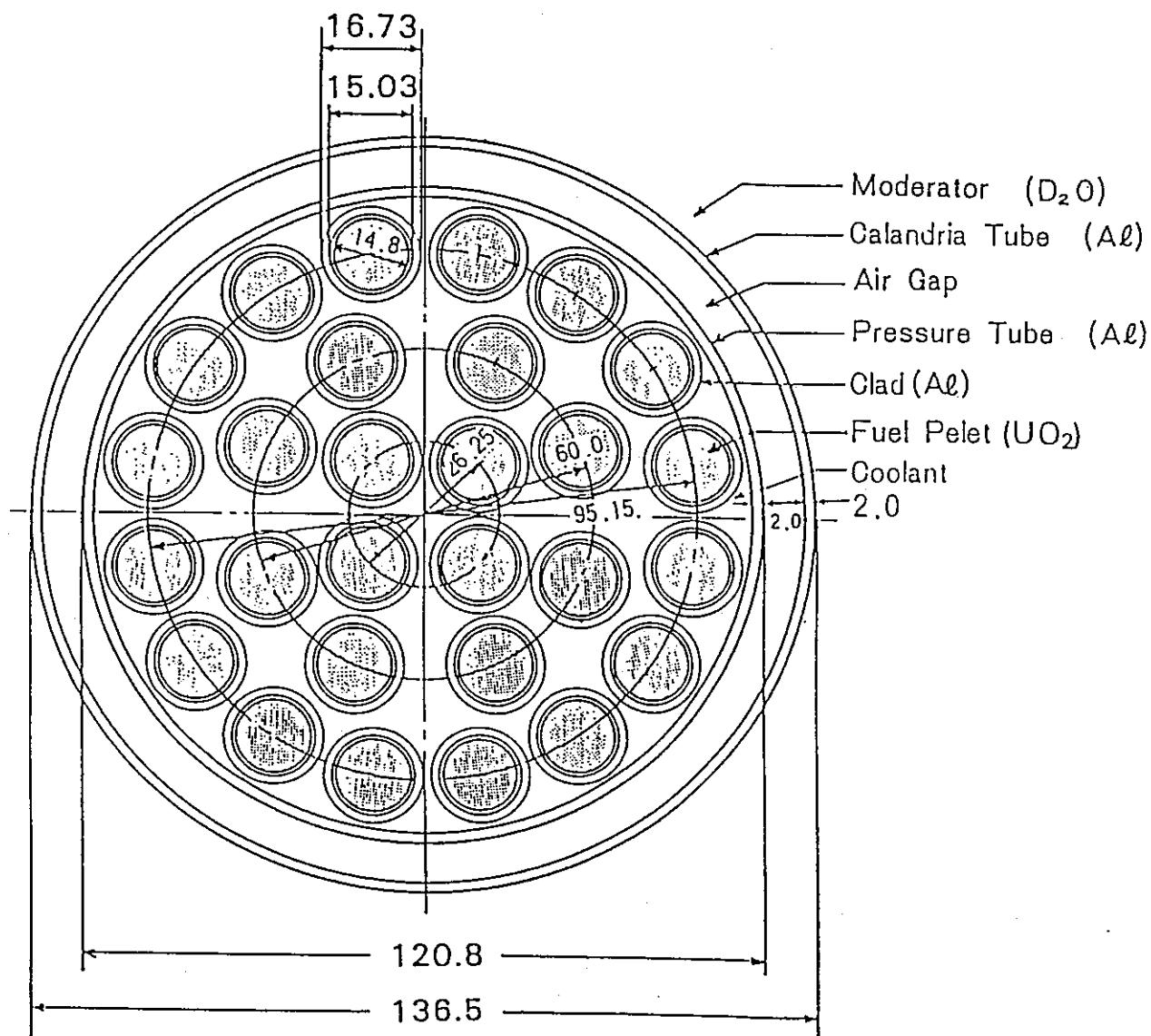


図 2-3 ドライバー燃料断面図

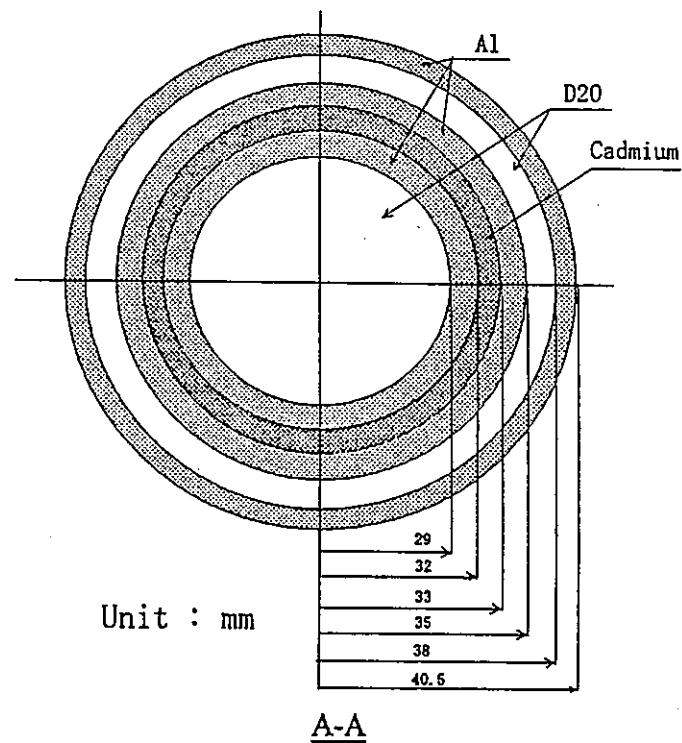
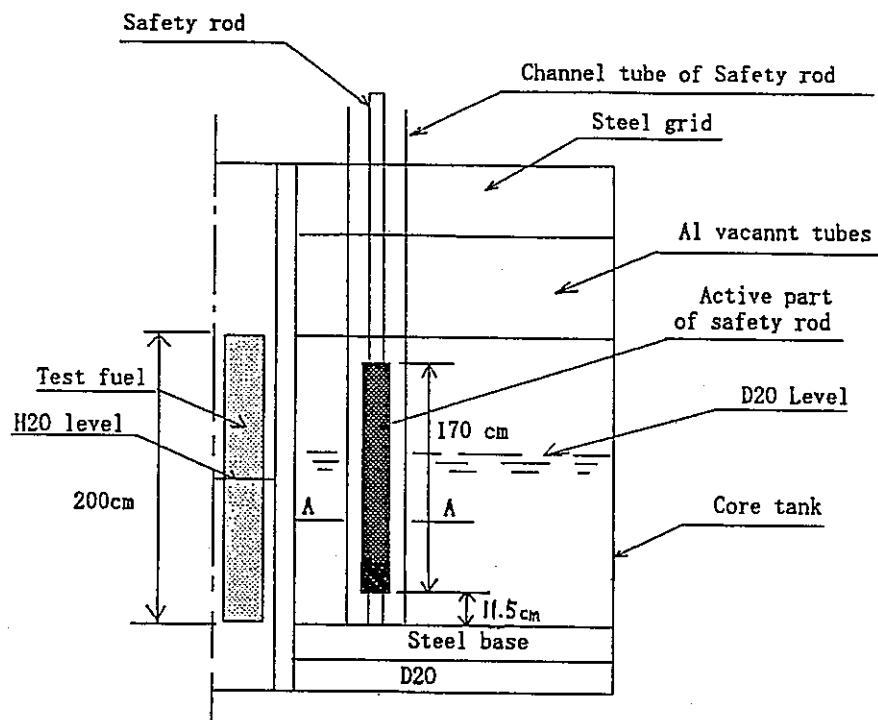


図 2-4 安全棒（挿入模式図（上）、断面図（下））

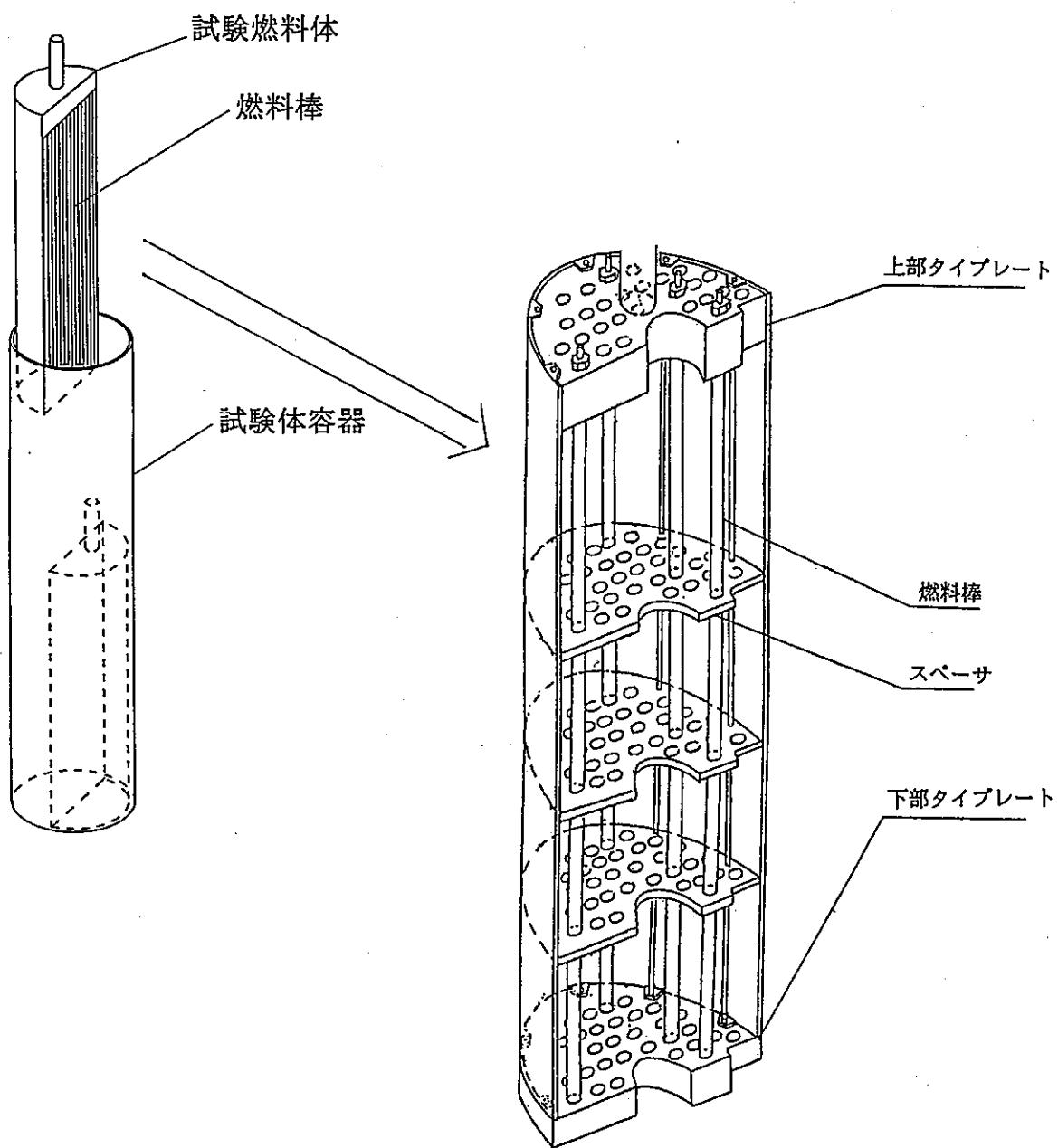


図 2-5 試験体

## 2.2 炉心構成

本報告書で評価した炉心の名称と構成を表(2-1)に示す。

ドライバー燃料の配置、安全棒の配置を炉心配置図としてまとめて図 2-6～図 2-15 に示す。共通の配置を持つ炉心はまとめられている。制御棒については直径の異なる 2 種類があり、直径と設置位置を表 2-2 に示す。

表 2-1 炉心構成一覧

炉心名称	測定日	ドライバー領域			試験体領域		
		クラスター 本数	圧力管内 軽水	重水の 種類 <sup>*4</sup>	燃料棒の 本数	ピッチ (cm)	減速材
S1-1	6/6/10	136	有り	A	140	2.2	なし
S1-2 <sup>*1</sup>	6/6/27	〃	〃	〃	〃	〃	〃
S1-3 <sup>*2</sup>	6/7/20	128	〃	〃	〃	〃	〃
S1-4 <sup>*2</sup>	6/8/8	〃	〃	〃	なし	なし	〃
S1-5	6/10/3	〃	〃	〃	〃	〃	〃
S1-6	6/12/15	31	〃	〃	〃	〃	〃
S1-7	7/8/8	136	〃	〃	〃	〃	〃
S2-1	7/6/9	〃	一部有り	〃	140	2.2	軽水
S2-2	7/7/17	〃	なし	〃	〃	〃	〃
S2-3	7/7/28	〃	有り	〃	〃	〃	〃
S3-1	7/11/24	〃	なし	B	なし	なし	なし
S3-2	7/12/4	〃	有り	〃	〃	〃	軽水
S3-3	8/1/16	48	〃	〃	〃	〃	なし
S4-1	8/1/22	44	なし	〃	140	2.2	軽水
S4-2	8/6/12	132	〃	〃	〃	〃	〃
S4-3	8/8/5	〃	〃	〃	70	3.1	〃
S4-4 <sup>*3</sup>	8/11/25	〃	〃	〃	140	2.2	〃

\*1) S1-1 炉心に制御棒を設置した炉心

\*2) 炉心外側にカラント・リア管（圧力管+軽水 80cm を含む）8 体あり

\*3) S4-4 のみ試験体燃料として 7R(0.79% Pu fissile)燃料棒を使用

\*4) 重水 A：純度 98.8mol% B-10 濃度 4.953ppm

重水 B：純度 99.7mol% B-10 濃度 0ppm

燃料の種類と格子ピッチは以下の通りである。

ドライバー燃料 : 1.27%濃縮二酸化ウラン燃料集合体

ドライバー燃料格子ピッチ : 20cm

試験体燃料 : 2.7%濃縮二酸化ウラン燃料棒(S4-4 炉心を除く)

試験体燃料格子ピッチ : 試験体燃料棒本数が 140 本のとき 2.2cm

70 本のとき 3.1cm

表 2-2 制御棒の直径及び設置位置

制御棒の直径	設置位置 ( ) 内は対象炉心
No.1 直径 70mm	7C5 (S1-2,S1-3,S1-4), 5A3 (S1-7), 5C3 (S4-2,S4-3)
No.2 直径 7mm	7A5 (S1-2,S1-3,S1-4), 5C3 (S1-7), 5A3 (S4-2,S4-3)

延長棒<sup>±</sup>の長さ 1025mm (S1-2,S1-3,S1-4,S1-7,S4-2)、600mm (S4-3)

注 : 制御棒は有効長が 1m、動作範囲が 1m であり、炉心の臨界水位に応じて制御棒を延長して位置を調整する。

表 2-1 における炉心名称は以下の様に区分されている。

S1-1 炉心～S1-7 炉心 : 純度 98.7mol%，ボロン濃度 4.953ppm の重水を使用し、試験体減速材を使用しない炉心

S2-1 炉心～S2-3 炉心 : 純度 98.7mol%，ボロン濃度 4.953ppm の重水を使用し、試験体減速材を使用する炉心

S3-1 炉心～S3-3 炉心 : 純度 99.7mol%，ボロン濃度 0ppm の重水を使用し、試験体燃料を装荷しない炉心

S4-1 炉心～S4-4 炉心 : 純度 99.7mol%，ボロン濃度 0ppm の重水を使用し、試験体燃料を装荷する炉心

それぞれの炉心の特徴と評価上の課題は以下の通りである。

S1-7 炉心及び S1-4 炉心は各々 S1-1 炉心及び S1-3 炉心に試験体を装荷した炉心である。

試験体には減速材が供給されておらず、燃料ピンのみの反応度が評価できる。

S1-4 炉心は S1-5 炉心に圧力管内に軽水を 80cm 含むカランドリア管 8 体を装荷した炉心であり、極めて複雑な体系である。計算精度の評価に利用できる。

S1-6 炉心は、未臨界度測定のために構成された炉心で臨界にはならない。

S2-1 炉心、S2-2 炉心、S2-3 炉心は、試験体減速材を使用した炉心であり、それぞれドライバー領域の圧力管内の軽水の存在状態（ボイド率）が異なる。軽水の満たされた圧力管が、S2-1 炉心には中心側 36 本だけにあり、S2-2 炉心はすべて 100%ボイドの圧力管が、S2-3 炉心ではすべての圧力管が 0%ボイドの状態である。尚、今回評価した炉心では圧力管内の軽水はすべて 200cm の水位まで充填されており、ATR のための臨界実験体系の様

に臨界水位と軽水水位は一致していない。

S3-1 炉心では、純度 99.7mol%，ボロン濃度 0ppm の重水が使用されており、試験体、圧力管内軽水も存在しない。S1-7 炉心と比較する事によってボロン濃度の影響を見ることができる。

S3-2 炉心は、試験体燃料を装荷せず、試験体減速材のみが試験体領域に供給されている。

S3-3 炉心及び S4-1 炉心は各々 S3-2 炉心及び S4-2 炉心と比べてドライバー領域の燃料体の本数が異なる炉心であり、ドライバー領域の影響を評価することができる。

S4-3 炉心及び S4-4 炉心は、S4-2 炉心とは異なる試験体燃料を使用した場合であり、試験体燃料による特性の変化を評価する。

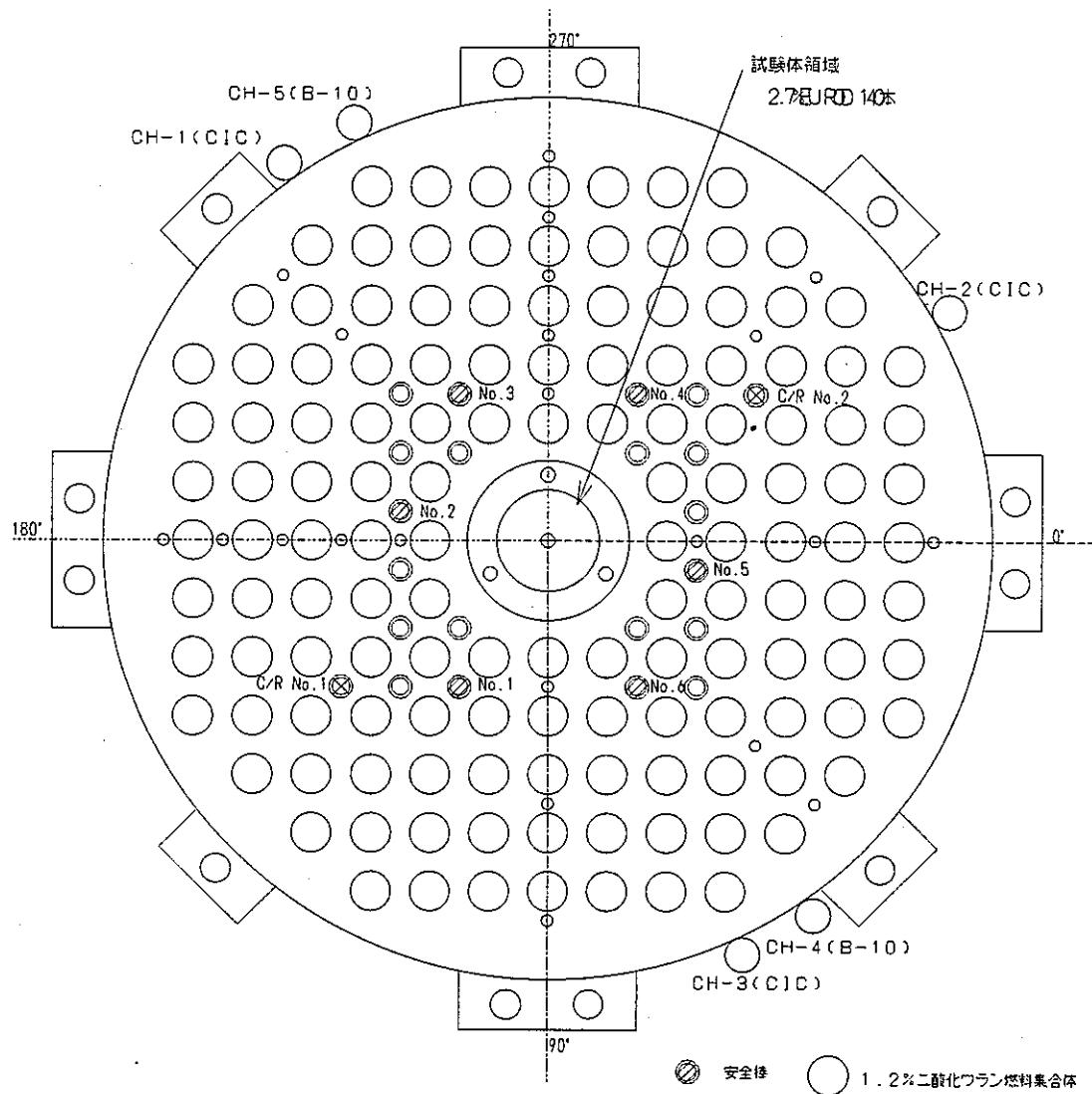


図 2-6 炉心配置図 (S1-1 (制御棒なし)、S1-2)

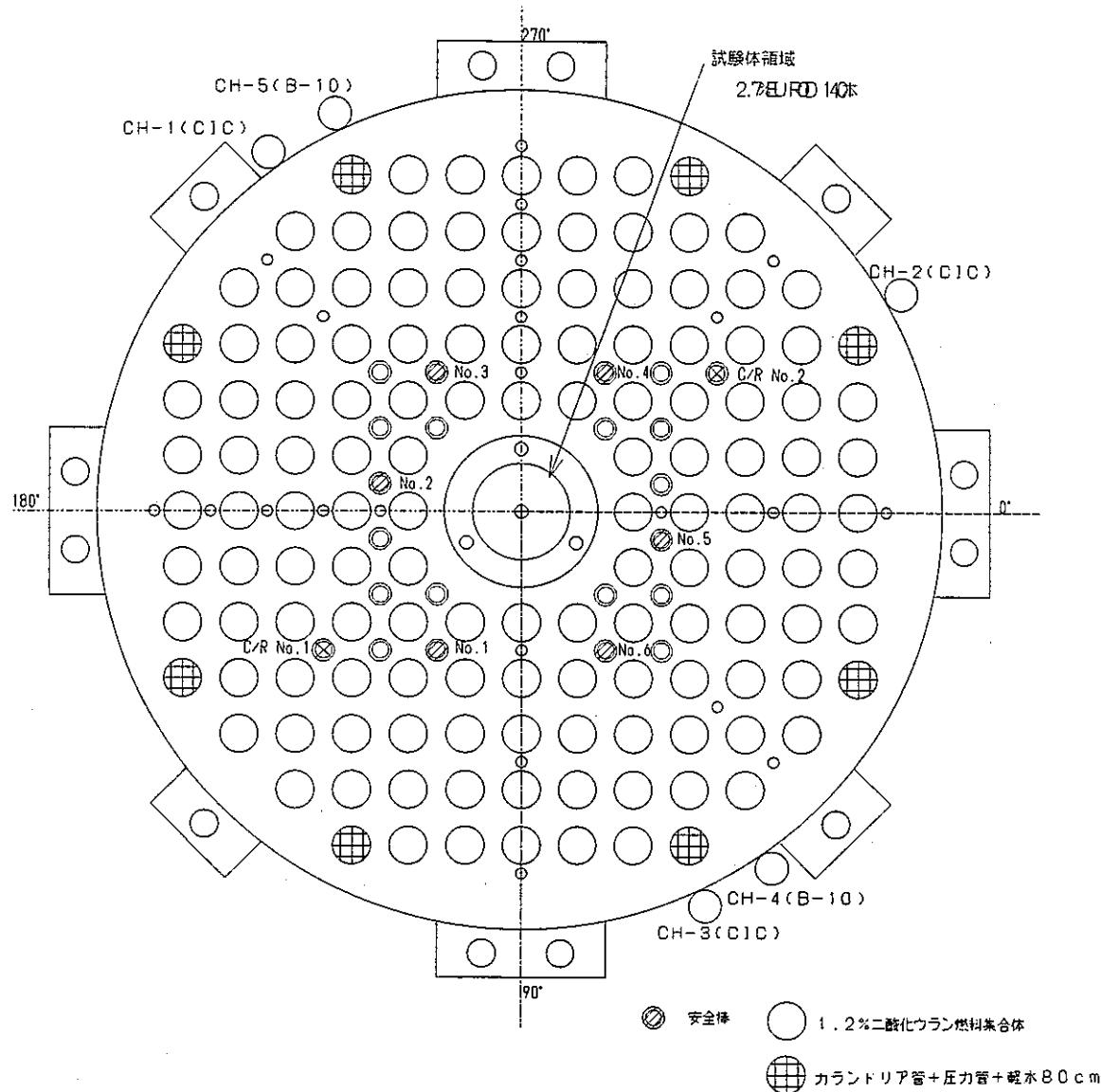


図 2-7 炉心配置図 (S1-3、S1-4 (試験体なし))

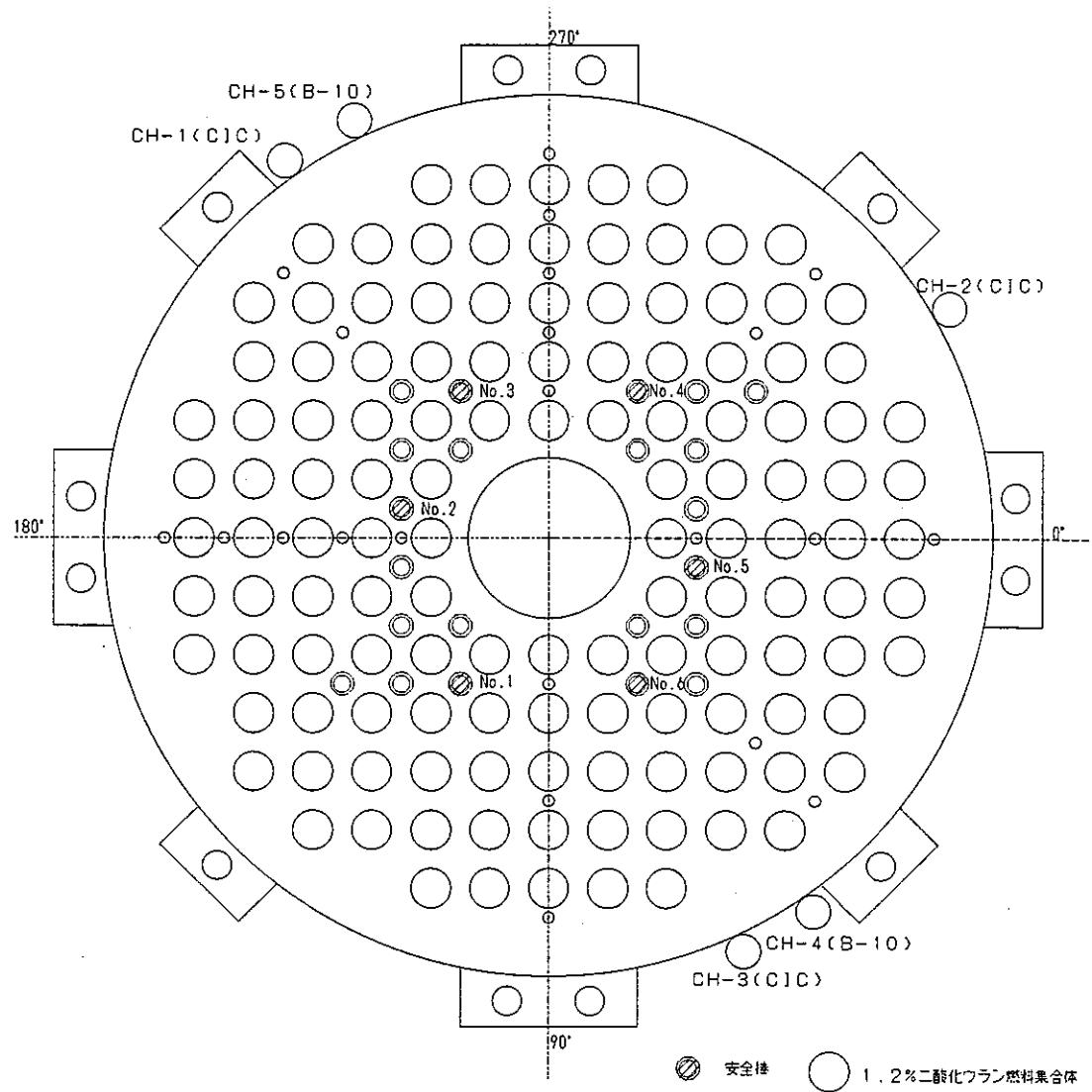


図 2-8 炉心配置図(S1-5)

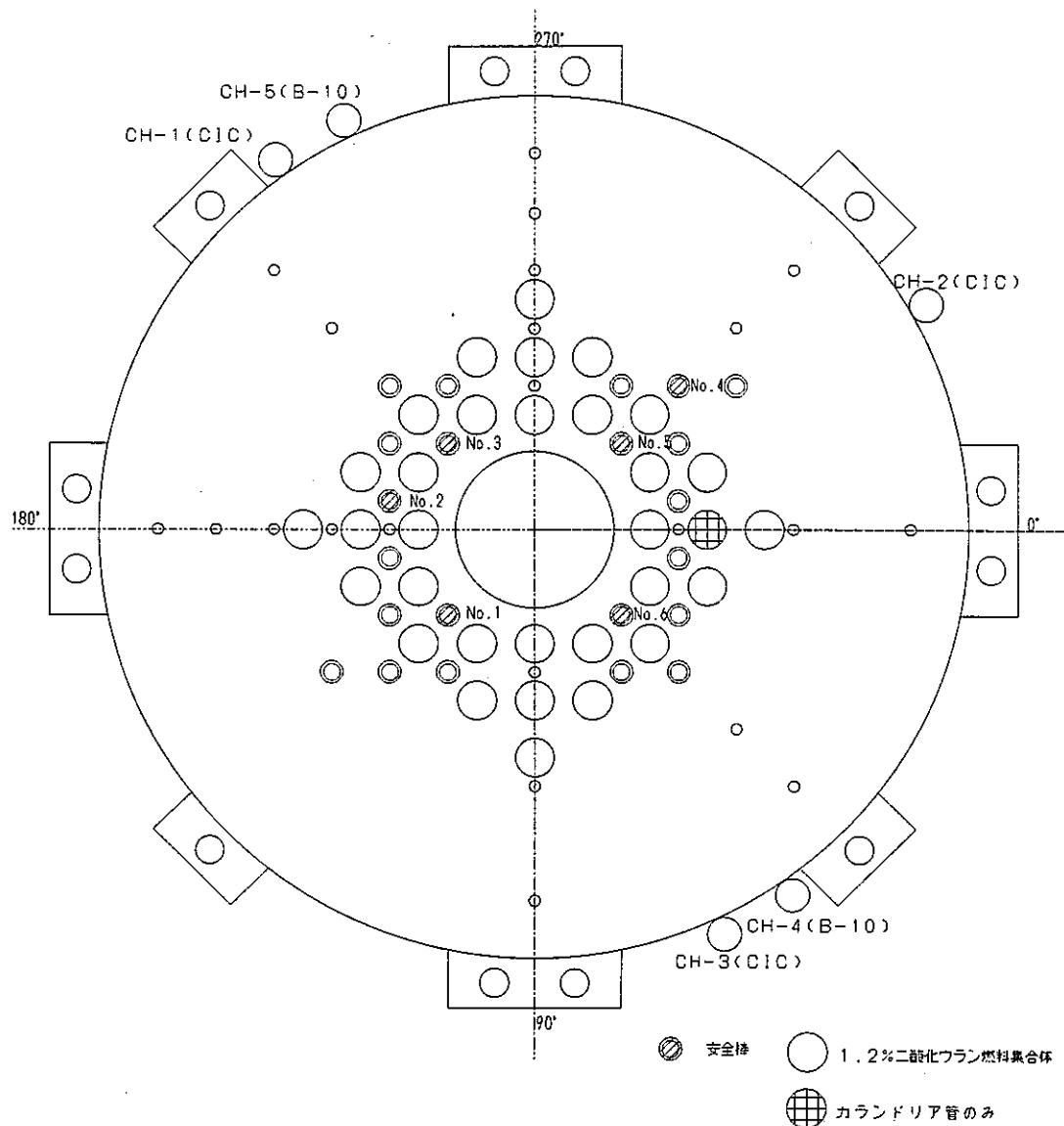


図 2-9 炉心配置図 (S1-6)

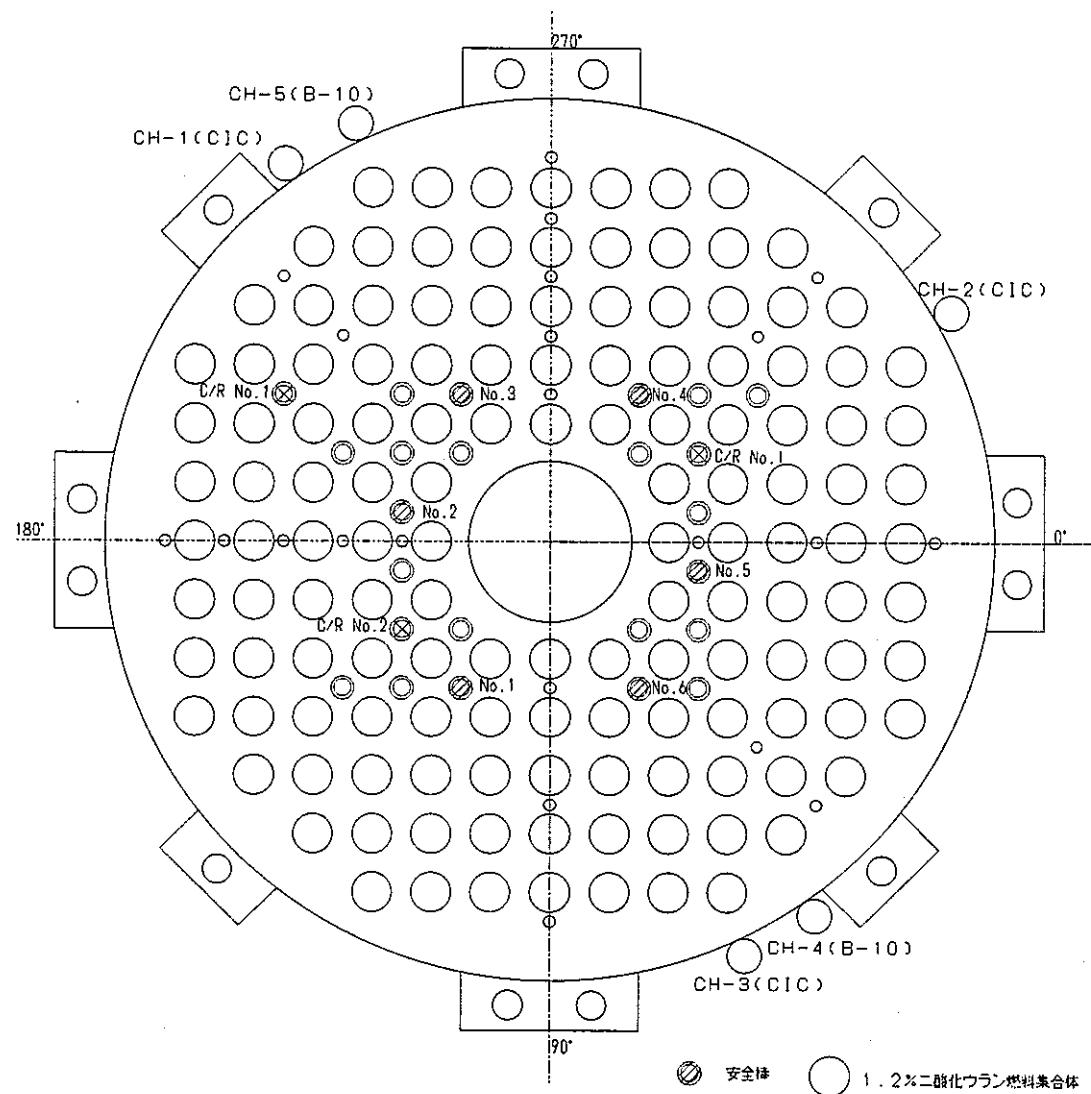


図 2-10 炉心配置図 (S1-7)

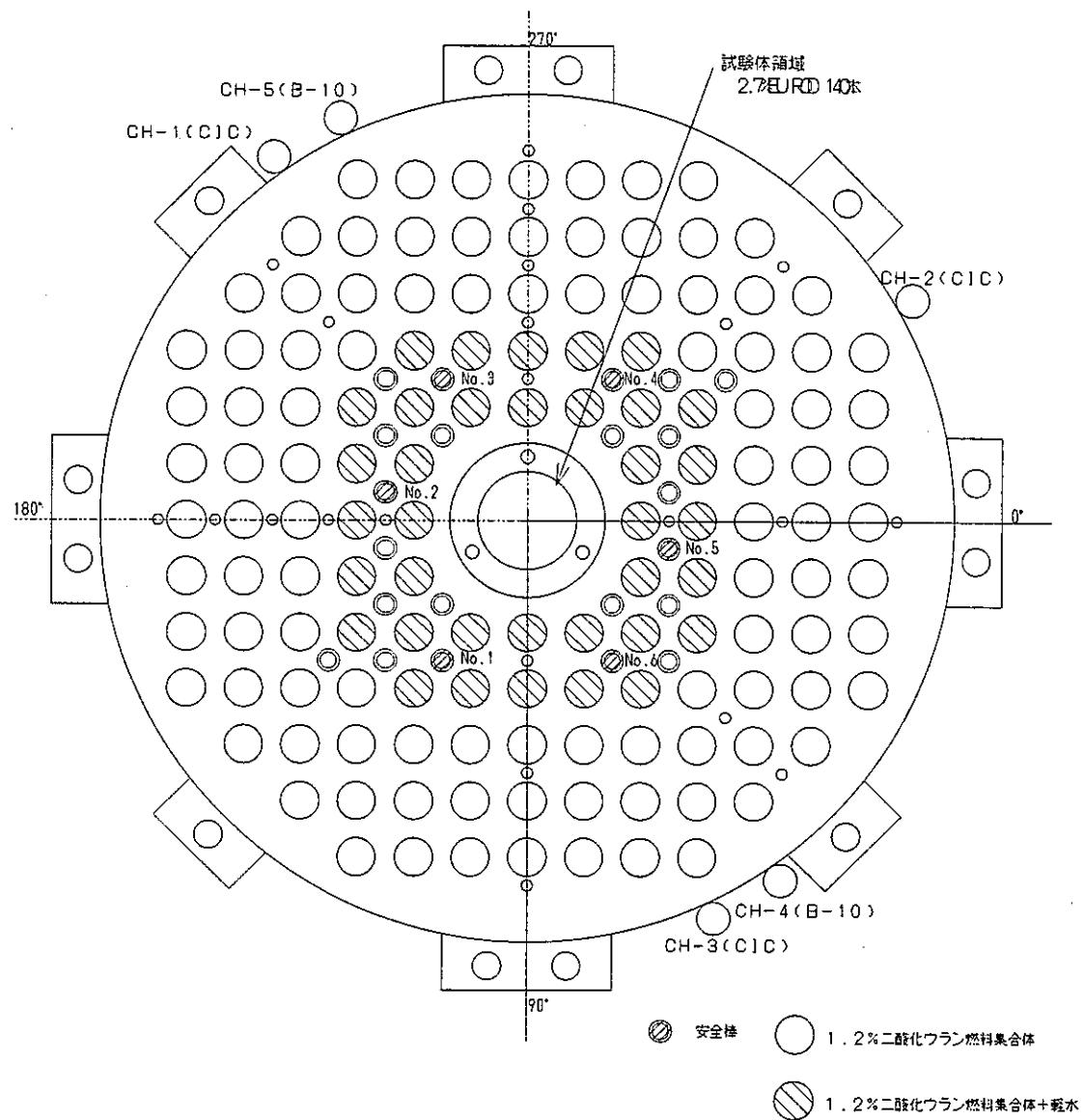


図 2-11 炉心配置図 (S2-1)

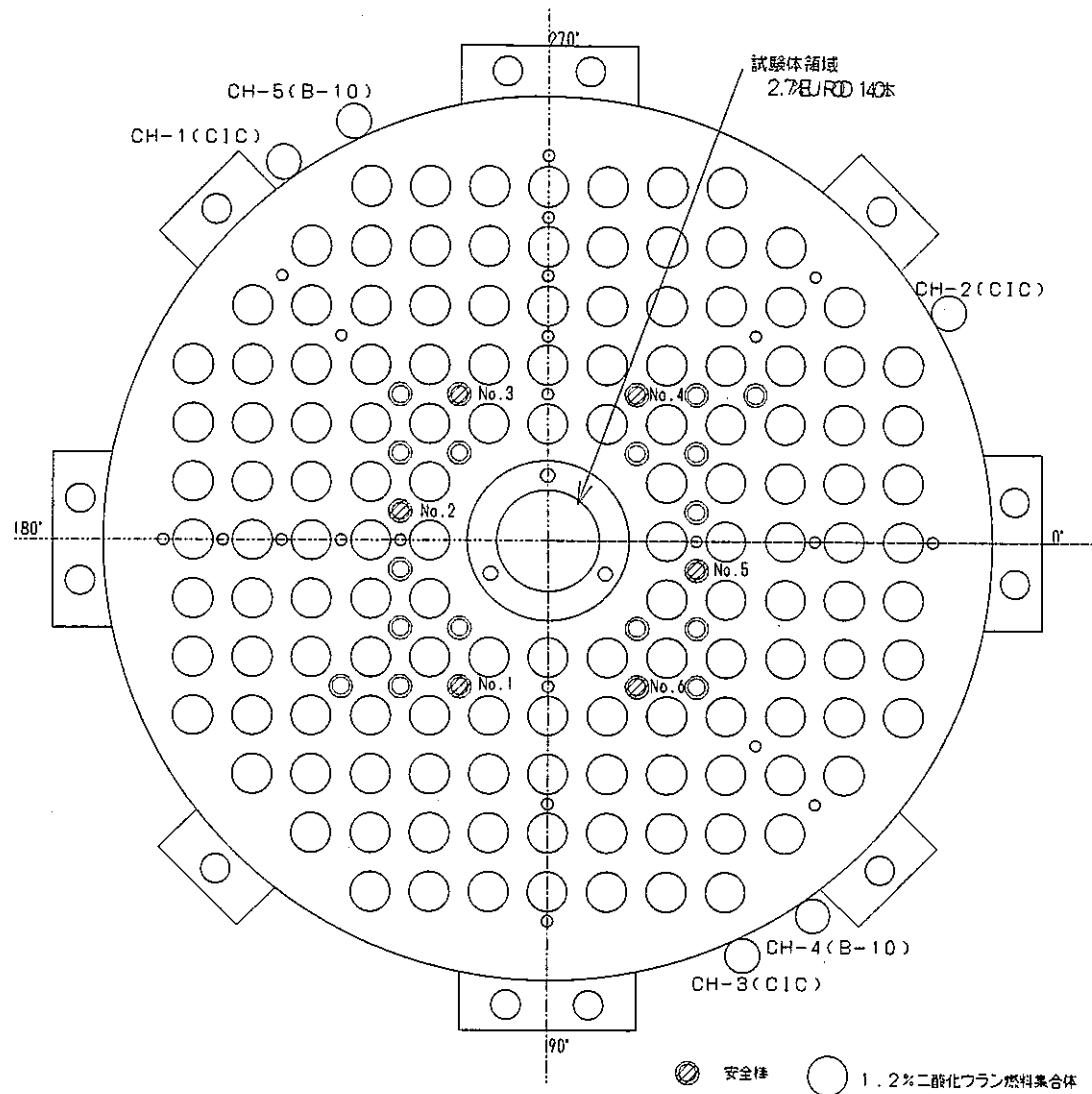


図 2-12 炉心配置図

S2-2 (圧力管内軽水なし) , S2-3 (圧力管内軽水あり) 、

S3-1 (試験体なし、圧力管内軽水なし) 、

S3-2 (試験体容器のみあり (中心案内管付き) 、圧力管内軽水あり)

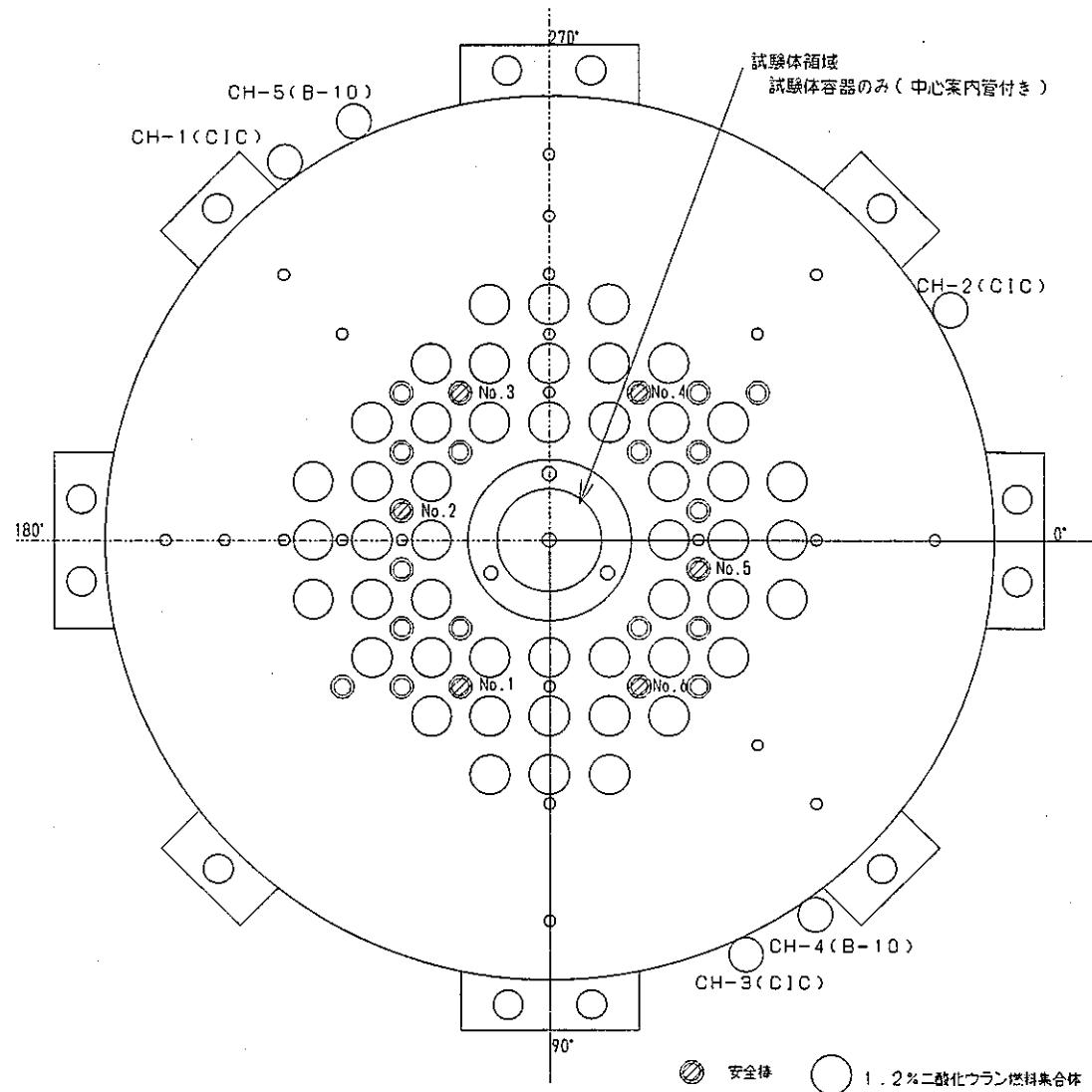


図 2-13 炉心配置図 (S3-3)

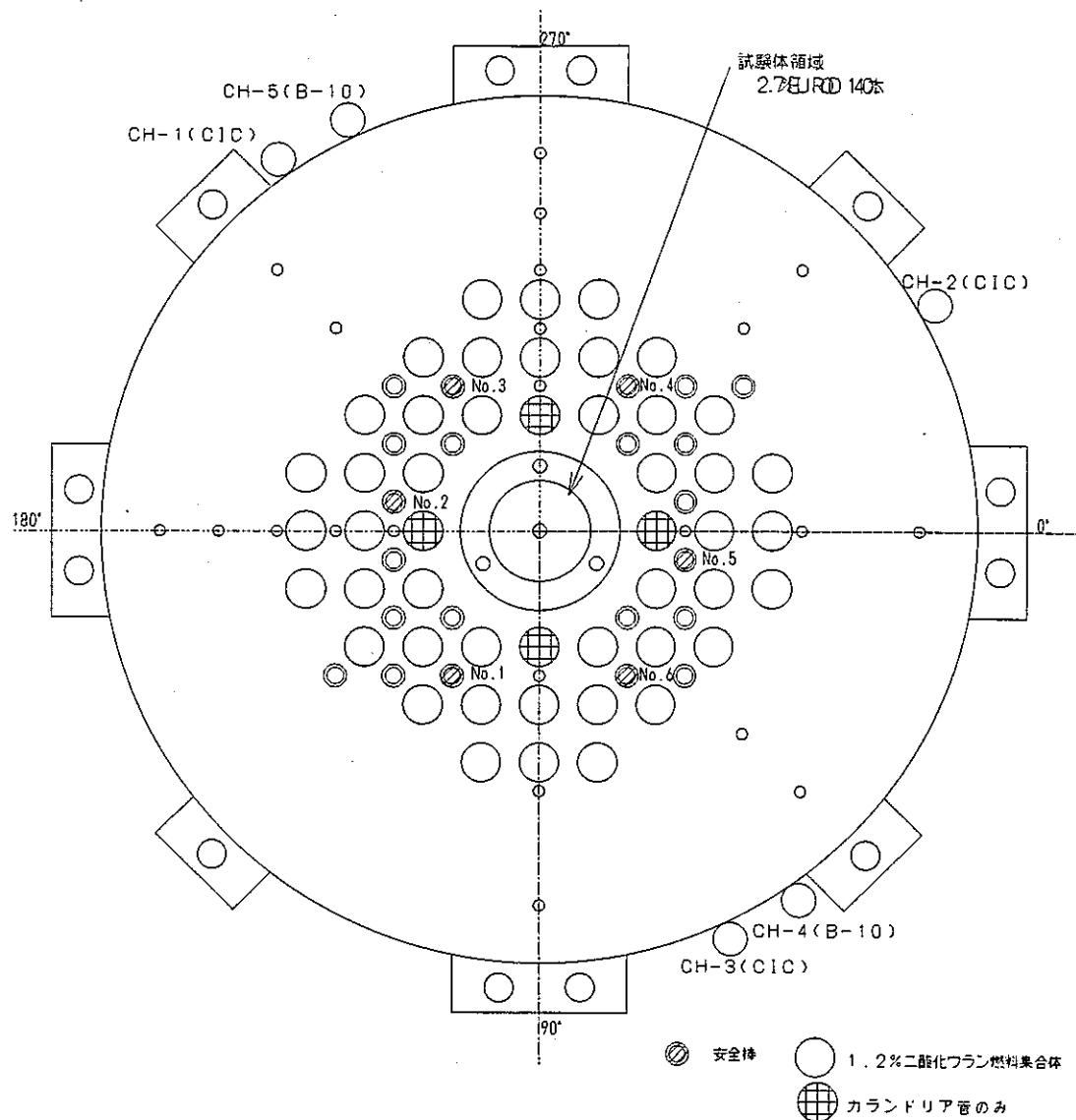


図 2-14 炉心配置図 (S4-1)

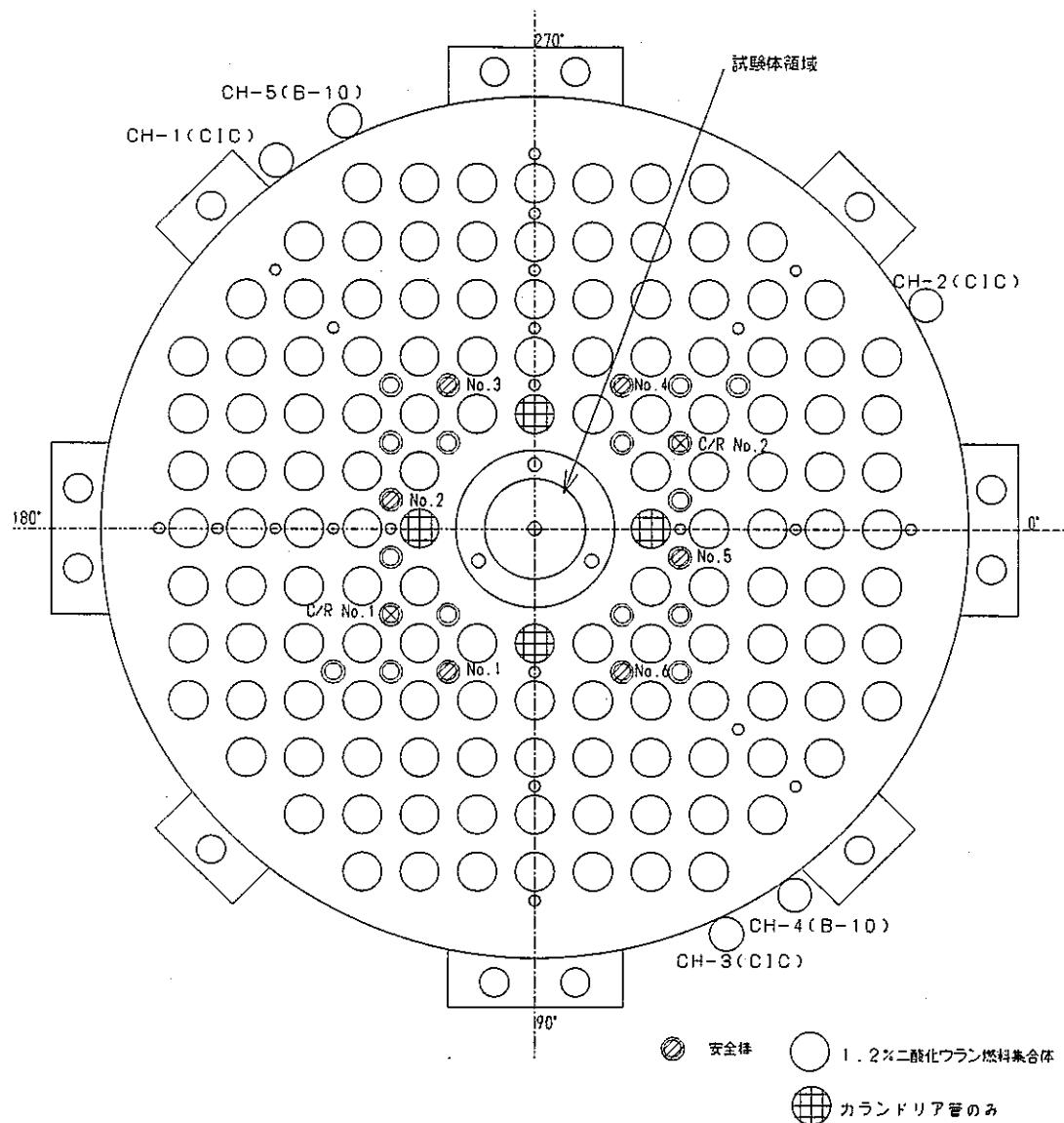


図 2-15 炉心配置図

S4-2 (試験体燃料 2.7%EU ROD 140本)  
 S4-3 (試験体燃料 2.7%EU ROD 70本)  
 S4-4 (試験体燃料 0.79%Pu fissile ROD 140本)

### 3. 炉心基本特性測定

DCAにおいては、実験のための新しい炉心が構成されると、炉心の状態を確認するための基本特性として、重水臨界水位、重水水位反応度、安全棒（制御棒）反応度価値、熱中性子束分布を測定する。

#### 3.1 測定方法

重水臨界水位、重水水位反応度、安全棒（制御棒）反応度価値、熱中性子束分布の測定方法の概要について述べる。

##### 3.1.1 重水臨界水位

重水臨界水位は、基本特性のうち最も精度よく測定できるパラメータである。重水水位計の表示の最小単位は 0.1mm であり、従来の経験から重水臨界水位の再現性も 0.3mm 程度である。逆増倍法によって重水水位を段階的に上昇させ、中性子源を引き抜いた後、炉出力 1 Wで定常状態になるときの水位を確認する。

##### 3.1.2 重水水位反応度係数

重水水位反応度係数は、臨界水位から重水水位を 1cm 増加させたときに付加される反応度である。安全棒反応度価値の測定等において、反応度測定の基準として使用される。臨界状態の炉心に重水を若干量（約 1cm）給水して炉心を超臨界にし、炉出力の上昇速度から炉周期を求める。炉周期の測定は、線形出力計 CH-1 の指示値が倍になる時間を複数点測定し平均をとる。倍加時間（炉周期）は炉周期( $T$ )と反応度( $\rho$ )の関係を表す逆時間方程式（式 3-1）により反応度に換算される。

$$\rho = \frac{\ell}{T} + \sum_i^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} + \beta_{D2O} \sum_j^9 \frac{\beta_{D2O,j}}{1 + \lambda_{D2O,j} T} \quad (3-1)$$

$\beta_{\text{eff}}$  : 実効遅発中性子割合

$\ell$  : 即発中性子寿命

$T$  : 炉周期（直接の測定対象）

$\beta_{D2O}$  : 重水素の ( $\gamma, n$ ) 反応による実効光遅発中性子割合(0.022)

$\beta_i$  : 遅発中性子  $i$  群についての遅発中性子割合 /  $\beta_{\text{eff}}$

$\beta_{D2O,j}$  : 光遅発中性子  $j$  群についての光遅発中性子割合 /  $\beta_{D2O}$

$\lambda_i$  : 遅発中性子  $i$  群の減衰定数

$\lambda_{D2O,j}$  : 光遅発中性子  $i$  群の減衰定数

パラメータ  $\beta_{\text{eff}}$  と  $\ell$  は、計算で求め、残りのパラメータは核特性データを使用する。

##### 3.1.3 安全棒（制御棒）反応度価値

安全棒反応度価値は、臨界を確認した炉心に安全棒を挿入し、未臨界とした後、重水を追加して再度臨界とすることによって測定する。式 (3-2) の様に、安全棒挿入前後の重水臨界水位の水位差に水位反応度係数測定値をかけて反応度に換算する。

$$\begin{aligned}\rho &= \int_{H_0}^{H_1} \frac{\partial \rho}{\partial H} dH \\ &= \frac{A}{2} \left[ \frac{1}{(H_0 + \alpha)^2} - \frac{1}{(H_1 + \alpha)^2} \right]\end{aligned}\quad (3-2)$$

ここで、

$$A = \frac{\partial \rho}{\partial H} \times (H_0 + \alpha)^3$$

$\frac{\partial \rho}{\partial H}$  : 重水水位反応度係数

$H_0$  : 安全棒挿入前臨界水位

$H_1$  : 安全棒挿入後臨界水位

$\alpha$  : 外挿距離 (=20cm、5.3.3節参照)

である。原子炉停止余裕を確保するために安全棒6本のうち少なくとも4本は炉心上部に保持されていることが決まっており、2本を挿入して求めた反応度価値を3倍して6本の価値とする。尚、6本の安全棒価値は安全棒間の干渉効果によって1本の価値の6倍にはならない。干渉効果を考慮して、2本の安全棒の価値は、隣り合う安全棒ではなく1本隔てた組み合わせで測定する。

### 3.1.4 中性子束分布

中性子束分布は、銅(Cu)又は金(Au)の放射化法によって測定した。Cuを使用する場合は、ピン又はワイヤを照射し、 $^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{63}\text{Cu}$ 反応による511keVのγ線ピークをNaIシンチレーショングランジャーで測定する。Auの場合は、5mm長の細線を照射し $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ 反応による412keVのγ線ピークを測定する。Auの場合はCdカバー付き試料の照射を同時にを行い、Cdカバーなしの放射化量からCdカバー付試料の放射化量を差し引き、熱中性子の寄与を評価する。Cu,Auの照射試料は、径方向については炉心上部グリッド盤の実験孔や燃料クラスターの中心孔に上部グリッド板から吊り下げる。軸方向についてはCuのみ測定を実施したが、ワイヤを径方向分布測定用の試料の場合と同様に上部グリッド板から吊り下げて設置する。試料を吊り下げる位置により試料の設置場所は、重水中や軽水中や空気中（実験孔から試料を吊り下げた場合）であったり、燃料クラスター中であったりする。照射された試料はCuピン及びAu細線についてはサンプルチェンジャーで、Cuワイヤについてはワイヤスキャニング装置で、γ線を測定する。

### 3.1.5 燃料クラスター内中性子束出力分布

S1-3 炉心（圧力管内 0%ボイド）については、高出力運転を行ったのちの燃料クラスターを解体し、燃料棒中の核分裂生成物から放出されるγ線のうち強度の強いLa-140の1.6MeVのγ線を測定してクラスター内の出力分布を求めた。

### 3.2 測定結果

表 3-1～45 に炉心基本特性の測定結果を示す。各炉心ごとに重水臨界水位と重水水位反応度係数、重水水位反応度係数に用いられた出力倍加時間、安全棒（制御棒）反応度価値の順に記載してある。尚、中性子束分布については、第 5 章で計算値と比較して示す。

#### ① S1-1 炉心, S1-2 炉心（図 2-6 参照）

S1-1 炉心に制御棒を設置したのが S1-2 炉心であるため、制御棒反応度価値以外の特性値は 2 種類の炉心で同一である。ここでは S1-1 炉心の測定値を記載する。

表 3-1 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-1)

重水臨界水位(cm)	124.51
重水水位反応度係数(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.095 \pm 0.001$

表 3-2 重水水位反応度係数の基データ(S1-1)

超過水位(cm)	1.14
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)
0.20～0.40	-
0.25～0.50	38.28
0.30～0.60	38.68
2.0～4.0	-
2.5～5.0	38.45
3.0～6.0	38.81
倍加時間の平均(sec)	$38.48 \pm 0.28$
倍加時間に相当する反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.1082 \pm 0.0006$

表 3-3 制御棒(S1-2)、安全棒反応度価値(S1-1)

挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
C/R No1	126.11	$0.15 \pm 0.00$
C/R No.2	124.80	$0.03 \pm 0.00$
S/R No1	128.91	$0.40 \pm 0.00$
S/R No1+No5	134.90	$0.89 \pm 0.01$
安全棒反応度価値		$2.67 \pm 0.02$

## ② S1-3 炉心（図 2-7 参照）

表 3-4 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-3)

重水臨界水位(cm)	128.04
重水水位反応度係数(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.090 \pm 0.001$

表 3-5 重水水位反応度係数の基データ(S1-3)

超過水位(cm)	1.17
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)
0.20~0.40	40.72
0.25~0.50	40.67
0.30~0.60	39.40
2.0~4.0	40.87
2.5~5.0	-
3.0~6.0	-
倍加時間の平均(sec)	$40.42 \pm 0.68$
倍加時間に相当する反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.1047 \pm 0.0013$

表 3-6 制御棒、安全棒反応度価値(S1-3)

挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
C/R No1	129.78	$0.15 \pm 0.00$
C/R No.2	128.38	$0.03 \pm 0.00$
S/R No1	133.48	$0.46 \pm 0.01$
S/R No1+No5	140.22	$0.97 \pm 0.01$
安全棒反応度価値		$2.91 \pm 0.04$

## (3) S1-4 炉心（図2-7参照）

表 3-7 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-4)

重水臨界水位(cm)	148.38
重水水位反応度係数(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.066 \pm 0.001$

表 3-8 重水水位反応度係数の基データ(S1-4)

超過水位(cm)	1.31
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)
0.20~0.40	52.40
0.25~0.50	53.60
0.30~0.60	-
2.0~4.0	-
2.5~5.0	-
3.0~6.0	-
倍加時間の平均(sec)	$53.00 \pm 0.85$
倍加時間に相当する反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.0861 \pm 0.0013$

表 3-9 制御棒、安全棒反応度価値(S1-4)

挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
C/R No1	151.66	$0.21 \pm 0.00$
C/R No.2	149.04	$0.04 \pm 0.00$
S/R No1	154.89	$0.40 \pm 0.01$
S/R No1+No5	163.46	$0.87 \pm 0.01$
安全棒反応度価値		$2.62 \pm 0.03$

## ④ S1-5 炉心（図 2-8 参照）

表 3-10 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-5)

重水臨界水位(cm)	144.36
重水水位反応度係数(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.064 \pm 0.001$

表 3-11 重水水位反応度係数の基データ(S1-5)

超過水位(cm)	2.15
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)
0.20~0.40	-
0.25~0.50	26.35
0.30~0.60	27.21
2.0~4.0	26.69
2.5~5.0	-
3.0~6.0	-
倍加時間の平均(sec)	$26.75 \pm 0.43$
倍加時間に相当する反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	$0.13659 \pm 0.0014$

表 3-12 制御棒、安全棒反応度価値(S1-5)

挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
S/R No1	150.36	$0.36 \pm 0.00$
S/R No1+No5	157.99	$0.77 \pm 0.01$
安全棒反応度価値		$2.31 \pm 0.03$

## ⑤ S1-6 炉心（図 2-9 参照）

本炉心は、ストレージタンク内の重水をすべて供給したときの重水水位 2233mm でも臨界に達しないため、臨界特性の評価対象から省いている。

## ⑥ S1-7 炉心（図 2-10 参照）

表 3-13 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-7)

重水臨界水位(cm)	142.86
重水水位反応度係数(% $\Delta k/k/cm$ )	0.066±0.000

表 3-14 重水水位反応度係数の基データ(S1-7)

超過水位(cm)	1.28
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)
0.20~0.40	53.99
0.25~0.50	53.96
0.30~0.60	54.24
2.0~4.0	54.58
2.5~5.0	54.17
3.0~6.0	54.35
倍加時間の平均(sec)	54.10±0.20
倍加時間に相当する反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	0.08482±0.0003

表 3-15 制御棒、安全棒反応度価値(S1-7)

挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
C/R No1	146.83	0.25±0.00
C/R No.2	-	-
S/R No1	148.40	0.35±0.00
S/R No1+No5	155.66	0.76±0.00
安全棒反応度価値		2.27±0.01

## ⑦ S2-1 炉心（図 2-11 参照）

表 3-16 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S2-1)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	80	120	160	200
重水臨界水位(cm)	154.58	150.95	147.17	138.58	130.46	127.40	125.92
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	073 ±0.000	075 ±0.000	081 ±0.000	082 ±0.000	078 ±0.000	084 ±0.000	083 ±0.000

表 3-17 重水水位反応度係数の基データ(S2-1)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	80	120	160	200
超過水位(cm)	1.37	1.19	1.25	1.25	1.30	1.25	1.23
核計装 CH-1 の指示値 (×10E-8)	倍加時間(sec)						
0.20~0.40	42.84	50.93	42.60	41.90	48.51	41.59	43.20
0.25~0.50	43.25	50.66	43.04	42.18	48.97	-	43.78
0.30~0.60	43.22	50.82	43.11	42.43	44.29	42.43	44.11
2.0~4.0	-	-	-	-	-	43.23	-
倍加時間の平均(sec)	43.10 ±0.23	50.80 ±0.14	42.92 ±0.28	42.17 ±0.27	48.92 ±0.39	42.01 ±0.59	43.70 ±0.46
倍加時間に相当する 反応度(%Δk/k/cm)	1004 ±0.0006	0894 ±0.0002	1007 ±0.0005	1020 ±0.0004	1013 ±0.0006	1044 ±0.0010	1016 ±0.0008

表 3-18 安全棒反応度価値(S2-1)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	80	200	なし	80	200	
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)			重水水位差に相当する反応度(%Δk/k)			
S/R No1	162.48	144.95	130.69	0.54±0.00	0.49±0.01	0.38±0.00	
S/R No1+No5	174.04	154.60	137.92	1.22±0.01	1.13±0.01	0.88±0.01	
安全棒反応度価値				3.66±0.03	3.40±0.02	2.64±0.02	

## (8) S2-2 炉心（図 2-12 参照）

表 3-19 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S2-2)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	40	80	120	200
重水臨界水位(cm)	209.85	195.64	174.21	154.90	145.47
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	0.80 ±0.000	0.49 ±0.000	0.52 ±0.000	0.61 ±0.000	0.73 ±0.001

表 3-20 重水水位反応度係数の基データ(S2-2)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	40	80	120	200
超過水位(cm)	2.91	2.38	1.72	2.16	1.96
核計装 CH-1 の指示値 (×10E-8)	倍加時間(sec)				
0.20~0.40	51.83	34.44	50.43	29.72	25.71
0.25~0.50	51.63	34.43	51.12	30.02	26.41
0.30~0.60	52.06	34.45	51.22	30.10	26.37
2.0~4.0	51.89	-	-	30.41	-
2.5~5.0	51.97	-	-	30.53	-
3.0~6.0	52.22	-	-	30.46	-
倍加時間の平均(sec)	51.93 ±0.20	34.44 ±0.01	50.92 ±0.43	29.95 ±0.20	26.16 ±0.39
倍加時間に相当する反応度 (%Δk/k/cm)	0.878 ±0.0008	1.168 ±0.0000	0.891 ±0.0006	1.317 ±0.0006	1.435 ±0.0014

表 3-21 安全棒反応度価値(S2-2)

	試験体減速材水位(cm)	
	200	200
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(%Δk/k)
S/R No1	150.99	0.38±0.01
S/R No1+No5	159.15	0.89±0.01
安全棒反応度価値		2.67±0.02

## ⑨ S2-3 炉心（図 2-12 参照）

表 3-22 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S2-3)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	40	120	200
重水臨界水位(cm)	125.16	120.82	111.05	108.28
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	099 $\pm 0.000$	114 $\pm 0.000$	109 $\pm 0.001$	118 $\pm 0.001$

表 3-23 重水水位反応度係数の基データ(S2-3)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	40	120	200
超過水位(cm)	1.10	1.15	1.15	0.97
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)			
0.20~0.40	38.05	-	-	36.04
0.25~0.50	37.95	-	31.14	36.39
0.30~0.60	-	28.76	31.41	36.61
2.0~4.0	-	-	-	-
2.5~5.0	-	28.80	31.62	-
3.0~6.0	-	28.88	31.86	-
倍加時間の平均(sec)	38.00 $\pm 0.07$	28.81 $\pm 0.06$	31.51 $\pm 0.31$	36.35 $\pm 0.29$
倍加時間に相当する反応度 (% $\Delta k/k/cm$ )	1092 $\pm 0.0002$	1310 $\pm 0.0002$	1254 $\pm 0.0008$	1141 $\pm 0.0006$

表 3-24 安全棒反応度価値(S2-3)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	200	なし	200
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)		重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )	
S/R No1	-	111.82	-	0.40 $\pm 0.00$
S/R No1+No5	135.68	116.80	0.94 $\pm 0.00$	0.91 $\pm 0.01$
安全棒反応度価値			2.82 $\pm 0.01$	2.73 $\pm 0.02$

## ⑩ S3-1 炉心（図 2-12 参照）

表 3-25 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S3-1)

重水臨界水位(cm)	177.35
重水水位反応度係数(% $\Delta k/k/cm$ )	0.080±0.000

表 3-26 重水水位反応度係数の基データ(S3-1)

超過水位(cm)	1.50
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)
0.20～0.40	-
0.25～0.50	33.03
0.30～0.60	32.98
倍加時間の平均(sec)	33.01±0.04
倍加時間に相当する反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	0.11960±0.0001

表 3-27 安全棒反応度価値(S3-1)

挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
S/R No1	186.09	0.65±0.00
S/R No1+No5	197.57	1.39±0.00
安全棒反応度価値		4.18±0.00

## ⑪ S3-2 炉心（図2-12参照）

表 3-28 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S3-2)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	60	100	150	200
重水臨界水位(cm)	101.14	100.87	101.90	102.99	103.80	103.98	103.99
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	154 ±0.000	157 ±0.001	158 ±0.001	153 ±0.001	150 ±0.001	150 ±0.000	148 ±0.001

表 3-29 重水水位反応度係数の基データ(S3-2)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	60	100	150	200
超過水位(cm)	0.88	0.64	0.84	0.76	0.80	0.82	0.72
核計装 CH-1.0 指示値 (×10E-8)	倍加時間(sec)						
0.20～0.40	-	42.83	-	34.64	32.92	31.69	39.22
0.25～0.50	27.22	42.50	28.10	34.32	33.32	31.78	39.58
0.30～0.60	27.24	42.44	-	34.40	33.08	-	39.48
2.0～4.0	-	42.82	28.10	34.69	33.21	31.71	-
2.5～5.0	-	42.99	28.10	34.84	33.19	31.95	-
3.0～6.0	-	42.96	28.40	34.79	-	32.19	-
倍加時間の平均(sec)	27.23 ±0.01	42.76 ±0.23	28.18 ±0.15	34.61 ±0.21	33.14 ±0.15	31.86 ±0.21	39.43 ±0.19
倍加時間に相当する反応度 (%Δk/k/cm)	1357 ±0.0001	1008 ±0.0004	1328 ±0.0005	1163 ±0.0005	1197 ±0.0004	1229 ±0.0004	1065 ±0.0004

3-30 安全棒反応度価値(S3-2)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	200	なし	20	200	
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)			重水水位差に相当する反応度(%Δk/k)			
S/R No1	103.54	103.16	106.26	0.36±0.00	0.35±0.01	0.33±0.00	
S/R No1+No5	106.32	105.95	108.94	0.75±0.01	0.75±0.01	0.69±0.01	
安全棒反応度価値				2.25±0.00	2.26±0.01	2.07±0.01	

## (12) S3-3 炉心（図 2-13 参照）

表 3-31 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S3-3)

重水臨界水位(cm)	152.50
重水水位反応度係数(% $\Delta k/k/cm$ )	0.089±0.000

表 3-32 重水水位反応度係数の基データ(S3-3)

超過水位(cm)	1.22
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)
0.20~0.40	38.36
0.25~0.50	38.17
0.30~0.60	38.32
倍加時間の平均(sec)	38.28±0.10
倍加時間に相当する反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	0.10850±0.0002

表 3-33 安全棒反応度価値(S3-3)

挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)	重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
S/R No1	161.41	0.73±0.00
S/R No1+No5	*1	-
安全棒反応度価値		4.95±0.01*2

\*1 重水不足のため測定せず

\*2 S2-1 炉心の S/R No.1+No.5 と S/R No.1 の反応度価値の比率を使用

## (13) S4-1 炉心（図 2-14 参照）

表 3-34 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-1)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	40	100	200
重水臨界水位(cm)	164.57	161.63	157.50	138.60	134.46
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	188 $\pm 0.001$	136 $\pm 0.000$	133 $\pm 0.001$	112 $\pm 0.001$	118 $\pm 0.000$

表 3-35 重水水位反応度係数の基データ(S4-1)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	40	100	200
超過水位(cm)	1.19	0.81	0.96	1.00	1.27
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)				
0.20~0.40	21.66	38.11	30.44	38.39	24.42
0.25~0.50	21.43	38.46	30.45	38.81	24.33
0.30~0.60	21.23	38.20	30.81	38.42	24.47
2.0~4.0	21.98	-	-	-	-
2.5~5.0	21.71	-	-	-	-
3.0~6.0	21.92	-	-	-	-
倍加時間の平均(sec)	21.66 $\pm 0.29$	38.26 $\pm 0.18$	30.57 $\pm 0.21$	38.54 $\pm 0.23$	24.41 $\pm 0.07$
倍加時間に相当する反応度 (% $\Delta k/k/cm$ )	1585 $\pm 0.0013$	1101 $\pm 0.0004$	1278 $\pm 0.0005$	1118 $\pm 0.0005$	1503 $\pm 0.0002$

表 3-36 安全棒反応度価値(S4-1)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	200	なし	200
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)		重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )	
S/R No1	172.70	139.09	1.02 $\pm 0.01$	0.52 $\pm 0.00$
S/R No1+No5	*1	146.53	-	1.28 $\pm 0.00$
安全棒反応度価値			6.92 $\pm 0.06$ *2	3.83 $\pm 0.01$

\*1 重水不足のため測定せず

\*2 S2-1 炉心の S/R No.1+No.5 と S/R No.1 の反応度価値の比率を使用

## (14) S4-2 炉心 (図 2-15 参照)

表 3-37 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-2)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	60	120	200
重水臨界水位(cm)	157.23	154.47	147.03	135.25	131.24
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	122 ±0.001	120 ±0.000	119 ±0.001	109 ±0.000	121 ±0.001

表 3-38 重水水位反応度係数の基データ(S4-2)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	60	120	200
超過水位(cm)	1.10	1.12	1.02	1.03	1.06
核計装 CH-1 の指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)				
0.20~0.40	-	-	32.54	-	31.06
0.25~0.50	28.37	27.66	33.06	37.99	30.89
0.30~0.60	28.17	28.34	33.09	37.98	31.26
倍加時間の平均(sec)	28.27 ±0.14	28.00 ±0.48	32.90 ±0.31	37.99 ±0.01	31.07 ±0.19
倍加時間に相当する反応度 (%Δk/k/cm)	1337 ±0.0009	1345 ±0.0015	1212 ±0.0008	1124 ±0.0000	1285 ±0.0006

表 3-39 安全棒反応度価値(S4-2)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	200	なし	200
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)		重水水位差に相当する反応度(%Δk/k)	
C/R No1	-	133.49	-	0.27±0.00
C/R No2	-	131.43	-	0.02±0.00
S/R No1	-	135.44	-	0.49±0.00
S/R No1+No5	173.32	142.24	1.72±0.01	1.20±0.01
安全棒反応度価値			5.16±0.03	3.60±0.02

## ⑯ S4-3 炉心（図 2-15 参照）

表 3-40 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-3)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
重水臨界水位(cm)	161.78	160.05	160.78	162.87	169.07	172.72
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	105 ±0.000	108 ±0.001	105 ±0.000	107 ±0.000	090 ±0.000	076 ±0.000

表 3-41 重水水位反応度係数の基データ(S4-3)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
超過水位(cm)	1.04	0.89	1.01	0.85	0.98	1.00
核計装 CH-1 の 指示値 ( $\times 10E-8$ )						
0.20～0.40	38.41	46.02	39.98	49.56	51.01	62.96
0.25～0.50	38.58	46.48	39.63	49.60	51.57	63.16
0.30～0.60	38.47	46.71	39.94	49.67	50.93	63.27
倍加時間の平均(sec)	38.49 ±0.09	46.40 ±0.35	39.85 ±0.19	49.61 ±0.06	51.17 ±0.35	63.13 ±0.16
倍加時間に相当する 反応度(%Δk/k/cm)	1091 ±0.0002	0959 ±0.0005	1066 ±0.0004	0913 ±0.0001	0885 ±0.0004	0759 ±0.0001

表 3-42 安全棒反応度価値(S4-3)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	200	なし	20	200
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)			重水水位差に相当する反応度(%Δk/k)		
C/R No.1	-	-	175.33	-	-	0.19
C/R No.2	-	-	178.12	-	-	0.03
S/R No1	168.76	166.82	181.21	0.69±0.00	0.69±0.01	0.60±0.00
S/R No1+No5	179.11	176.92	193.85	1.59±0.00	1.59±0.01	1.37±0.00
安全棒反応度価値				4.76±0.01	4.77±0.03	4.12±0.00

## (16) S4-4 炉心（図2-15参照）

表 3-43 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-4)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
重水臨界水位(cm)	165.28	164.08	164.50	165.87	170.57	173.52
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	101 $\pm 0.000$	107 $\pm 0.000$	099 $\pm 0.000$	095 $\pm 0.000$	084 $\pm 0.000$	073 $\pm 0.000$

表 3-44 重水水位反応度係数の基データ(S4-4)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
超過水位(cm)	1.05	1.08	1.04	1.16	1.24	1.29
核計装 CH-1 の 指示値 ( $\times 10E-8$ )	倍加時間(sec)					
0.20~0.40	39.77	35.40	41.56	37.66	38.14	44.40
0.25~0.50	40.25	35.63	42.13	37.99	38.58	44.66
0.30~0.60	40.36	35.66	41.59	38.16	38.72	44.84
2.0~4.0	-	-	42.40	38.60	39.11	-
2.5~5.0	-	-	42.37	38.79	39.24	-
3.0~6.0	-	-	42.42	38.45	39.22	-
倍加時間の平均(sec)	40.13 $\pm 0.31$	35.56 $\pm 0.14$	42.08 $\pm 0.40$	38.28 $\pm 0.42$	38.84 $\pm 0.44$	44.63 $\pm 0.22$
倍加時間に相当する 反応度(% $\Delta k/k/cm$ )	1064 $\pm 0.0002$	1155 $\pm 0.0001$	1029 $\pm 0.0004$	1099 $\pm 0.0001$	1036 $\pm 0.0004$	0941 $\pm 0.0001$

表 3-45 安全棒反応度価値(S4-4)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	200	なし	20	200	
挿入対象	挿入時の重水臨界水位(cm)			重水水位差に相当する反応度(% $\Delta k/k$ )			
S/R No1	172.55	171.29	181.98	0.70 $\pm 0.00$	0.73 $\pm 0.01$	0.58 $\pm 0.00$	
S/R No1+No5	183.31	182.07	194.45	1.59 $\pm 0.00$	1.67 $\pm 0.01$	1.31 $\pm 0.00$	
安全棒反応度価値				4.77 $\pm 0.01$	5.02 $\pm 0.01$	3.93 $\pm 0.00$	

### 3.3 臨界特性のまとめ

試験体及び試験体減速材を供給したときの臨界特性をまとめる。

使用する燃料棒の本数と種類により異なる試験体について測定を実施した。2.7%濃縮二酸化ウラン燃料棒を 140 本使用した試験体（高反応度試験体）、同じく 70 本使用した試験体（低反応度試験体）、0.79%富化度(7R)二酸化プルトニウム燃料棒 140 本を使用した試験体（7R 試験体）の 3 種類である（表 2-1 参照）。

図 3-1 に試験体の装荷（試験体減速材はなし）による重水臨界水位の変化を示す。試験体は高反応度試験体を使用している。試験体の装荷により重水水位が約 20cm 減少する。反応度に換算すると、0%ボイド炉心で 1.5%、100%ボイド炉心で 1.9%  $\Delta k/k$  である（換算式は 3.1.3 節参照）。

図 3-2 に試験体を装荷し、試験体減速材（軽水）水位を変化させた時の重水臨界水位を示す。

試験体減速材満水時の試験体単独の実効増倍率は、KENO による計算で、高反応度試験体が 0.89、低反応度試験体が 0.78、7R 試験体が 0.75 である。

S4-2 炉心（高反応度試験体装荷）では、試験体減速材水位と共に重水臨界水位が低くなり、減速材なし(-35cm)と満水(200cm)の時で重水水位に 26cm の差（反応度換算で 4.0%  $\Delta k/k$ ）がある。

S4-3 炉心（低反応度試験体装荷）では、試験体減速材水位を上げると、水位が 20cm 付近までは重水臨界水位が下降する。更に試験体減速材水位を高くすると、試験体の反応度が小さいため、軽水による中性子吸収による負の反応度効果の方が大きくなり臨界水位が上昇する。試験体減速材水位を 20cm から満水にする事により、約 13cm（反応度換算で 1.2%  $\Delta k/k$ ）臨界水位が上昇する。

S4-4 炉心（7R 試験体装荷）でも、S4-3 炉心と同様に試験体減速材水位 20cm 付近で臨界水位が最低となる。試験体減速材水位を 20cm から満水にする事により、約 9cm（反応度換算で 0.9%  $\Delta k/k$ ）臨界水位が上昇する。

図 3-3 は、試験体は装荷せず、試験体減速材のみが試験体領域に存在する炉心(S3-2 炉心)の試験体減速材水位に対する臨界水位の変化を示す。低反応度試験体と同様に試験体減速材水位が約 20cm で臨界水位が最低となり、更に水位を上げると、臨界水位が上昇し、20cm から満水にする事により、約 3cm（反応度換算で -0.5%  $\Delta k/k$ ）臨界水位が上昇する。試験体減速材水位が 20cm までは試験体減速材が反射体として働いていると考えられる。又、試験体中に燃料棒を含む低反応度試験体の方が、軽水だけの場合よりも吸収効果が大きく負の反応度が大きい。

図 3-4 は、高反応度試験体を装荷する炉心において、ドライバー領域の状態を変えた時の臨界特性である。ドライバー領域の圧力管内 136 体中の軽水存在割合（ボイド率）を、軽水なし（100% ボイド）(S2-2 炉心)、一部（炉心中心側 36 体）軽水あり(S2-1 炉心)、軽水あり（0% ボイド）(S2-3 炉心)の 3 種類について測定を実施した。

試験体減速材の供給による重水臨界水位の変化は、S2-2 炉心（100% ボイド）で約 64cm（反

応度換算で 3.2%  $\Delta k/k$ )、S2-1 炉心 (一部 0% ボイド) で約 29cm (同 2.8%  $\Delta k/k$ )、S2-3 炉心 (0% ボイド) で約 17cm (同 2.0%  $\Delta k/k$ ) であり、圧力管内に軽水がある 0% ボイドの領域が大きいほど試験体の影響を受けにくい。圧力管内に軽水がある方が、ドライバー領域のインポータンスが高くなるためと考えられる。

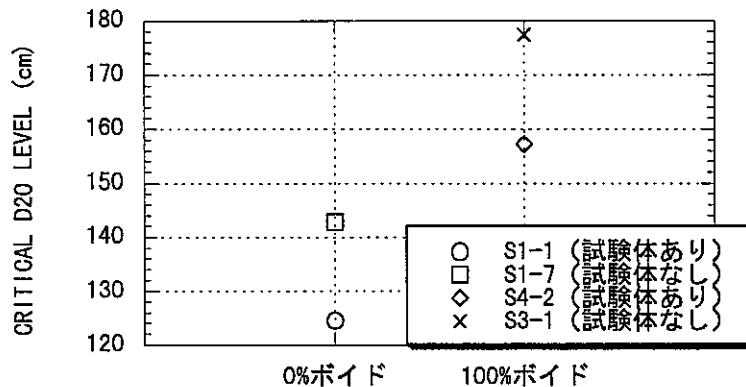


図3-1 試験体の装荷による臨界水位の変化

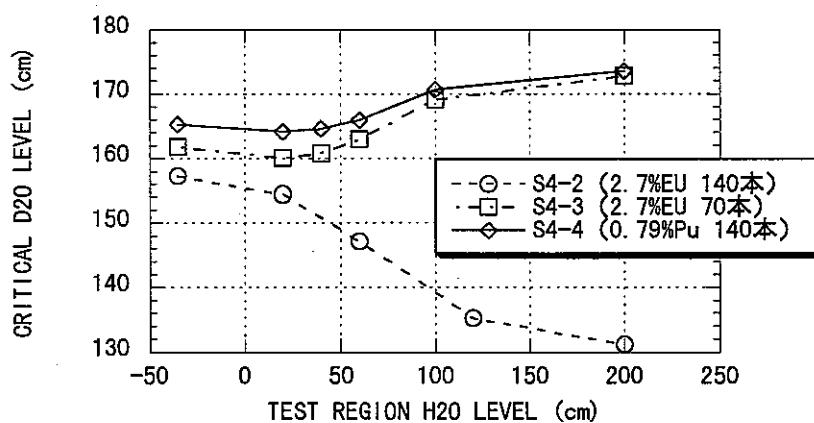


図3-2 試験体の種類を変えた時の試験体減速材水位に対する臨界特性

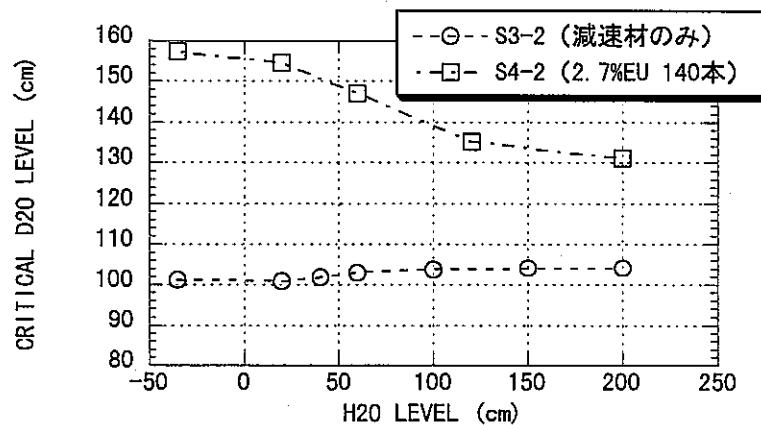


図3-3 試験体減速材のみを使用した時の試験体減速材水位に対する臨界特性

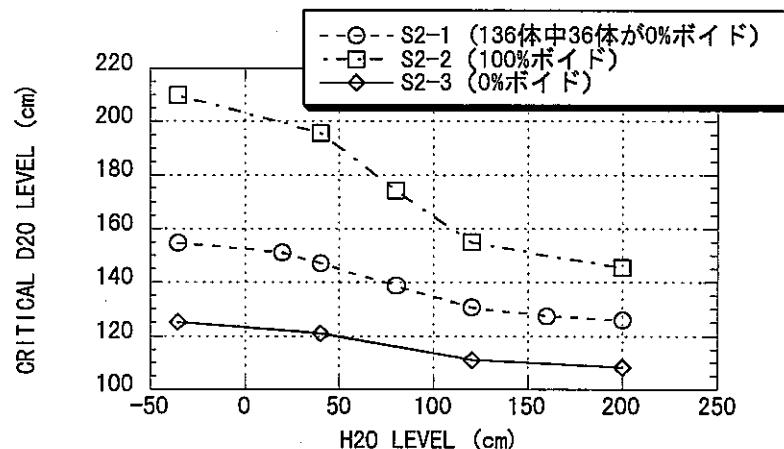


図3-4 ドライバー領域を変化させた時の試験体減速材水位に対する臨界特性

#### 4. 解析

クラスター型燃料で構成される ATR の炉心核特性の計算では、セル計算コード WIMS-ATR によって作成されたエネルギー 4 群マクロの断面積を用いて拡散計算コード CITATION で炉心全体の計算を行う「WIMS-CITATION」システムが使用されていた。本計算システムを用いて DCA の ATR 体系を評価した場合、臨界水位に関して反応度換算で  $\pm 1\% \Delta k/k$ 、安全棒反応度価値に関しては C/E が 1.07 で測定値を再現することが確認されている<sup>[1]</sup>。

未臨界度測定体系炉心では、ドライバー領域と試験体領域の間にボイド領域が存在するとともに、各領域の減速材水位が異なることによって減速材水位が低い側の領域に減速材を含まない燃料のみの領域（ドライ領域）が存在する。

拡散コードによるボイド領域の取り扱いでは、しばしば固体アルミニウムをボイドの代わりに使用する近似手法が採られるが、本体系のボイド領域は 2 領域を結びつける重要な領域であり、中性子束も大きく変化するため、近似的な取り扱いで正しい評価を得ることは不可能である。ボイド領域をより適切に取り扱える輸送計算コード採用する必要がある。

炉心計算は一般に断面積作成のためのセル計算と炉心全体の計算で構成されるが、それぞれの計算で使用する計算コードの組み合わせによっていくつかの計算手順が考えられる。

セル計算コード WIMS-ATR によりエネルギー 4 群マクロ断面積を作成し、Sn 輸送計算コードで臨界水位等を求める WIMS-TWOTRAN（又は、WIMS-TWODANT）システムや、SCALE4.2 コードシステムに含まれる 1 次元 Sn 輸送計算コード EXDRNPM によってエネルギー 27 群マクロ断面積を作成し、同じく SCALE システムに含まれるモンテカルロコード KENO によって炉心計算を行う SCALE システム、あるいは SCALE システムによって 27 群のマクロ断面積を作成し、2 次元 Sn 輸送計算コード TWODANT により炉心計算を行う SCALE-TWODANT システム等が考えられる。

本報告書での解析では、モンテカルロコード KENO の炉心計算への適用性の評価を行うために SCALE システムを採用した。また、KENO との計算精度の比較及びモンテカルロコードでは計算が困難である中性子束分布の評価には 2 次元 Sn 輸送計算コード TWODANT を使用した。エネルギー群は 27 群、Pn 次数は 3、TWODANT の Sn 次数は 8 とした。

#### 4.1 計算コード概要

本解析で使用した計算コードの概要と計算モデルを示す。計算は基本的には「SCALE-TWODANT」システムで実施したが、「SCALE-TWODANT」システムで求める事が困難なセル平均の遅発中性子割合については、WIMS-ATR コードを用いて補足した。

##### 4.1.1 WIMS-ATR コード<sup>[5]</sup>

WIMS-ATR はイギリスの Atomic Energy Establishment で開発されたクラスタータイプのセルの計算も可能なセル計算コード WIMS-D を元に、ライブラリー、マルチセル計算、拡散係数計算手法の改良等が行われたコードである。WIMS-ATR の断面積ライブラリーとしては、オリジナルの UK ライブラリーに若干の核種を追加変更したライブラリーが整備されているが、今回の解析では現在の「ふげん」の解析で使用されている HOP88.LIBR を使用した。エネルギー構造は、69 群（高速群 14 群(9.118~10MeV)、共鳴領域 13 群(9.118~4eV)、熱群 42 群(0~4eV)）である。

##### 4.1.2 TWODANT コード<sup>[6]</sup>

TWODANT は、アメリカの Oak Ridge National Laboratory で開発された 2 次元 Sn 輸送計算コードであり、拡散計算による加速が取り入れられることによって収束が速く、27 群の計算でワークステーション(SUN Sparkstation 10)を使用して 10 時間程度である。

##### 4.1.3 SCALE4.2 コードシステム<sup>[7]</sup>

SCALE システムは核燃料施設の臨界安全解析のために開発されたコードシステムであり、臨界計算、遮蔽計算、燃焼計算に必要な一連の解析モジュール及びそれらの制御システムで構成されている。今回使用したのはその中の臨界計算に関するシステム (CSASIX、WAX、KENO) である。断面積ライブラリーは ENDF/B-IV を基にした SCALE27 群ライブラリー (表 4-1) を使用した。

CSASIX は BONAMI, NITAWL, XSDRNPM, ICE の各モジュールを制御するシステムである。BONAMI は Bondarenko 法による共鳴自己遮蔽因子を計算する。NITAWL はノルドハイム法による共鳴領域断面積の処理を行う。XSDRNPM は 1 次元 Sn 輸送計算コードでセル内中性子束分布を計算する。ICE は XSDRNPM で求められた中性子束を重みとして用いてセル平均マクロ断面積を算出する。ICE で作成された断面積ファイルは、WAX モジュールによりファイルの結合、編集が行われ、KENO-V.a、TWODANT の計算に使用される (図 4-1)。

表4-1 SCALE27群ライブラリーのエネルギー群構造

エネルギー群	下限エネルギー境界 (eV)
	2.000E+7
1	6.434E+6
2	3.000E+6
3	1.850E+6
4	1.400E+6
5	9.000E+5
6	4.000E+5
7	1.000E+5
8	1.700E+4
9	3.000E+3
10	5.50E+2
11	1.00E+2
12	3.00E+1
13	1.00E+1
14	3.05E+0
15	1.77E+0
16	1.30E+0
17	1.13E+0
18	1.00E+0
19	0.800
20	0.400
21	0.325
22	0.225
23	0.10
24	0.050
25	0.030
26	0.010
27	1.000E-5

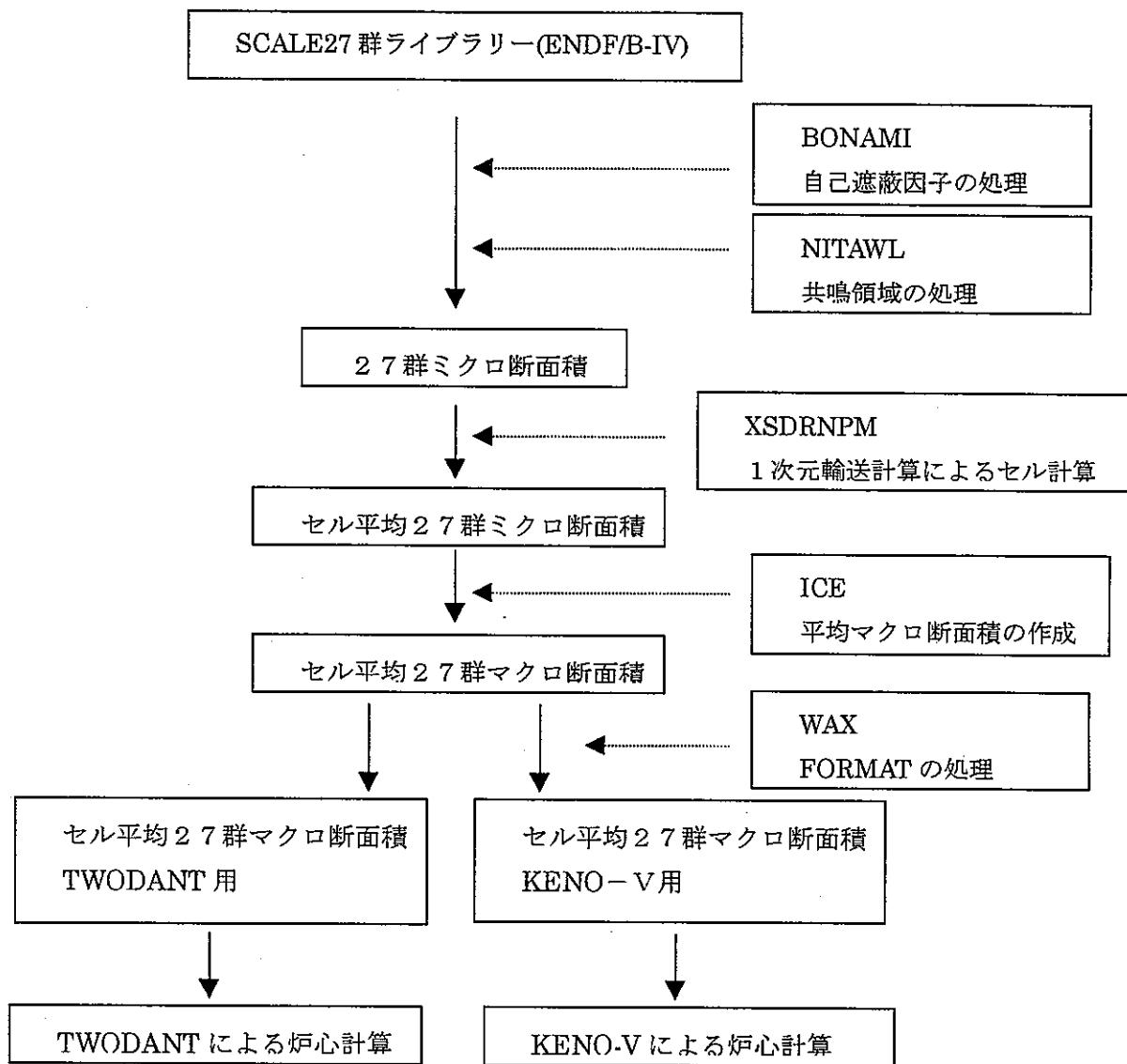


図 4-1 計算のフロー図

#### 4.1.4 計算モデル

炉心計算モデルを図 4-2 に示す。使用した 2 種類の炉心計算コード TWODANT と KENO では基本的には共通の計算モデルを使用したが、KENO が 3 次元形状を計算できるのに対して TWODANT は 2 次元コードであり、ドライバー領域の均質化の条件が異なっている。即ち、KENO で使用する断面積では、ドライバー領域の燃料クラスターのみ均質化し、圧力管、カランドリア管、減速材は燃料と均質化しない。TWODANT で使用する断面積では燃料クラスターを均質化した後、もう一度セル計算を行い圧力管、カランドリア管、減速材を含めて均質化した（図 4-3）。クラスター内の燃料棒は 3 層構造に配列されており、層ごとに格子間ピッチが異なるが、平均値で近似し、1 次元輸送計算コードによりセル計算を行った。試験体領域については、試験体の燃料のある領域を実際の格子間ピッチでセル計算し均質化している。

計算に使用した原子数密度のデータ、入力データ例を APPENDIX に記載する。

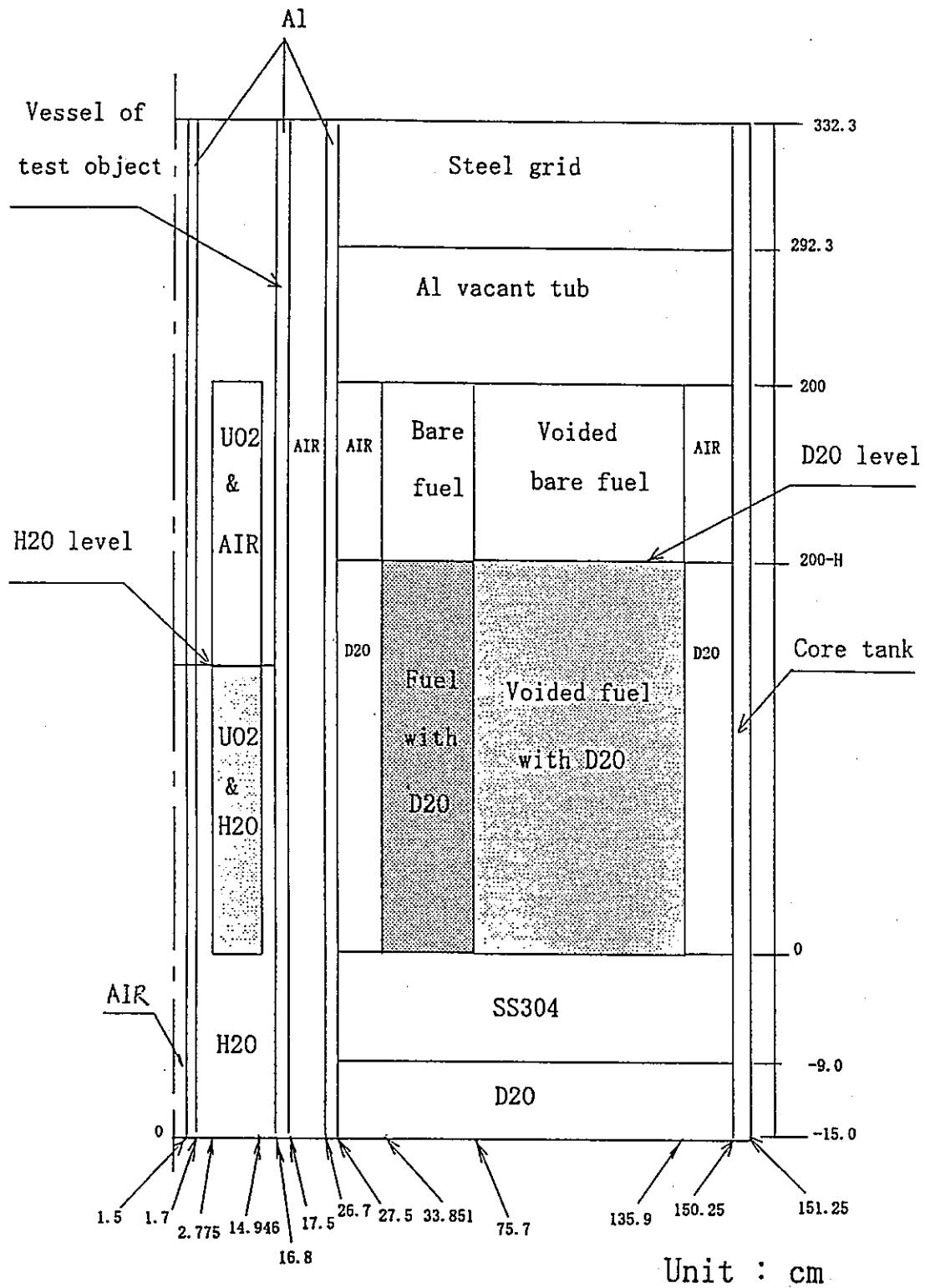
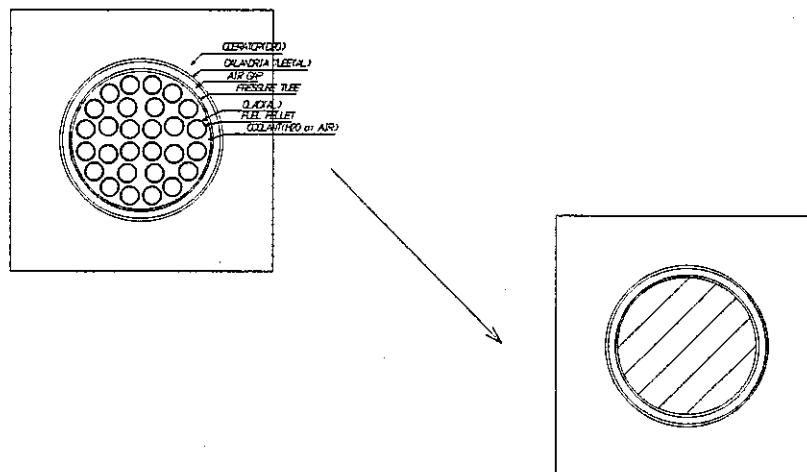
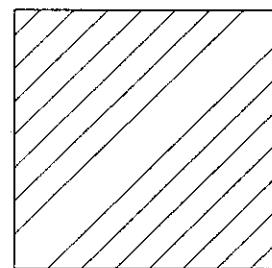


図4-2 炉心計算モデル



ドライバーセルモデル(KEENO用)



ドライバーセルモデル(TWODANT用)

図4-3 セル計算における均質化モデル

## 4.2 計算方法

### 4.2.1 重水臨界水位及び重水水位反応度係数

重水臨界水位と重水水位反応度係数（臨界近傍での重水水位 1cm あたりの反応度付加量）は、炉心計算コードとして KENO-V と TWODANT のそれぞれを用いて計算した。臨界点と予想される重水水位の近傍で複数点実効増倍率を計算し、1 次式フィッティングにより重水水位反応度係数及び臨界水位を算出した。

KENO では 15 万ヒストリー (=500 (1 世代中性子発生数) × 300 (追跡世代数)) で実効増倍率を計算した ( $1\sigma = \text{約 } 0.002$ )。1 ケースの計算時間は約 170 分 (Sun Sparkstation 10 使用) である。

### 4.2.2 安全棒（制御棒）反応度価値

安全棒反応度価値（制御棒も同様）は、安全棒全数（6 本）挿入前後の実効増倍率を KENO-V により厳密に模擬して計算し、式(4-1)で反応度に換算して求めた。

$$\Delta\rho = \frac{k_0 - k_1}{k_0 k_1} \quad (4-1)$$

$\Delta\rho$  : 反応度差

$k_0$  : 安全棒挿入前の実効増倍率

$k_1$  : 安全棒挿入後の実効増倍率

前述（3.1.3 節）のように、実験値は 2 本の安全棒価値であるので、計算で得られた 6 本の安全棒価値を  $1/3$  して 2 本の価値とする。KENO によって 2 本の価値を計算すれば実験体系に厳密に対応する計算結果が得られるが、KENO による安全棒反応度価値  $\Delta\rho$  には、計算ヒストリー数が 15 万ヒストリーの場合、実効増倍率の標準偏差 ( $1\sigma = \text{約 } 0.002$ ) により、約  $0.14\% \Delta k/k$  の統計誤差が伴う。2 本の価値（1% 前後）を計算した場合 14% の誤差を伴うことになる。この妥当性を評価するために、安全棒反応度価値の大きい炉心について、計算ヒストリー数を 50 万 (=500 (1 世代中性子発生数) × 1000 (追跡世代数)) ( $1\sigma = \text{約 } 0.0009$ ) にして安全棒 2 本を挿入したときと 6 本挿入したときの安全棒反応度価値を計算した（表 4-2）。評価は S4-3 炉心の試験体減速材水位がない場合と満水の場合で実施した。2 本の価値の 3 倍は 2% 以内で 6 本の価値と一致しており、2 本の価値を 3 倍して 6 本の価値とする手法でも妥当な結果が得られることが確認できた。

制御棒価値の計算では、制御棒の駆動範囲が最大 1m であるため、制御棒の下端は炉心長の途中までしか挿入されない。制御棒は長さ以外の仕様は安全棒と同じ構成であるため、

計算は安全棒と同じモデルで行い、制御棒挿入長さを摂動論を用いて補正した。

表 4-2 安全棒反応度価値の評価手法の妥当性

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	200	なし	200
計算条件	挿入時の $k_{\text{eff}}$		相当する反応度(% $\Delta k/k$ )	
安全棒 No.1 と No.5 を挿入	0.98520	0.98837	1.51	1.43
上記 2 本の価値 × 3			4.53	4.29
安全棒全数挿入	0.95579	0.96156	4.63	4.25

制御棒、安全棒未挿入状態での  $k_{\text{eff}}=1.00004$ (なし)、1.00033(20cm)、1.00257(200cm)

#### 4.2.3 動特性パラメータ<sup>[8]</sup>

3.1.2 節の重水水位反応度係数の測定では、測定で得られる原子炉ペリオドを逆時間方程式(式 4-2)により反応度に換算する。

$$\rho = \frac{\ell}{T} + \sum_i^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} + \beta_{D_{2O}} \sum_j^9 \frac{\beta_{D_{2O},j}}{1 + \lambda_{D_{2O},j} T} \quad (4-2)$$

$\beta_{\text{eff}}$  : 実効遅発中性子割合

$\ell$  : 即発中性子寿命

T : 炉周期

$\beta_{D_{2O}}$  : 重水素の ( $\gamma, n$ ) 反応による実効光遅発中性子割合(0.022)

$\beta_i$  : 遅発中性子 i 群についての遅発中性子割合 /  $\beta_{\text{eff}}$

$\beta_{D_{2O},j}$  : 光遅発中性子 j 群についての光遅発中性子割合 /  $\beta_{D_{2O}}$

$\lambda_i$  : 遅発中性子 i 群の減衰定数

$\lambda_{D_{2O},j}$  : 光遅発中性子 i 群の減衰定数

逆時間方程式中のパラメータ  $\beta_{\text{eff}}$  と  $\ell$  は、計算で求める。炉心全体としての  $\beta_{\text{eff}}$  と  $\ell$  は局所的な  $\beta$ 、 $\ell$  (セル平均値) を炉内の中性子のインポータンスで平均して計算する。  $\beta$  の計算には、セル内の核種ごとの核分裂反応割合が必要である。核種ごとの核分裂反応割合は、ATR 体系で使用実績のあるセル計算コード WIMS-ATR で計算した。

#### 4.2.4 热中性子束分布

中性子束分布は輸送計算コード TWODANT により計算し、中性子エネルギー 27 群のうち第 18 群～27 群を熱中性子とした。

#### 4.2.5 セル内熱中性子束分布

3.1.4 節で述べたように、ドライバー領域の熱中性子束は、重水中と燃料クラスター内で測定する。そのため、炉心中心からの距離が同じでも、燃料による吸収によって燃料中の熱中性子束は重水領域の熱中性子束より小さくなる。一方、輸送計算コード TWODANT による中性子束の計算では、燃料と重水で構成されるセルを平均化して計算するため、クラスター内、及び、重水中の各々の中性子束は得られない。重水中と燃料中の測定結果と計算値とを対応づけるために、セル内中性子束分布を計算で求め補正因子とする。

セル内中性子束分布は、SCALE4.2 コードシステムの 1 次元輸送計算コード XSDRN を用いて、図 4-4 のようにクラスターを 3 層リング状にしたモデルで計算した。

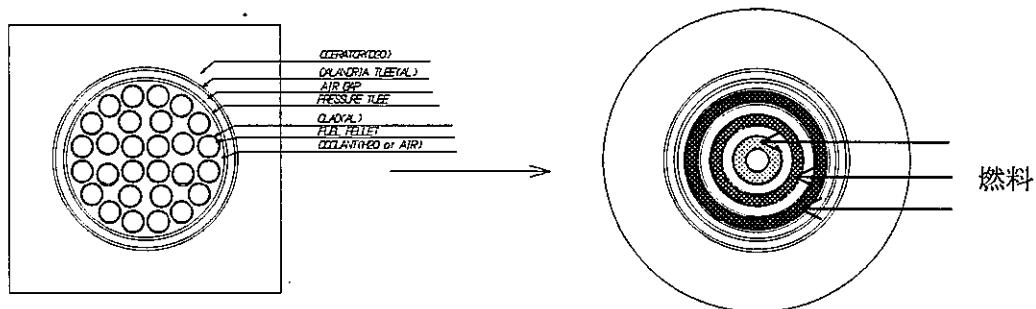


図4-4 ドライバーセルのリング状セル計算モデル

圧力管内に軽水がある場合（0%ボイド）とない場合（100%ボイド）についてセル平均値で規格化した中性子束分布を図 4-5 に示す。セル平均値に対するセル内中性子束は、重水中（中心からの距離 10cm の位置）については 0%ボイドの場合で 1.2、100%ボイドの場合で 1.25、燃料中（クラスター中心）については 0%ボイドの場合で 0.45、100%ボイドの場合で 0.5 が得られた。

核分裂率の比は

0%ボイドの場合、第 1 リング：第 2 リング：第 3 リング = 1:1.16:1.44

100%ボイドの場合、第 1 リング：第 2 リング：第 3 リング = 1:1.08:1.31

である。

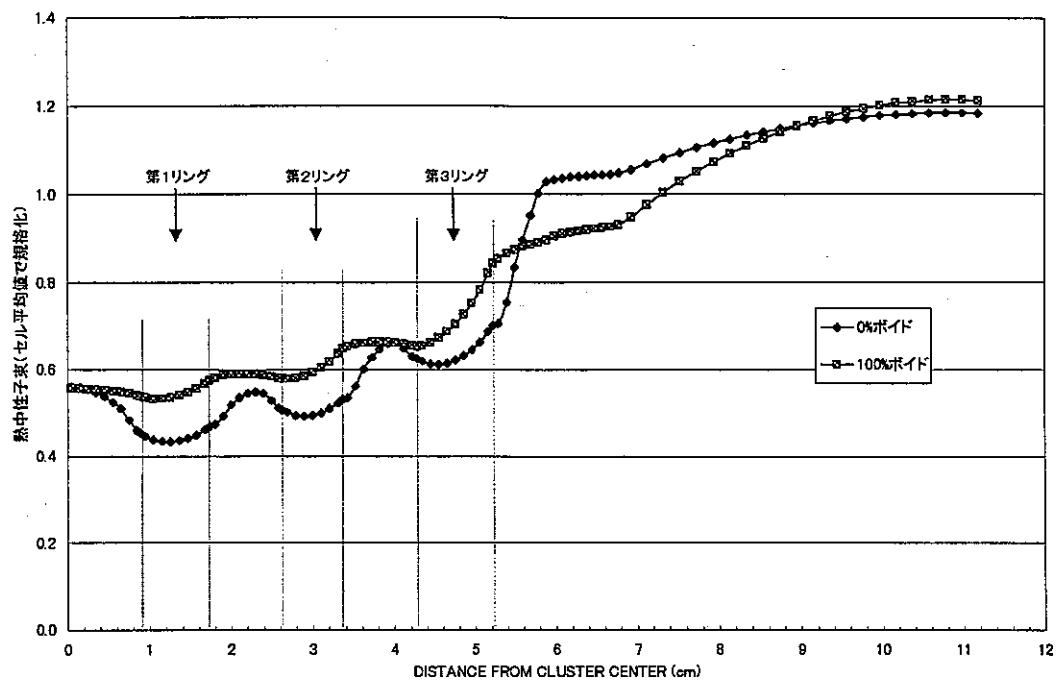


図4-5 セル内中性子束分布計算値

#### 4.3 計算結果

表 4-3～3-62 に計算結果を炉心ごとに分類して示す。各炉心について重水臨界水位と重水水位反応係数、重水臨界水位の算出に使用した実効増倍率計算結果（KENO、及び、TWODANT による）、安全棒（制御棒）反応度価値が記載されている。中性子束分布については第 5 章で測定値と比較して示す。

## ① S1-1 (S1-2) 炉心

表 4-3 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-1)

重水臨界水位(cm)	KENO	124.26
	TWODANT	102.48
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	KENO	0.072
	TWODANT	0.070

表 4-4 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-1, KENO)

重水水位(cm)	keff
120.00	0.99716
124.51	1.00075
130.00	1.00441

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代) σ=0.0017

表 4-5 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-1, TWODANT)

重水水位(cm)	keff
114.51	1.008281
124.51	1.015473

表 4-6 制御棒(S1-2)、安全棒反応度係数(S1-1)

挿入対象	挿入時の keff	相当する反応度(%Δk/k)
C/R No1	0.99615 <sup>*1</sup>	0.20
S/R ALL	0.97290	2.86

重水水位=124.51cm、ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代) σ=0.0017

\*1 制御棒の長さを 200cm で計算。補正は右列で考慮

## ② S1-3 炉心

表 4-7 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-3)

重水臨界水位(cm)	KENO	129.39
	TWODANT	105.50
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	KENO	0.079
	TWODANT	0.068

表 4-8 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-3, KENO)

重水水位(cm)	keff
120.00	0.99289
128.04	0.99914
140.00	1.00872

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma = 0.0017$ 

表 4-9 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-3, TWODANT)

重水水位(cm)	keff
118.04	1.008385
128.04	1.015364

表 4-10 制御棒、安全棒反応度価値(S1-3)

挿入対象	挿入時の keff	相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
C/R No1	0.99520 <sup>*1</sup>	0.18
S/R ALL	0.97216	2.78

重水水位=128.04cm、ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma = 0.0017$ 

\*1 制御棒の長さを 200cm で計算。補正は右列で考慮

## ③ S1-4 壴心

表 4-11 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-4)

重水臨界水位(cm)	KENO	145.05
	TWODANT	115.77
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	KENO	0.063
	TWODANT	0.044

表 4-12 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-4, KENO)

重水水位(cm)	keff
140.00	0.99597
148.38	1.00300
158.38	1.00762

ヒストリー= 500 (発生数) × 300 (世代)  $\sigma = 0.0017$ 

表 4-13 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-4, TWODANT)

重水水位(cm)	keff
138.38	1.009807
148.38	1.014298

表 4-14 制御棒、安全棒反応度価値(S1-4)

挿入対象	挿入時の keff	相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
C/R No1	0.99859 <sup>*1</sup>	0.27
S/R ALL	0.97484	2.88

重水水位=148.38cm、ヒストリー= 500 (発生数) × 300 (世代)  $\sigma = 0.0017$ <sup>\*1</sup> 制御棒の長さを 200cm で計算。補正は右列で考慮

## (4) S1-5 炉心

表 4-15 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-5)

重水臨界水位(cm)	KENO	143.54
	TWODANT	117.38
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	KENO	0.050
	TWODANT	0.047

表 4-16 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-5, KENO)

重水水位(cm)	keff
140.36	0.99797
144.36	1.00208
150.36	1.00325

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma=0.0017$ 

表 4-17 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-5, TWODANT)

重水水位(cm)	keff
134.36	1.007962
144.36	1.012808

表 4-18 安全棒反応度価値(S1-5)

挿入対象	挿入時の keff	相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
S/R ALL	0.97669	2.59

重水水位=144.36cm、ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma=0.0017$

## ⑤ S1-6 炉心

重水水位 200cm で  $k_{eff}=0.88$  であり、臨界にならない。

## ⑥ S1-7 炉心

表 4-19 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S1-7)

重水臨界水位(cm)	KENO	143.40
	TWODANT	112.01
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	KENO	0.062
	TWODANT	0.048

表 4-20 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-7, KENO)

重水水位(cm)	$k_{eff}$
130.00	0.99379
140.00	0.99410
150.00	1.00621

ヒストリー= 300 (発生数)  $\times$  1000 (世代)  $\sigma = 0.0013$

表 4-21 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S1-7, TWODANT)

重水水位(cm)	$k_{eff}$
132.86	1.009865
142.86	1.014773

表 4-22 制御棒、安全棒反応度価値(S1-7)

挿入対象	挿入時の $k_{eff}$	相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
C/R No1	0.99918 <sup>*1</sup>	0.19
S/R ALL	0.97875	2.41

重水水位=142.44cm、ヒストリー= 300 (発生数)  $\times$  1000 (世代)  $\sigma = 0.0013$

制御棒、安全棒未挿入状態での  $k_{eff}=1.00242$

\*1 制御棒の長さを 200cm で計算。補正は右列で考慮

## (7) S2-1 炉心

表 4-23 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S2-1)

		試験体減速材水位(cm)						
		なし	20	40	80	120	160	200
重水臨界水位(cm)	KENO	159.35	153.81	147.80	133.75	127.01	128.12	126.57
	TWODANT	145.44	140.11	135.31	121.72	109.36	98.73	99.31
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	KENO	0.062	0.062	0.046	0.089	0.071	0.099	0.065
	TWODANT	0.064	0.063	0.066	0.063	0.060	0.056	0.060

表 4-24 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S2-1, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	80	120	160	200
150.58	0.99856						
154.58	0.99949						
164.58	1.00314						
145.95		0.99478					
150.95		0.99759					
155.95		1.00095					
147.17			0.99931				
148.17				1.00151			
157.17				1.00467			
135.58					1.00047		
138.58					1.00440		
148.58					1.01237		
130.46						1.00217	
131.46						1.00389	
140.46						1.00971	
117.40							0.98939
127.40							1.00108
137.40							1.00929
120.92							0.99694
125.92							0.99908
130.92							1.00346

ヒストリード=500 (発生数) ×300 (世代) σ=0.0017

表 4-25 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S2-1, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	80	120	160	200
重水水位(cm)	144.58	140.95	137.17	128.58	120.46	117.40	115.92
Keff	0.999417	1.000485	1.001163	1.004242	1.006567	1.010285	1.009806
重水水位(cm)	154.58	150.95	147.17	138.58	130.46	127.40	125.92
Keff	1.005841	1.006857	1.007798	1.010661	1.012707	1.016022	1.015958

表 4-26 安全棒反応度価値(S2-1)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	80	200	なし	80	200
挿入対象	挿入時の keff			相当する反応度(% $\Delta k/k$ )		
S/R ALL	0.96191	0.97058	0.98492	3.91	3.47	1.44

重水水位=154.58cm(なし), 138.58cm(80cm), 125.92cm(200cm)

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma=0.0017$

## ⑧ S2-2 炉心

表 4-27 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S2-2)

		試験体減速材水位(cm)				
		なし	40	80	120	200
重水臨界水位(cm)	KENO	216.57	201.87	181.51	153.66	147.72
	TWODANT	207.38	191.98	165.91	144.98	134.86
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	KENO	0.047	0.045	0.043	0.050	0.100
	TWODANT	0.041	0.044	0.050	0.057	0.067

表 4-28 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S2-2, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)				
	なし	40	80	120	200
140.00				0.99830	0.99264
150.00					1.00425
160.00				1.00257	1.01091
170.00			0.99402		
180.00	0.98228	0.99222	1.00010	1.01327	
190.00	0.98664	0.99329	1.00257		
200.00	0.99161	1.00132			

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代) σ=0.0017

表 4-29 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S2-2, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	40	80	120	200
重水水位(cm)	199.85	185.64	164.21	144.90	135.47
keff	0.996905	0.997216	0.999131	0.99995	1.000355
重水水位(cm)	209.85	195.64	174.21	154.90	145.47
keff	1.001018	1.001609	1.004153	1.005628	1.007087

表 4-30 安全棒反応度価値(S2-2)

	試験体減速材水位(cm)	
	200	200
挿入対象	挿入時の $k_{eff}$	相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
S/R ALL	0.97965	2.07

重水水位=146.57cm、ヒストリー=300(発生数)  $\times 1000$ (世代)  $\sigma = 0.0013$

安全棒未挿入状態での  $k_{eff}=0.99989$

## ⑨ S2-3 炉心

表 4-31 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S2-3)

		試験体減速材水位(cm)			
		なし	40	120	200
重水臨界水位(cm)	KENO	126.72	118.87	111.38	108.64
	TWODANT	102.32	96.78	80.81	70.27
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	KENO	0.083	0.117	0.141	0.092
	TWODANT	0.070	0.072	0.064	0.060

表 4-32 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S2-3, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)			
	なし	40	120	200
90.00			0.96955	
100.00		0.97905	0.98442	0.99156
110.00		0.98737	0.99774	1.00253
120.00	0.99883	1.00245		1.00998
130.00	1.00428			
140.00	1.01045			

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma = 0.0017$ 

表 4-33 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S2-3, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	40	120	200
重水水位(cm)	115.16	110.82	101.05	98.23
keff	1.008767	1.009852	1.012764	1.016501
重水水位(cm)	125.16	120.82	111.05	108.23
keff	1.015901	1.017201	1.019379	1.022725

表 4-34 安全棒反応度値(S2-3)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	200	なし	200
挿入対象	挿入時の $k_{eff}$		相当する反応度(% $\Delta k/k$ )	
S/R ALL	0.97242	0.97675	2.79	2.37

重水水位=124.50cm(なし), 108.55cm(200cm)

ヒストリー=300 (発生数) × 1000 (世代)  $\sigma = 0.0013$ 安全棒未挿入状態での  $k_{eff}=0.99953$ (なし)、0.99992(200cm)

## ⑩ 3-1 炉心

表 4-35 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S3-1)

重水臨界水位(cm)	KENO	177.47
	TWODANT	170.61
重水水位反応度係数 (% $\Delta k/k/cm$ )	KENO	0.088
	TWODANT	0.067

表 4-36 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S3-1, KENO)

重水水位(cm)	keff
160.00	0.98375
180.00	1.00203
190.00	1.00983

ヒストリー=300 (発生数) ×1000 (世代)  $\sigma = 0.0013$ 

表 4-37 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S3-1, TWODANT)

重水水位(cm)	keff
167.85	0.998140
177.85	1.004826

表 4-38 安全棒反応度価値(S3-1)

挿入対象	挿入時の keff	相当する反応度(% $\Delta k/k$ )
S/R ALL	0.96142	3.88

重水水位=177.85cm、ヒストリー=500 (発生数) ×1000 (世代)  $\sigma = 0.0009$ 

安全棒未挿入状態での keff=0.99869

## (11) S3-2 炉心

表 4-39 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S3-2)

		試験体減速材水位(cm)						
		なし	20	40	60	100	150	200
重水臨界水位(cm)	KENO	102.42	100.47	101.28	102.94	103.64	104.72	104.20
	TWODANT	80.28	79.35	80.42	81.77	83.35	83.93	83.86
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	KENO	0.143	0.126	0.139	0.142	0.122	0.113	0.123
	TWODANT	0.119	0.119	0.118	0.116	0.113	0.113	0.112

表 4-40 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S3-2, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	60	100	150	200
100.00	0.99662	0.99882	0.99919	0.99623	0.99488	0.99367	0.99446
105.00	1.00444	1.00596	1.00476	1.00335	1.00319	1.00193	1.00101
110.00	1.01095	1.01139	1.01314				
120.00					1.01996		
130.00						1.02857	1.03145

ヒストリー=500 (発生数) ×1000 (世代) σ=0.0009

表 4-41 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S3-2, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)						
	なし	20	40	60	100	150	200
重水水位(cm)	91.14	90.87	91.90	92.99	93.80	93.98	93.99
keff	1.012449	1.013279	1.013119	1.012595	1.011401	1.010939	1.011001
重水水位(cm)	101.14	100.87	101.90	102.99	103.80	103.98	103.99
Keff	1.024771	1.025678	1.025409	1.024648	1.023077	1.022577	1.022623

表 4-42 安全棒反応度価値(S3-2)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	200	なし	20	200
挿入対象	挿入時の $k_{eff}$			相当する反応度(% $\Delta k/k$ )		
S/R ALL	0.97682	0.97749	0.97695	2.49	2.31	2.36

重水水位=102.41cm(なし), 101.50cm(80cm), 104.20cm(200cm)

ヒストリー=500 (発生数) ×1000 (世代)  $\sigma = 0.0009$

## (12) S3-3 炉心

表 4-43 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S3-3)

重水臨界水位(cm)	KENO	150.77
	TWODANT	127.40
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	KENO	0.091
	TWODANT	0.069

表 4-44 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S3-3, KENO)

重水水位(cm)	keff
140.00	0.99058
150.00	0.99962
160.00	1.00883

ヒストリー=1000 (発生数) × 1000 (世代) σ=0.0013

表 4-45 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S3-3, TWODANT)

重水水位(cm)	keff
140.77	1.009007
150.77	1.016046

表 4-46 安全棒反応度価値(S3-3)

挿入対象	挿入時の keff	相当する反応度(%Δk/k)
S/R ALL	0.94719	5.54

重水水位=177.85cm、ヒストリー=500 (発生数) × 1000 (世代) σ=0.0009

安全棒未挿入状態での keff=0.99869

## (13) S4-1 炉心

表 4-47 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-1)

		試験体減速材水位(cm)				
		なし	20	40	100	200
重水臨界水位(cm)	KENO	165.99	161.45	158.19	141.05	136.39
	TWODANT	159.40	154.90	150.67	136.31	128.56
重水水位反応度係数 (%△k/k/cm)	KENO	0.112	0.126	0.110	0.125	0.132
	TWODANT	0.125	0.128	0.121	0.114	0.114

表 4-48 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-1, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	40	100	200
120.00					0.97835
130.00				0.98570	0.99232
140.00				1.00167	1.00479
150.00				1.0108	
160.00		0.99754	1.00150		
170.00	1.00331	1.01177	1.01521		
180.00	1.01624	1.02273	1.02355		
190.00	1.02564				

ヒストリー=300 (発生数) ×1000 (世代)  $\sigma = 0.0013$ 

表 4-49 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-1, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	40	100	200
重水水位(cm)	155.99	151.45	148.19	131.05	126.39
keff	0.995693	0.995532	0.996922	0.994016	0.997445
重水水位(cm)	165.99	161.45	158.19	141.05	136.39
keff	1.008227	1.008382	1.009137	1.005401	1.008959

表 4-50 安全棒反応度値(S4-1)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	200	なし	200
挿入対象	挿入時の $k_{eff}$		相当する反応度(% $\Delta k/k$ )	
S/R ALL	0.98013	0.96577	7.66	3.69

重水水位=165.99cm(なし), 136.39cm(200cm)

ヒストリー=300 (発生数) ×1000 (世代)  $\sigma=0.0013$ 安全棒未挿入状態での  $k_{eff}=1.00148$ (なし)、0.99960(200cm)

## (14) S4-2 炉心

表 4-51 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-2)

		試験体減速材水位(cm)				
		なし	20	60	120	200
重水臨界水位(cm)	KENO	157.20	153.58	146.72	138.32	131.78
	TWODANT	149.95	145.96	138.40	127.04	122.81
重水水位反応度係数 (%△k/k/cm)	KENO	0.104	0.137	0.129	0.094	0.139
	TWODANT	0.106	0.108	0.106	0.096	0.104

表 4-52 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-2, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	60	120	200
110.00					0.96873
120.00					0.98679
130.00			0.97814	0.99120	0.99660
140.00	0.98149	0.98136	0.99272	1.00295	
150.00	0.99503	0.99583	1.00398	1.00997	
160.00	1.00235	1.00879			

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma = 0.0017$ 

表 4-53 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-2, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)				
	なし	20	60	120	200
重水水位(cm)	147.20	143.58	136.72	128.32	121.78
keff	0.997039	0.997358	0.998141	1.001115	0.998853
重水水位(cm)	17.20	153.58	146.72	138.32	131.78
keff	1.007691	1.008254	1.008847	1.010869	1.009288

表 4-54 制御棒、安全棒反応度価値(S4-2)

	試験体減速材水位(cm)			
	なし	200	なし	200
挿入対象	挿入時の $k_{eff}$		相当する反応度(% $\Delta k/k$ )	
C/R No1	-	0.99574	-	0.24
S/R ALL	0.95404	0.97066	4.71	3.09

重水水位=157.20cm(なし), 131.78cm(200cm)

ヒストリー=500 (発生数) ×1000 (世代)  $\sigma = 0.0009$ 安全棒未挿入状態での  $k_{eff}=0.99890$ (なし)、1.00064(200cm)

## ⑯ S4-3 炉心

表 4-55 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-3)

		試験体減速材水位(cm)					
		なし	20	40	60	100	200
重水臨界水位(cm)	KENO	160.93	157.34	157.67	158.82	165.62	171.28
	TWODANT	153.42	149.83	150.29	152.72	159.15	163.04
重水水位反応度係数 (%Δk/k/cm)	KENO	0.120	0.100	0.128	0.096	0.065	0.085
	TWODANT	0.099	0.100	0.099	0.100	0.087	0.069

表 4-56 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-3, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
150.00	0.98666	0.99304	0.99074	0.99101		
160.00					0.99623	0.98962
160.05		1.00336				
160.78			1.00259			
161.78	1.00148					
162.87				1.00570		
169.07					1.00051	
170.00	1.01057	1.01310	1.01538	1.00973		
172.72						1.00136
180.00					1.00905	
185.99						1.01165

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代) σ=0.0017

表 4-57 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-3, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
重水水位(cm)	151.78	150.05	150.78	152.87	159.07	162.72
Keff	0.99837	1.00022	1.00049	1.00015	0.99993	0.99978
重水水位(cm)	161.78	160.05	160.78	162.87	169.07	172.72
keff	1.00829	1.01021	1.01089	1.01011	1.00861	1.00667

表 4-58 制御棒、安全棒反応度値(S4-3)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	200	なし	20	200
挿入対象	挿入時の $k_{eff}$			相当する反応度(% $\Delta k/k$ )		
C/R No1 <sup>*1</sup>	-	-	0.99426	-	-	0.22
S/R ALL	0.95579	0.95584	0.96156	4.63	4.65	4.25

重水水位=160.93cm(なし), 157.34cm(20cm), 171.28cm(200cm)

ヒストリー=500 (発生数) ×1000 (世代)  $\sigma = 0.0009$

制御棒、安全棒未挿入状態での  $k_{eff}=1.00004$ (なし)、1.00033(20cm)、1.00257(200cm)

\*1 制御棒の長さを 200cm で計算。補正は右列で考慮

## ⑯ S4-4 炉心

表 4-59 重水臨界水位と重水水位反応度係数(S4-4)

		試験体減速材水位(cm)					
		なし	20	40	60	100	200
重水臨界水位(cm)	KENO	165.37	162.86	162.83	163.17	165.92	168.48
	TWODANT	156.66	153.88	153.88	153.91	160.09	162.59
重水水位反応度係数 (%△k/k/cm)	KENO	0.108	0.108	0.111	0.095	0.099	0.086
	TWODANT	0.090	0.092	0.091	0.092	0.088	0.072

表 4-60 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-4, KENO)

重水水位(cm)	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
150.00	0.98337	0.98597	0.98507	0.98780	0.98419	0.98320
160.00	0.99517	0.99856	0.99687	0.99684	0.99447	0.99315
170.00	1.00501	1.00763	1.00721	1.00682	1.00400	1.00034

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma=0.0017$ 

表 4-61 重水臨界水位の推定に使用した計算結果(S4-4, TWODANT)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	40	60	100	200
重水水位(cm)	155.37	152.87	153.14	153.17	155.92	158.48
keff	0.998772	0.999009	0.999249	0.999250	0.996309	0.997023
重水水位(cm)	165.37	162.87	163.14	163.17	165.92	168.48
keff	1.007862	1.008264	1.008468	1.008493	1.005134	1.004259

表 4-62 安全棒反応度価値(S4-4)

	試験体減速材水位(cm)					
	なし	20	200	なし	20	200
挿入対象	挿入時の $k_{eff}$			相当する反応度(% $\Delta k/k$ )		
S/R ALL	0.95957	0.95503	0.95965	4.29	4.68	4.22

重水水位=165.37cm(なし), 162.86cm(20cm), 168.48cm(200cm)

ヒストリー=500 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma=0.0017$

安全棒未挿入状態での  $k_{eff}=1.00079$ (なし)、0.99976(20cm)、1.00020(200cm)

## 5. 測定値と計算値の比較

5.1 節、5.2 節で重水臨界水位、水位反応度、安全棒（制御棒）反応度価値について、5.3 節で中性子束分布について測定値と計算値を比較し評価する。

### 5.1 炉心ごとの比較

図 5-1～図 5-45 に S1-1～S4-4 各炉心の重水臨界水位、水位反応度係数、安全棒（制御棒）反応度価値の測定値と計算値（KENO 及び TWODANT）を比較してまとめる。

KENO による重水臨界水位（各ページ上段の図）の計算結果は、炉心の種類によらず測定値と  $\pm 5\text{cm}$  以内で一致している。TWODANT による計算結果は、ドライバー領域が 0%ボイドの炉心で最大 40cm の過小評価、100%ボイドの炉心では実験値との差が 10cm 以内となっている。

計算精度を反応度単位で比較した結果を図 5-46～図 5-54 に示す。水位差の反応度への換算には、測定で得られた水位反応度係数を用いた。

KENO による計算値と測定値の差は  $0.5\% \Delta k/k$  以内である。

TWODANT の計算精度は、ドライバー領域の軽水冷却材の有無に依存する。試験体を使用しない炉心では、ドライバー領域が 0%ボイドである炉心はほぼ一定の C-E ( $1.5\% \Delta k/k$ ) であるのに対し、100%ボイド炉心である S3-1 炉心のみが  $0.5\% \Delta k/k$  である（図 5-46）。試験体を装荷している炉心についても同様に、0%ボイドの炉心である S2-3,S3-2 では C-E が  $2.5\% \Delta k/k$  に達するが、100%ボイド炉心では  $1\% \Delta k/k$  以内に収まっている。0%ボイドと 100%ボイドが混在している S2-1 炉心では、 $1.5\% \Delta k/k$  以内であり、100%ボイド炉心の S2-2 炉心と 0%ボイド炉心の S2-3 炉心の中間値となる。即ち、ドライバー領域の圧力管内に軽水を注入した炉心では計算精度が悪くなる。

水位反応度係数（各ページ中段の図）の KENO による計算結果には、大きなばらつきがある。このばらつきは、KENO による計算結果には統計的な偏差が含まれることが原因である。即ち、KENO による実効増倍率の計算結果の標準偏差を水位反応度係数の偏差に換算すると、例えば、水位反応度係数を臨界水位近傍  $\pm 5\text{cm}$  の実効増倍率の差より求める場合、KENO の計算で得られる実効増倍率の標準偏差が今回の計算結果では  $\pm 0.0017$  であるから水位反応度係数の偏差は  $\pm 0.00024$  となる。水位反応度係数の評価値は、S2-1 炉心の場合を例に挙げると約 0.06% であり、標準偏差 0.024% は評価値の 40% を占めることになる。従って今回の結果のばらつきは統計的なばらつきであり、計算結果は参考値とする。

TWODANT による水位反応度係数の計算結果は全体的に過小評価となっている。ドライバー領域が 0%ボイドの炉心では 20～30% の過小評価となり、100%ボイドの炉心では 10% 以内の過小評価となる。重水臨界水位についての評価と同様、評価精度はボイド率に依存する。試験体水位の変化に対する水位反応度係数の変化の傾向については、ボイド率によらず計算値と測定値は良く一致している。

KENO による安全棒反応度価値（各ページ下段の図）の計算値は測定値を  $15\% \Delta k/k$  以内で

再現している。

安全棒反応度価値の計算値を測定値に対する比 (C/E) で表し、炉心の種類で大別して比較評価する。

試験体を装荷していない炉心である S1 炉心グループでは、C/E は 0.95～1.10 の範囲にある(図 5-55)。

ボロン入り重水を使用し、試験体を装荷した炉心である S2 炉心グループでは、試験体水位が 200cm 以外は C/E が 1.1 以内であるが、試験体減速材水位 200cm の結果については C/E が 0.75 ～1.20 となり、計算精度が悪化している (図 5-56)。

試験体を装荷しておらず、かつボロンのない重水を使用した炉心である S3 炉心グループでは、S1 炉心と同程度の C/E(0.90～1.15)で得られている (図 5-57)。

試験体を装荷し、かつボロンなし重水を使用した炉心である S4 炉心グループでも、S1 炉心と同程度の C/E(0.85～1.10)が得られている (図 5-58)。

以上の結果より、S2-2 炉心の試験体水位 200cm の場合以外は C/E が 1.15 以内に収まっており、未臨界度測定実験体系における安全棒価値の評価への KENO の適用が有効であることが確認出来た。今回の計算値は安全棒 6 本の価値を 1 / 3 した値を 2 本の価値として近似しているため、C/E のずれをこれ以上詳細に評価することはできない。近似の影響を除去するには、安全棒 2 本の反応度価値を直接計算することが望ましく、計算ヒストリー数を最適化するなど KENO による計算結果の統計精度を向上させる必要がある。

制御棒価値については、価値が 1%以下であり KENO による計算では統計誤差のために正確な評価が困難である。今回の解析結果では C/E で最大 30%を見込む必要がある (図 5-59)。

## ① S1-1 炉心

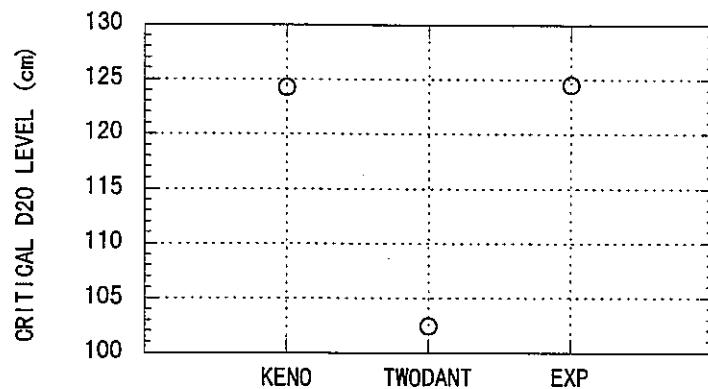


図 5-1 重水臨界水位の比較 (S1-1)

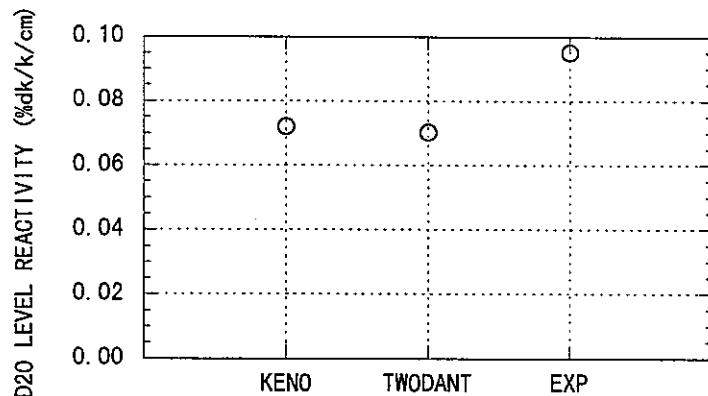


図 5-2 水位反応度係数の比較 (S1-1)

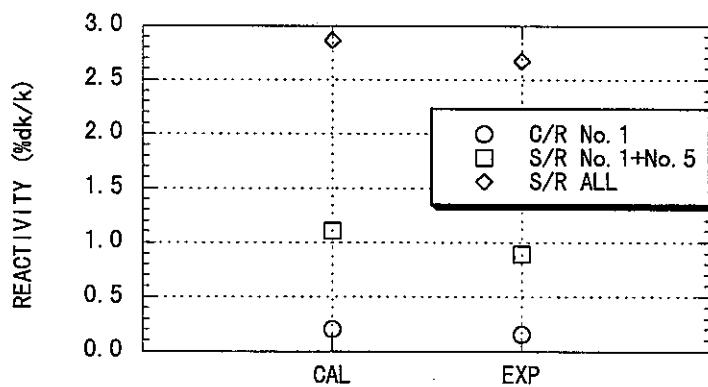


図 5-3 制御棒、安全棒反応度値の比較(S1-1)

② S1-3 炉心

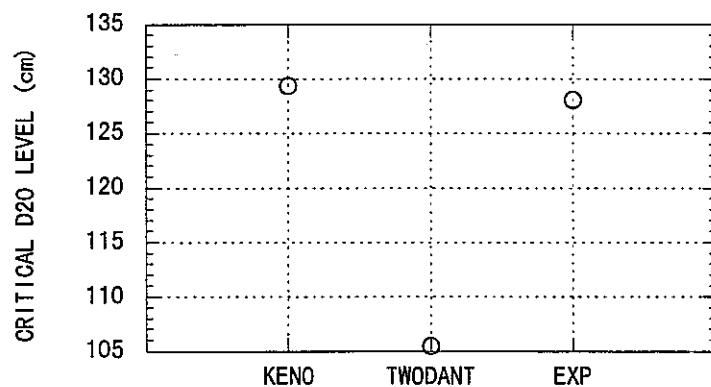


図 5-4 重水臨界水位の比較 (S1-3)

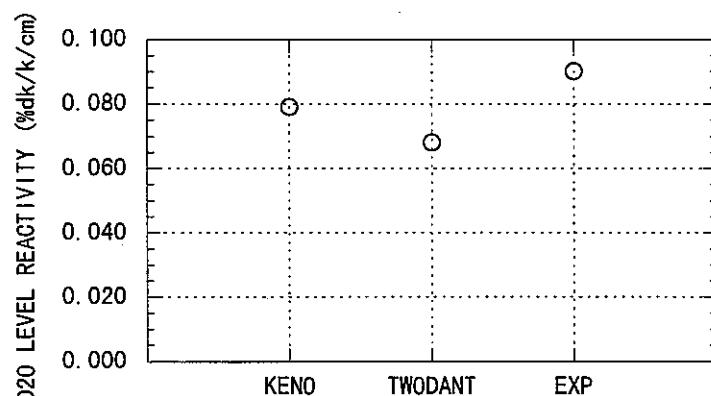


図 5-5 水位反応度係数の比較 (S1-3)

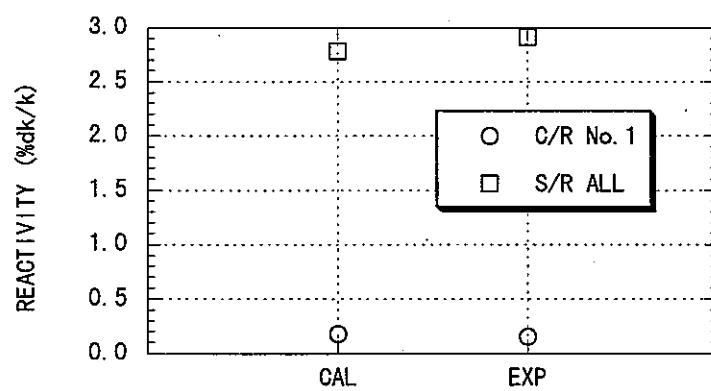


図 5-6 制御棒、安全棒反応度価値の比較(S1-3)

## (3) S1-4 炉心

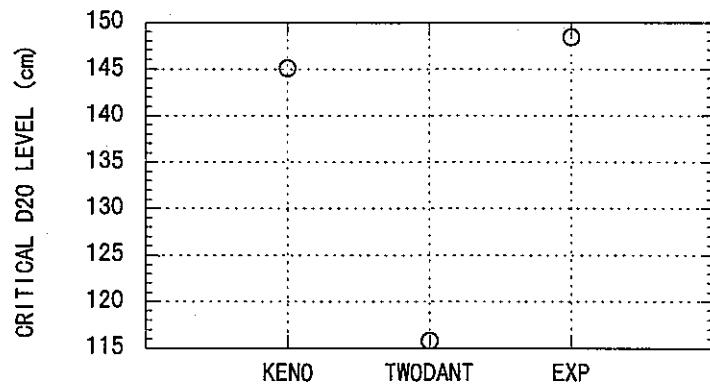


図 5-7 重水臨界水位の比較 (S1-4)

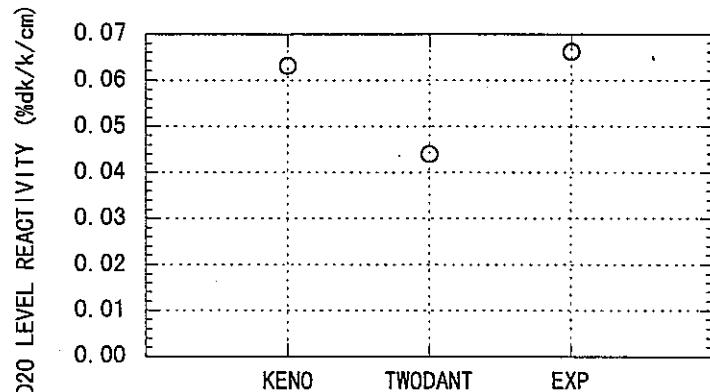


図 5-8 水位反応度係数の比較 (S1-4)

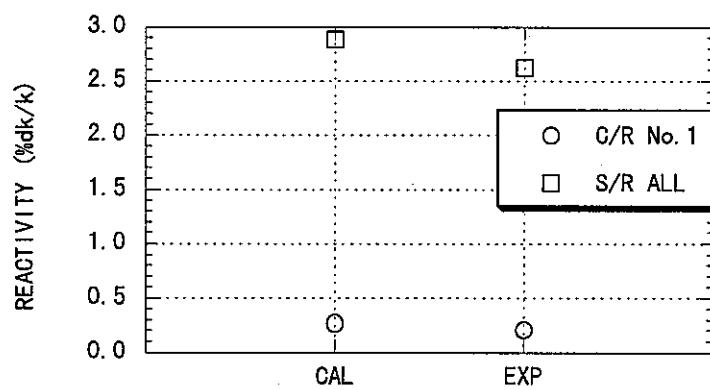


図 5-9 制御棒、安全棒反応度値の比較(S1-4)

④ S1-5 炉心

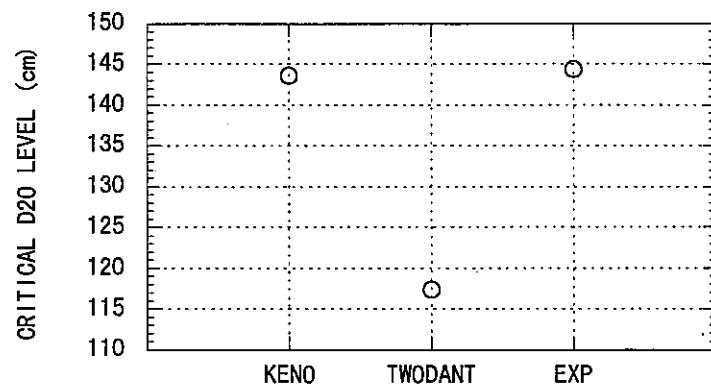


図 5-10 重水臨界水位の比較 (S1-5)

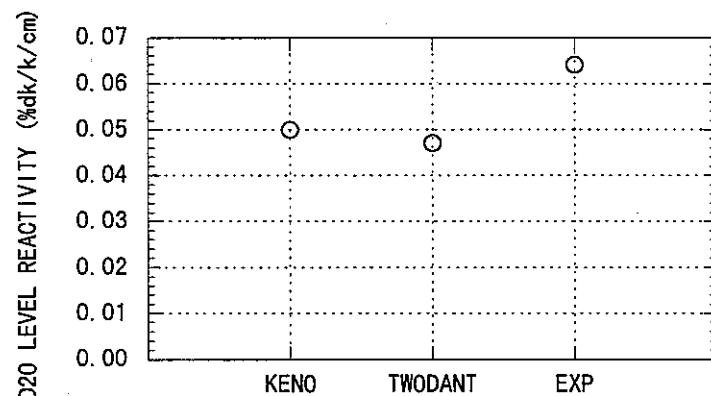


図 5-11 水位反応度係数の比較 (S1-5)

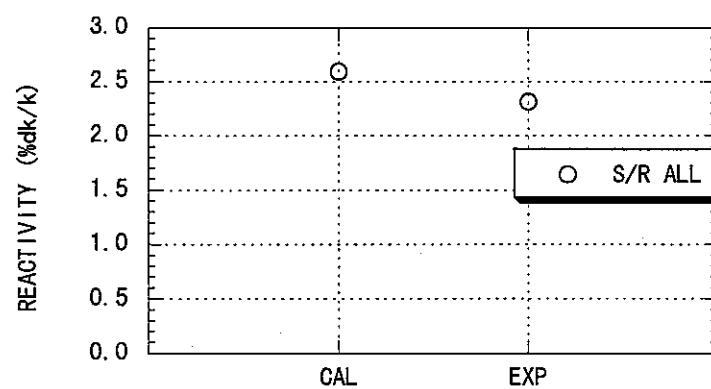


図 5-12 安全棒反応度価値の比較(S1-5)

## ⑤ S1-7 炉心

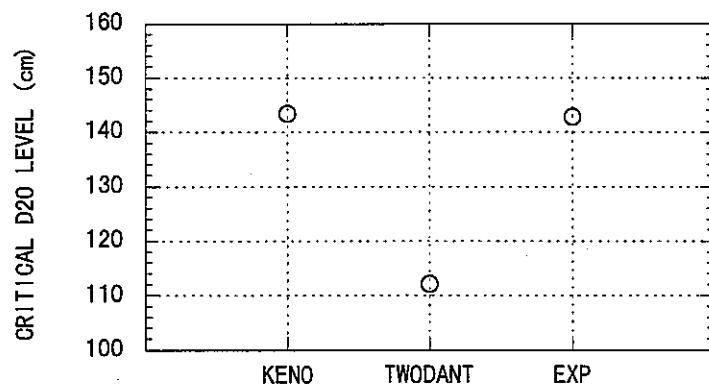


図 5-13 重水臨界水位の比較 (S1-7)

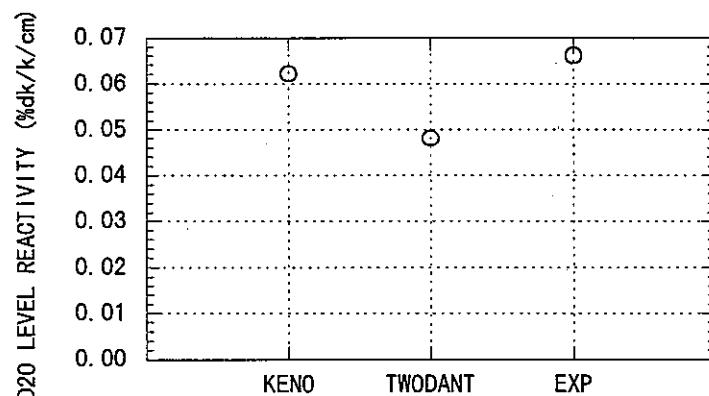


図 5-14 水位反応度係数の比較 (S1-7)

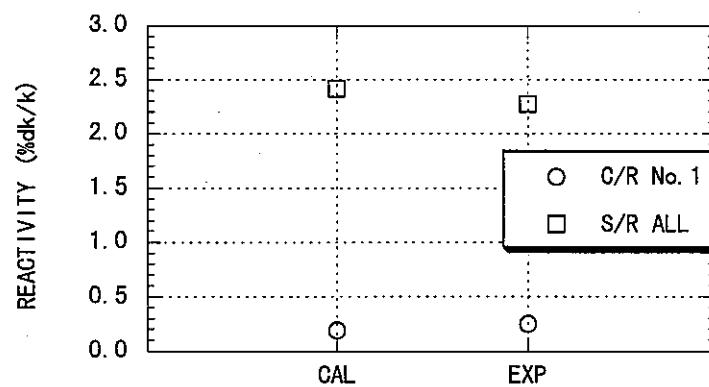


図 5-15 制御棒、安全棒反応度価値の比較(S1-7)

## ⑥ S2-1 炉心

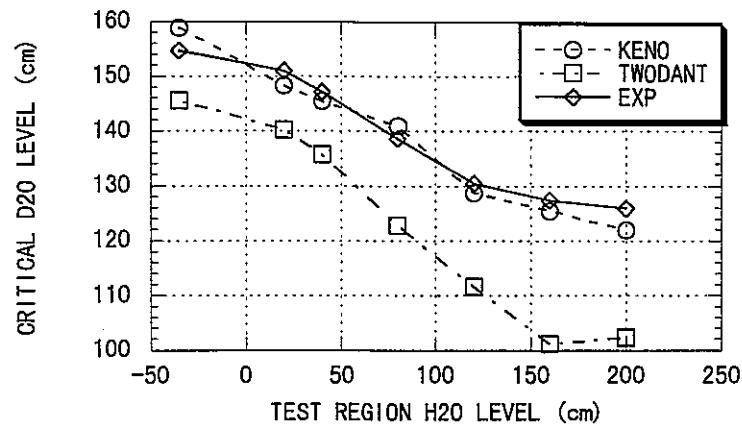


図 5-16 重水臨界水位の比較 (S2-1)

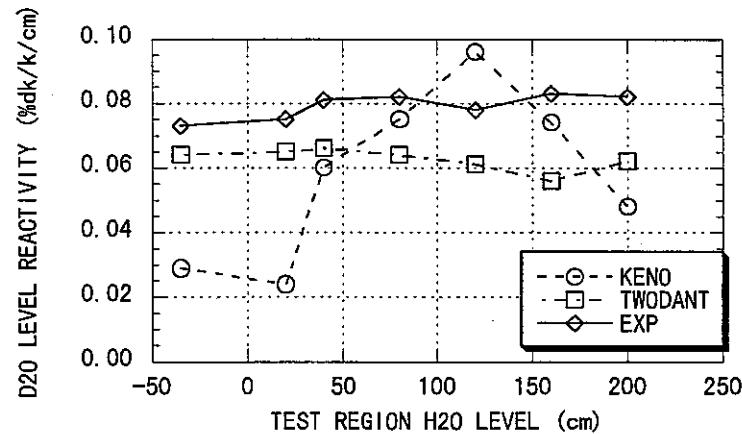


図 5-17 水位反応度係数の比較 (S2-1)

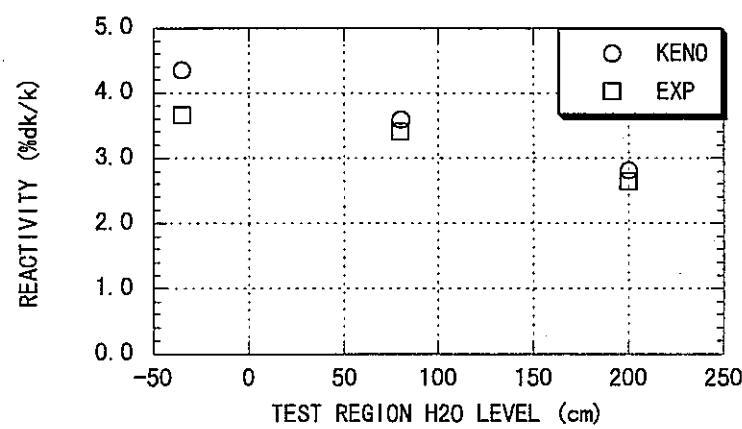


図 5-18 安全棒反応度価値の比較(S2-1)

## ⑦ S2-2 炉心

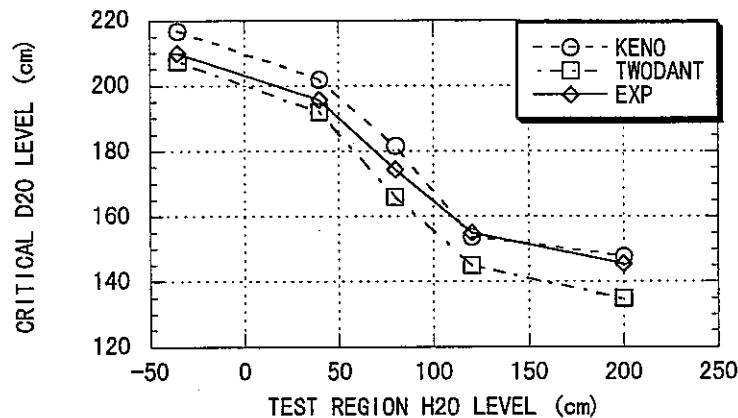


図 5-19 重水臨界水位の比較 (S2-2)

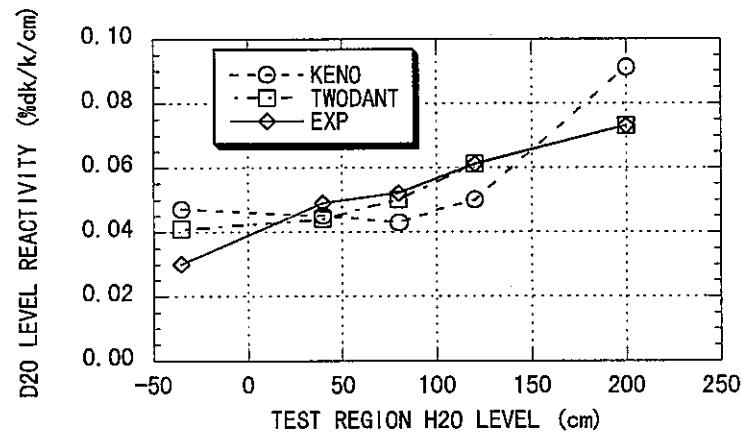


図 5-20 水位反応度係数の比較 (S2-2)

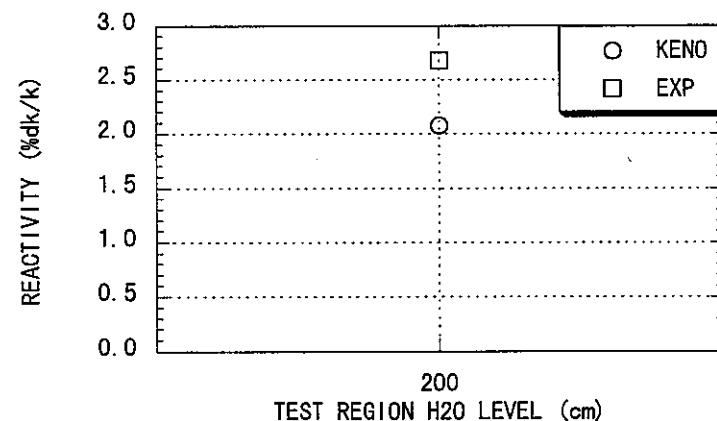


図 5-21 安全棒反応度価値の比較(S2-2)

## (8) S2-3 壷心

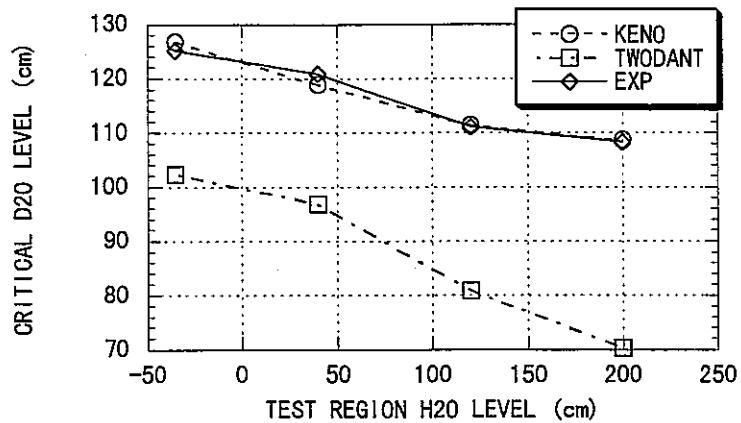


図 5-22 重水臨界水位の比較 (S2-3)

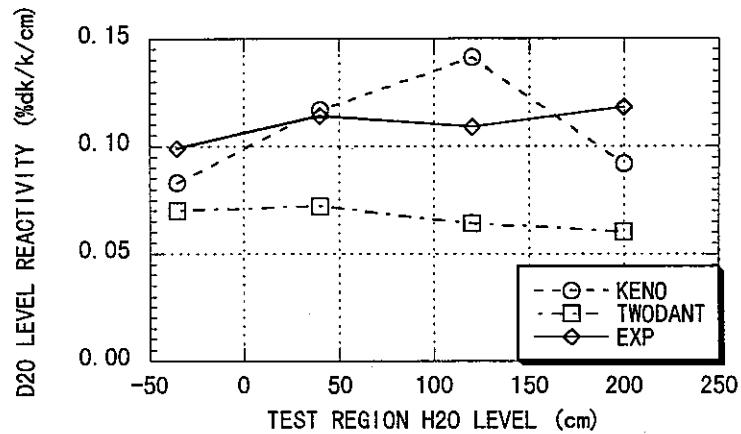


図 5-23 水位反応度係数の比較 (S2-3)

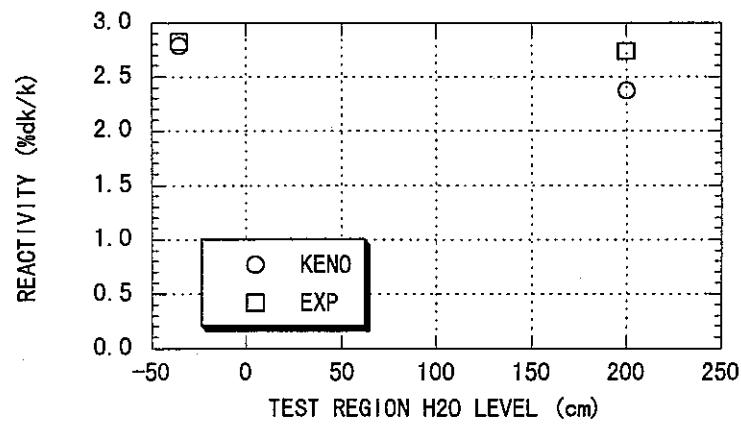


図 5-24 安全棒反応度価値の比較(S2-3)

## ⑨ S3-1 炉心

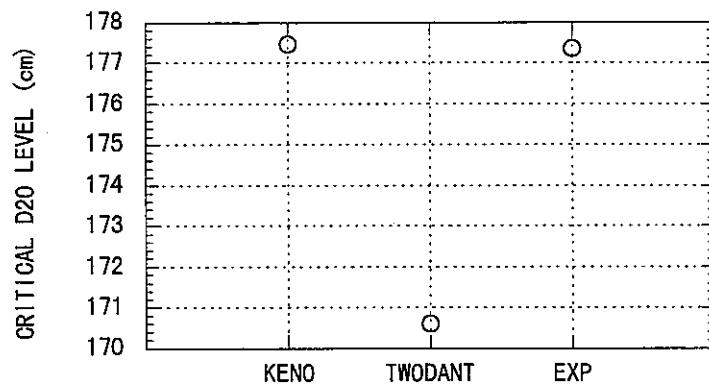


図 5-25 重水臨界水位の比較 (S3-1)

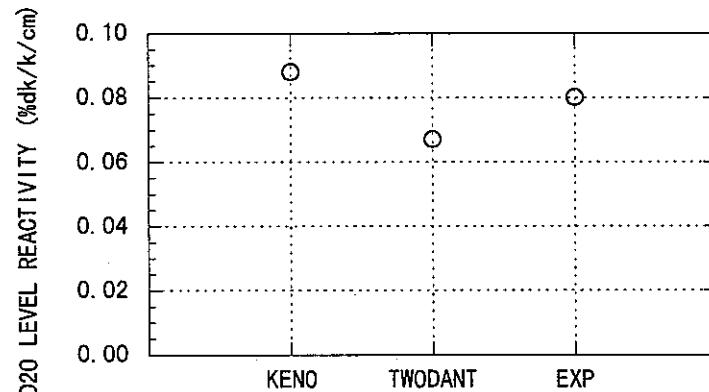


図 5-26 水位反応度係数の比較 (S3-1)

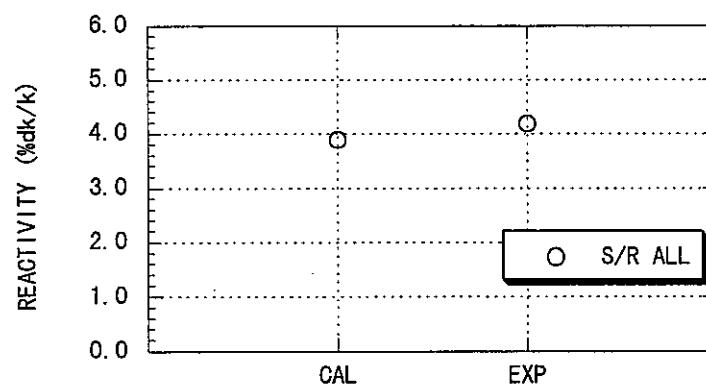


図 5-27 安全棒反応度価値の比較(S3-1)

## ⑩ S3-2 炉心

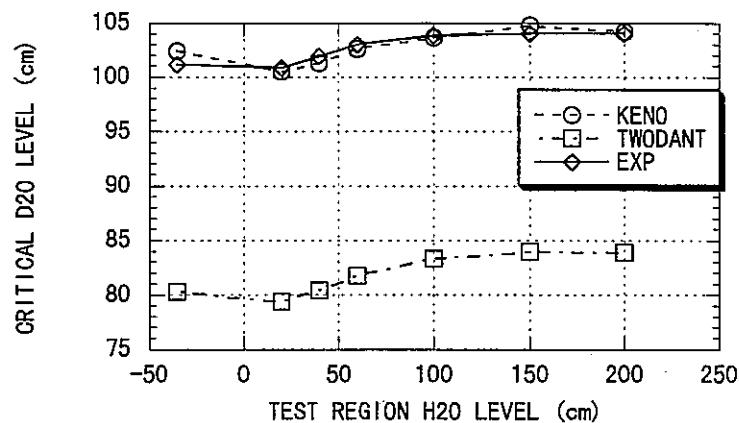


図 5-28 重水臨界水位の比較 (S3-2)

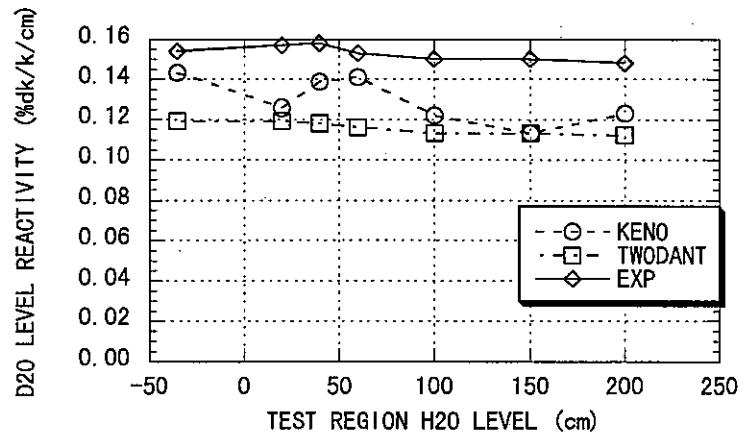


図 5-29 水位反応度係数の比較 (S3-2)

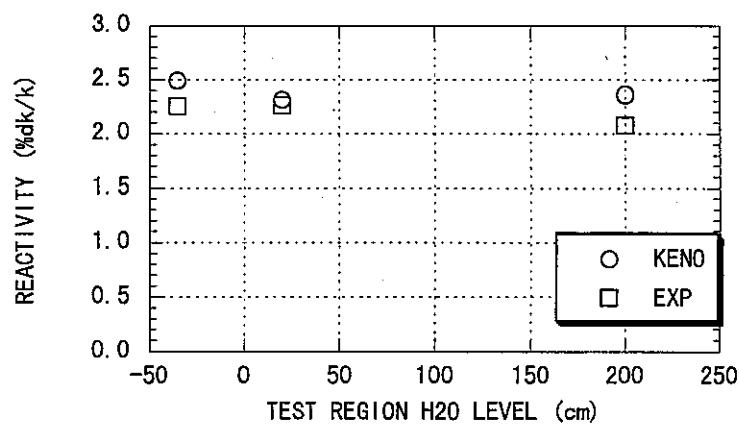


図 5-30 安全棒反応度価値の比較(S3-2)

⑪ S3-3 炉心

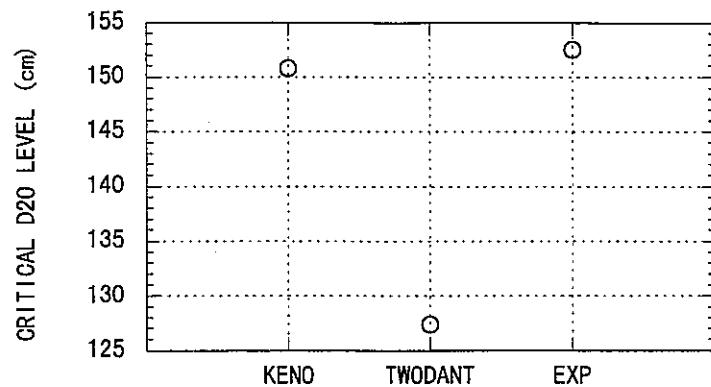


図 5-31 重水臨界水位の比較 (S3-3)

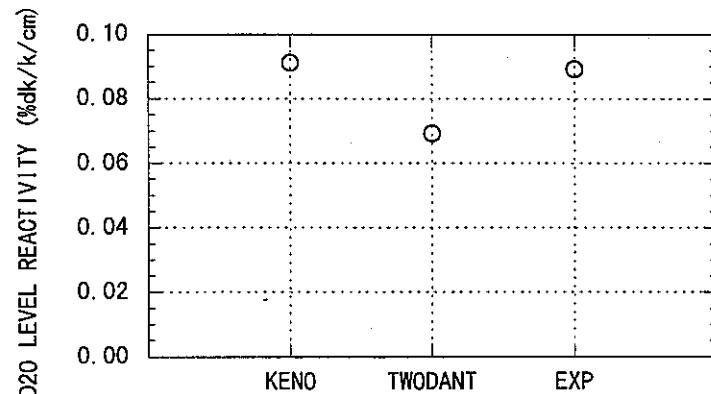


図 5-32 水位反応度係数の比較 (S3-3)

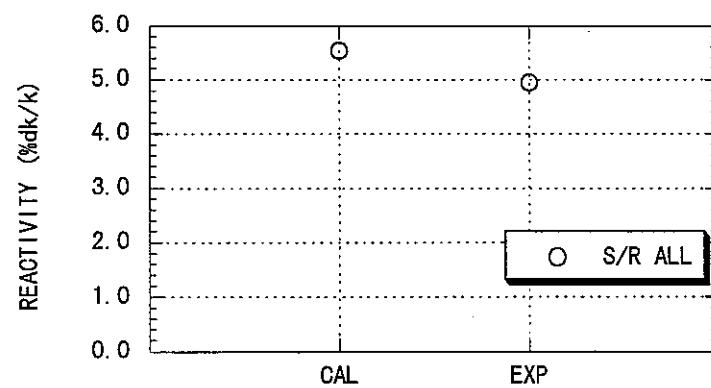


図 5-33 安全棒反応度価値の比較(S3-3)

## (12) S4-1 廉心

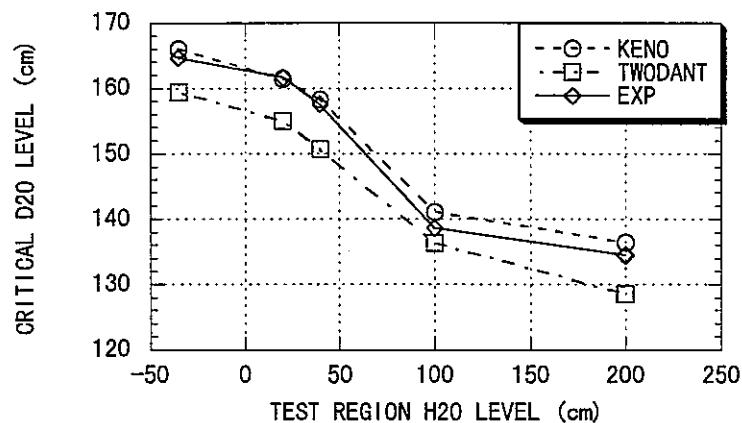


図 5-34 重水臨界水位の比較 (S4-1)

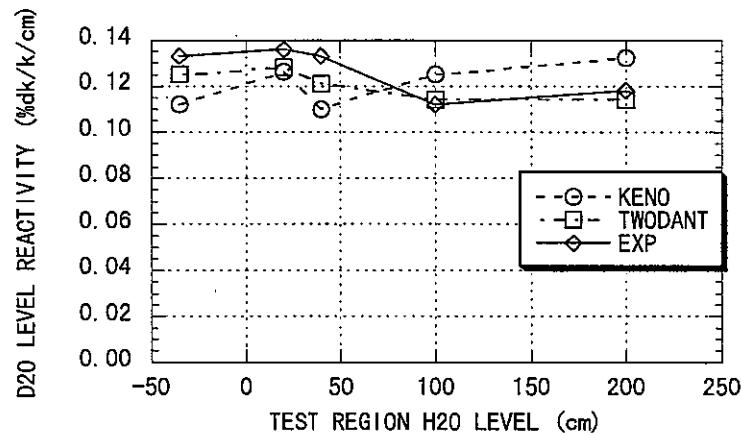


図 5-35 水位反応度係数の比較 (S4-1)

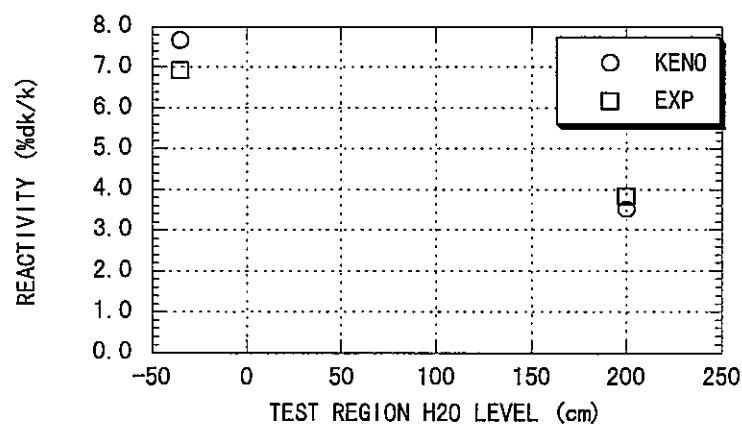


図 5-36 安全棒反応度価値の比較(S4-1)

## (13) S4-2 炉心

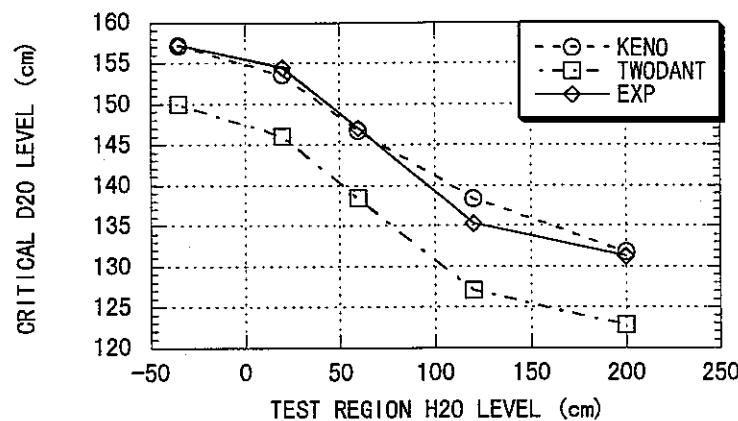


図 5-37 重水臨界水位の比較 (S4-2)

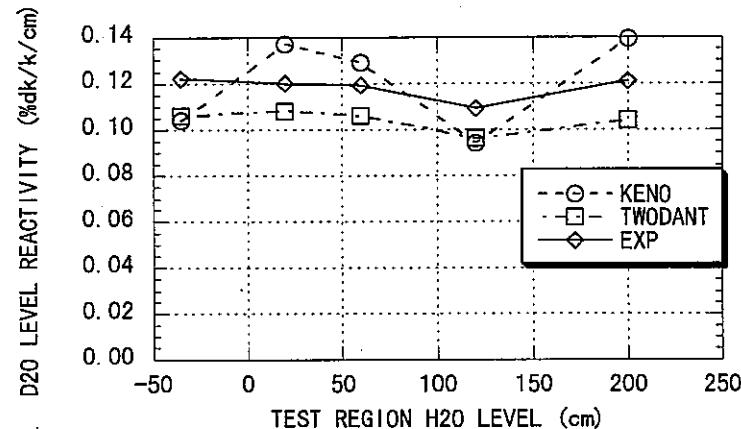


図 5-38 水位反応度係数の比較 (S4-2)

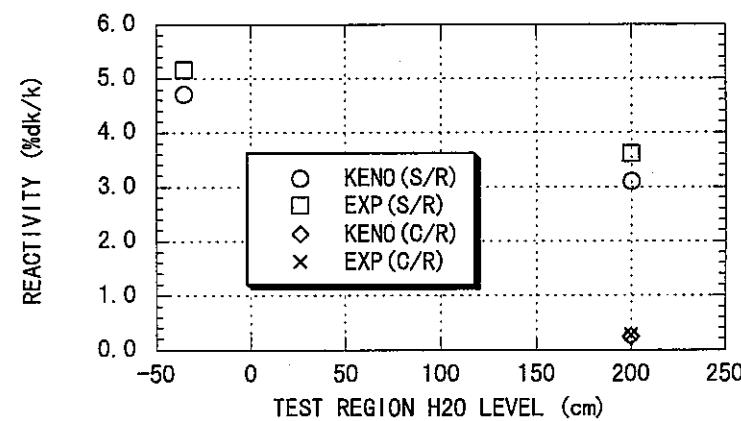


図 5-39 制御棒、安全棒反応度価値の比較(S4-2)

## ⑭ S4-3 堆心

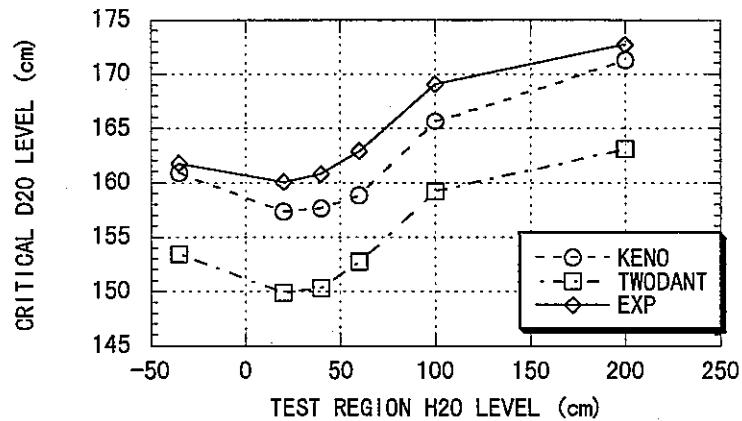


図 5-40 重水臨界水位の比較 (S4-3)

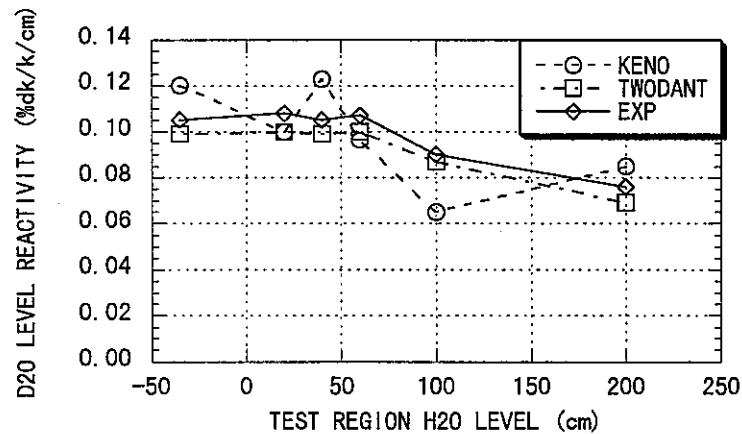


図 5-41 水位反応度係数の比較 (S4-3)

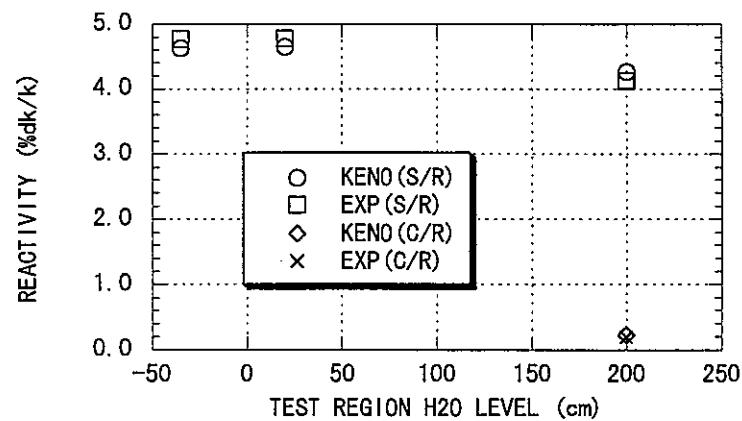


図 5-42 制御棒、安全棒反応度価値の比較(S4-3)

## ⑯ S4-4 炉心

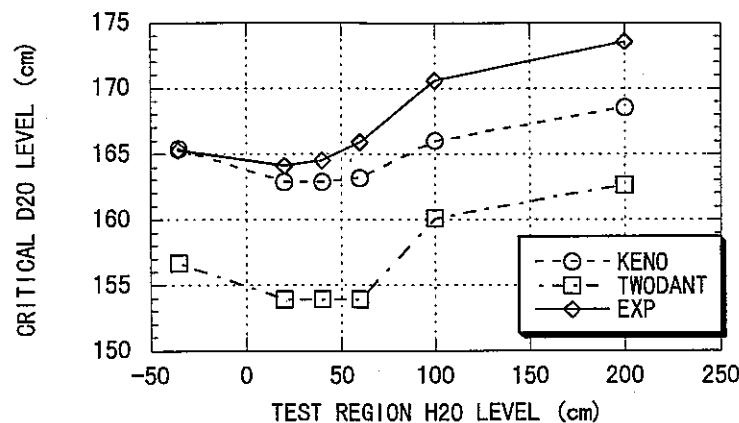


図 5-43 重水臨界水位の比較 (S4-4)

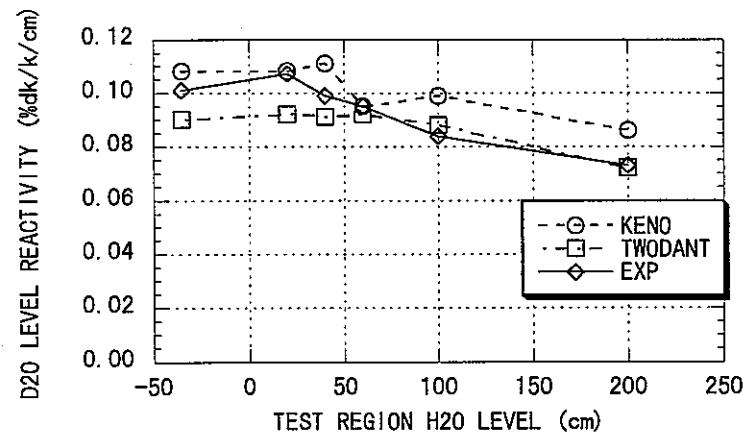


図 5-44 水位反応度係数の比較 (S4-4)

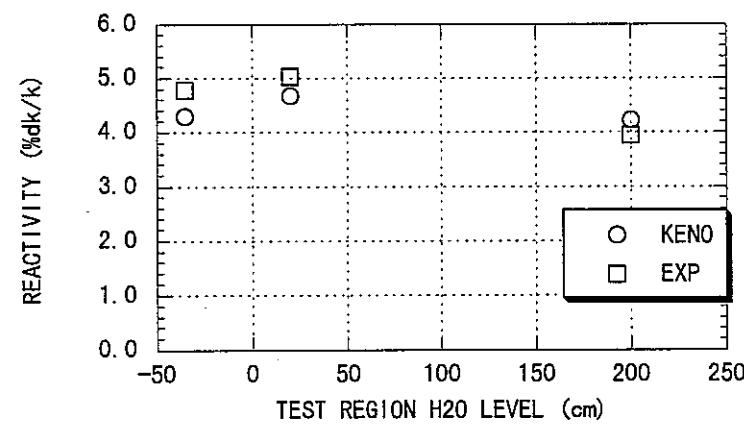


図 5-45 安全棒反応度価値の比較(S4-4)

## ⑯ 重水臨界水位のまとめ

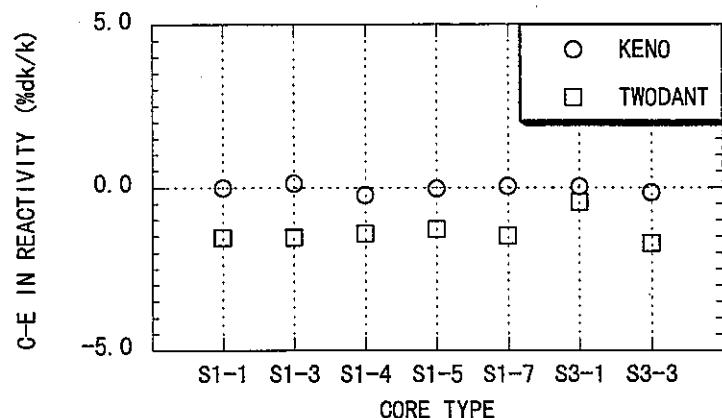


図5-46 試験体を使用しない炉心

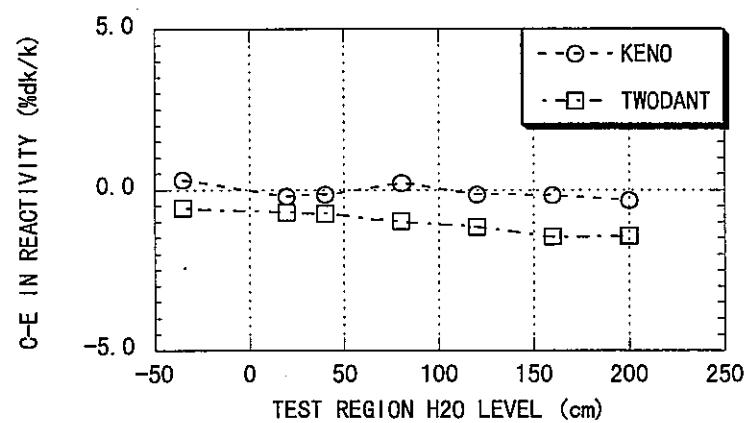


図5-47 S2-1炉心

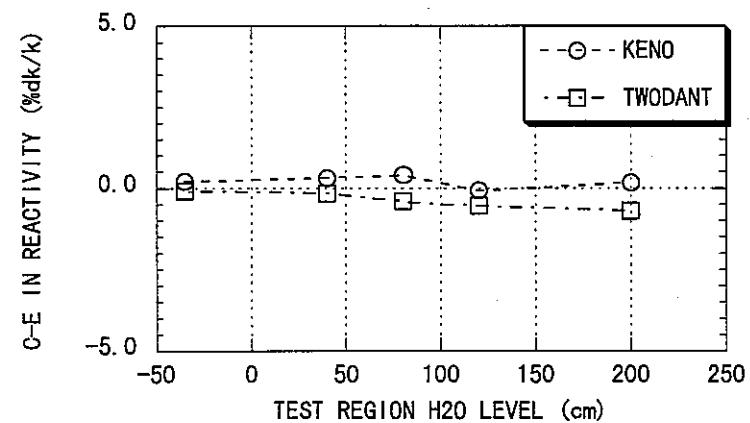


図5-48 S2-2炉心

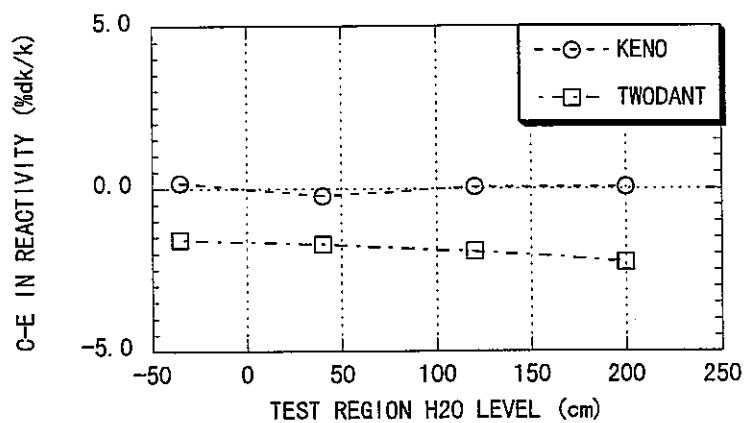


図5-49 S2-3炉心

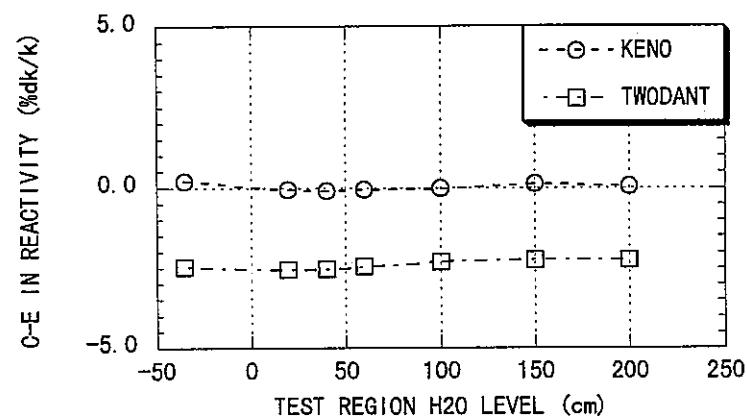


図5-50 S3-2炉心

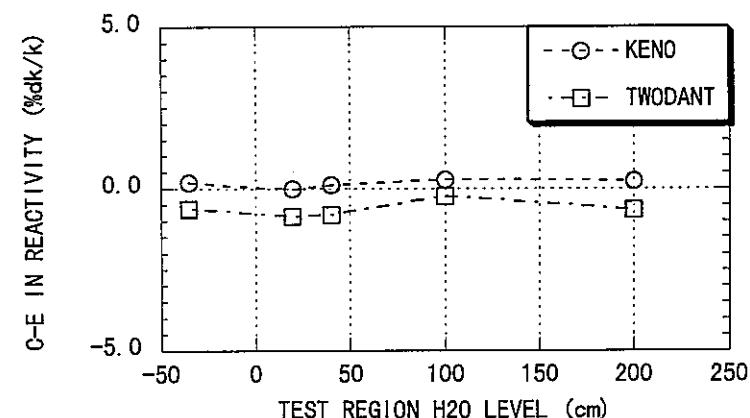


図5-51 S4-1炉心

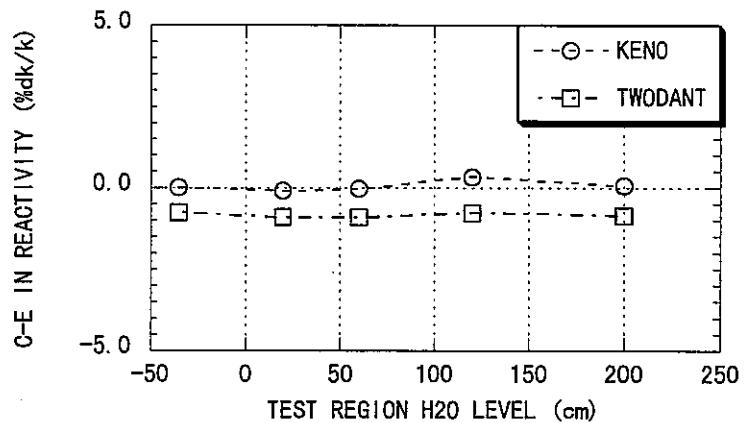


図5-52 S4-2炉心

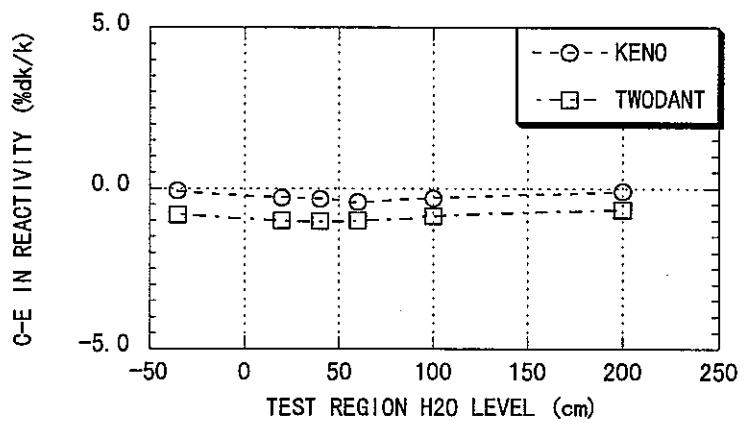


図5-53 S4-3炉心

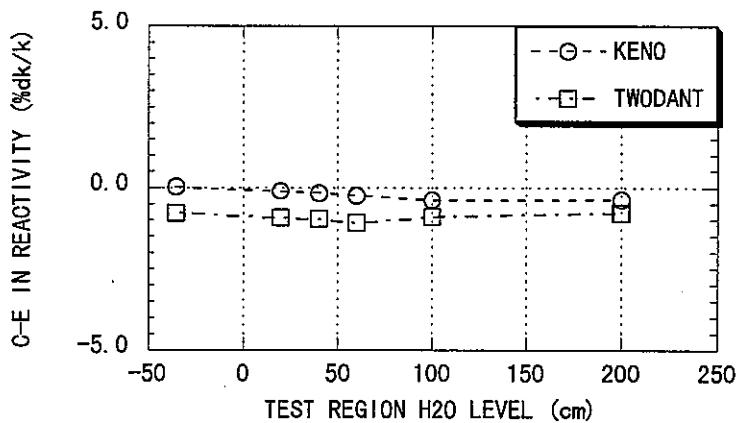


図5-54 S4-4炉心

## (17) 安全棒（制御棒）反応度価値のまとめ

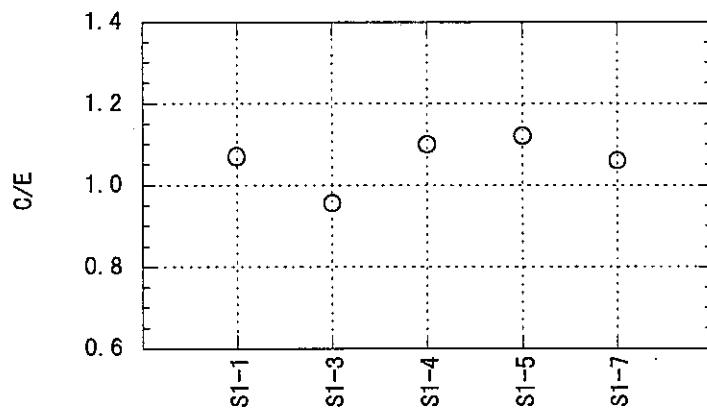


図5-55 S1炉心についてのC/E一覧

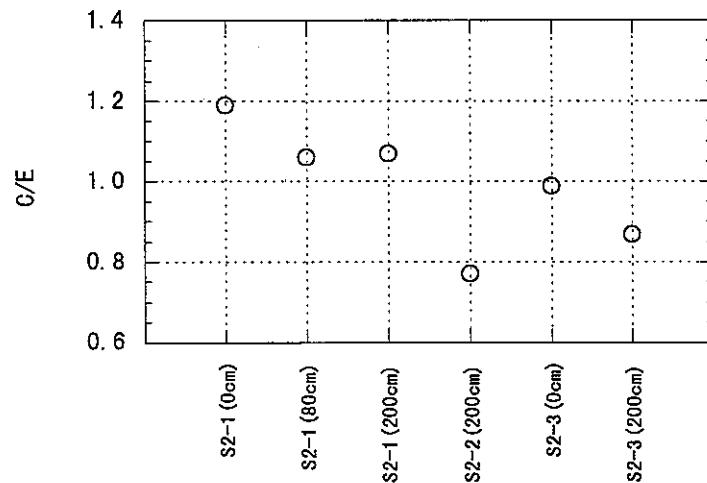


図5-56 S2炉心についてのC/E一覧

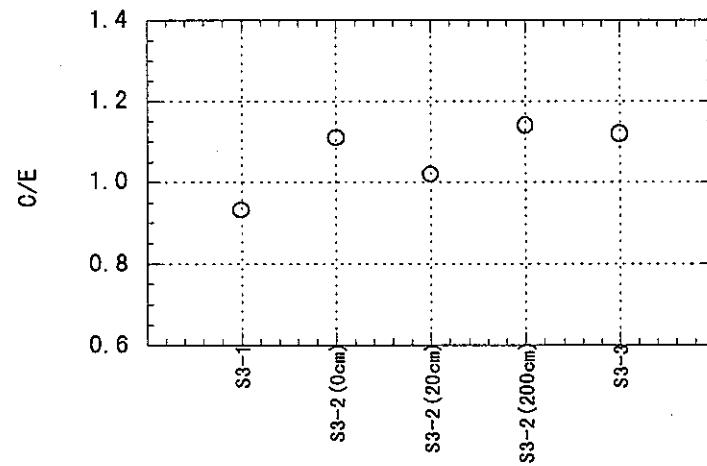


図5-57 S3炉心についてのC/E一覧

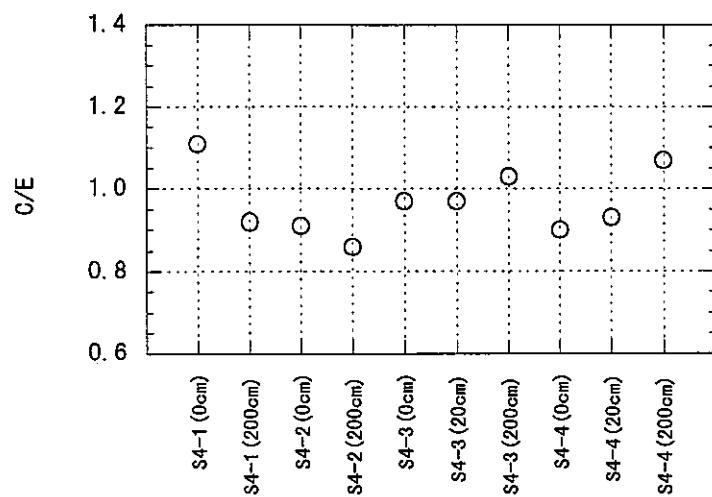


図5-58 S4炉心についてのC/E一覧

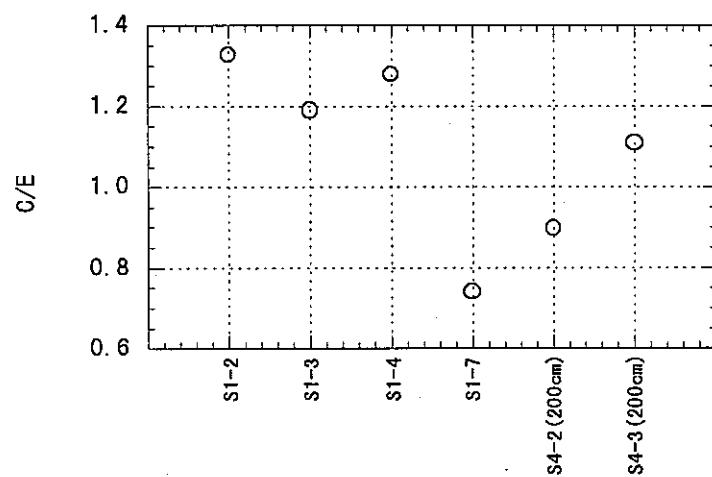


図5-59 制御棒反応度値についてのC/E一覧

## 5.2 計算精度の評価

炉心の特徴に着目して実効増倍率の計算精度を評価し、計算精度に影響を与える原因を特定する。

### 5.2.1 重水中のボロン

ボロンを含む重水を用いた炉心について、ボロン濃度は 4.953ppm と測定されているが、測定サンプルにより数%のばらつきがある。ボロン含有時の計算値の信頼性を確認するために、重水中のボロンの有無をパラメータとして測定値と計算精度を示す。

対象とする炉心は、ドライバー領域の圧力管内に軽水が満たされている炉心（0%ボイド炉心）として、S1-7 炉心と S3-2 炉心（試験体減速材なしの時）、及び、圧力管内に軽水が注入されていない炉心（100%ボイド炉心）として、S2-2 炉心と S4-2 炉心（共に試験体減速材なしの時）である。

図 5-60 に示す様に、ボロンが存在すると、臨界水位が約 40cm 上昇する。計算精度について KENO による計算結果を図 5-61 に示す。計算精度はボロン濃度に依存せず 0.2%  $\Delta k/k$  以内であり、ボロン濃度の評価値が信頼できることが確認できる。

### 5.2.2 試験体の有無

試験体領域の断面積はセル計算によって均質化している（4.1.4 節参照）。試験体領域の巨視的断面積の妥当性を評価する。

試験体の装荷（試験体領域に給水は行わない）をパラメータとして測定値と計算精度を示す。試験体には種類があるが、2.7% 濃縮二酸化ウラン燃料棒を 140 本使用した試験体で評価する。対象とする炉心は、0% ボイド炉心として S1-1 炉心と S1-7 炉心、及び、100% ボイド炉心として S4-2 炉心（試験体減速材なしの時）と S3-1 炉心である。

図 5-62 に示す様に、試験体を装荷すると臨界水位が約 20cm 低下する。計算精度について KENO による計算結果を図 5-63 に示す。計算精度に依存性がなく、試験体領域の断面積作成法に問題がない事が分かる。

### 5.2.3 試験体の種類及び試験体減速材の水位

試験体は、試験体に使用する燃料棒の本数と種類により 3 種類に分類できる（表 2-1 参照）。

試験体領域に装荷する試験体の種類及び試験体減速材（軽水）水位をパラメータとして測定値と計算精度を示す。

図 5-64 に示す様に、試験体減速材水位に対する臨界水位の変化は、試験体の種類によって大きく異なる。これは、試験体減速材水位によって幾何学的な形状と試験体とドライバー領域のインポーテンスが複雑に変化しているためである。図 5-65 に KENO による計算精度を示す。試験体減速材水位に依らず 0.5%  $\Delta k/k$  以内の精度である。試験体の種類が異なっても、更に、試験体領域に減速材が存在しても試験体の断面積作成法には問題がない事が分かる。

### 5.2.4 ドライバー領域の燃料体の本数

ドライバー燃料の燃料体本数が少ない場合には、セル計算で均質化されるドライバー燃料領域

が小さくなるため、TWODANT と KENO で使用する計算モデルの相違点であるドライバー領域の均質化(4.1.4 節参照)の影響が小さくなる。図 5-66～71 にドライバー領域に装荷する燃料集合体の本数が大きく異なる 2 ケースについて、100%ボイド炉心と 0%ボイド炉心とに分けて測定値と計算精度を示す。

図に示されているように、KENO の計算精度にはドライバー領域の燃料体の本数に対する依存性がない。

TWODANT の計算では、100%ボイドの炉心の場合は、ドライバー領域の燃料体の本数に対する計算精度の依存性が弱いが、0%ボイドの炉心の場合はドライバー燃料体の本数の少ない方が計算精度が  $2.5\% \Delta k/k$  から  $1.7\% \Delta k/k$  に改善される。0%ボイドの炉心についてのドライバー領域の均質化手法に問題があると考えられる。

### 5.2.5 圧力管内のボイド率

図 5-72～75 にドライバーの圧力管内に軽水がない場合(100%ボイド)とある場合(0%ボイド)の測定値と計算精度を示す。

KENO の計算精度にはボイド率に対する依存性はないが、TWODANT の計算では 0%ボイド炉心の方が 100%ボイド炉心に比べて  $2\sim3\% \Delta k/k$  計算精度が悪化する。やはり、0%ボイドのドライバー領域の均質化手法に問題がある。

### 5.2.6 外側カランドリア管の有無

S1-4 炉心は S1-5 炉心に軽水が 80cm 入ったカランドリア管を 4 本装荷した炉心であり、重水臨界水位が 4cm 異なる(図 5-76)。KENO による計算ではこのような複雑な体系でも臨界水位を正確に評価する(図 5-77)。

### 5.2.7 まとめ

DCA 未臨界度測定試験体系の炉心基本特性の測定値を、多群モンテカルロコード KENO 及び 2 次元 Sn 輸送計算コード TWODATN を用いて評価した。以上のように、KENO による計算結果は、炉心の種類によらず優れた精度を有することが確認された。TWODANT による計算では、特に、圧力管内に軽水が注入されている場合のセル計算に課題のあることが明らかとなった。

KENO と TWODANT ではドライバー領域の断面積の均質化手法が異なる(4.1.4 節参照)。KENO の計算で用いる断面積は圧力管内部のみを均質化しており、TWODANT の計算で用いる断面積ではさらに圧力管、カランドリア管、重水(又は空気)を均質化(ドライバー領域全体を均質化)している。

断面積の均質化手法の影響を確認するために、KENO による計算に TWODANT で用いる計算モデル、断面積を適用し、TWODANT の結果と比較した。計算対象の炉心は、S2-3 炉心(0%ボイド炉心、高反応度試験体装荷)で試験体減速材水位が 200cm の体系である。重水水位は臨界水位測定値(108.28cm)に設定した。表 5-1 に結果を示す。圧力管内部のみを均質化した計算では、 $0.2\% \Delta k/k$  の精度で測定値を再現するが、KENO でドライバー領域全体を均質化した断面積(TWODANT で使用した断面積)を用いると、 $2.5\% \Delta k/k$  の差が生じる。TWODANT の計算結果では、誤差は  $2.3\% \Delta k/k$  であり、同じ平均断面積を使用した場合、KENO と TWODANT の結果は一致する。以上の結果から、TWODANT コードの計算精度に問題があるのではなく、

ドライバー領域のセル計算が精度を決定していることが確認できる。

表 5-1 ドライバー領域均質化の影響

圧力管内部のみ均質化	ドライバー領域全体を均質化	
KENO*	KENO*	TWODANT
1.0020	1.0248	1.0227

\*ヒストリー数 1000 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma = 0.0010$

ドライバー領域のセル計算を更に詳細に検討する。セル計算は、減速材（重水）が存在する領域（WET 領域）と存在しない領域（DRY 領域）の 2 通りに分けて行われる。各領域の計算精度に与える影響を明らかにするために、表 5-1 の計算において、DRY 領域を空気で置き換えて取り去り、ドライバー領域には WET 領域のみが存在する体系を構成する。

表 5-2 に計算結果を示す。これまでの検討結果より、圧力管内部のみを均質化した KENO の計算結果を基準とする。表 5-1 に示した圧力管内部のみを均質化した場合の計算結果と比較すると、DRY 領域を取り除くことによって、 $1.5\% \Delta k/k$  反応度が低下する。ドライバー領域全体を均質化した場合の計算結果は、DRY 領域が存在する場合と同様、計算コードに依存しない。

表 5-2 ドライバー領域均質化の影響 (DRY 領域を空気で置換)

圧力管内部のみ均質化	ドライバー領域全体を均質化	
KENO*	KENO*	TWODANT
0.9873	0.9928	0.9938

\*ヒストリー数 1000 (発生数) ×300 (世代)  $\sigma = 0.0010$

DRY 領域が存在する場合と存在しない場合とで均質化手法の差が与える影響を比較する。比較は KENO による計算結果で行う。

DRY 領域が存在する場合（表 5-1）は、全体を均質化することにより  $2.3\% \Delta k/k$  の差が、DRY 領域が存在しない場合（表 5-2）は、 $0.6\% \Delta k/k$  の差が生じる。DRY 領域の寄与は  $1.7\% \Delta k/k$  となり、計算値の誤差の約 70% を占めている。

以上により、TWODANT の計算精度を向上するには、セル計算において、特に DRY 領域の改善が重要であることが明らかになった。

① 重水中へのボロン添加の影響

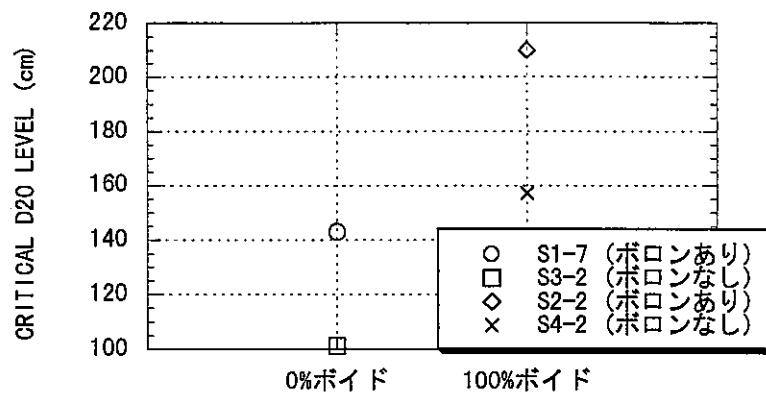


図5-60 重水中のボロンの有無（測定値）

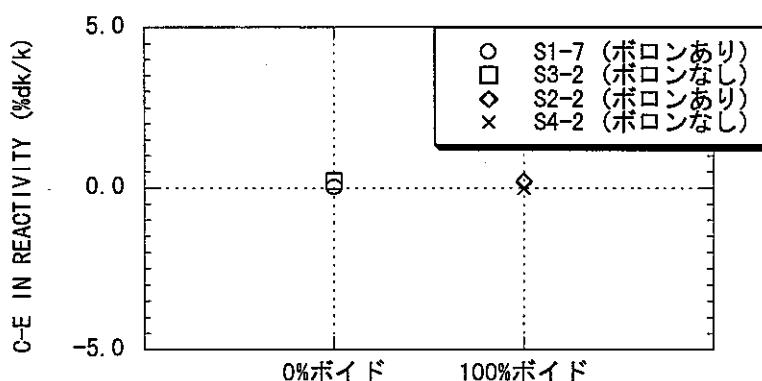


図5-61 重水中のボロンの有無(C-E KENO)

## ② 試験体の影響

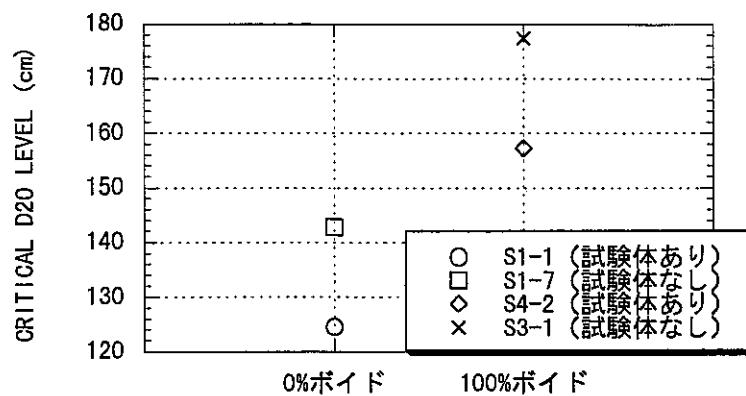


図5-62 試験体の効果（測定値）

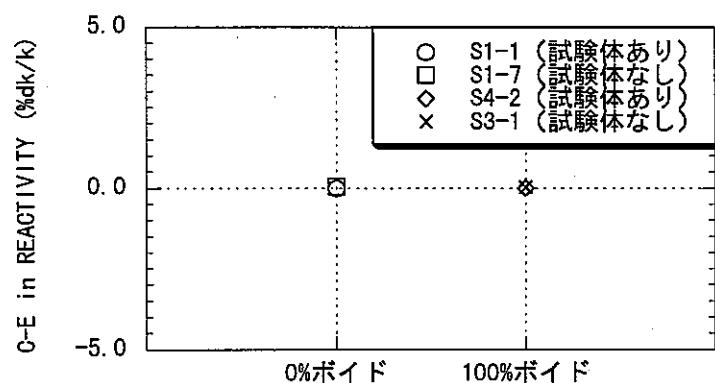


図5-63 試験体の効果 (C-E KENO)

## (3) 試験体の種類の影響

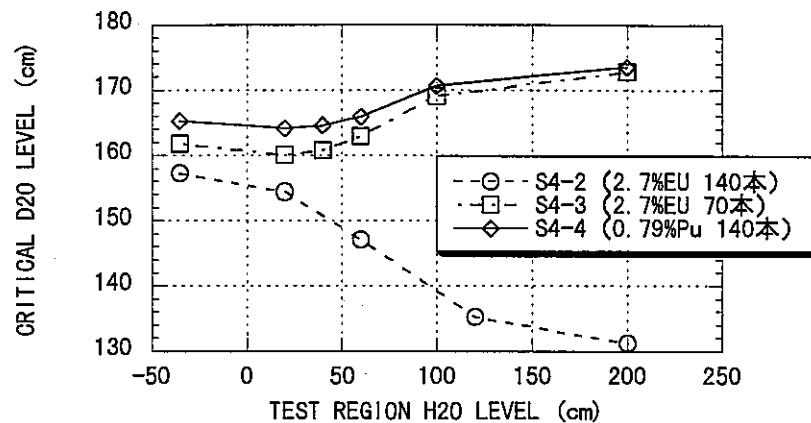


図5-64 高反応度試験体と低反応度試験体と7R試験体（測定値）

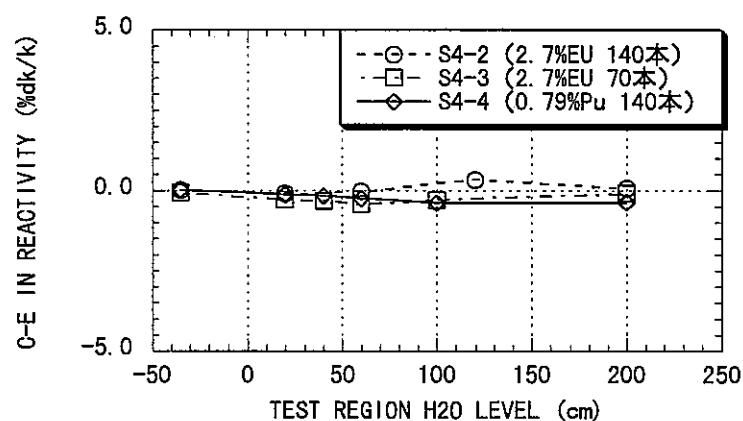


図5-65 高反応度試験体と低反応度試験体と7R試験体（C-E KENO）

## (4) ドライバー領域の燃料体本数の影響

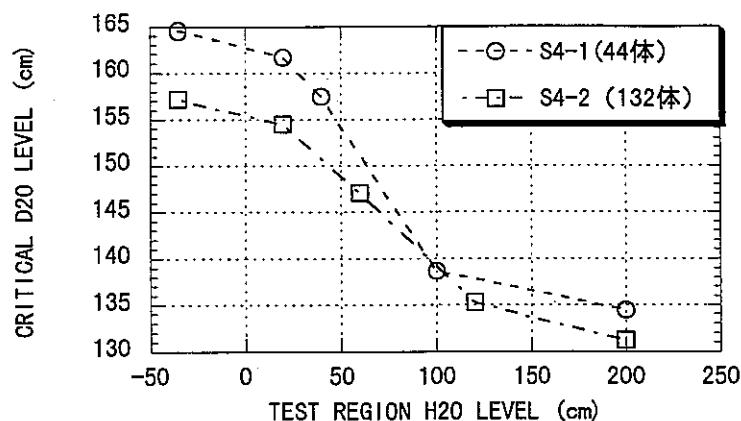


図5-66 ドライバー本数の影響(測定値 100%ボイド)

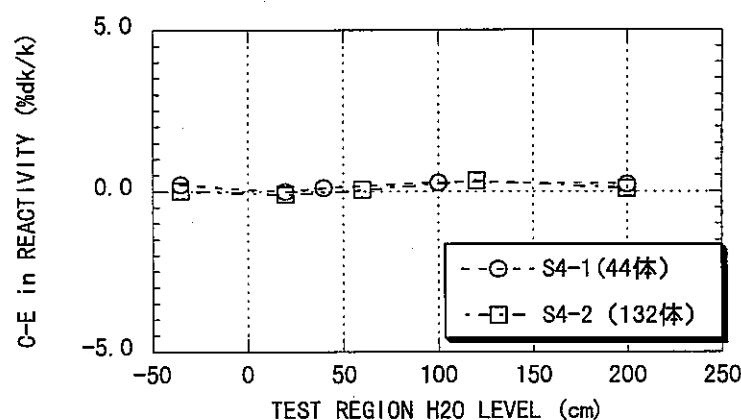


図5-67 ドライバー本数の影響(C-E KENO 100%ボイド)

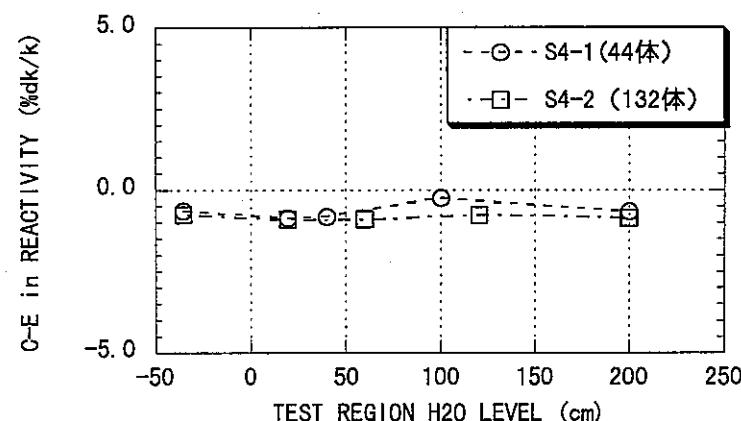


図5-68 ドライバー本数の影響(C-E TWODANT 100%ボイド)

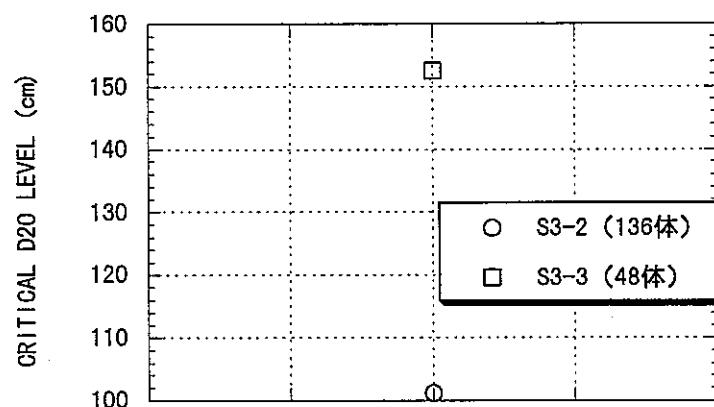


図5-69 ドライバー本数の影響(測定値 0%ボイド)

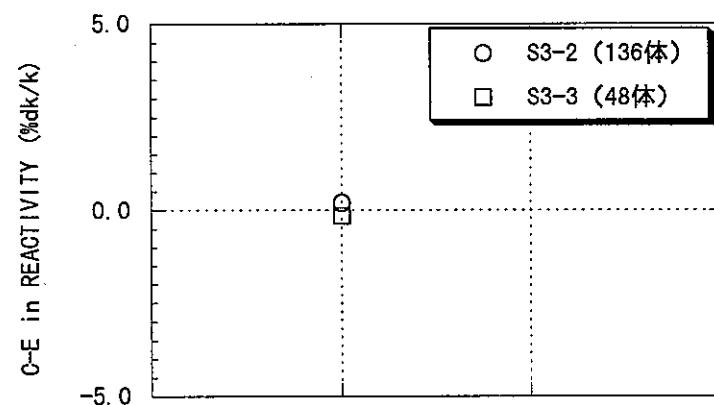


図5-70 ドライバー本数の影響(C-E KENO 0%ボイド)

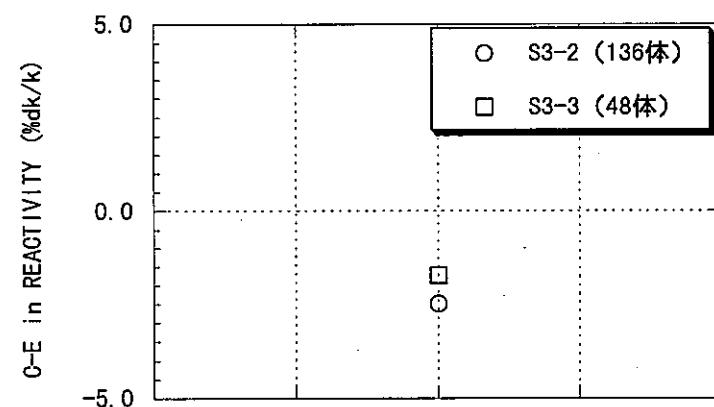


図5-71 ドライバー本数の影響(C-E TWODANT 0%ボイド)

## ⑤ 圧力管内のボイド率の影響

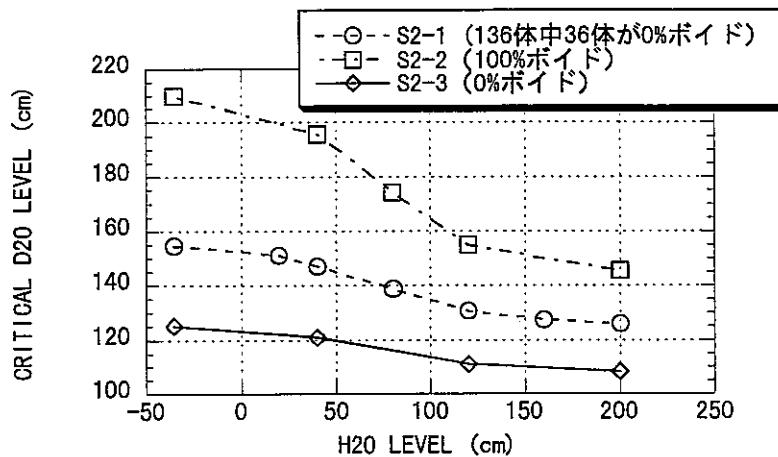


図5-72 0%ボイドと100%ボイドの比較（測定値）

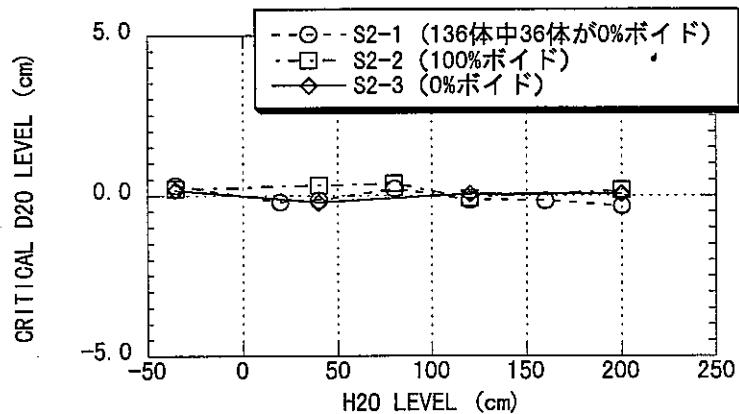


図5-73 0%ボイドと100%ボイドの比較（C-E KENO）

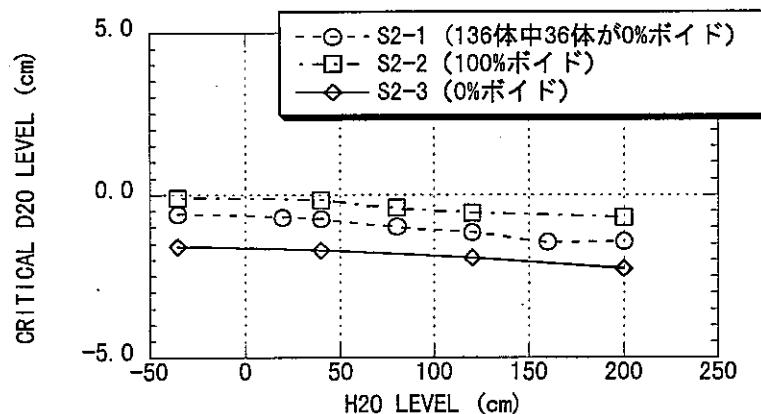


図5-74 0%ボイドと100%ボイドの比較（C-E TWODANT）

⑥ 外側カランドリア管の影響

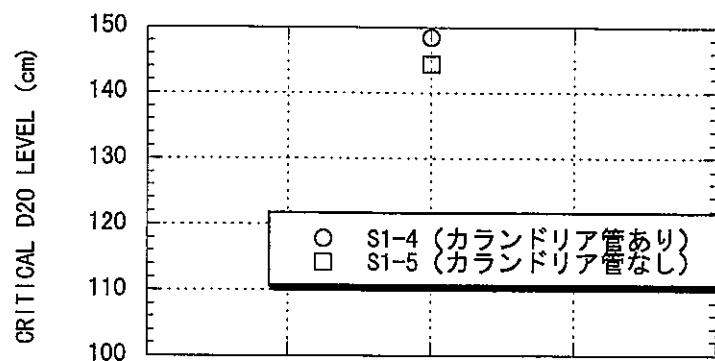


図5-75 外側カランドリア管の影響（測定値）

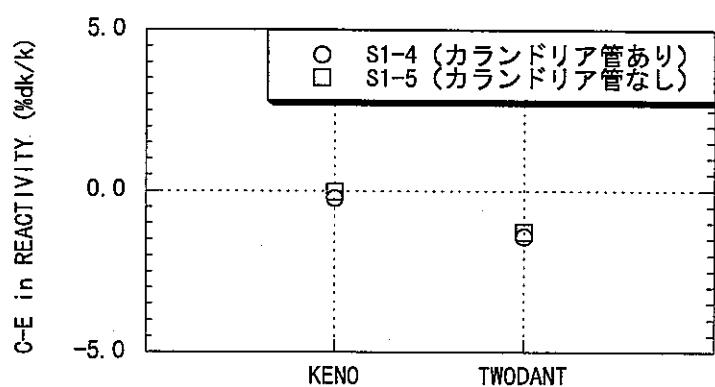


図5-76 外側カランドリア管の影響（C-E）

### 5.3 中性子束分布

燃料を照射した後の核分裂生成物の崩壊 $\gamma$ 線、及び、Au 又は Cu 試料を照射した後の崩壊 $\gamma$ 線の測定によって中性子束分布を求めた。

#### 5.3.1 クラスター内核分裂率分布

S3-1 炉心（0%ボイド炉心）を高出力（500W×30min）で運転した後、燃料クラスター（名称 D12-175、装荷位置：中心から 100cm、90° 方向）を解体し、燃料棒中の核分裂生成物 La-140 から放出される 1.6MeV の $\gamma$ 線を測定し、クラスター内の核分裂率分布を求めた。

図 5-77 はクラスター内核分裂率分布測定結果であり、28 本の燃料棒の位置に核分裂率の相対値が記されている。

核分裂率は中心から第1、第2、第3 リングとつけたときの、第1 リングの炉心中心に対して 90° 方向についての燃料棒で規格化されている。90° 方向は炉心全体の核分裂率分布の影響を受けにくい位置である。

図 5-77 より、90° 方向についての核分裂率の比は、

$$\text{第1 リング} : \text{第2 リング} : \text{第3 リング} = 1:1.14:2.14$$

である。

一方、核分裂率の比の計算値は、1 次元輸送計算により

$$\text{第1 リング} : \text{第2 リング} : \text{第3 リング} = 1:1.13:1.42$$

となった（4.2.5 節参照）。

第2 リングに関しては、測定値と計算値は一致しているが、第3 リングに関しては 50% の不一致がある。

計算値の妥当性を検討するために、ATR 体系炉心で実績のある WIMS-ATR コードを用いて核分裂率の比を計算した。

WIMS-ATR コードでは核分裂率の比は

$$0\% \text{ボイド} \text{の場合} : \text{第1 リング} : \text{第2 リング} : \text{第3 リング} = 1:1.16:1.44$$

$$100\% \text{ボイド} \text{の場合} : \text{第1 リング} : \text{第2 リング} : \text{第3 リング} = 1:1.08:1.31$$

となった。

1 次元輸送計算コードの結果（4.2.5 節参照）では

$$0\% \text{ボイド} \text{の場合} : \text{第1 リング} : \text{第2 リング} : \text{第3 リング} = 1:1.13:1.42$$

$$100\% \text{ボイド} \text{の場合} : \text{第1 リング} : \text{第2 リング} : \text{第3 リング} = 1:1.12:1.39$$

であった。両計算コードの結果は、0%ボイドについては 3%以内で一致しており、計算値の信頼性は高いと考えられる。測定値の再現性を確認する必要がある。

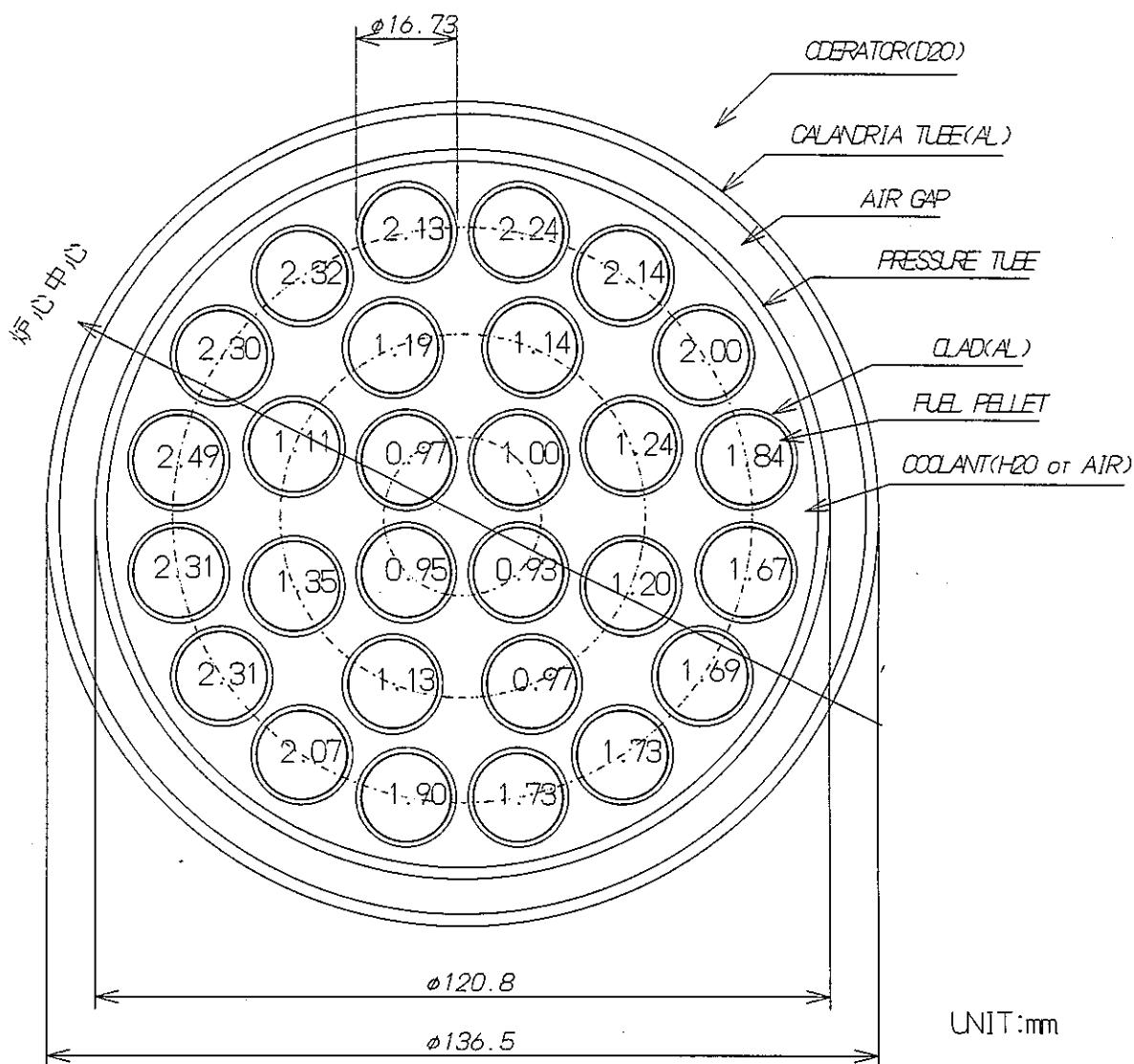


図5-77 クラスター内核分裂率分布測定結果

### 5.3.2 炉心内中性子束分布

S1-1,S1-4 炉心については Au 箔の照射による測定を行い、それ以外は Cu ピン及びワイヤの照射による測定を行った。計算値は TWODANT によるエネルギー 27 群の中性子束計算値の第 18 群～27 群を合計した結果である。

軸方向の Cu ワイヤによる測定結果には、①試験体領域の中心に挿入したもの ( $R=0\text{cm}$  と記す)、②ドライバー領域の重水中にワイヤを挿入したもの (図中で D2O と記す) と③ドライバー領域の燃料クラスター中心に挿入したもの (FUEL と記す) の 3 種類の測定結果がある。S1-3 炉心については、径方向の中心から  $20\text{cm}$  (試験体領域とドライバー領域の境界) における測定結果 ( $R=20\text{cm}$  と記す) も得られている。ドライバー領域の測定値は、計算値 (セル平均値) に対応するようにセル計算より得られるセル内中性子束分布を用いて補正している (4.2.5 節参照)。

図 5-78～97 に Cu 又は Au 試料の照射により測定した熱中性子束分布を計算値と比較して示す。計算値はその最大値で測定値に規格化している。

S1-1 炉心では Au 箔を用いて熱中性子束分布を測定した。図 5-78,79 に測定値と計算値の比較を示す。TWODANT による計算値は径方向、軸方向ともに計算値と一致している。

S1-3 炉心では Cu ピン、ワイヤによって中性子束分布を測定した。図 5-80,81 に測定値と計算値の比較を示す。径方向、軸方向ともに計算値と一致している。軸方向の結果で設置位置間の大小関係について ( $R=0\text{cm}$ 、径方向の中心に設置データの最大値で規格化) も、計算によりほぼ再現できている。

S1-4 炉心の測定には Au 箔を使用した。図 5-82,83 に測定値と計算値の比較を示す。径方向、軸方向ともに計算値は測定値に良く一致しており、特に試験体領域における径方向の中性子束の減衰も正しく計算されている。

以下の測定は全て Cu ピン、ワイヤによるものである。

S2-1 炉心は試験体減速材を使用した体系である。図 5-84,85 に測定値と計算値の比較を示す。径方向については計算値と測定値は良く一致している。軸方向については、径方向の中心に設置した結果 ( $R=0\text{cm}$ ) は測定値と計算値は良く一致している。径方向の中心から  $47\text{cm}$  に設置した結果 ( $R=47\text{cm}$ ) については軸方向中心付近での膨らみが計算では小さく評価されている。S2-1 炉心はドライバー領域の圧力管内の状態が軽水  $200\text{cm}$  (0%ボイド) と軽水なし(100%ボイド)の 2 領域存在する複雑な体系であるため、計算精度が十分でないと考えられる。軸方向の結果で設置位置間の大小関係について ( $R=0\text{cm}$ 、径方向の中心に設置データの最大値で規格化) は、計算によりほぼ再現できている。

S2-2 炉心、S3-1 炉心について、図 5-86～89 に測定値と計算値の比較を示す。径方向、軸方向ともに計算値と測定値がよく一致している。

S3-3 炉心はドライバー燃料が 44 体と少なく、径方向は試験体領域 (試験体燃料は装荷していない)、ドライバー燃料領域、ドライバー重水領域の 3 領域炉心となっている。図 5-90,91 に測定値と計算値の比較を示す。径方向の熱中性子束は、中心から  $80\text{cm}$  以上離れると重水領域となり、反射体の役割を果たすことになるため、盛り上がる。径方向の測定は周方向について様々な角度の位置に試料を設置して行っている。測定値間にばらつきが大きいが、ドライバー燃料領域が 44 体と少ないため、周方向角度により試料設置位置の周辺状況は大きく異なるためと考えら

れる。軸方向については計算値は測定値とよく一致している。

S4-3 炉心については試験体減速材があるときとないときの測定を行った。図 5-92～95 に測定値と計算値の比較を示す。径方向については、試験体減速材が存在することにより試験体領域で中性子束が盛り上がる。中性子束の変動は計算値で良く再現できている。軸方向については計算値は測定値とよく一致している。

S4-4 炉心は試験体燃料に 0.79% Pu 富化度の MOX 燃料を使用した炉心である。図 5-96 に示す様に、径方向については試験体領域、ドライバー領域ともに測定値と計算値は良い一致を示している。軸方向については、径方向の中心に設置データ ( $R=0\text{cm}$ ) で規格化している。分布については測定値と計算値は良く一致している。

## 5.3.3 外挿距離の評価

軸方向の中性子束分布を正弦分布

$$F(Z) = C_1 \times \sin\left(\frac{\pi}{H_B} \cdot (Z + C_2)\right)$$

 $C_1, C_2$  : 定数

Z : 炉心下部からの距離

 $H_B$  : 見かけ上の炉心高さ

にフィッティングし、外挿距離を求めた。表 5-3 に示す様に、臨界水位、炉心形状への依存性は小さく 10~13cm の範囲に収まっている。水位反応度、安全棒（制御棒）反応度値の評価に外挿距離を使用するが、本報告書の解析では全炉心に共通に 10cm を採用した。

表 5-3 外挿距離の評価

炉心名 称	臨界水位 ( $H_C$ )	見かけ上の 炉心高さ ( $H_B$ )	外挿距離 ( $H_C - H_B$ )/2	備考
S1-3	128.04	150.9	11.4	0%ボイド
S1-4	148.38	172.1	11.9	0%ボイド
S2-1	125.92	151.5	12.8	一部 0%ボイド、試験体水位 200cm
S2-2	145.47	170.1	12.3	100%ボイド、試験体水位 200cm
S3-1	177.35	202.9	12.8	0%ボイド
S3-3	152.50	173.7	10.6	0%ボイド、クラスター 44 体
S4-3	161.78	187.2	12.7	100%ボイド、試験体水位 0cm
S4-3	172.72	196.3	11.8	100%ボイド、試験体水位 200cm
S4-4	173.52	196.5	11.5	100%ボイド、試験体水位 200cm

(単位 cm)

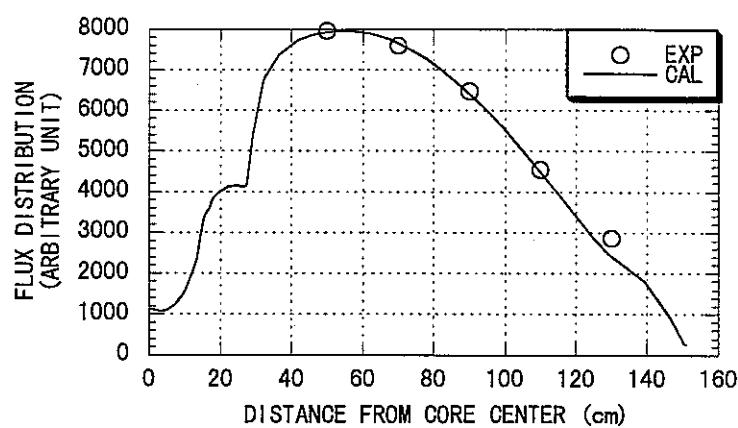


図 5-78 S1-1炉心の中性子束分布（径方向）

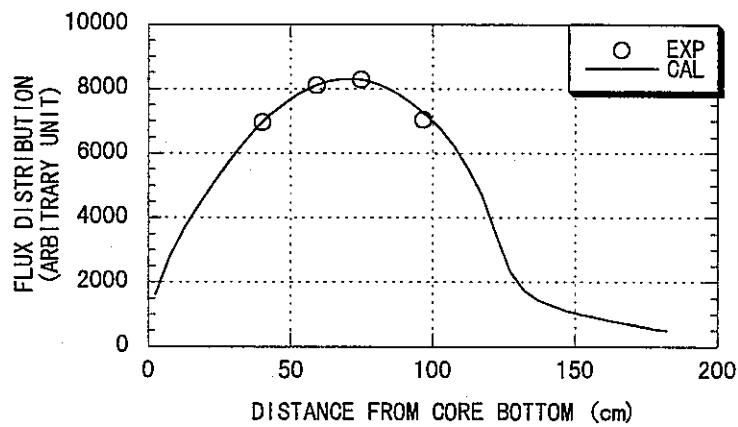


図 5-79 S1-1炉心の中性子束分布（軸方向）

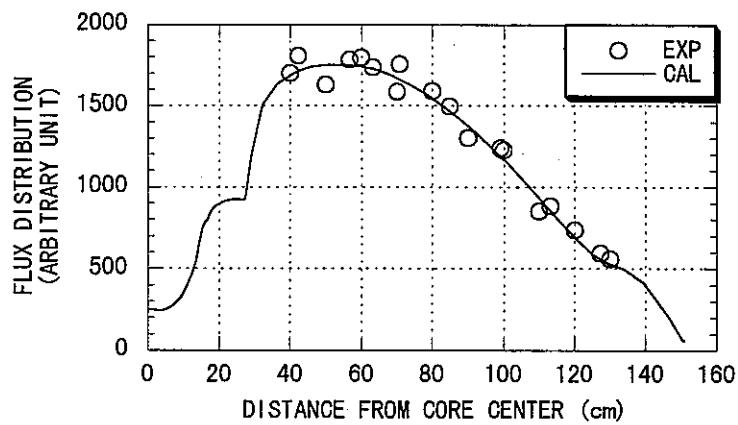


図 5-80 S1-3炉心の中性子束分布（径方向）

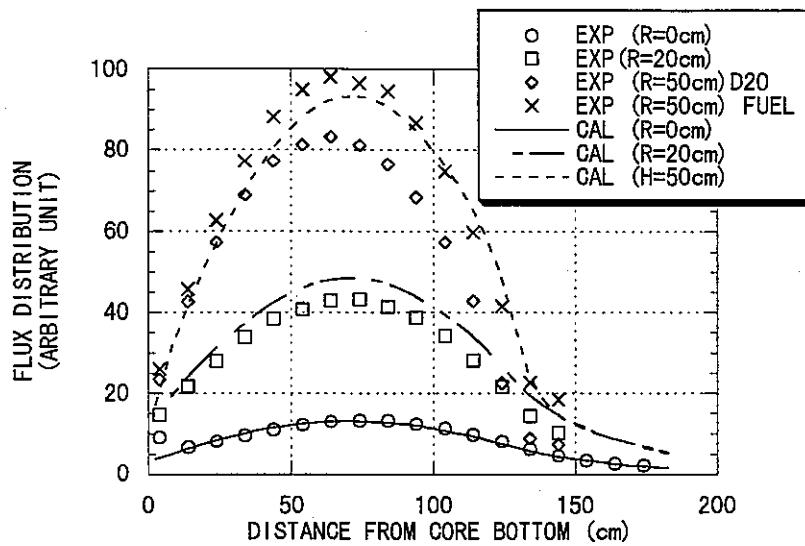


図 5-81 S1-3炉心の中性子束分布（軸方向）

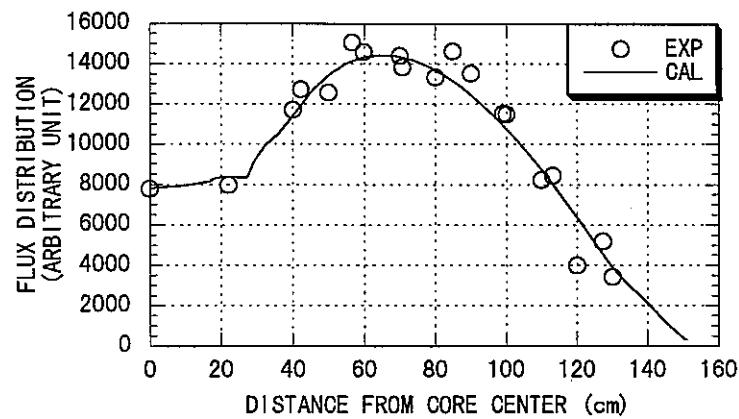


図 5-82 S1-4炉心の中性子束分布（径方向）

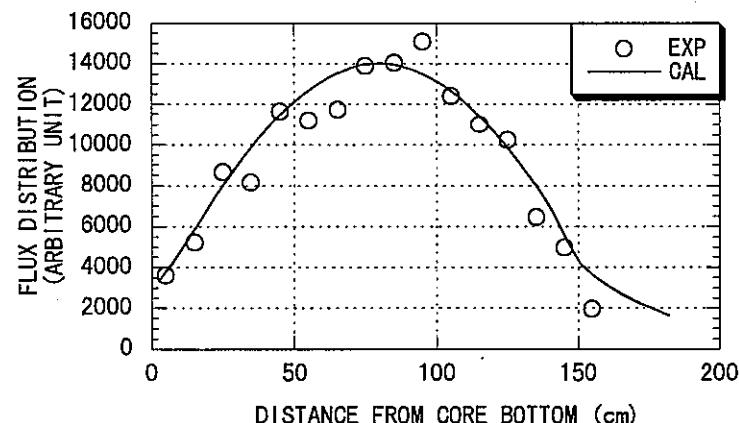


図 5-83 S1-4炉心の中性子束分布（軸方向）

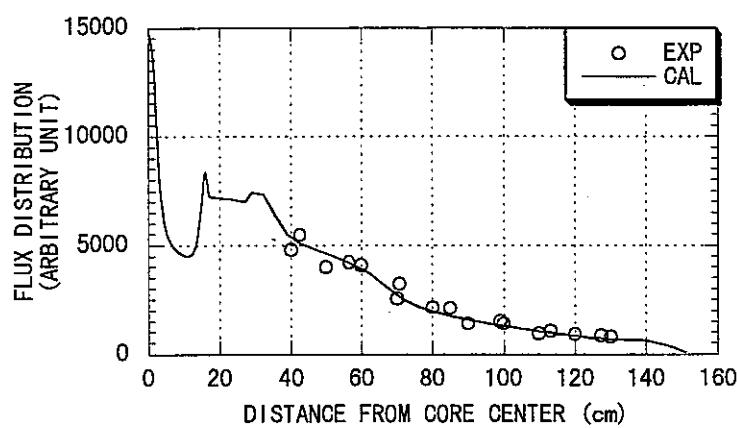


図 5-84 S2-1炉心の中性子束分布（径方向）

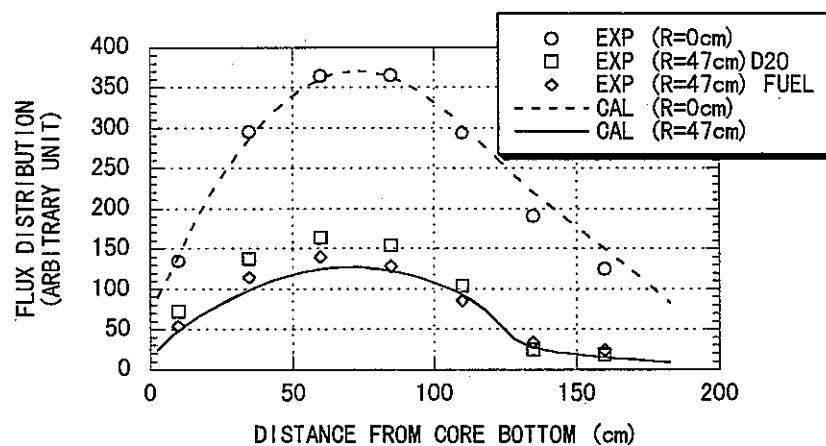


図 5-85 S2-1炉心の中性子束分布（軸方向）

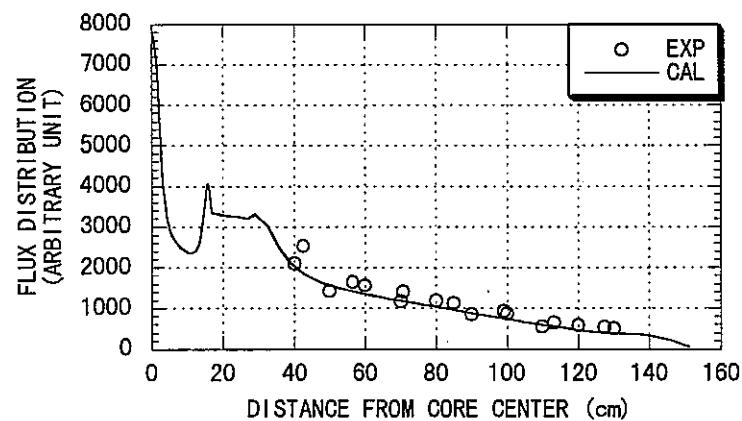


図 5-86 S2-2炉心の中性子束分布（径方向）

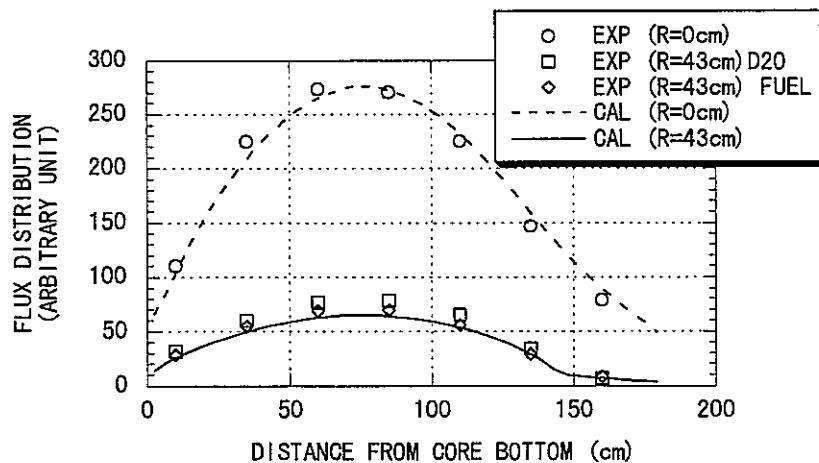


図 5-87 S2-2炉心の中性子束分布（軸方向）

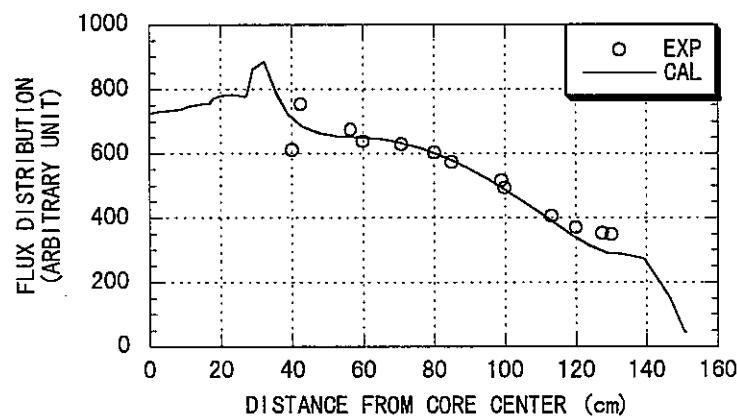


図 5-88 S3-1 炉心の中性子束分布（径方向）

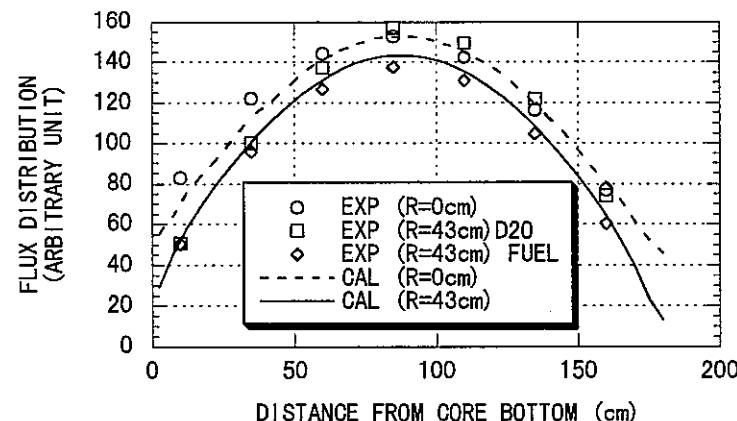


図 5-89 S3-1 炉心の中性子束分布（軸方向）

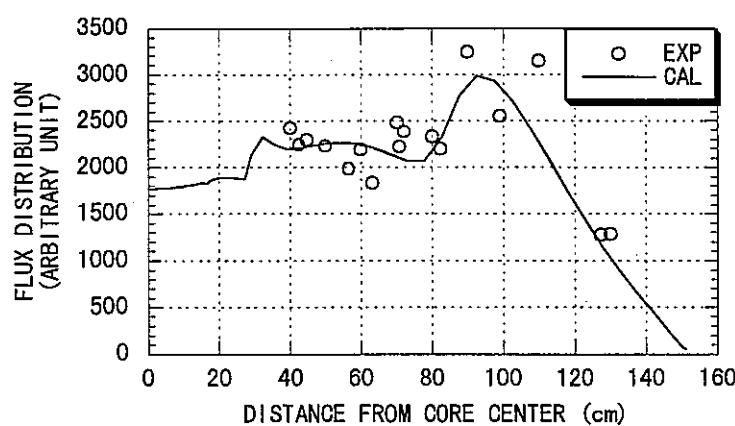


図 5-90 S3-3炉心の中性子束分布（径方向）

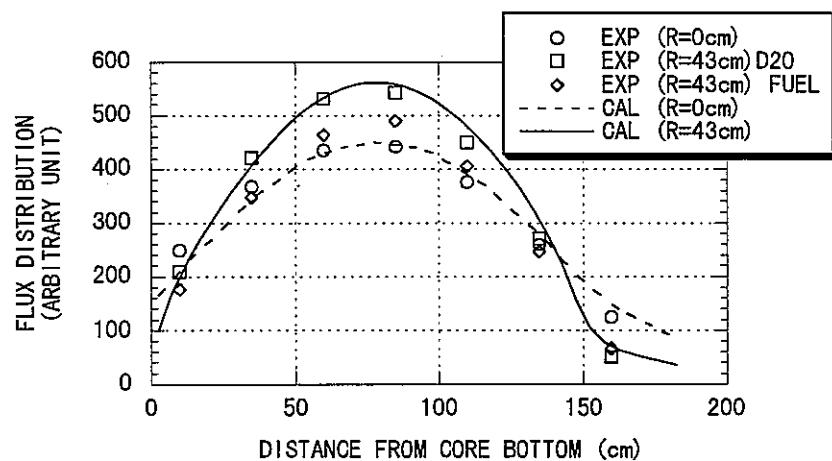


図 5-91 S3-3炉心の中性子束分布（軸方向）

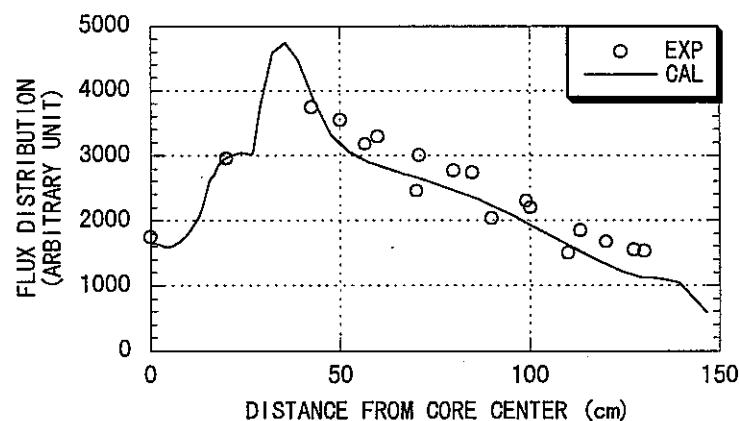


図 5-92 S4-3炉心の中性子束分布（H=0cm, 径方向）

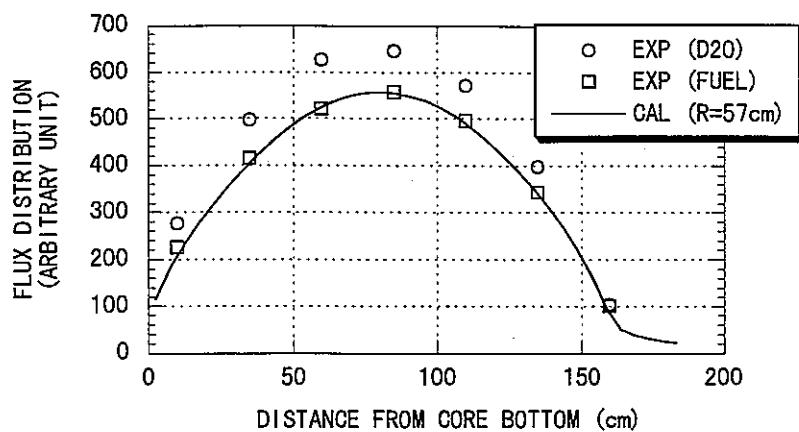


図 5-93 S4-3炉心の中性子束分布 ( $H=0\text{cm}$ , 軸方向)

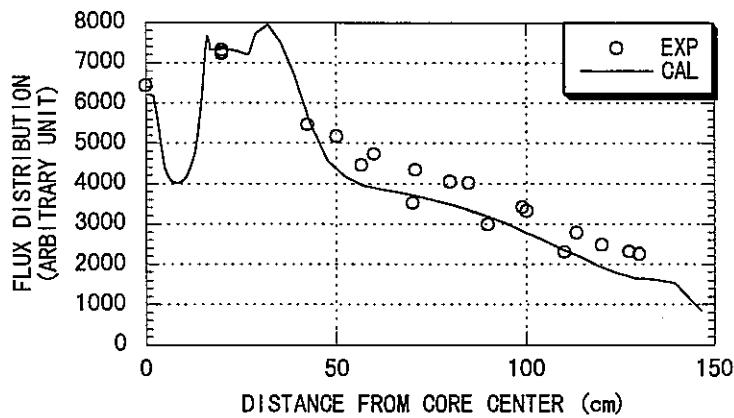


図 5-94 S4-3炉心の中性子束分布 ( $H=200\text{cm}$ , 径方向)

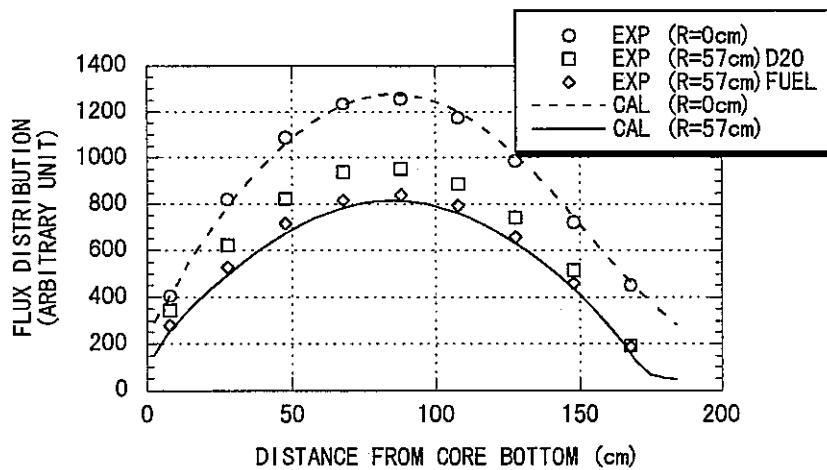


図 5-95 S4-3炉心の中性子束分布 ( $H=200\text{cm}$ , 軸方向)

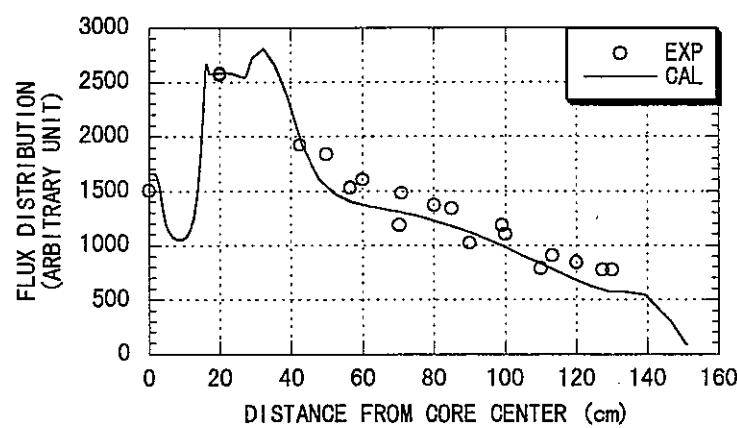


図 5-96 S4-4炉心の中性子束分布（径方向）

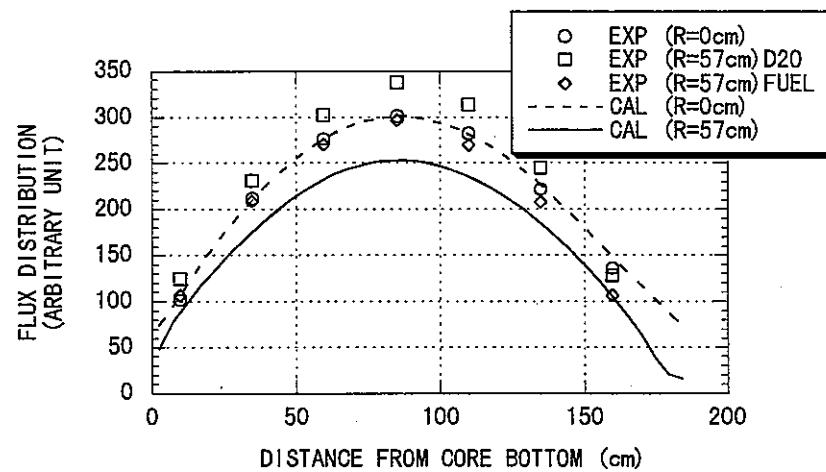


図 5-97 S4-4炉心の中性子束分布（軸方向）

## 6. まとめ

重水臨界実験装置（DCA）において、未臨界度測定試験体系が完成した平成6年度から平成8年度にかけて、未臨界度測定実験のために構成された全炉心について、重水臨界水位、水位反応度、安全棒（制御棒）反応度値を測定し、計算値と比較した。

計算には、従来からDCAで採用されていたATR炉心のための計算システムが適用できないため、未臨界度測定試験体系に適した解析法として、SCALEコードシステムで巨視的断面積を作成し、炉心計算をKENO又はTWODANTで実施する方法を用いた。

重水臨界水位については、KENOによる計算結果は炉心形状によらず実験値を0.5% $\Delta k/k$ 以内で再現している。この精度は、従来のATRで採用されていた計算システムの1% $\Delta k/k$ と比べて優れており、ATR実証炉の設計精度の0.5% $\Delta k/k$ も満足している。統計誤差は約3時間の計算時間で約0.2% $\Delta k/k$ であり、0.5% $\Delta k/k$ の精度を目標とする場合には実用的に問題がない。炉心が炉物理的、構造的に複雑になっても計算精度に変化はなく、複雑な炉心に対するモンテカルロコードの有効性が確認できた。

TWODANTによる計算では、ドライバー領域の圧力管内に軽水のない炉心（100%ボイド炉心）については1% $\Delta k/k$ 以内で測定値を再現できているが、圧力管内に軽水のある炉心（0%ボイド炉心）では精度が悪化し測定値との差が3% $\Delta k/k$ になる場合があった。巨視的断面積作成時のドライバー領域の均一化手法、特に減速材（重水）の存在しない領域（ドライ領域）の計算法を検討する必要がある。

重水水位反応度係数については、KENOによる計算結果では、統計誤差の問題のため評価が困難である。TWODANTによる水位反応度係数の計算結果は全体的に過小評価となる。臨界水位についての場合と同様、100%ボイド炉心では10%以内の過小評価で収まっているが、0%ボイド炉心では精度が悪化し、20~30%の過小評価となる。ただし、試験体減速材水位の変化に対する傾向は測定値を良く再現している。

安全棒反応度値についてはKENOによる計算で(C-E)/Eが15%以内で得られた。ATR実証炉の設計精度の10% $\Delta k/k$ と比べて5% $\Delta k/k$ 大きい。不一致の原因是、計算では2本の安全棒値を6本の値より近似的に評価していることが挙げられる。厳密に2本の安全棒値で評価するにはモンテカルロ計算に付随する統計誤差を低減するために、計算ヒストリーナ（1世代当たりの中性子発生数×追跡世代数）の最適値を検討する必要がある。

TWODANTによる中性子束分布の計算値は実験値と良く一致しており、TWODANTの

計算結果が信頼できることが確認できた。中性子束分布及びその類似量である随伴中性子束分布は、未臨界度測定実験の解析においても重要な量であり、信頼性の高い計算手法が確立できることは未臨界度測定実験を進める上で有効である。

以上のように、KENO、又は TWODANT を用いた計算により、炉心の臨界特性が正確に評価できることが明らかになった。重水臨界水位の計算には KENO を、中性子束分布の計算には TWODANT を使用し、水位反応度係数については傾向の正確な TWODANT と絶対値の正確な KENO の計算結果を組み合わせることで、信頼性の高い計算値が得られる。

安全棒価値のように微小な反応度差を問題にする場合については、KENO による計算結果の統計精度を向上させる必要がある。

## 7. 謝辞

本研究の実施に当たって、三菱総合研究所の佐藤氏には SCALE コードシステムの使用において多くの貴重な情報を頂きました。臨界工学試験室の有賀氏には計算システムの整備について、実験の実施においては臨界工学試験室の室員皆様のご協力を頂きました。この場を借りて感謝の意を表します。

## 8. 参考文献

- [1] 奈良 義彦、八谷 雄喜 他、「重水臨界実験装置「DCA」20年間の成果と今後の展開」、日刊工業新聞社「原子力工業」第34巻第9号～11号別刷(1988)
- [2] 中川 正幸、森 貴正、日本原子力学会「1992春の年会」予稿集、H38
- [3] 北村 了一、前田 幸基、日本原子力学会「1994秋の大会」予稿集、P7
- [4] 長尾 美春、島川 聰司 他、日本原子力学会「1995秋の大会」予稿集、A44
- [5] J.R.Askew, F.J.Fayers, NAD P.B.Kemshell, [A General Description of the Lattice Code WIMS], J.Brit.Nucl.Energy Soc., 5, 564(1996)
- [6] "TWODANT-SYS : One Dimensional, Multigroup, Discrete-ordinates Transport Code System", CCC-547 RSIC ORNL(1990)
- [7] "SCALE4.2 : Modular Code System for Performing Standardized Computer Analysis for Licensing Evaluation Vol. 0" CCC-545 RSIC ORNL(1993)
- [8] 成田 正邦、藤田 文行 共訳、「原子炉の理論と解析」、現代工学者、P235(1980)
- [9] CRC HANDBOOK of CHEMISTRY and PHYSICS 69th, CRC Press, B-228(1988)
- [10] 化学便覧 基礎編I 改訂2版、丸善、P49(1950)

## APPENDIX

## 1 原子数密度データ

表8-1 燃料の仕様

燃料の種類	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )	UO <sub>2</sub> 含有率 (w/o)	U含有率 (w/o)	ENRICHMENT (w/o)
1.2%UO <sub>2</sub> 燃料集合体	10.36	100.0	0.8785	1.203
2.7%UO <sub>2</sub> 燃料棒	10.33	100.0	0.881	2.687
0.79%PuO <sub>2</sub> 燃料棒	10.511	99.0012	87.68	0.71
		PUO <sub>2</sub> 含有率 (w/o)	PU含有率 (w/o)	Pu組成(w/o)
		0.9988	87.55	Pu-238 0.12
				Pu-239 75.6
				Pu-240 20.21
				Pu-241 3.44
				Pu-242 0.63

表8-2 燃料棒被覆管

燃料の種類	ペレット 外径(cm)	被覆管 材質	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )	Al含有率 (wt%)	Mg含有率 (wt%)	被覆管内径 (cm)	被覆管外径 (cm)
1.2%UO <sub>2</sub> 燃料集合体	1.48	AL-Mg 合金	2.674	97.4	2.6	1.673	1.503
2.7%UO <sub>2</sub> 燃料棒	1.24	Zr-2	6.523			1.270	1.450
0.79%PuO <sub>2</sub> 燃料棒	1.05	Zr-2	6.523			1.079	1.250

表8-3 減速材

減速材	D <sub>2</sub> O (MOL %)	B-10濃度 (ppm)
D <sub>2</sub> O(OLD)	98.9	4.953
D <sub>2</sub> O(NEW)	99.7	0

表8-4 原子数密度(個/barn-cm)

material	U-235	U-238	O-16			
1.2%UO <sub>2</sub> 燃料集合体	2.8054E-04	2.2749E-02	4.7382E-02			
2.7%UO <sub>2</sub> 燃料棒	6.2658E-04	2.2406E-02	4.6273E-02			
0.79%PuO <sub>2</sub> 燃料棒	1.6599E-04	2.2919E-02	4.8263E-02			
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	
	2.7904E-07	1.7506E-04	4.6603E-05	7.8994E-06	1.4407E-06	

material	O-16	Al	Mg	D	H	B-10
D <sub>2</sub> O(OLD)	3.3232E-02	—	—	6.5732E-02	7.3109E-04	3.2885E-07
D <sub>2</sub> O(NEW)	3.3231E-02	—	—	6.6262E-02	1.9938E-04	0
炉心タンク	—	5.8134E-02	1.7227E-03	—	—	—
試験体容器	—	5.8134E-02	1.7227E-03	—	—	—

\* 原子量等の核データは文献[9],[10]を参照した。

## 2 SCALE入力（断面積作成例）

ドライバーセル断面積作成用入力例（クラスター均質化）(TWODANT用)

```

=csasix
<<DCA TEST FACILITY : DCA 1.2U fuel with Air >>
27GROUPNDF4      LATTICECELL
O    1 0.0  4.738190E-2   295.00 END
U-235  1 0.0  2.805410E-4   295.00 END
U-238  1 0.0  2.274860E-2   295.00 END
AL   2 0.0  5.813420E-2   295.00 END
MG   2 0.0  1.722730E-3   295.00 END
ARBMAIR  1.205E-3 2 0 0 1 7014 76.4796 8016 23.5204  3  END
END COMP
SQUAREPITCH     1.95618 1.480 1 3 1.673 2 1.503  0  END
end
=wax
0$ 22 2
1$ 1 T
2$ 2 1 T
3$ 500
4$ 500 T
'unit 22 500: UO2+AIR
end
=csasix
<<DCA TEST FACILITY : DCA 1.2U fuel with H2O >>
27GROUPNDF4      LATTICECELL
O    1 0.0  4.738190E-2   295.00 END
U-235  1 0.0  2.805410E-4   295.00 END
U-238  1 0.0  2.274860E-2   295.00 END
AL   2 0.0  5.813420E-2   295.00 END
MG   2 0.0  1.722730E-3   295.00 END
H2O   3 0.999601   295.00 END
END COMP
SQUAREPITCH     1.95618 1.480 1 3 1.673 2 1.503  0  END
end
=wax
0$ 23 2
1$ 1 T
2$ 2 1 T
3$ 500
4$ 501 T
'unit 23 501: UO2+H2O
end
=csasi
<< Other materials D20 98.9 mol% 4.953ppm>>
27GROUPNDF4      INFROMMEDIUM
AL   2 0.0  5.813420E-2   295.00 END
MG   2 0.0  1.722730E-3   295.00 END
H2O   3 0.9996010   295.00 END
ARBMAIR  1.205E-3 2 0 0 1 7014 76.4796 8016 23.5204  4  END
D    5 0.0  6.573190E-02 295.0 END
O    5 0.0  3.323150E-02 295.0 END
H    5 0.0  7.310930E-04 295.0 END
B-10  5 0.0  3.288540E-07 295.0 END
SS304  6 1.0   295.00 END
AL   7 1.0   295.00 END
O    8 0.0  4.738190E-2   295.00 END
U-235 8 0.0  2.805410E-4   295.00 END
U-238 8 0.0  2.274860E-2   295.00 END
CD   9 1.0   295.00 END
END COMP
end
=wax
0$ 24 2
1$ 3 T
2$ 22 1 T
3$ 500
4$ 500 T
2$ 23 1 T
3$ 501
4$ 501 T
2$ 2 8 T
3$ 2 3 4 5 6 7 8 9
4$ 2 3 4 5 6 7 100 9 T
'unit 24 500: UO2+AIR
'unit 24 501: UO2+H2O

```

```
' unit 24    2: AL+MG
' unit 24    3: H2O
' unit 24    4: AIR
' unit 24    5: D2O 4.953 ppm(98.9mol%)
' unit 24    6: SUS304
' unit 24    7: upper grid(AL)
' unit 24    9: CD(S/R)
' unit 24  100: UO2
end
```

ドライバーセル断面積作成用入力例（ドライバー均質化）（TWODANT 用）

```
=xsdrnlp
XSDRNPM calc. for DCA 1.2U cluster homogenization (in D20, 100%V)
0$$ A3 4 A5 3 E
1$$ 2 5 24 1 3 5 5 8 3 1
   30 30 0 0 0 E
2$$ -2 0 0 E
3$$ 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
   1 0
4$$ -1 27 0 -2 E
5** 1.0E-4 1.0E-3 1.0 E
T
13$$ 1 2 3 4 5
14$$ 500 500 4 3 2
15** F1.0
T
33## F1.0
T
35** 10I0.0 5.84 6.04 6.625 9I6.825 11.2838
36$$ 11R1 2 3 4 10R5
39$$ 1 3 4 3 5
51$$ 25I1 27
T
end
=ice
ICE for dry cluster in D20 and carandria tube in D20
0$$ 3 20 E
1$$ 2 8 10 0 0 0 0
T
2$$ 5R1 3R2
3$$ 500 4 3 4 2 2 3 4
4**
 2.678645E-01 1.86610E-02 5.81902E-02 2.11272E-02
 6.34157E-01 6.341575E-01 3.44715E-01 2.11275E-02
5$$ F4
T
8$$ 701 702
T
end
=xsdrnlp
XSDRNPM calc. for DCA 1.2U cluster homogenization (in AIR, 100%V)
0$$ A3 4 A5 13 E
1$$ 2 5 24 1 3 5 5 8 3 1
   30 30 0 0 0 E
2$$ -2 0 0 E
3$$ 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
   1 0
4$$ -1 27 0 -2 E
5** 1.0E-4 1.0E-3 1.0 E
T
13$$ 1 2 3 4 5
14$$ 500 500 4 3 3
15** F1.0
T
33## F1.0
T
35** 10I0.0 5.84 6.04 6.625 9I6.825 11.2838
36$$ 11R1 2 3 4 10R5
39$$ 1 3 4 3 5
51$$ 25I1 27
T
end
=ice
ICE for dry cluster in AIR
0$$ 13 21 E
1$$ 1 5 10 0 0 0 0
T
2$$ F1
3$$ 500 4 3 4 3
4**
 2.678645E-01 1.86610E-02 5.81902E-02 2.11272E-02
 6.34157E-01
5$$ F4
T
8$$ 700
T
end
=xsdrnlp
XSDRNPM calc. for DCA 1.2U cluster homogenization (in D20, 000%V)
0$$ A3 4 A5 14 E
1$$ 2 5 24 1 3 5 5 8 3 1
```

```

      30 30   0 0 0 E
2$$ -2 0 0 E
3$$ 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      1 0
4$$ -1 27 0 -2 E
5** 1.0E-4 1.0E-3 1.0 E
T
13$$ 1 2 3 4 5
14$$ 501 501 4 3 2
15** F1.0
T
33## F1.0
T
35** 10I0.0 5.84 6.04 6.625 9I6.825 11.2838
36$$    11R1 2 3 4 10R5
39$$    1 3 4 3 5
51$$    25I1 27
T
end
=ice
ICE for wet cluster in D20
0$$ 14 22 E
1$$ 1 5 10 0 0 0 0
T
2$$ F1
3$$ 501 4 3 4 2
4**
2.678645E-01 1.86610E-02 5.81902E-02 2.11272E-02
6.34157E-01
5$$ F4
T
8$$ 801
T
end
=xsdrnpm
XSDRNP calc. for DCA 1.2U cluster homogenization (in AIR, 000%V)
0$$ A3 4 A5 15 E
1$$ 2 5 24 1 3 5 5 8 3 1
      30 30   0 0 0 E
2$$ -2 0 0 E
3$$ 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      1 0
4$$ -1 27 0 -2 E
5** 1.0E-4 1.0E-3 1.0 E
T
13$$ 1 2 3 4 5
14$$ 501 501 4 3 3
15** F1.0
T
33## F1.0
T
35** 10I0.0 5.84 6.04 6.625 9I6.825 11.2838
36$$    11R1 2 3 4 10R5
39$$    1 3 4 3 5
51$$    25I1 27
T
end
=ice
ICE for wet cluster in AIR
0$$ 15 23 E
1$$ 1 5 10 0 0 0 0
T
2$$ F1
3$$ 501 4 3 4 3
4**
2.678645E-01 1.86610E-02 5.81902E-02 2.11272E-02
6.34157E-01
5$$ F4
T
8$$ 800
T
end
=wax
0$$ 24 4
1$$ 5 T
2$$ 4 13 T
3$$ 500 501 1 2 3 4 5 7 9 100 200 600 601 T
4$$ 500 501 1 2 3 4 5 7 9 100 200 600 601 T
2$$ 21 1 T
3$$ 700
4$$ 700 T
2$$ 20 2 T

```

```
3$$ 701 702
4$$ 701 702 T
2$$ 23 1 T
3$$ 800
4$$ 800 T
2$$ 22 1 T
3$$ 801
4$$ 801 T
,unit 24 500: UO2+AIR
,unit 24 501: UO2+H2O
,unit 24 4: AL+MG
,unit 24 1: H2O
,unit 24 3: AIR
,unit 24 2: D2O 0 ppm(99.7mol%)
,unit 24 5: lower grid(SUS304)
,unit 24 7: upper grid(AL)
,unit 24 100: UO2
,unit 24 9: CD(S/R)
,unit 24 200: 2.7WT%UO2
,unit 24 600: 2.7w%UO2+AIR
,unit 24 601: 2.7w%UO2+H2O
,unit 24 700: UO2+AIR+AL+AIR(100V)
,unit 24 701: UO2+AIR+AL+D2O(100V)
,unit 24 702: AIR+AL+MG+D2O
,unit 24 800: UO2+H2O+AL+AIR(OV)
,unit 24 801: UO2+H2O+AL+D2O(OV)
end
,
' input lib request
,unit 04 500: UO2+AIR
,unit 04 501: UO2+H2O
,unit 04 4: AL+MG
,unit 04 1: H2O
,unit 04 3: AIR
,unit 04 2: D2O 0 ppm(99.7mol%)
, output lib request
,unit 24 input lib copy
,unit 24 700: UO2+AIR+AL+AIR(100V)
,unit 24 701: UO2+AIR+AL+D2O(100V)
,unit 24 702: AIR+AL+MG+D2O
,unit 24 800: UO2+H2O+AL+AIR(OV)
,unit 24 801: UO2+H2O+AL+D2O(OV)
```

## 試験体断面積作成用入力例 (TWODANT 用)

```

=csasix
<<DCA TEST FACILITY : DCA 2.7U fuel with Air >>
27GROUPNDF4 LATTICECELL
0 1 0.0 4.627260E-2 295.00 END
U-235 1 0.0 6.265750E-4 295.00 END
U-238 1 0.0 2.240560E-2 295.00 END
ZIRCALLOY 2 1.01289 295.00 END
ARBMAIR 1.205E-3 2 0 0 1 7014 76.4796 8016 23.5204 3 END
END COMP
SQUAREPITCH 2.20 1.240 1 3 1.45 2 1.27 0 END
end
=wax
0$$ 25 2
1$$ 1 T
2$$ 2 2 T
3$$ 1 500
4$$ 200 600 T
, input lib request
, unit 24 500: UO2+AIR
, unit 24 501: UO2+H2O
, unit 24 2: AL+MG
, unit 24 3: H2O
, unit 24 4: AIR
, unit 24 5: D2O 0 ppm(99.7mol%)
, unit 24 6: SUS304
, unit 24 7: upper grid(AL)
, unit 24 9: CD(S/R)
, unit 24 100: UO2

, unit 25 200: 2.7WT%UO2
, unit 25 600: 2.7w%UO2+AIR
end
=csasix
<<DCA TEST FACILITY : DCA 2.7U fuel with H2O >>
27GROUPNDF4 LATTICECELL
0 1 0.0 4.627260E-2 295.00 END
U-235 1 0.0 6.265750E-4 295.00 END
U-238 1 0.0 2.240560E-2 295.00 END
ZIRCALLOY 2 1.01289 295.00 END
H2O 3 0.999601 295.00 END
END COMP
SQUAREPITCH 2.20 1.240 1 3 1.45 2 1.27 0 END
end
=wax
0$$ 26 2
1$$ 3 T
2$$ 24 10 T
3$$ 500 501 2 3 4 5 6 7 9 100
4$$ 500 501 4 1 3 2 5 7 9 100 T
2$$ 25 2 T
3$$ 200 600
4$$ 200 600 T
2$$ 2 1 T
3$$ 500
4$$ 601 T
, unit 26 500: UO2+AIR
, unit 26 501: UO2+H2O
, unit 26 1: H2O
, unit 26 2: D2O 0 ppm(99.91mol%)
, unit 26 3: AIR
, unit 26 4: AL+MG
, unit 26 5: lower grid(SUS304)
, unit 26 7: upper grid(AL)
, unit 26 9: CD(S/R)
, unit 26 100: UO2
, unit 26 200: 2.7WT%UO2
, unit 26 600: 2.7w%UO2+AIR
, unit 26 601: 2.7w%UO2+H2O
end

```

## 断面積作成用入力例 (KENO 用)

```
=csasix
<<DCA CRITICAL EXPT. CLASTER FUEL 20.0CMLP 1.2W%U 0%VOID 98.9mol 4.953PPM 16.MAY.95>>
27GROUPNDF4 LATTICECELL
0 1 0 4.731710E-2 295.00 END
U-235 1 0 2.805940E-4 295.00 END
U-238 1 0 2.275290E-2 295.00 END
AL 2 0 5.813420E-2 295.00 END
MG 2 0 1.722730E-3 295.00 END
H2O 3 0.9995692 295.00 END
ARBMAIR 1.205E-3 2 0 0 1 7014 76.4796 8016 23.5204 4 END
D 5 0.0 6.573190E-02 295.0 END
O 5 0.0 3.323150E-02 295.0 END
H 5 0.0 7.310930E-04 295.0 END
B-10 5 0.0 3.288540E-07 295.0 END
SS304 6 1.0 295.0 END
AL 7 1.0 295.0 END
O 8 0 4.731710E-2 295.00 END
U-235 8 0 2.805940E-4 295.00 END
U-238 8 0 2.275290E-2 295.00 END
AL 9 0 5.813420E-2 295.00 END
MG 9 0 1.722730E-3 295.00 END
H2O 10 0.9995692 295.00 END
CD 11 1.0 295.00 END
END COMP
SQUAREPITCH 1.95618 1.480 1 3 1.673 2 1.503 0 END
end
=wax
0$$ 43 2
1$$ 1 T
2$$ 2 9 T
3$$ 500 8 9 10 4 5 6 7 11
4$$ 500 100 2 3 4 5 6 7 9 T
' 500: U02+H2O 100: U02 2:AL-CLAD/TUBE 3:H2O 4:AIR 5: D2O 4.953ppm
' 6: lower grid 7: upper grid 9:CD
end
=csasix
<<DCA CRITICAL EXPT. CLASTER FUEL 20.0CMLP 1.2W%U 100%VOID 98.9mol 4.953PPM 16.MAY.95>>
27GROUPNDF4 LATTICECELL
0 1 0 4.731710E-2 295.00 END
U-235 1 0 2.805940E-4 295.00 END
U-238 1 0 2.275290E-2 295.00 END
AL 2 0 5.813420E-2 295.00 END
MG 2 0 1.722730E-3 295.00 END
ARBMAIR 1.205E-3 2 0 0 1 7014 76.4796 8016 23.5204 4 END
END COMP
SQUAREPITCH 1.95618 1.480 1 4 1.673 2 1.503 0 END
end
=wax
0$$ 44 2
1$$ 1 T
2$$ 2 1 T
3$$ 500
4$$ 501 T
' 501: U02+air
end
=csasix
<<DCA CRITICAL EXPT. CLASTER FUEL 2.2CMLP 2.7W%U 100%VOID 16.MAY.95>>M
27GROUPNDF4 LATTICECELL
0 1 0 2.456730E-2 295.00 END
U-235 1 0 6.715740E-4 295.00 END
U-238 1 0 2.389580E-2 295.00 END
ZIRCALLOY 2 1.01289 295.00 END
H2O 3 0.9995692 295.00 END
O 4 0 2.456730E-2 295.00 END
U-235 4 0 6.715740E-4 295.00 END
U-238 4 0 2.389580E-2 295.00 END
ZIRCALLOY 5 1.01289 295.00 END
END COMP
SQUAREPITCH 2.20 1.240 1 3 1.45 2 1.27 0 END
end
=wax
0$$ 45 2
1$$ 1 T
2$$ 2 3 T
3$$ 500 4 5
4$$ 600 200 8 T
' 600: 2.7W%U02+H2O 200: 2.7WT%U02 8:ZIRCALLOY-2
end
=csasix
<<DCA CRITICAL EXPT. CLASTER FUEL 2.2CMLP 2.7W%U 0%VOID 16.MAY.95>>M
```

```
27GROUPNDF4      LATTICECELL
0      1 0 2.456730E-2   295.00 END
U-235    1 0 6.715740E-4   295.00 END
U-238    1 0 2.389580E-2   295.00 END
ZIRCALLOY  2 1.01289   295.00 END
ARBMAIR   1.205E-3 2 0 0 1 7014 76.4796  8016 23.5204  4  END
END COMP
SQUAREPITCH   2.20 1.240  1  4  1.45  2  1.27   0  END
end
=wax
0$$ 42 2
1$$ 4      T
2$$ 2 1  T
3$$ 500
4$$ 601  T
2$$ 43 9  T
3$$ 500 100 2 3 4 5 6 7 9
4$$ 500 100 2 3 4 5 6 7 9 T
2$$ 44 1  T
3$$ 501
4$$ 501  T
2$$ 45 3  T
3$$ 600 200 8
4$$ 600 200 8 T
, 501: U02+AIR
, 500: U02+H2O 100: U02 2:AL-CLAD/TUBE 3:H2O 4:AIR 5: D20 4.953ppm
,       6: lower grid(SUS304) 7: upper grid(AL) 9:CD
, 601: 2.7%U02+AIR
, 600: 2.7%U02+H2O 200: 2.7WT%U02 8:ZIRCALLOY-2(SIKENTAI CLAD)
end
```

## 3 KENO入力例

```
=kenov
DCA CRITICALITY CALC. CORE:S4-1 OPPM 99.7MOL D=44*100%, simple MODEL ,W/ CONSTRUCTION MAT. 3 REGIONS ,
H=200.000cm , D= 136.100 w/ siken tai fuel
READ PARAM      LIB=42 GEN=1003 NPG=500 TME=1000 END PARAM
READ MIXT
  MIX=100      100  1.0
  MIX=200      200  1.0
  MIX=2        2   1.0
  MIX=3        3   1.0
  MIX=4        4   1.0
  MIX=5        5   1.0
  MIX=6        6   1.0
  MIX=7        7   1.0
  MIX=8        8   1.0
  MIX=9        9   1.0
  MIX=500     500  1.0
  MIX=501     501  1.0
  MIX=600     600  1.0
  MIX=601     601  1.0
END MIXT
READ GEOM
UNIT 1
CYLINDER    4 1  6.625          0.0000  0.00
CYLINDER    2 1  6.825          0.0000  0.00
UNIT 2
CYLINDER    4 1  6.625          136.100 0.0000
CYLINDER    2 1  6.825          136.100 0.0000
UNIT 3
CYLINDER    4 1  6.625          200.00  136.100
CYLINDER    2 1  6.825          200.00  136.100
UNIT 4
CYLINDER    501 1  5.84         0.0000  0.00
CYLINDER    2 1  6.04          0.0000  0.00
CYLINDER    4 1  6.625          0.0000  0.00
CYLINDER    2 1  6.825          0.0000  0.00
UNIT 5
CYLINDER    501 1  5.84         136.100 0.0000
CYLINDER    2 1  6.04          136.100 0.0000
CYLINDER    4 1  6.625          136.100 0.0000
CYLINDER    2 1  6.825          136.100 0.0000
UNIT 6
CYLINDER    501 1  5.84         200.00  136.100
CYLINDER    2 1  6.04          200.00  136.100
CYLINDER    4 1  6.625          200.00  136.100
CYLINDER    2 1  6.825          200.00  136.100
UNIT 7
CYLINDER    5 1  2.90          0.0000  0.00
CYLINDER    2 1  3.20          0.0000  0.00
CYLINDER    9 1  3.30          0.0000  0.00
CYLINDER    2 1  3.50          0.0000  0.00
CYLINDER    5 1  3.80          0.0000  0.00
CYLINDER    2 1  4.05          0.0000  0.00
UNIT 8
CYLINDER    5 1  2.90          136.100 0.0000
CYLINDER    2 1  3.20          136.100 0.0000
CYLINDER    9 1  3.30          136.100 0.0000
CYLINDER    2 1  3.50          136.100 0.0000
CYLINDER    5 1  3.80          136.100 0.0000
CYLINDER    2 1  4.05          136.100 0.0000
UNIT 9
CYLINDER    4 1  2.90          200.00  136.100
CYLINDER    2 1  3.20          200.00  136.100
CYLINDER    9 1  3.30          200.00  136.100
CYLINDER    2 1  3.50          200.00  136.100
CYLINDER    4 1  3.80          200.00  136.100
CYLINDER    2 1  4.05          200.00  136.100
UNIT 10
CYLINDER    4 1  1.50          0.0000  0.00
CYLINDER    7 1  1.70          0.0000  0.00
CYLINDER    3 1  2.775         0.0000  0.00
CYLINDER   600 1  14.946        0.0000  0.00
CYLINDER    3 1  16.8          0.0000  0.00
CYLINDER    7 1  17.5          0.0000  0.00
CYLINDER    4 1  26.7          0.0000  0.00
CYLINDER    7 1  27.5          0.0000  0.00
UNIT 11
CYLINDER    4 1  1.50          136.100 0.0000
CYLINDER    7 1  1.70          136.100 0.0000
```

CYLINDER	3	1	2.775		136.100	0.0000
CYLINDER	600	1	14.946		136.100	0.0000
CYLINDER	3	1	16.8		136.100	0.0000
CYLINDER	7	1	17.5		136.100	0.0000
CYLINDER	4	1	26.7		136.100	0.0000
CYLINDER	7	1	27.5		136.100	0.0000
UNIT 12						
CYLINDER	4	1	1.50		200.00	136.100
CYLINDER	7	1	1.70		200.00	136.100
CYLINDER	3	1	2.775		200.00	136.100
CYLINDER	600	1	14.946		200.00	136.100
CYLINDER	3	1	16.8		200.00	136.100
CYLINDER	7	1	17.5		200.00	136.100
CYLINDER	4	1	26.7		200.00	136.100
CYLINDER	7	1	27.5		200.00	136.100
UNIT 13						
CYLINDER	5	1	150.25		0.0000	0.00
HOLE	10		0.0	0.0	0.0	
HOLE	7		-30.0	-50.0	0.0	
HOLE	7		-50.0	10.0	0.0	
HOLE	7		-30.0	50.0	0.0	
HOLE	7		30.0	50.0	0.0	
HOLE	7		50.0	-10.0	0.0	
HOLE	7		30.0	-50.0	0.0	
HOLE	4		-20.0	-80.0	0.0	
HOLE	4		0.0	-80.0	0.0	
HOLE	4		20.0	-80.0	0.0	
HOLE	4		-40.0	-60.0	0.0	
HOLE	4		-20.0	-60.0	0.0	
HOLE	4		0.0	-60.0	0.0	
HOLE	4		20.0	-60.0	0.0	
HOLE	4		40.0	-60.0	0.0	
HOLE	4		-60.0	-40.0	0.0	
HOLE	4		-40.0	-40.0	0.0	
HOLE	4		-20.0	-40.0	0.0	
HOLE	1		0.0	-40.0	0.0	
HOLE	4		20.0	-40.0	0.0	
HOLE	4		40.0	-40.0	0.0	
HOLE	4		60.0	-40.0	0.0	
HOLE	4		-80.0	-20.0	0.0	
HOLE	4		-60.0	-20.0	0.0	
HOLE	4		-40.0	-20.0	0.0	
HOLE	4		40.0	-20.0	0.0	
HOLE	4		60.0	-20.0	0.0	
HOLE	4		80.0	-20.0	0.0	
HOLE	4		-80.0	0.0	0.0	
HOLE	4		-60.0	0.0	0.0	
HOLE	1		-40.0	0.0	0.0	
HOLE	1		40.0	0.0	0.0	
HOLE	4		60.0	0.0	0.0	
HOLE	4		80.0	0.0	0.0	
HOLE	4		-80.0	20.0	0.0	
HOLE	4		-60.0	20.0	0.0	
HOLE	4		-40.0	20.0	0.0	
HOLE	4		40.0	20.0	0.0	
HOLE	4		60.0	20.0	0.0	
HOLE	4		80.0	20.0	0.0	
HOLE	4		-60.0	40.0	0.0	
HOLE	4		-40.0	40.0	0.0	
HOLE	4		-20.0	40.0	0.0	
HOLE	1		0.0	40.0	0.0	
HOLE	4		20.0	40.0	0.0	
HOLE	4		40.0	40.0	0.0	
HOLE	4		60.0	40.0	0.0	
HOLE	4		-40.0	60.0	0.0	
HOLE	4		-20.0	60.0	0.0	
HOLE	4		0.0	60.0	0.0	
HOLE	4		20.0	60.0	0.0	
HOLE	4		40.0	60.0	0.0	
HOLE	4		-20.0	80.0	0.0	
HOLE	4		0.0	80.0	0.0	
HOLE	4		20.0	80.0	0.0	
CYLINDER	7	1	151.25		0.0000	0.00
CUBOID	4	1	151.25 -151.25 151.25 -151.25		0.0000	0.00
UNIT 14						
CYLINDER	5	1	150.25		136.100	0.0000
HOLE	11		0.0	0.0	0.0	
HOLE	8		-30.0	-50.0	0.0	
HOLE	8		-50.0	10.0	0.0	
HOLE	8		-30.0	50.0	0.0	
HOLE	8		30.0	50.0	0.0	
HOLE	8		50.0	-10.0	0.0	

HOLE	8	30.0	-50.0	0.0
HOLE	5	-20.0	-80.0	0.0
HOLE	5	0.0	-80.0	0.0
HOLE	5	20.0	-80.0	0.0
HOLE	5	-40.0	-60.0	0.0
HOLE	5	-20.0	-60.0	0.0
HOLE	5	0.0	-60.0	0.0
HOLE	5	20.0	-60.0	0.0
HOLE	5	40.0	-60.0	0.0
HOLE	5	-60.0	-40.0	0.0
HOLE	5	-40.0	-40.0	0.0
HOLE	5	-20.0	-40.0	0.0
HOLE	2	0.0	-40.0	0.0
HOLE	5	20.0	-40.0	0.0
HOLE	5	40.0	-40.0	0.0
HOLE	5	60.0	-40.0	0.0
HOLE	5	-80.0	-20.0	0.0
HOLE	5	-60.0	-20.0	0.0
HOLE	5	-40.0	-20.0	0.0
HOLE	5	40.0	-20.0	0.0
HOLE	5	60.0	-20.0	0.0
HOLE	5	80.0	-20.0	0.0
HOLE	5	-80.0	0.0	0.0
HOLE	5	-60.0	0.0	0.0
HOLE	2	-40.0	0.0	0.0
HOLE	2	40.0	0.0	0.0
HOLE	5	60.0	0.0	0.0
HOLE	5	80.0	0.0	0.0
HOLE	5	-80.0	20.0	0.0
HOLE	5	-60.0	20.0	0.0
HOLE	5	-40.0	20.0	0.0
HOLE	5	40.0	20.0	0.0
HOLE	5	60.0	20.0	0.0
HOLE	5	80.0	20.0	0.0
HOLE	5	-60.0	40.0	0.0
HOLE	5	-40.0	40.0	0.0
HOLE	5	-20.0	40.0	0.0
HOLE	2	0.0	40.0	0.0
HOLE	5	20.0	40.0	0.0
HOLE	5	40.0	40.0	0.0
HOLE	5	60.0	40.0	0.0
HOLE	5	-40.0	60.0	0.0
HOLE	5	-20.0	60.0	0.0
HOLE	5	0.0	60.0	0.0
HOLE	5	20.0	60.0	0.0
HOLE	5	40.0	60.0	0.0
HOLE	5	-20.0	80.0	0.0
HOLE	5	0.0	80.0	0.0
HOLE	5	20.0	80.0	0.0
CYLINDER	7 1	151.25		136.100 0.0000
CUBOID	4 1	151.25 -151.25 151.25 -151.25		136.100 0.0000
UNIT 15				
CYLINDER	4 1	150.25		200.00 136.100
HOLE	12	0.0	0.0	0.0
HOLE	9	-30.0	-50.0	0.0
HOLE	9	-50.0	10.0	0.0
HOLE	9	-30.0	50.0	0.0
HOLE	9	30.0	50.0	0.0
HOLE	9	50.0	-10.0	0.0
HOLE	9	30.0	-50.0	0.0
HOLE	6	-20.0	-80.0	0.0
HOLE	6	0.0	-80.0	0.0
HOLE	6	20.0	-80.0	0.0
HOLE	6	-40.0	-60.0	0.0
HOLE	6	-20.0	-60.0	0.0
HOLE	6	0.0	-60.0	0.0
HOLE	6	20.0	-60.0	0.0
HOLE	6	40.0	-60.0	0.0
HOLE	6	-60.0	-40.0	0.0
HOLE	6	-40.0	-40.0	0.0
HOLE	6	-20.0	-40.0	0.0
HOLE	3	0.0	-40.0	0.0
HOLE	6	20.0	-40.0	0.0
HOLE	6	40.0	-40.0	0.0
HOLE	6	60.0	-40.0	0.0
HOLE	6	-80.0	-20.0	0.0
HOLE	6	-60.0	-20.0	0.0
HOLE	6	-40.0	-20.0	0.0
HOLE	6	40.0	-20.0	0.0
HOLE	6	60.0	-20.0	0.0
HOLE	6	80.0	-20.0	0.0
HOLE	6	-80.0	0.0	0.0

HOLE	6	-60.0	0.0	0.0
HOLE	3	-40.0	0.0	0.0
HOLE	3	40.0	0.0	0.0
HOLE	6	60.0	0.0	0.0
HOLE	6	80.0	0.0	0.0
HOLE	6	-80.0	20.0	0.0
HOLE	6	-60.0	20.0	0.0
HOLE	6	-40.0	20.0	0.0
HOLE	6	40.0	20.0	0.0
HOLE	6	60.0	20.0	0.0
HOLE	6	80.0	20.0	0.0
HOLE	6	-60.0	40.0	0.0
HOLE	6	-40.0	40.0	0.0
HOLE	6	20.0	40.0	0.0
HOLE	6	40.0	40.0	0.0
HOLE	6	60.0	40.0	0.0
HOLE	6	-40.0	60.0	0.0
HOLE	6	-20.0	60.0	0.0
HOLE	6	0.0	60.0	0.0
HOLE	6	20.0	60.0	0.0
HOLE	6	40.0	60.0	0.0
HOLE	6	-20.0	80.0	0.0
HOLE	6	0.0	80.0	0.0
HOLE	6	20.0	80.0	0.0
CYLINDER	7 1	151.25		200.00 136.100
CUBOID	4 1	151.25 -151.25 151.25 -151.25		200.00 136.100
UNIT 16				
CYLINDER	4 1	1.50		-9.0 -15.0
CYLINDER	7 1	1.70		-9.0 -15.0
CYLINDER	3 1	16.8		-9.0 -15.0
CYLINDER	7 1	17.5		-9.0 -15.0
CYLINDER	4 1	26.7		-9.0 -15.0
CYLINDER	7 1	27.5		-9.0 -15.0
CYLINDER	5 1	150.25		-9.0 -15.0
CYLINDER	7 1	151.25		-9.0 -15.0
CUBOID	4 1	151.25 -151.25 151.25 -151.25		-9.0 -15.0
UNIT 17				
CYLINDER	4 1	1.50		0.0 -9.0
CYLINDER	7 1	1.70		0.0 -9.0
CYLINDER	3 1	16.8		0.0 -9.0
CYLINDER	7 1	17.5		0.0 -9.0
CYLINDER	4 1	26.7		0.0 -9.0
CYLINDER	7 1	27.5		0.0 -9.0
CYLINDER	6 1	150.25		0.0 -9.0
CYLINDER	7 1	151.25		0.0 -9.0
CUBOID	4 1	151.25 -151.25 151.25 -151.25		0.0 -9.0
UNIT 18				
CYLINDER	4 1	5.84		292.3 200.0
CYLINDER	2 1	6.04		292.3 200.0
CYLINDER	4 1	6.625		292.3 200.0
CYLINDER	2 1	6.825		292.3 200.0
UNIT 19				
CYLINDER	4 1	1.50		292.3 200.0
CYLINDER	7 1	1.70		292.3 200.0
CYLINDER	4 1	16.8		292.3 200.0
CYLINDER	7 1	17.5		292.3 200.0
CYLINDER	4 1	26.7		292.3 200.0
CYLINDER	7 1	27.5		292.3 200.0
CYLINDER	4 1	150.25		292.3 200.0
HOLE	18	-20.0	-80.0	0.0
HOLE	18	0.0	-80.0	0.0
HOLE	18	20.0	-80.0	0.0
HOLE	18	-40.0	-60.0	0.0
HOLE	18	-20.0	-60.0	0.0
HOLE	18	0.0	-60.0	0.0
HOLE	18	20.0	-60.0	0.0
HOLE	18	40.0	-60.0	0.0
HOLE	18	-60.0	-40.0	0.0
HOLE	18	-40.0	-40.0	0.0
HOLE	18	-20.0	-40.0	0.0
HOLE	18	0.0	-40.0	0.0
HOLE	18	20.0	-40.0	0.0
HOLE	18	40.0	-40.0	0.0
HOLE	18	60.0	-40.0	0.0
HOLE	18	-80.0	-20.0	0.0
HOLE	18	-60.0	-20.0	0.0
HOLE	18	-40.0	-20.0	0.0
HOLE	18	40.0	-20.0	0.0
HOLE	18	60.0	-20.0	0.0
HOLE	18	80.0	-20.0	0.0

```

HOLE   18    -80.0     0.0     0.0
HOLE   18    -60.0     0.0     0.0
HOLE   18    -40.0     0.0     0.0
HOLE   18     40.0     0.0     0.0
HOLE   18     60.0     0.0     0.0
HOLE   18     80.0     0.0     0.0
HOLE   18    -80.0    20.0     0.0
HOLE   18    -60.0    20.0     0.0
HOLE   18    -40.0    20.0     0.0
HOLE   18     40.0    20.0     0.0
HOLE   18     60.0    20.0     0.0
HOLE   18     80.0    20.0     0.0
HOLE   18    -60.0    40.0     0.0
HOLE   18    -40.0    40.0     0.0
HOLE   18    -20.0    40.0     0.0
HOLE   18     0.0    40.0     0.0
HOLE   18     20.0    40.0     0.0
HOLE   18     40.0    40.0     0.0
HOLE   18     60.0    40.0     0.0
HOLE   18    -40.0    60.0     0.0
HOLE   18    -20.0    60.0     0.0
HOLE   18     0.0    60.0     0.0
HOLE   18     20.0    60.0     0.0
HOLE   18     40.0    60.0     0.0
HOLE   18    -20.0    80.0     0.0
HOLE   18     0.0    80.0     0.0
HOLE   18     20.0    80.0     0.0
CYLINDER 7 1 151.25      292.3 200.0
CUBOID   4 1 151.25 -151.25 151.25 -151.25 292.3 200.0
UNIT 20
CYLINDER 4 1 1.50      332.2 292.3
CYLINDER 7 1 1.70      332.2 292.3
CYLINDER 4 1 16.8      332.2 292.3
CYLINDER 7 1 17.5      332.2 292.3
CYLINDER 4 1 26.7      332.2 292.3
CYLINDER 7 1 151.25      332.3 292.3
CUBOID   4 1 151.25 -151.25 151.25 -151.25 332.3 292.3
GLOBAL UNIT 21
ARRAY   1           -151.25      -151.25      -15.0
END GEOM
READ ARRAY
ARA=1  NUX=1  NUY=1  NUZ=7
FILL
16
17
13
14
15
19
20
END FILL
END ARRAY
READ PLOT
TTL='X-Y SLICE FOR CORE AT Z=30'
XUL=-153 YUL=153 ZUL=30
XLR=154 YLR=-154 ZLR=30
UAX=1.0 VDN=-1.0 NAX=130 NCH='.*W TDF7' END
TTL='X-Y SLICE FOR CORE AT Z=150'
XUL=-153 YUL=153 ZUL=150
XLR=154 YLR=-154 ZLR=150
UAX=1.0 VDN=-1.0 NAX=130 NCH='.*W TDF7' END
TTL='X-Y SLICE FOR CORE AT Z=250'
XUL=-153 YUL=153 ZUL=250
XLR=154 YLR=-154 ZLR=250
UAX=1.0 VDN=-1.0 NAX=130 NCH='.*W TDF7' END
TTL='X-Y SLICE FOR CALANDRIA TUBE AT Z=30'
XUL=-7 YUL=7 ZUL=30
XLR=7 YLR=-7 ZLR=30
UAX=1.0 VDN=-1.0 NAX=130 NCH='.*W TDF7' END
TTL='X-Y SLICE FOR CALANDRIA TUBE AT Z=150'
XUL=-7 YUL=7 ZUL=150
XLR=7 YLR=-7 ZLR=150
UAX=1.0 VDN=-1.0 NAX=130 NCH='.*W TDF7' END
END PLOT
END DATA

```

End

## 4 TWODANT入力例

```

3 0 0
DCA PITCH 2.2CM 35CM OUT 2.7EU 100% ;DRIVER(132) P=20, E, U=1.2
H:100, LT:100, LD:141.05 SCALE 27GRPNDF4 P3 S8
R-Z MODEL TWODANT (27G)
/
/* * * * block i (control) * * * *
/
  igeom=r-z ngroup=27 isn=8
  niso=18 mt=18
  nzone=13
  im=13 jm=8
  it=63 jt=56
  maxscm=200000 maxlcm=500000
t
/
/* * * * block ii (geometry) * * * *
/
  xmesh= 0.0 1.50 1.7 2.775 14.946 16.8 17.5
         26.7 27.500 33.8510 40.6840 85.191 150.25 151.25
  xints= 2 2 2 12 4 2 9
         2 2 2 9 13 2
  ymesh= 0.00 6.00 15.00 55.00 115.00 156.05 215.00;
         307.3 347.3
  yints= 2 2 8 12 8 12
         8 4
  zones= 7 6 3 3 3 6 7 6 4 4 4 4 5;
         7 6 3 3 3 6 7 6 8 8 8 8 5;
         7 6 3 1 3 6 7 6 4 13 12 4 5;
         7 6 3 1 3 6 7 6 4 13 12 4 5;
         7 6 7 2 7 6 7 6 4 13 12 4 5;
         7 6 7 2 7 6 7 6 7 11 7 5;
         7 6 7 7 7 6 7 6 7 7 7 5;
         6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 5;
t
/
/* * * * block iii (cross sections) * * * *
/
  lib= xslib
  maxord=3 ihm=43 iht=3 ihs=16 ifido=-1
  ititl=1 i2lp1=1
  names= U02AIR
         U02H2O
         ALMG
         H2O
         AIR
         D2O
         SUS304
         AL
         U02
         CD
         U27
         U27AIR
         U27H2O
         V100DR
         V100WE
         D20AIR
         V000DR
         V000WE
  chivec=
  2.25108E-02 1.92421E-01 2.15569E-01 1.24001E-01 1.64688E-01
  1.78039E-01 8.81197E-02 1.35853E-02 9.86126E-04 7.32464E-05
  5.76258E-06 4.04811E-07 6.42803E-08 1.27386E-08 1.43961E-09
  4.22720E-10 1.36136E-10 9.74690E-11 1.37801E-10 2.24079E-10
  3.27978E-11 3.80529E-11 3.63828E-11 9.90296E-12 2.89894E-12
  2.03275E-12 4.84412E-13
t
/
***** end of cross section data *****
/
/
/* * * * block iv (mixing) * * * *
/
  matls= isos
  assign= TSTWET U27H2O 1.0 ;
          TSTDRY U27AIR 1.0 ;
          LWTR H2O 1.0 ;
          HWTR D2O 1.0 ;
          TUBEAL ALMG 1.0 ;

```

```
GRAL    AL      1.0 ;
VAIR    AIR     1.0 ;
SUS304 SUS304  1.0 ;
DRVDRY V000DR  1.0 ;
DRVWET V000WE  1.0 ;
AIRAIR V100DR  1.0 ;
AIRWET V100WE  1.0 ;
AIRD20 D20AIR  1.0 ;
t
/
/* * * * block v (solver) * * * *
/
ievt=1  isct=3  ith=0
ibl=1 ibr=0 ibt=0 ibb=0
epsi=0.00001 oitm=50 iitm=30000
norm=1
fluxp=1 xsectp= 1 fissrp=1 balp=1
t
/
/* * * * block vi (edits) * * * *
/

```