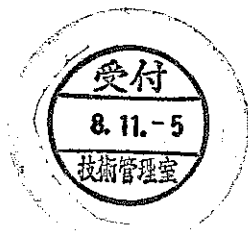


# D C A 燃料棒貯蔵柵の安全評価

— 臨界、耐震、線量当量率の評価 —

1996年9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ください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

## DCA燃料棒貯蔵棚の安全評価

### — 臨界、耐震、線量当量率の評価 —

吉田 守\*<sup>1</sup>、戸部賢治\*<sup>2</sup>  
有賀正訓\*<sup>3</sup>、相原永史\*<sup>4</sup>

### 要 旨

臨界工学試験室における燃料貯蔵庫内に新たに燃料棒を収納する貯蔵棚を製作した。これは同室が所有しているDCA型燃料棒及び「常陽」型燃料棒を燃料棒の状態で収納するためのものである。

燃料棒貯蔵棚の製作に際しては、臨界安全が確保された状態で長期的に保存ができるように設計する必要がある。この貯蔵棚の設計・製作・据付けに係わる安全評価として、①臨界安全、②耐震、③線量当量率について検討・評価を行った。解析に使用した計算コードは、それぞれSCALE-4、SAP-IV、ANISNコードシステムである。

臨界評価から燃料棒貯蔵棚の実効増倍率が最も高くなるケースは「常陽」型燃料棒の全収納（300本）の場合で、空気中の水密度をパラメータにした結果、最大でも $k_{eff} = 0.568$ であり、如何なる状態でも未臨界であることが確認された。また、既設燃料集合体貯蔵設備との中性子相互干渉効果を解析した結果、貯蔵棚は相互干渉が生じることはなく、核的に隔離されていることが確認できた。

耐震評価では、基準地震動 $S_1$ による地震力又は静的地震力に対して降伏応力を許容限界として解析した結果、貯蔵棚の各部が許容応力以下であることが確認できた。

線量当量率評価の結果から、線量当量率が最も高いケースはDCA3.4%MOX燃料棒の全収納（300本）の場合であった。

- 
- \* 1 大洗工学センター 実験炉部 臨界工学試験室（現在 地震調査研究センター）
  - \* 2 大洗工学センター 実験炉部 臨界工学試験室（現在 富士電機株式会社）
  - \* 3 原子力システム（株） 大洗事務所 技術開発部
  - \* 4 大洗工学センター 実験炉部 臨界工学試験室

## Safety Evaluation of Fuel-Rods Storage Rack in DCA Facility

## — Criticality, Earthquake-Proof and Dose Equivalent Rate —

Mamoru Yoshida\*<sup>1</sup>, Kenji Tobe\*<sup>2</sup>, Masanori Ariga\*<sup>3</sup>, and Nagafumi Aihara \*<sup>4</sup>

## Abstract

A new fuel-rods storage rack has been manufactured to store DCA and JOYO type fuel-rods in a fuel-rods storage house attached to the Criticality Engineering Section Facility. For the manufacture of fuel-rods storage rack, a safety design evaluation was performed about criticality safety, earthquake-proof and dose equivalent rate. The calculation of design evaluation was performed by using SCALE-4, SAP-IV and ANISN code system, respectively.

We could understand the following informations from the safety design evaluation:

(1) As a result of criticality evaluation, a maximum Keff value was 0.568 by the use of JOYO type fuel-rods with all number of 300 fuel-rods. This means that the sub-criticality is kept in any situation.

(2) As a result of earthquake-proof evaluation, it was confirmed that the new storage rack showed less value than the permitted stress from an analytical result when the yield point against the earthquake power of standard earthquake oscillation or the static earthquake power was set as a permitted limit.

(3) As a result of evaluation for the dose equivalent rate, a maximum dose equivalent rate was a case by the use of DCA 3.4% enriched MOX fuel-rods with all number of 300 fuel-rods.

---

\*1 Criticality Engineering Section, Experimental Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC. (Present: Earthquake Research Center)

\*2 Criticality Engineering Section, Experimental Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC. (Present: Fuji Electric Co., Ltd.)

\*3 Technology Development Division, O-arai Office, Nuclear Energy System Incorporation.

\*4 Criticality Engineering Section, Experimental Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC.

## 目 次

I	臨界安全評価	1
1.	概要	1
2.	貯蔵棚の設計上の配慮	1
2.1	基本的考え方	1
2.2	単一ユニットの臨界管理	1
2.3	複数ユニットの臨界管理	2
3.	燃料棒貯蔵棚の臨界解析	3
3.1	解析の方法	3
3.2	計算ケースと計算条件	3
3.3	解析結果	4
4.	D C A貯蔵庫全体の臨界解析	5
4.1	解析の方法	5
4.2	計算ケースと計算条件	5
4.3	解析結果	6
5.	考察（臨界安全評価の結果）	6
5.1	燃料棒貯蔵棚について	6
5.2	D C A貯蔵庫全体について	7
	添付資料1. 計算コードについて	1 8
	添付資料2. 燃料棒貯蔵棚の解析例	2 1
II	耐震評価	2 4
1.	耐震設計の基本方針	2 4
1.1	構造概要	2 4
1.2	設計方針	2 4

1.3 耐震設計評価フロー	2 4
2. 燃料貯蔵棚の耐震計算書	2 8
2.1 概要	2 8
2.1.1 一般事項	2 8
2.1.2 適用規格	2 8
2.1.3 記号の説明	2 8
2.1.4 計算条件	3 0
2.2 計算方法	3 1
2.2.1 固有周期の計算方法	3 1
2.2.2 応力の計算方法	3 2
2.3 評価方法	3 4
2.3.1 固有周期の評価方法	3 4
2.3.2 応力の評価方法	3 4
2.4 評価条件	3 6
2.5 機器要目	3 6
2.5.1 機材	3 6
2.5.2 基礎ボルト	3 6
2.5.3 引出し材	3 6
2.6 計算結果	3 7
2.6.1 固有周期	3 7
2.6.2 応答解析結果	3 7
2.6.3 応力計算結果	3 8
2.6.4 溶接継手部の評価	3 9
2.7 評価結果	4 2

Ⅲ 線量当量率評価 .....	4 3
1. 概要 .....	4 3
2. 計算コード体系 .....	4 3
3. 計算解析モデル .....	4 4
4. 計算条件 .....	4 5
5. 計算結果 .....	4 5
6. 考察 .....	4 6
[参考文献] .....	5 6
[付 録] .....	5 7
付録A 燃料棒貯蔵棚製作図	

# I 臨界安全評価

## 1. 概要

燃料棒貯蔵棚の製作において、臨界安全を考慮することは重要なことである。先ず設計に当たって従来経験から臨界安全性を考慮した設計を行い、その設計が臨界安全上十分満足するものであるかどうかを解析により確認する必要がある。

ここでは貯蔵棚の設計上の臨界安全の配慮を検討し、次に設計・製作図面（付録A参照）に基づき貯蔵棚に収納される核燃料物質が如何なる状態でも臨界に達することがないことを解析により確認した。さらに、新設する貯蔵棚が既設の燃料集合体の貯蔵状態と中性子相互干渉が生じているかどうかの評価も行った。

## 2. 貯蔵棚の設計上の配慮

### 2.1 基本的考え方

燃料棒貯蔵棚の設計に対して、如何なる場合でも核燃料物質が臨界に達しないための対策（臨界管理）を講じる必要がある。その臨界管理は単一ユニットと複数ユニットに分けて評価を行い、それぞれについて臨界を防止する対策が講じられる必要がある。

### 2.2 単一ユニットの臨界管理

臨界管理を考える場合に対象となる核燃料物質取扱い上の一つの単位を単一ユニットと言い、この場合の単一ユニットは、貯蔵棚中の一つのトレイ群とする。一つのトレイ群は、燃料棒10本を配列した一枚のトレイを3段重ねたものを、かつ並列に並べた構造のものである。従って、本設計では燃料棒が最大60本収容可能な設計の概念である（これが臨界管理上の単一ユニットとされる）。

#### <臨界安全上の要件>

臨界安全上の要件は、単一ユニット内の燃料棒が最適減速状態（最適格子間隔にて完全水没、完全水反射）で決して臨界に達しないこと。

① D C A 燃料棒の最適減速状態での最少臨界本数は 253本であるとの報告がある。\*<sup>1</sup>

② 「常陽」燃料棒の最適減速状態での最少臨界本数は 160本であるとの報告がある。\*<sup>2</sup>

#### <臨界安全を考慮に入れた設計上の要件>



臨界安全を考慮に入れた設計上の要件は、単一ユニットとしてのトレイ群にはD C A型燃料棒及び「常陽」型燃料棒のいずれでも、60本以上が物理的に収納できないトレイの構造とすること。具体的に次のような設計要件とすること。

- ①トレイが3段以上重ねられない構造とすること。
- ②トレイの溝に1本以上の燃料棒が収納できない構造とすること。

### 2.3 複数ユニットの臨界管理

本貯蔵棚には、上記単一ユニットのトレイ群が二つ以上存在する構造であるため（設計では5段）、そのユニット相互間の中性子相互干渉を考慮して、如何なる場合でも臨界を防止する対策を講じる必要がある。臨界管理を考慮に入れた設計上の要件は、先ず基本的に次のような要件を備えると臨界安全設計が容易になる。

- ① ユニット相互間を核的に隔離するならば、その間隔を30cm以上離すこと。<sup>\*3)</sup>
- ② ユニット相互間に3mm以上の鉄を挟む構造とすること。

①については、単一ユニット相互間が完全水没の状態、中性子相互干渉が生じない間隔とされている。②については、ユニット間が完全水没から水密度が希釈になるに従い中性子相互干渉が生じてくる影響を、中性子吸収により実効増倍率の増加を相殺する効果をもつ。

#### <燃料棒貯蔵棚設計の臨界安全評価>

- ①設計図面からトレイ群の間隔が25cm確保されており、核的隔離に近いものがある。
- ②トレイ群相互間の中性子相互干渉は、完全水没条件よりは寧ろ水密度が希薄の条件で生じるものとされている。実際の設計ではトレイ群間に3mm以上の鉄が存在するので、その中性子吸収効果で中性子相互干渉の増加を防ぐことができる。

これら中性子相互干渉による未臨界度を確認するには、信頼度の高い臨界計算コードで解析を行う必要がある。次章以下に解析について詳述する。

### 3. 燃料棒貯蔵棚の臨界解析

燃料棒貯蔵棚の設計の臨界安全性確認に当たって、信頼のおける計算コードを用いて未臨界度の解析を行った。貯蔵棚の設計に基づくトレイ間の中性子相互干渉効果を調べるため、貯蔵棚の完全水没状態から水密度の希釈状態までについてパラメーター計算を行った。

#### 3.1 解析の方法

臨界計算コードとして、核燃料施設の臨界安全計算に定評のあるSCALE-4 計算システムを解析に用いた。SCALE-4 のモジュールでは3次元モンテカルロ法に繋がるCSAS 25を適用した。SCALE-4 システム及びモジュール適用についての概要は添付資料1を参照のこと。また、中性子断面積ライブラリーには27群BNDP/B-IVを選定した。

貯蔵棚に収納する燃料棒の種類は、DCA 型 3.4% MOX 燃料棒、「常陽」MK-II 型燃料棒、及び「常陽」MK-I 型燃料棒の3種類であり、それぞれについて解析した。燃料棒のミート部長さはDCA型では2桁、「常陽」型では1桁とした。

解析の流れを図1.1 に示す。解析に当たって、貯蔵棚の設計図面を計算にのせるためモデル化を行った。そのモデル化の一例を図1.2 に示す。モデル化に際しては、十分な安全裕度を持つように保守的な評価を配慮した。境界条件として、貯蔵棚の直方体全方向を30cmの水反射とした。

#### 3.2 計算ケースと計算条件

解析計算ケースと解析に用いた計算条件は、次のとおりである。

##### (1) 燃料棒（仕様は表1.1参照）

- ① DCA 型 3.4%MOX 燃料棒のトレイ全収納(300本)
- ② 「常陽」MK-II 型燃料棒のトレイ全収納(300本)
- ③ 「常陽」MK-I 型燃料棒のトレイ全収納(300本)

##### (2) 水密度パラメーター

トレイ内及びトレイ群間の水密度を完全水没からゼロになるまで、約10点のパラメーターとした。即ち、水密度 100、80、60、40、30、20、10、5、0(0.1)%。

##### (3) SCALE-4 の制御モジュール CSAS25 の計算条件

- ① 一世代あたりの中性子数：300
- ② 総世代数                   : 303

- ③中性子ライブラリ : 27群 BDNF/B-IV
- ④境界条件 : 全方向30cm 水反射
- ⑤トレイ内燃料棒の配列 : 3.464cm (3 cm×4 cmに等価な面積の  
正方格子配列ピッチ)

### 3.3 解析結果

燃料棒貯蔵棚の臨界計算結果を表1.2から表1.5までに示す。

- (1) 表1.2はDCA型3.4%MOX燃料棒300本を収納した場合の貯蔵棚の未臨界度計算結果である。その最大実効増倍率( $k_{eff}$ )は0.25であった。
- (2) 表1.3は「常陽」マークII型燃料棒300本を収納した場合の貯蔵棚の未臨界度計算結果である。その最大実効増倍率( $k_{eff}$ )は0.51であった。
- (3) 表1.4は「常陽」マークI型燃料棒300本を収納した場合の貯蔵棚の未臨界度計算結果である。その最大実効増倍率( $k_{eff}$ )は0.56であった。
- (4) 以上の3種類の燃料棒の内、最も中性子実効増倍率の高いものは「常陽」マークI型燃料棒であったため、トレイ群の間のSUS材の効果を調べるため、SUS材がないケースをモデルにした計算を行った。その未臨界度計算結果を表1.5に示す。その最大実効増倍率( $k_{eff}$ )は0.60であり、SUS材があるケースより当然であるが若干高い値となった。
- (5) この解析計算に適用したCSAS25の妥当性を調べるため、他のモジュール①CSAS2X、及び②CSASIX/KBNOについて同様な計算を行った結果を表1.8に示す。「常陽」マークI型燃料棒についての水密度10%の結果(表1.8)から実効増倍率が $0.30 \pm$ 標準偏差内で一致していることが分かる。
- (6) 以上の計算結果の表1.2から表1.4を図示して、各燃料棒間の未臨界度の比較を図1.6に示した。
- (7) トレイ間のSUS効果の比較をみるため、表1.4と表1.5を図1.7に示した。
- (8) 貯蔵棚及びトレイの計算モデルを若干変えた場合の解析例を添付資料2.に示した。

#### 4. DCA貯蔵庫全体の臨界解析

今回の臨界安全評価の主題は燃料棒貯蔵棚にあるが、貯蔵庫に存在する既設の燃料集合体（クラスター）の貯蔵との相互干渉効果を調べるため、貯蔵庫全体の未臨界面度の解析を行った。

##### 4.1 解析の方法

計算コードは上記と同様に SCALE-4を用いた。ただし、制御モジュールについては CSAS2X及び CSAS2X と等価な CSASIX 及び KBNO の組み合わせをそれぞれ用いた。

DCA型燃料集合体にはウラン燃料から種々のPu富化度を有するMOX燃料があるが、臨界に最も厳しい条件となるDCA型 3.4% MOX 燃料棒が収納されているものとした。また、燃料棒貯蔵棚には上記の解析で最も実効増倍率の高かった「常陽」MK-I型燃料棒を収納した場合を解析した。

解析の流れを図1.1の後半に示す。解析に当たってのモデル化をDCA貯蔵庫全体図に基づき図1.3に示すように行った。燃料集合体内の燃料棒間隔は図1.4に示すように、三角格子ピッチとした。

貯蔵庫全体のモデル化では、図1.3に示すように燃料集合体（図1.5参照）の貯蔵庫のほんの片隅に貯蔵棚が配置されているもので、貯蔵棚は縦置きにモデル化した。貯蔵棚の燃料棒は貯蔵庫の燃料集合体が平行になるような配置とし、貯蔵棚が既設の燃料集合体に近づくような保守的なモデルとした。天井と床の間の距離は燃料集合体のミート部長さに合わせて2桁とした。また、境界条件として周囲壁方向は30cmのコンクリート反射とし、床及び天井方向は鏡面反射とした。

##### 4.2 計算ケースと計算条件

解析計算ケースと解析に用いた計算条件は、次のとおりである。

###### (1) 計算ケース

- ① 先ず、燃料棒貯蔵棚を除いた燃料集合体(192体)だけの貯蔵庫全体の計算。
- ② 次に、①の状態に「常陽」MK-I型燃料棒(300本)が貯蔵棚に収納されている状態の計算。

###### (2) 燃料集合体の仕様

燃料集合体の水平断面構造は、図1.5に示すものである。クラスターの外直径は12cmの円筒とした。燃料有効長は2桁とした。

## (2) 水密度パラメーター

上述の計算ケースは水密度を完全水没からゼロになるまで、約10点のパラメーターとした。即ち、水密度 100、80、60、40、30、20、10、6、4、2、0(0.1)％。

## (3) SCALE-4 の制御モジュールCSAS2Xの計算条件

- ①一世代あたりの中性子数：1000
- ②総世代数：303
- ③中性子ライブラリ：27群 ENDF/B-IV
- ④境界条件：周囲壁は 30cm コンクリート反射（普通コンクリート）  
床、天井は鏡面反射
- ⑤集合体内燃料棒の配列：1.90cm（直径 12cm の円筒内に36本の燃料棒が三角格子に配列しているとしたときの等価面積の配列ピッチ  
図1.4参照）

## 4.3 解析結果

DCA 貯蔵庫全体の計算結果を表1.6、表1.7及び図1.8に示す。

- (1) DCA 型燃料集合体だけ（192 体）の貯蔵庫全体の実効増倍率の計算結果を表1.6に示す。（貯蔵棚なしのケース）
- (2) DCA 型燃料集合体（192 体）の貯蔵状態に、燃料棒貯蔵棚を配置した状態のDCA 貯蔵庫全体の実効増倍率の計算結果を表1.7に示す。（貯蔵棚を考慮したケース）
- (3) 表1.6、表1.7の実効増倍率の計算結果を対比して図1.8に図示した。
- (4) 境界条件に用いたコンクリート反射について、コンクリートの種類の影響を調べるため、SCALE-4 に内蔵された4種類のコンクリート組成を変えて、参考のため計算を行った。その結果を表1.9に示す。何れも $k_{eff} = 0.79$ であった。本計算では Regular コンクリートを使用した。

## 5. 考察（臨界安全評価の結果）

臨界安全評価の未臨界度の判定基準は、実効増倍率 $k_{eff} = 0.95$ とする。

## 5.1 燃料棒貯蔵棚について

- (1) 3種類の燃料棒のうち実効増倍率の最も高いものは「常陽」マークI型燃料棒のものであった。その実効増倍率の値は標準偏差の3 $\sigma$ を考慮しても $k_{eff} = 0.568$

であった。従って何れの燃料棒収納でも未臨界であることが確認できた。(表 1. 4 参照)

- (2) 貯蔵棚の水密度パラメーターに対して最も高い実効増倍率を示したのは、水密度が 100% のときであり、即ち完全水没状態のときであった。(図 1. 6 参照)
- (3) トレイ間の SUS材の効果についての解析では、トレイ間に SUS材を置いた場合に、若干、実効増倍率の減少がありトレイ間の SUS材が有効であることがみられた。また、完全水没状態のときに最も高い実効増倍率を示す傾向に変化はなかった。(図 1. 7 参照)
- (4) (2)と(3)の解析結果から、貯蔵棚のトレイ群間の中性子相互干渉効果はほとんどないものとする。

## 5. 2 D C A貯蔵庫全体について

- (1) 貯蔵棚の設置の有無について解析した結果、集合体のみの貯蔵の場合、明らかに集合体間の相互干渉効果がみられた。それは実効増倍率が水密度 4% の近傍でピークを示した(図 1. 8 参照)。その実効増倍率の値は標準偏差の  $3\sigma$  を考慮しても 0.8 を超えることはなく、判定基準の 0.95 を十分下回り、貯蔵庫全体が考えられる如何なる条件でも未臨界であることが確認できた。
- (2) 集合体が貯蔵された貯蔵庫に燃料棒貯蔵棚を設置した場合、水密度が高いところで実効増倍率の増加がみられたが、水密度 4% の近傍での実効増倍率に変化が見られなかった(図 1. 8 参照)。
- (3) (1)と(2)の結果から、燃料棒貯蔵棚の設置に伴う既設備と貯蔵棚との中性子相互干渉効果はまったくなく、完全に隔離された状態と考えられる。

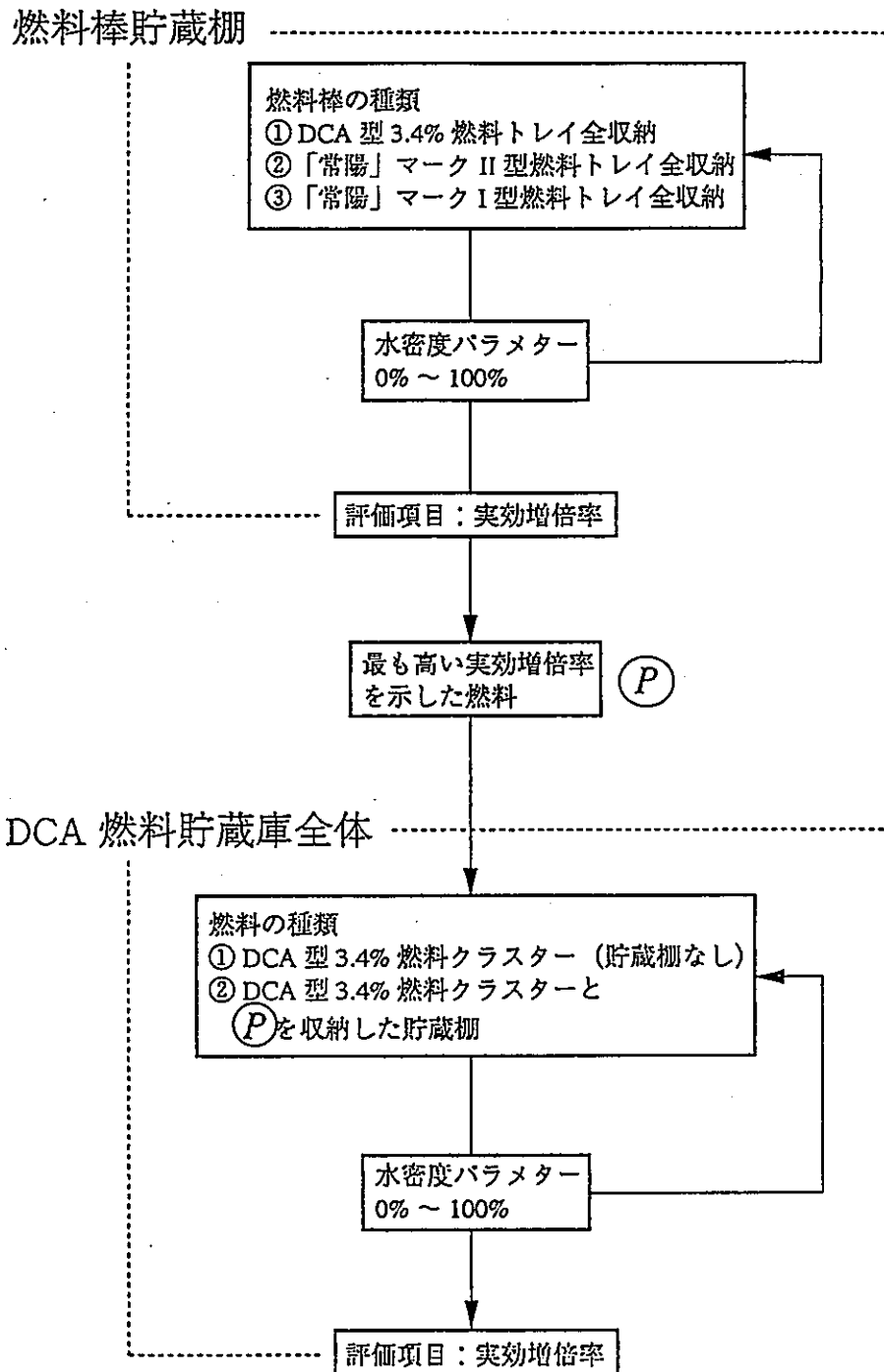


図 1.1 臨界解析フロー

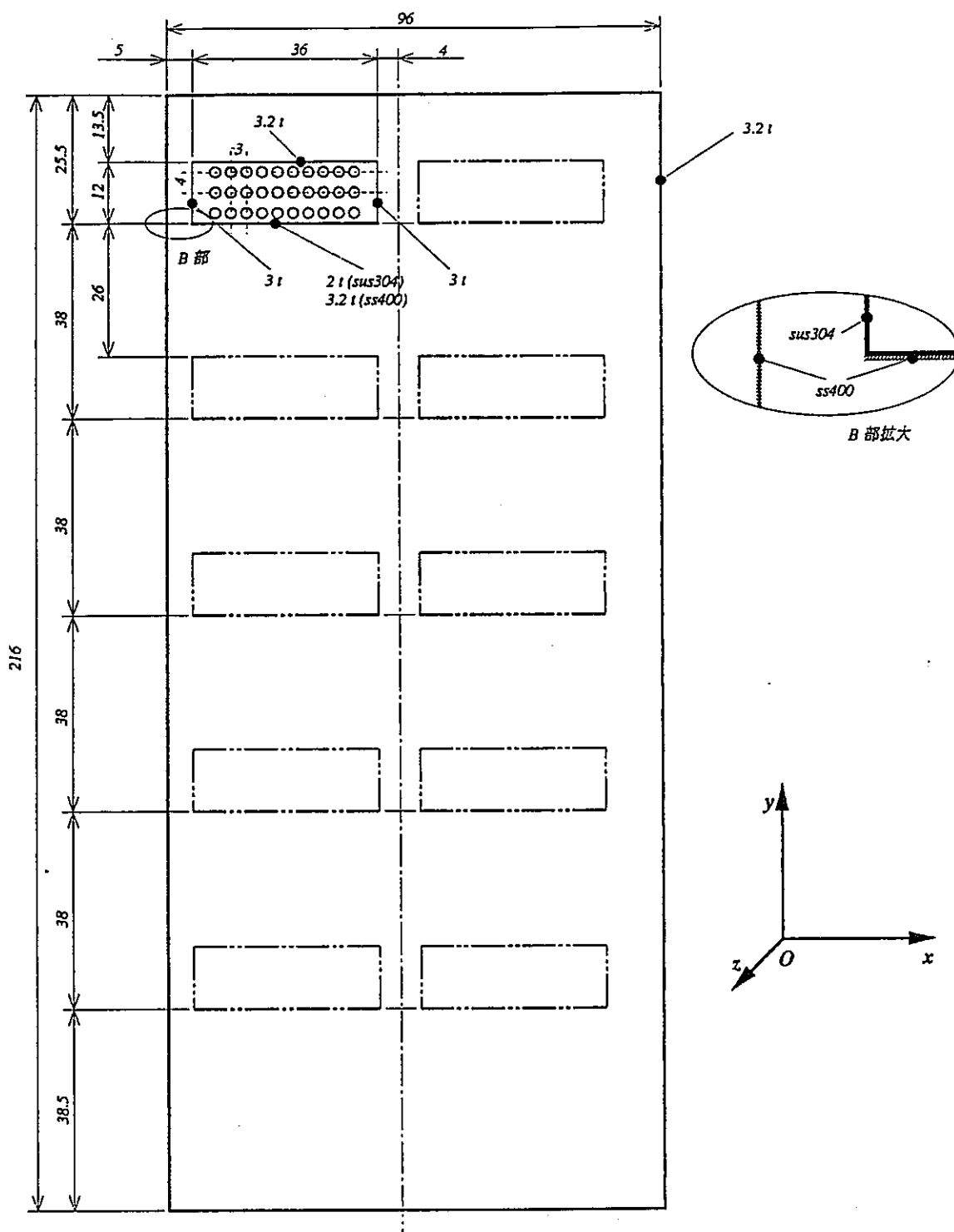


図 1.2 燃料棒貯蔵棚の解析モデル



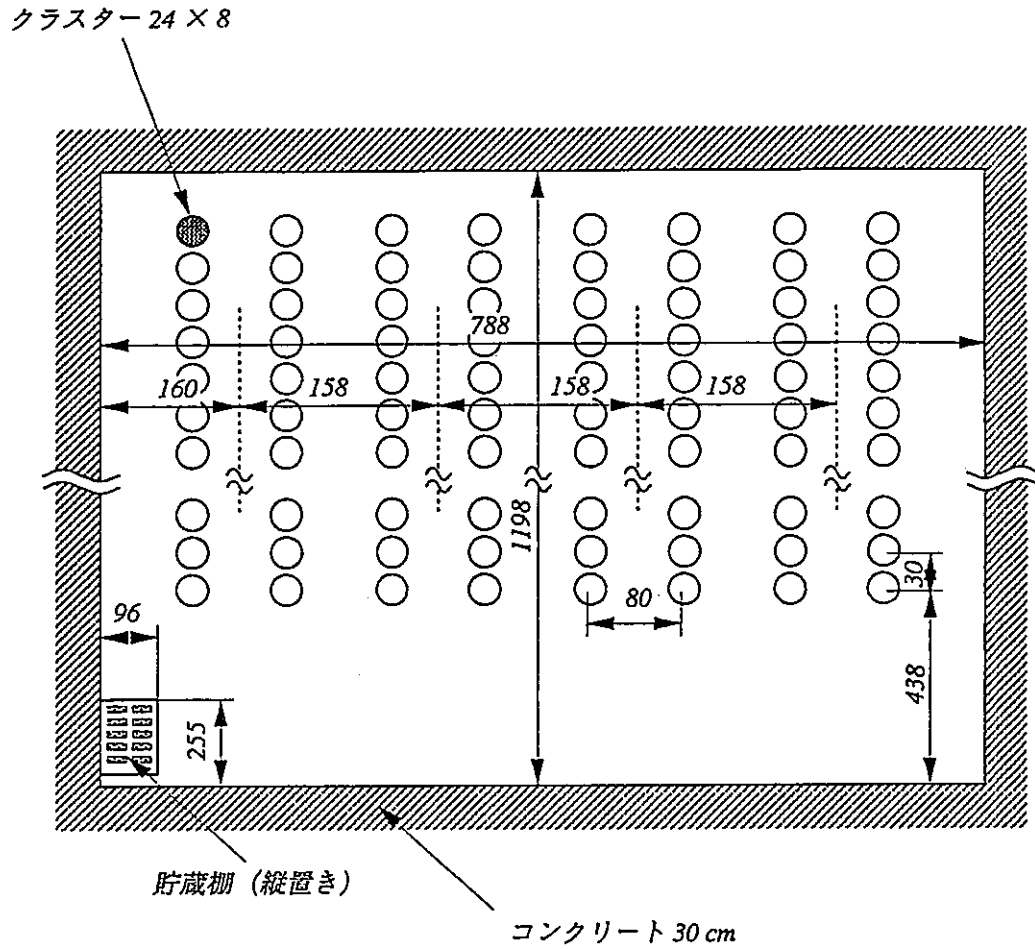


図 1.3 DCA 燃料貯蔵庫全体の解析モデル

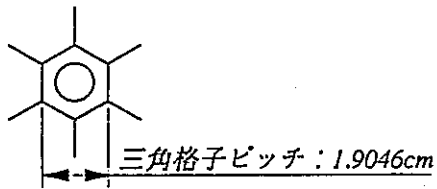


図 1.4 三角格子ピッチ

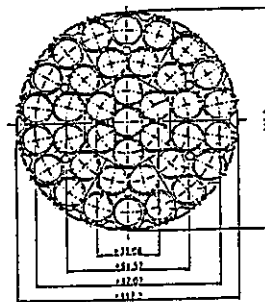


図 1.5 燃料集合体の水平断面図

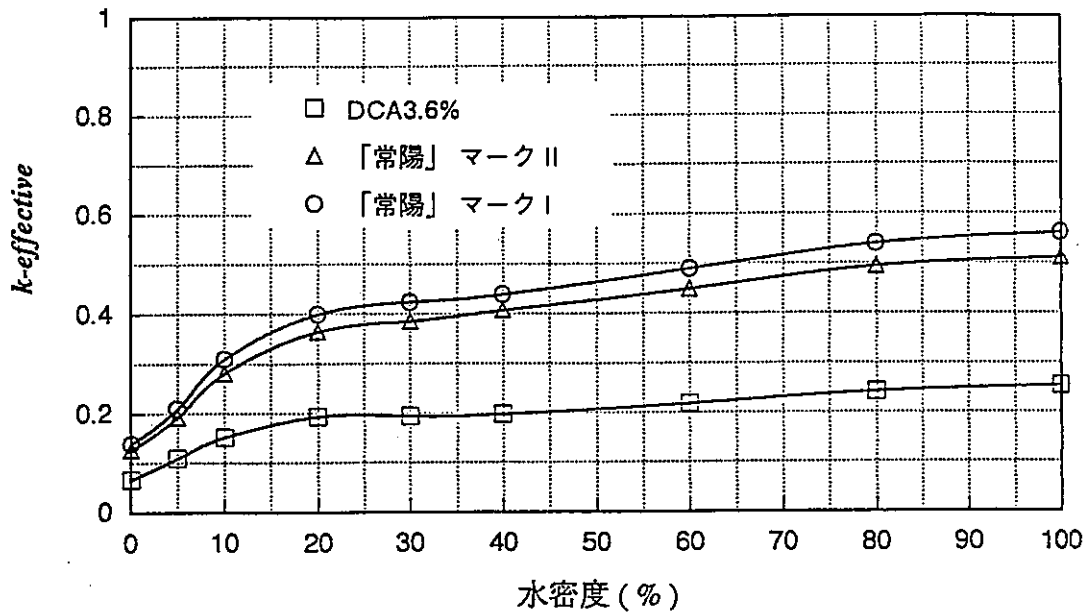


図 1.6 燃料棒貯蔵棚の未臨界度計算結果  
(燃料棒ごとの比較)

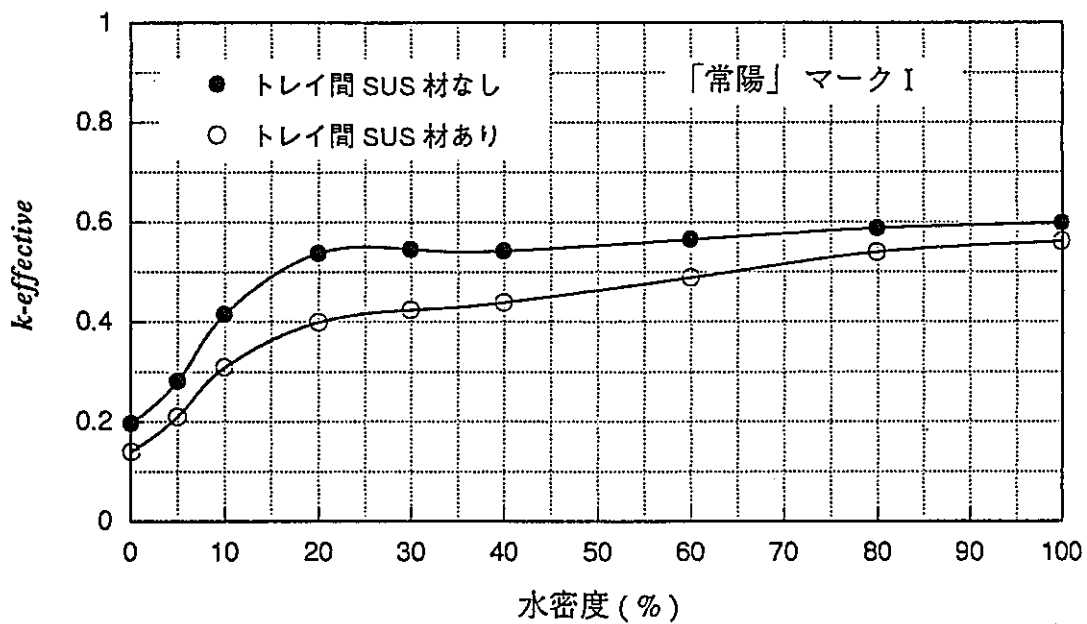


図 1.7 燃料棒貯蔵棚の未臨界度計算結果  
(トレイ間の SUS 効果の比較)

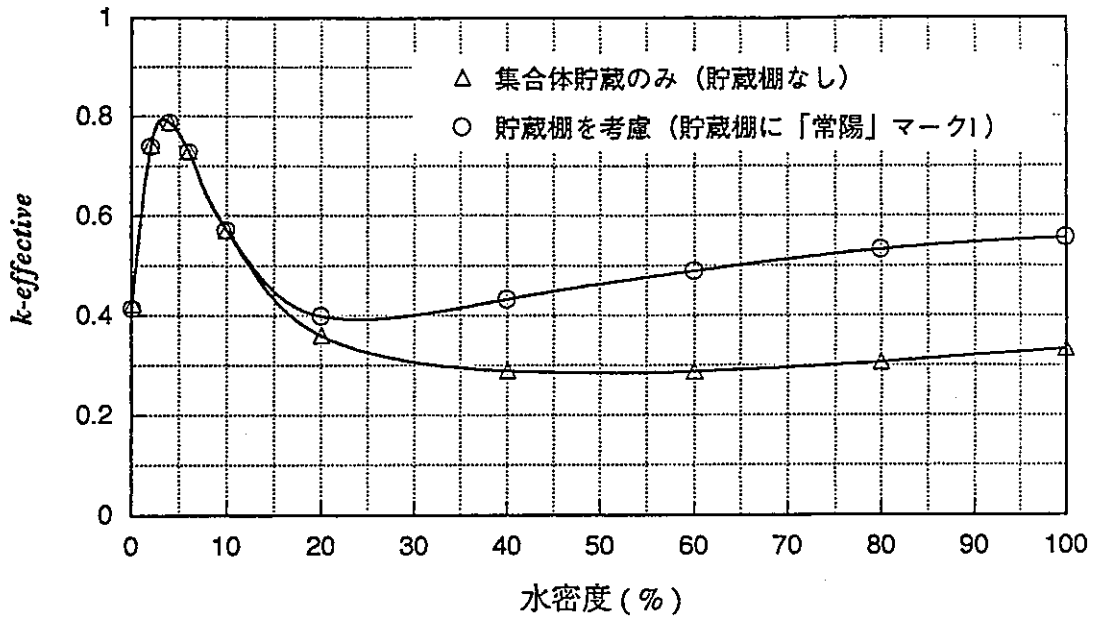


図 1.8 DCA 貯蔵庫全体の未臨界度計算結果

表1.1 解析に用いるMOX 燃料棒の仕様一覧

仕様	燃料種類	DCA 3.4 % 燃料	「常陽」マ-ク II	「常陽」マ-ク I
Pufiss 富化度 (w/o)		3.4	20.8	(14.2)
PuO <sub>2</sub> 富化度 (w/o)		(4.55)	(28.1)	17.7
Pu 組成 (w/o)				
<sup>238</sup> Pu		0.82	0.7	0.1
<sup>239</sup> Pu		68.05	67.3	76.5
<sup>240</sup> Pu		22.01	22.2	19.0
<sup>241</sup> Pu		6.19	6.8	3.7
<sup>242</sup> Pu		2.93	3.0	0.7
<sup>241</sup> Am		2.60	2.3	1.8
U-235 濃縮度 (w/o)		0.73	18.5	23.0
ペレット外径 (mm)		12.43	4.63	5.4
ペレット密度 (g/cm <sup>3</sup> )		10.33	11.03	10.33(93.5%TD)
O/M 比		2.00	1.97	1.98 ~ 2.0
被覆管外径 (mm)		14.50	5.50	6.30
被覆管内径 (mm)		12.70	4.80	5.60
被覆管密度 (g/cm <sup>3</sup> )		6.523	8.035	
被覆管材質	Zry-2		なし	SUS316
被覆管組成 (w/o)				
Sn		1.54	0.0	なし
Fe		0.16	60.44	なし
Cr		0.1	14.5	なし
Mn		0.0	1.75	なし
Ni		0.05	20.5	なし
Mo		0.0	2.5	なし
Zr		98.15	0.0	なし
燃料有効長 (mm)		2000.0	1000.0	600.0
ブランケット長 (mm)		なし	なし	800.0
燃料棒全長 (mm)		なし	なし	1910.0

( ) は計算値

表1.2 燃料棒貯蔵棚の未臨界度計算結果  
DCA 型 3.4% MOX 燃料棒

水密度 (%)	実効増倍率	標準偏差
0.1(0.0)	0.06734	± 0.00073
5.0	0.10921	± 0.00099
10.0	0.15162	± 0.00111
20.0	0.19265	± 0.00127
30.0	0.19421	± 0.00131
40.0	0.19724	± 0.00136
60.0	0.21804	± 0.00146
80.0	0.24177	± 0.00147
100.0	0.25305	± 0.00138

最大実効増倍率 :  $k_{eff} + 3\sigma = 0.25719$  (水密度 : 100.0 %)

表1.3 燃料棒貯蔵棚の未臨界度計算結果  
「常陽」マークⅡ型燃料棒

水密度 (%)	実効増倍率	標準偏差
0.1(0.0)	0.12689	± 0.00105
5.0	0.19239	± 0.00136
10.0	0.28061	± 0.00182
20.0	0.35424	± 0.00187
30.0	0.38506	± 0.00209
40.0	0.40717	± 0.00218
60.0	0.44882	± 0.00200
80.0	0.49416	± 0.00231
100.0	0.51031	± 0.00212

最大実効増倍率 :  $k_{eff} + 3\sigma = 0.51667$  (水密度 : 100.0 %)

表1.4 燃料棒貯蔵棚の未臨界度計算結果  
「常陽」マークI型燃料棒（トレイ間の SUS材あり）

水密度 (%)	実効増倍率	標準偏差
0.1(0.0)	0.13909	± 0.00105
5.0	0.21014	± 0.00148
10.0	0.30944	± 0.00181
20.0	0.39956	± 0.00207
30.0	0.42400	± 0.00206
40.0	0.43926	± 0.00213
60.0	0.48891	± 0.00217
80.0	0.53981	± 0.00240
100.0	0.56072	± 0.00239

最大実効増倍率 :  $k_{eff} + 3\sigma = 0.56789$  (水密度 : 100.0%)

表1.5 燃料棒貯蔵棚の未臨界度計算結果  
「常陽」マークI型燃料棒（トレイ間の SUS材なし）

水密度 (%)	実効増倍率	標準偏差
0.1(0.0)	0.19661	± 0.00147
5.0	0.28098	± 0.00179
10.0	0.41560	± 0.00217
20.0	0.53780	± 0.00246
30.0	0.54577	± 0.00227
40.0	0.54266	± 0.00227
60.0	0.56517	± 0.00244
80.0	0.58739	± 0.00242
100.0	0.59815	± 0.00219

最大実効増倍率 :  $k_{eff} + 3\sigma = 0.60472$  (水密度 : 100.0%)

表1.6 DCA 貯蔵庫全体の未臨界度計算結果  
貯蔵棚なし

水密度 (%)	実効増倍率	標準偏差
0.1(0.0)	0.42305	± 0.00103
2.0	0.74219	± 0.00122
4.0	0.78789	± 0.00105
6.0	0.72995	± 0.00097
10.0	0.57119	± 0.00095
20.0	0.36033	± 0.00086
40.0	0.28873	± 0.00079
60.0	0.28735	± 0.00079
80.0	0.30660	± 0.00091
100.0	0.33458	± 0.00085

最大実効増倍率 :  $k_{eff} + 3\sigma = 0.79105$  (水密度 : 4.0%)

表1.7 DCA 貯蔵庫全体の未臨界度計算結果  
貯蔵棚を考慮 (「常陽」マーク I 型燃料収納)

水密度 (%)	実効増倍率	標準偏差
0.1(0.0)	0.41417	± 0.00095
2.0	0.73846	± 0.00116
4.0	0.78756	± 0.00103
6.0	0.72796	± 0.00105
10.0	0.57117	± 0.00092
20.0	0.39850	± 0.00116
40.0	0.43272	± 0.00180
60.0	0.48860	± 0.00143
80.0	0.53323	± 0.00139
100.0	0.55734	± 0.00154

最大実効増倍率 :  $k_{eff} + 3\sigma = 0.79065$  (水密度 : 4.0%)

表1.8 参考値1  
 燃料棒貯蔵棚の未臨界度計算における  
 モジュールごとの実効増倍率  
 (「常陽」マークI型燃料棒：水密度 10%)

モジュール	実効増倍率	標準偏差
CSAS25	0.30944	± 0.00181
CSAS2X	0.29717	± 0.00131
CSASIX、KENO	0.29496	± 0.00147

表1.9 参考値2  
 DCA 貯蔵庫全体の未臨界度計算における  
 コンクリートごとの実効増倍率  
 (貯蔵棚を考慮：「常陽」マークI型燃料収納：水密度 4%)

コンクリート	実効増倍率	標準偏差
OakRidge	0.79305	± 0.00115
RockyFlats	0.78971	± 0.00114
Magnuson's	0.79630	± 0.00112
Regular	0.78756	± 0.00103



添付資料1 計算コードについて

1. 概要

SCALE (Standardized Computer Analyses for licensing Evaluation)は、米国原子力規制委員会 (NRC)からの要請で、核燃料施設の許認可における臨界・遮蔽・伝熱解析の標準的な手法となるようにORNL開発された計算コードシステムである。臨界解析には、実効断面積作成コードとしてBONAMI-S、NITAWL-IIコードが、臨界計算として1次元Sn法によるXSDRNPM-S 又は3次元モンテカルロ法によるKENOV.aコードが用意されている。SCALEの特徴として、これら複数の独立したコードの組み合わせをそれぞれに入力することなく、制御モジュールに与える単一の入力のみで一連の解析を自動的に行うことができることにある。

SCALE-4 の臨界解析用として、CSAS1X、CSAS25、CSAS2Xなど数種の制御モジュールが用意されている。今回の臨界解析に用いるCSAS25及びCSAS2Xの制御モジュールの計算処理システムを以下に示す。最も汎用性の高いモジュールはCSAS25であり、SCALE-4 の検証としてのベンチマーク計算にCSAS25を用いて行われている。

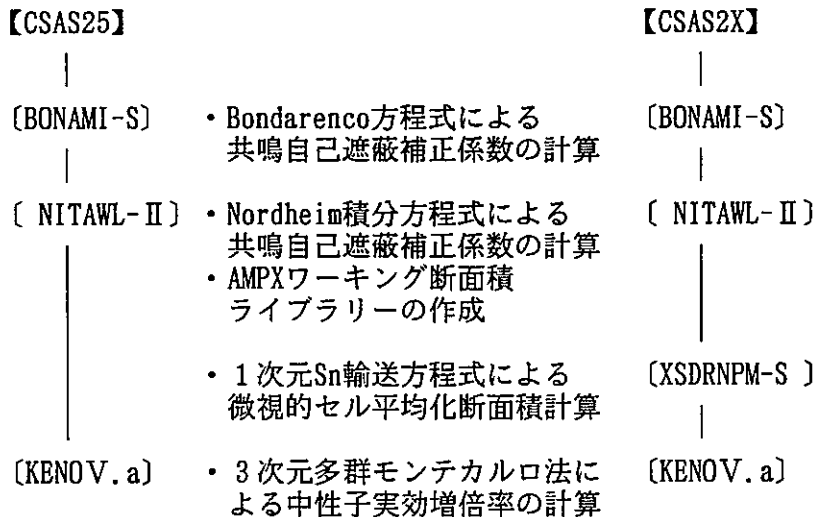


図 資1-1 臨界安全解析に用いる計算制御モジュール

## 2. 計算コードモジュール

上記SCALE-4 システムにあげられた計算モジュールの概説を次に記す。

### (1) CSAS25

CSAS25は、3次元問題の実効増倍率 ( $k_{eff}$ ) を計算するモジュールである。このモジュールは、BONAMI-S、NITAWL-II、KENOV.aの関数モジュールを順次実行して、断面積を求め、 $k_{eff}$  を計算する。

### (2) CSAS2X

CSAS2Xは、3次元問題の実効増倍率 ( $k_{eff}$ ) を計算するモジュールである。このモジュールは、セル平均化混合断面積をつくることを除いて、CSAS25と同様である。この制御モジュールは、BONAMI-S、NITAWL-II、XSDRNPM-S、KENOV.aの関数モジュールを順次実行して、断面積を求め、 $k_{eff}$  を計算する。

### (3) CSAS1X

CSAS1Xは、AMPXワーキングライブラリーフォーマットで微視的セル平均化ライブラリーを作成する。この制御モジュールは、BONAMI-S、NITAWL-II、の関数モジュールを順次実行して断面積を求め、1次元Sn輸送方程式を組み込んだXSDRNPM-S コードを用いて1次元問題の $k_{eff}$  を計算する。同時に微視的セル平均化断面積、体系の各領域・エネルギー群毎の中性束を計算する。

### (4) BONAMI-S

BONAMI-Sは、SCALE システムの関数モジュールであり、Bondarencоデータを含む核種の共鳴自己遮蔽補正係数を計算する。中性子微視的断面積とBondarencо係数をAMPXマスターライブラリーから読み込み、核種の共鳴自己遮蔽補正係数をBondarencо方程式を用いて計算し、核種の断面積に補正を行う。補正された断面積データの出力は、AMPXマスターライブラリーへ出力される。

### (5) NITAWL-II

NITAWL-IIは、SCALE システムの関数モジュールであり、断面積データに関連した共鳴因子を持つ核種に対して、Nordheim共鳴自己遮蔽補正係数を計算する。Nordheim積分方程式により共鳴自己遮蔽補正係数の計算を行い、断面積データの補正を行う。ここでは多様な輸送計算で使用することのできるAMPXワーキング断面積ライブラリーを作成する。

## (6) XSDRNPM-S

XSDRNPM-S は、SCALE システムの関数モジュールであり、単位セルに基づくセル平均化断面積を計算する。また、1次元問題の $k_{eff}$ を計算できる。1次元ボルツマン方程式によって、無限円筒・無限平板及び球体系の実効増倍率及び1次元寸法サーチ計算を行う。同時に微視的セル平均化断面積の計算を行う。

## (7) KENO.V.a

KENO.V.aは、SCALE システムの関数モジュールであり、3次元問題の中性子実効増倍率を計算する。KENO.V.aはモンテカルロ臨界解析プログラムの機能拡張を行い、SCALE コードシステムに使えるように開発されたものである。広範囲にわたる幾何学的形状が入力できる機能と形状をインラインプリンタへプロットできる出力機能を組み込んでいる。

KENO.V.aの適用は、中性子実効増倍率を決定することにある。他に、中性子寿命、エネルギー依存の中性子漏洩、エネルギー・領域依存の吸収、核分裂、中性子束及び核分裂密度を計算する。

## 3. 中性子断面積ライブラリー

SCALE-4 の臨界解析用には、次の4種類の中性子断面積ライブラリーが用意されている。

- (1) Hansen-Roach 16 群(HANSEN-ROACH)
- (2) ENDF/B-IV 27 群 (27GROUPNDF4、27BURNUPLIB)
- (3) GAM-THEMOS 123群 (123GROUPGMTH)
- (4) ENDF/B-IV 218群 (218GROUPGNDF4)

ENDF/B-IV27群断面積は、ENDF/B-IV 218群断面積を縮約して作成されたライブラリーであり、最もよく用いられる。この断面積はNordheim型の共鳴パラメータと温度依存の熱中性子散乱マトリックスを持っており、熱中性子から共鳴領域のエネルギーを持つ系には適用性が高い。

27群ライブラリーには2種類あり、燃焼計算用ライブラリー (27BURNUPLIB)はFPを含む多くの核種の断面積を有している。他の一つのライブラリーは (27GROUPNDF4) この収納核種を減らしたものである。

添付資料2. 燃料棒貯蔵棚の解析例

他の解析例としてモデル図と解析結果を以下に示す。

- (1) モデル図 (図 資2-1)
- (2) 解析結果 (図 資2-2、図 資2-3)

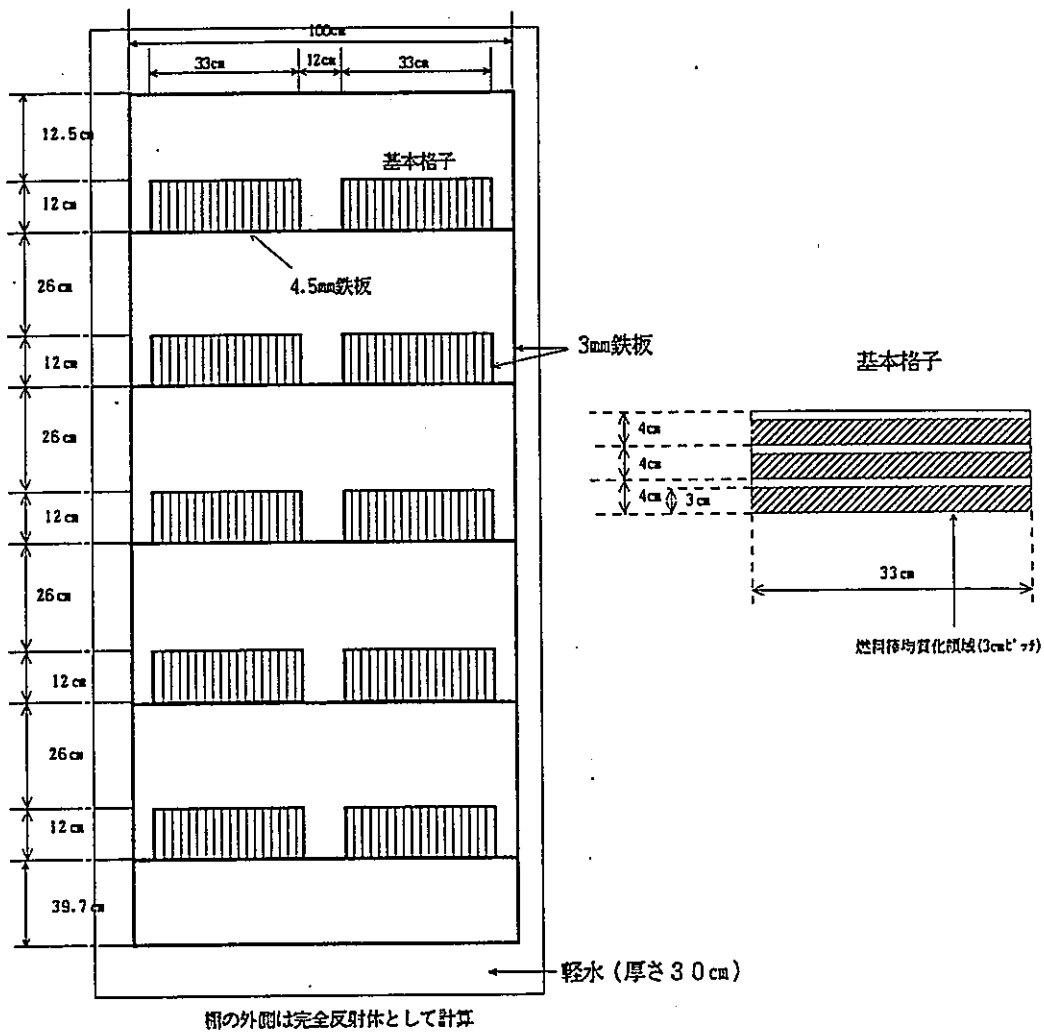


図 資2-1 モデル図

average k-effective	deviation	67 p er cent confiden ce interval		95 p er cent confiden ce interval		99 p er cent confiden ce interval		
0 0.29644 + or	0.00084	0.2956 to	0.29728	0.29477 to	0.29812	0.29393 to	0.29896	0.95
10 0.4751 + or	0.00105	0.47405 to	0.47615	0.473 to	0.4772	0.47195 to	0.47825	0.95
20 0.55498 + or	0.00114	0.55384 to	0.55612	0.5527 to	0.55725	0.55156 to	0.55839	0.95
40 0.54221 + or	0.00113	0.54108 to	0.54335	0.53995 to	0.54448	0.53881 to	0.54562	0.95
60 0.57553 + or	0.00112	0.57441 to	0.57664	0.57329 to	0.57776	0.57218 to	0.57888	0.95
80 0.62439 + or	0.00107	0.62332 to	0.62546	0.62226 to	0.62652	0.62119 to	0.62759	0.95
100 0.6632 + or	0.00116	0.66204 to	0.66437	0.66087 to	0.66553	0.65971 to	0.66669	0.95

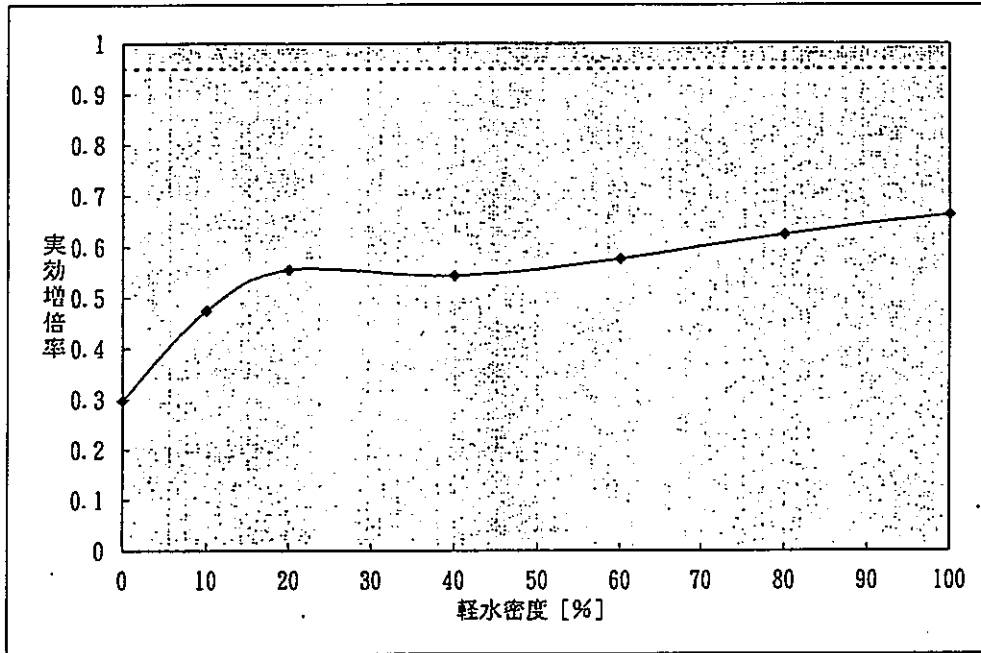


図 資2.-2 解析例1 燃料棒貯蔵棚臨界計算 (Pu、U 混合酸化物燃料棒)

average k-effective	deviation	67 p er cent confiden ce interval	95 p er cent confiden ce interval	99 p er cent confiden ce interval
0 0.18028 ± or	0.00068	0.1796 to 0.18097	0.17892 to 0.18165	0.17823 to 0.18234 0.95
10 0.34785 ± or	0.00099	0.34686 to 0.34884	0.34586 to 0.34984	0.34487 to 0.35083 0.95
20 0.46061 ± or	0.00107	0.45954 to 0.46167	0.45847 to 0.46274	0.45741 to 0.4638 0.95
40 0.49162 ± or	0.00108	0.49054 to 0.4927	0.48945 to 0.49378	0.48837 to 0.49486 0.95
60 0.52985 ± or	0.00106	0.52879 to 0.53091	0.52773 to 0.53198	0.52666 to 0.53304 0.95
80 0.56386 ± or	0.00112	0.56274 to 0.56498	0.56163 to 0.5661	0.56051 to 0.56721 0.95
100 0.58199 ± or	0.00097	0.58102 to 0.58296	0.58005 to 0.58393	0.57908 to 0.5849 0.95

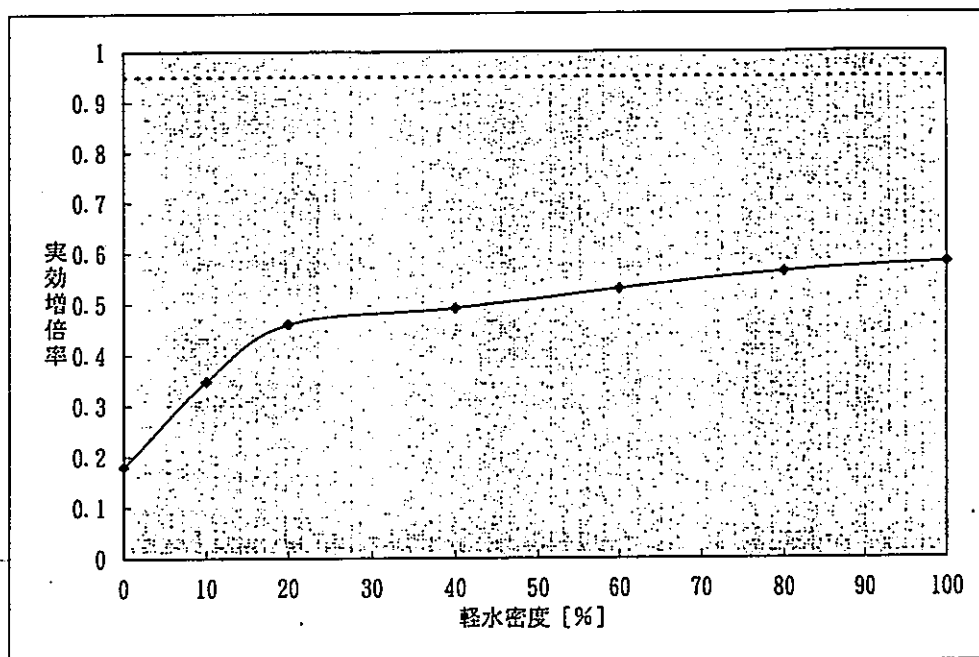


図 資 2.-3 解析例 2 燃料棒貯蔵棚臨界計算 (Pu試験体用燃料棒)

## Ⅱ 耐震評価

### 1. 耐震設計の基本方針

#### 1.1 構造概要

燃料棒貯蔵棚の設備の構造計画を表 2.1 に示す。

#### 1.2 設計方針

##### (1) 設計用地震力

燃料棒貯蔵棚の耐震クラスと設計用地震力を表 2.2 に示す。

##### (2) 許容限界及び主な評価内容

Aクラス：燃料棒貯蔵棚

基準地震動  $S_1$  による地震力又は静的地震力に対し、降伏応力を許容限界として、燃料棒貯蔵棚の各部分が許容応力以内であることを確認する。

#### 1.3 耐震設計評価フロー

図 2.1 に耐震設計フロー図を示す。

表 2. 1 設備の構造計画

設 備 区 分	構 造 計 画		概 要 図
	主 体 構 造	支 持 構 造	
燃料棒貯蔵棚	自立型	(1) 燃料棒貯蔵棚は、燃料取扱室の1階床に基礎ボルトにて固定される。	



表 2. 2 耐震クラスと設計用地震力

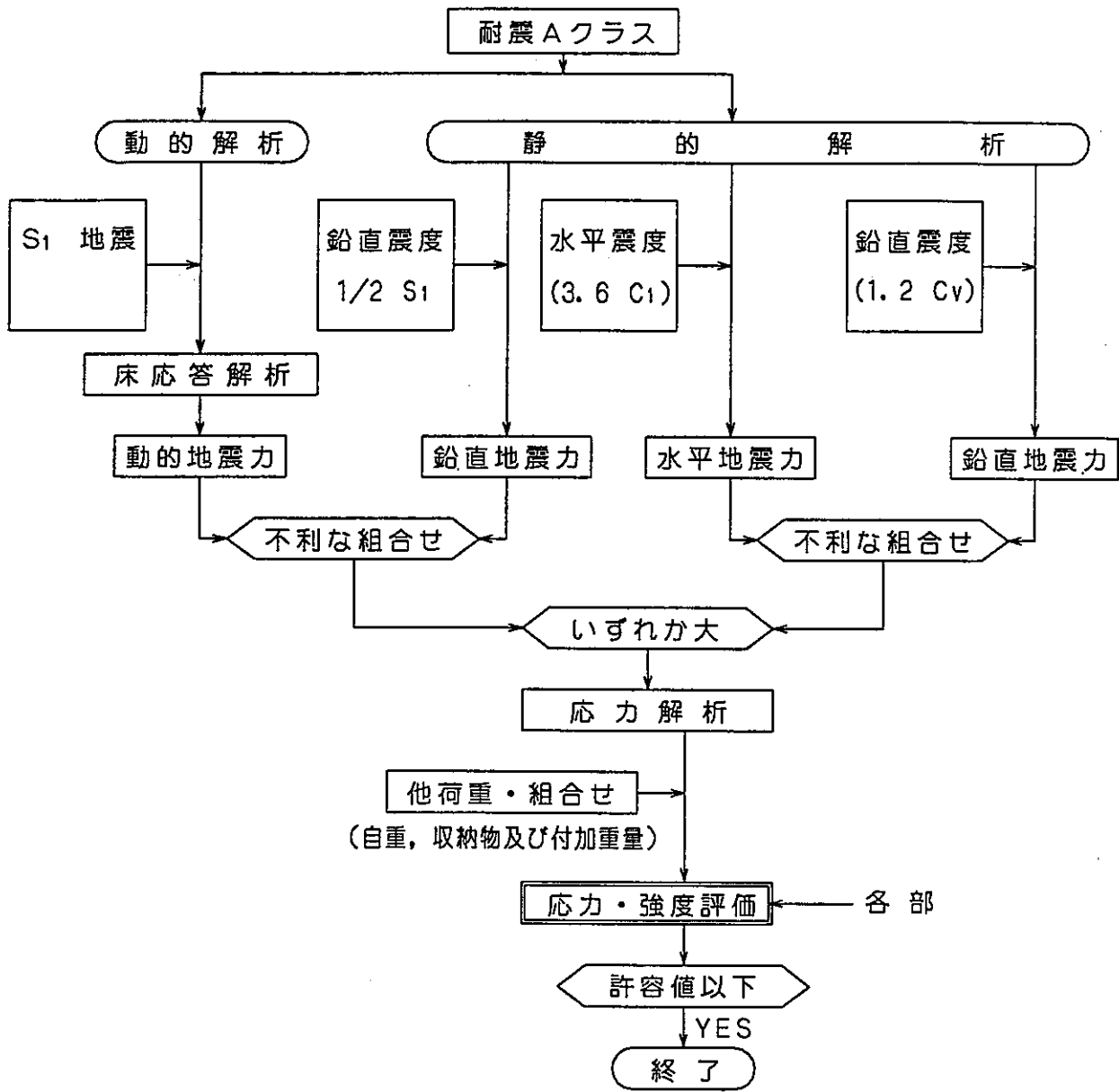
耐震 クラス	設 備 名	静 的 地 震 力		動 的 地 震 力		標 高 TP (m)	層せん断係数 (3 C <sub>v</sub> )	設計用地震力 (設計方針)
		水 平	鉛 直	水 平	鉛 直			
A	燃料棒貯蔵棚	3.6 C <sub>v</sub> <sup>*)1</sup>	1.2 C <sub>v</sub> <sup>*)2</sup>	設計床応答曲線 (S <sub>1</sub> 地震、1%減衰)	$\frac{1}{2} S_{1,max}^{*)3}$	45.9	0.78	・静的地震力と動的 地震力を包絡する。
						40.5	0.60	

\* 1) C<sub>v</sub> は標準せん断力係数を0.2とする各床レベルの層せん断係数

\* 2) C<sub>v</sub> = 0.3とし、高さ方向に一定とする。

\* 3) 基準地震動 S<sub>1</sub> の最高加速度振幅の1/2とする。

\* 4) 鉛直震度は、水平震度と同時に不利な方向に組合せる。



Aクラス： 燃料棒貯蔵棚

図 2. 1 耐震設計フロー図

2. 燃料貯蔵棚の耐震計算書

2.1 概要

2.1.1 一般事項

本耐震計算書は、燃料棒貯蔵棚の耐震性についての計算書である。

2.1.2 適用規格

「原子力発電所耐震設計技術指針」(J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7 日本電気協会)

2.1.3 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明を表2.3に示す。

表2.3 記号の説明(1/2)

記号	表示内容	単位
$A_b$	基礎ボルト軸断面積	$\text{mm}^2$
$A_p$	柱材断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$E$	柱材の縦弾性係数	$\text{kg}/\text{mm}^2$
$F$	$F$ は告示501号別表第9に定める値又は別表第10に定める値の0.7倍の値のいずれか小さい方の値	$\text{kg}/\text{mm}^2$
$F_b$	基礎ボルトに作用するせん断力	$\text{kg}$
$F_p$	柱材に作用するせん断力(水平方向地震力)	$\text{kg}$
$f_i$	基礎ボルトの引張力(水平方向地震力)	$\text{kg}$
$f_h$	柱材の許容曲げ応力	$\text{kg}/\text{mm}^2$
$f_s$	柱材の許容圧縮応力	$\text{kg}/\text{mm}^2$
$f_t$	柱材の許容引張応力	$\text{kg}/\text{mm}^2$
$f_{sb}$	基礎ボルトの許容せん断応力	$\text{kg}/\text{mm}^2$
$f_{to}$	基礎ボルトの許容引張応力	$\text{kg}/\text{mm}^2$
$f_{ts}$	せん断力を同時にうける基礎ボルトの許容引張応力	$\text{kg}/\text{mm}^2$

表 2.3 記号の説明 (2 / 2)

記号	表示内容	単位
$h$	柱材の長さ	mm
$i$	柱材の断面2次半径	mm
$I_p$	柱材の断面2次モーメント	kg-mm
$l_T$	燃料棒貯蔵棚の端面から重心までの水平距離	mm
$l_1$	燃料棒貯蔵棚の端面から基礎ボルトまでの長さ	mm
$M_b$	燃料棒貯蔵棚基礎部のモーメント (設計荷重)	kg-mm
$M_p$	柱材に作用する曲げモーメント (水平方向地震力)	kg-mm
$N$	基礎ボルト全本数	—
$n_i$	各部の基礎ボルトの本数	—
$N_p$	柱材に作用する軸方向荷重 (水平方向地震力)	kg
$Q_p$	柱材に作用する軸方向荷重 (運転時重量)	kg
$T$	固有周期	s
$W$	燃料棒貯蔵棚の総重量	kg
$Z_p$	柱材の断面係数	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	柱材の限界細長比	—
$\lambda$	柱材の有効細長比	—
$\nu$	座屈に対する安全率	—
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	kg/mm <sup>2</sup>
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	kg/mm <sup>2</sup>
$\sigma_p$	柱材の組合せ応力	kg/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{p1}$	柱材に生じる応力 (運転時重量)	kg/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{p2}$	柱材に生じる引張・圧縮応力 (水平方向地震力)	kg/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{p3}$	柱材に生じる曲げ応力 (水平方向地震力)	kg/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{p4}$	柱材に生じる引張・圧縮応力 (鉛直方向地震力)	kg/mm <sup>2</sup>
$\tau_p$	柱材に生じるせん断応力	kg/mm <sup>2</sup>

2.1.4 計算条件

燃料棒貯蔵棚は、形鋼製柱及びハリのフレームを強度部材とした箱型構造物で、その概略形状は図2.2に示すとおりである。（詳細図は付録A参照）

燃料棒貯蔵棚は自立型であり、燃料取扱室1FLに基礎ボルトにて固定されるものとする。

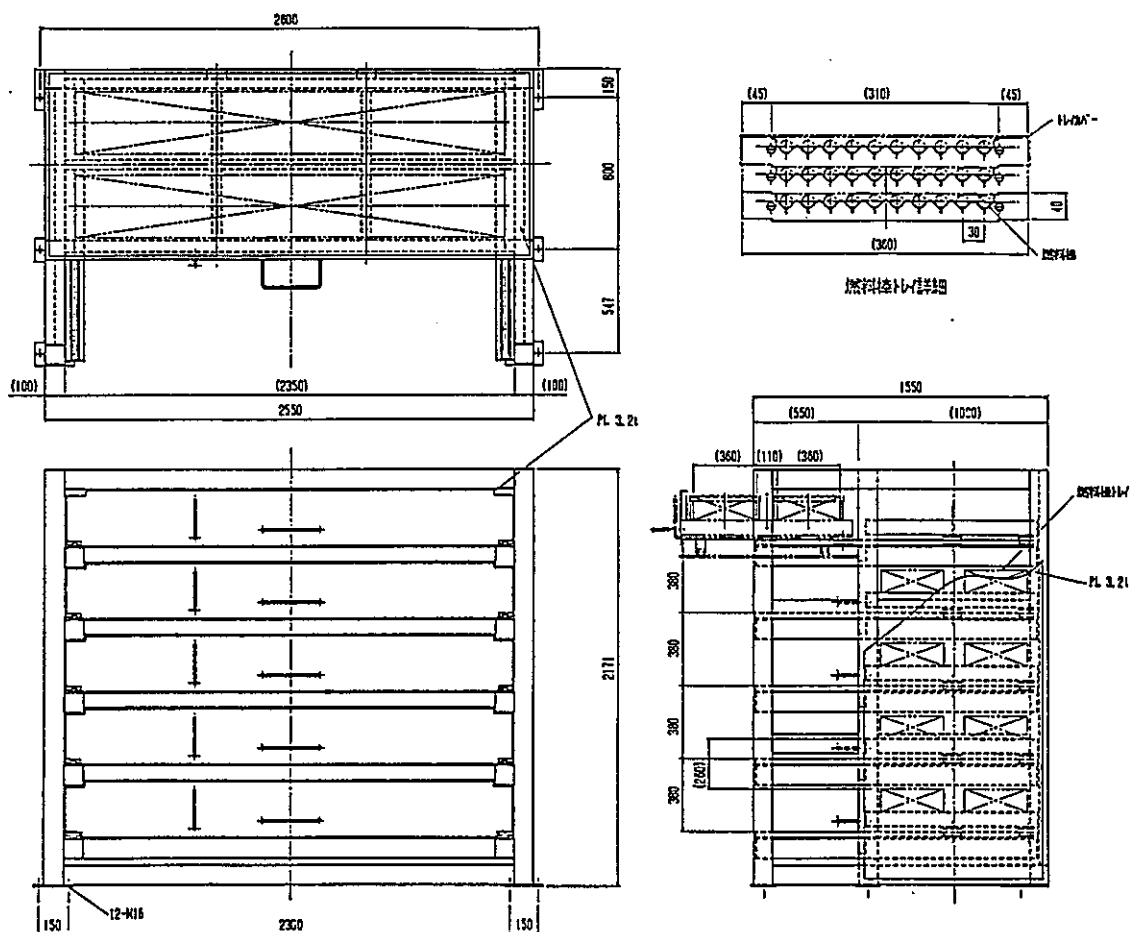


図 2.2 燃料棒貯蔵棚

## 2.2 計算方法

### 2.2.1 固有周期の計算方法

#### 1) 仮定

- (1) 燃料棒貯蔵棚は、フレームと5段の収納引き出しより構成され、引き出しは最上段一段が、全引き出し状態であるものとする。
- (2) 燃料棒貯蔵棚は、ベース基部で固定されているものとする。

#### 2) 解析モデル

- 1)の仮定に基づき多質点三次元モデルを図2.3に示す。

#### 3) 固有周期

- 2)に示す解析モデルを計算コード(SAPIV)により固有周期を求める。

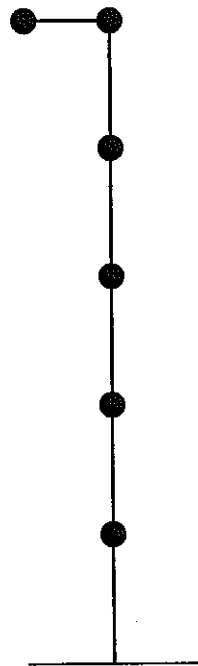


図2.3 固有周期の解析モデル

## 2.2.2 応力の計算方法

## 1) 柱材に生じる応力

## (1) 運転時重量による応力

運転時重量による柱材の軸方向応力は次式で表される。

$$\sigma_{P1} = \frac{Q_P}{A_P}$$

## (2) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力時の柱材の軸方向応力は次式で表される。

$$\sigma_{P2} = \frac{N_P}{A_P}$$

水平方向地震時の柱材の曲げ応力は次式で表される。

$$\sigma_{P3} = \frac{M_P}{Z_P}$$

水平方向地震時の柱材のせん断応力は次式で表される。

$$\tau_P = \frac{F_P}{A_P}$$

## (3) 鉛直方向地震による応力

鉛直方向地震時の柱材の軸方向応力は次式で表される。

$$\sigma_{P4} = \frac{C_v \cdot Q_P}{A_P}$$

## (4) 組合せ応力

(1)~(3)までにより求められた応力は次式により組合せられる。

$$\sigma_P = \{ (\sigma_{P1} + \sigma_{P2} + \sigma_{P3} + \sigma_{P4})^2 + 3 \tau_P^2 \}^{0.5}$$

2) 基礎ボルトに生じる応力

燃料棒貯蔵棚の荷重状態を図 2. 4 に示す。

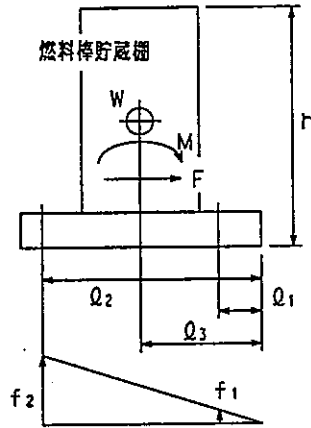


図 2. 4 荷重状態

(1) せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力を  $\tau_p$  とすれば

$$\tau_p = \frac{F_b}{A_b \cdot N}$$

$$F_b = C_M \cdot W$$

(2) 引張応力

図 2. 4 に示す荷重状態において、支点回りのモーメントの平均により燃料棒貯蔵棚の基礎ボルト 1 本当りの引張力  $f_2$  を求める。

$f_2 > f_1$  の関係にあるので、 $f_2$  を求める。

$$f_2 = \frac{l_2 \{M_b - W \cdot l_1\}}{n_1 \cdot l_1^2 + n_2 \cdot l_2^2}$$

$$M_b = F_b \cdot (h/2)$$

ここで、 $f_2$  の値が負となった場合は引張応力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

従って、引張力  $f$  により基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_b$  とすれば

$$\sigma_b = \frac{F_2}{A_b}$$



2.3 評価方法

2.3.1 固有周期の評価方法

2.2.1項で求めた固有周期から耐震設計の基本方針に基づき設計震度を設定する。

2.3.2 応力の評価方法

2.2.2項で求めた各応力が許容応力以下であること。

1) 柱材の応力の評価方法

(1) 柱材に生じる応力の項で求めた柱材の組合せ応力 $\sigma_c$ が許容引張力 $f_t$ 以下であること。ただし、 $f_t$ は下表による。

	許容引張応力 $f_t$
計算式	$\left( \frac{F}{1.5} \right) 1.5$

Fは告示501号別表第9に定める値又は別表10の定める値の0.7倍の値のいずれか小さい方の値。

(2) 圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは、次式で満足すること。

$$\frac{\sigma_{p1} + \sigma_{p2} + \sigma_{p4}}{f_c} + \frac{\sigma_{p3}}{f_b} \leq 1$$

a.  $f_c$ は以下による。

$\lambda \leq \Lambda$  のとき

$$f_c = 1.5 \left\{ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu}$$

$\lambda > \Lambda$  のとき

$$f_c = 1.5 \left\{ 0.277 \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F$$

ここで、

$$\lambda = 1.2 h / i$$

$$\Lambda = (\pi^2 E / 0.6 F)^{0.5}$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

$$i = (I_p / A_p)^{0.5}$$

b.  $f_b$  は以下による。

$$f_b = (F / 1.5) 1.5$$

## 2) 基礎ボルトの応力の評価方法

基礎ボルトに生じる応力の項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は、下記 2 式より求めた許容応力  $f_{t0}$  以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 f_{t0} - 1.6 \tau_b$$

$$f_{ts} \leq f_{t0}$$

ただし、 $f_{t0}$ 、 $f_{sb}$  は下表による。

	許容引張応力 $f_{t0}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$\left( \frac{F}{2} \right) 1.5$	$\left( \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right) 1.5$

F は告示 501 号別表第 9 に定める値又は別表 10 に定める値の 0.7 倍の値のいずれか小さい方の値。

2.4 評価条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面 高さ (m)	固有周期 T (s)	基準地震力 $S_1$		最高使用温度 (°C)
				水平方向設計震度	水平方向設計震度	
燃料棒貯蔵棚	A	燃取建家1FL	0.05以下	L47	0.36	20

2.5 機器要目

2.5.1 機材

$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	$l_3$ (mm)	$l_4$ (mm)	h (mm)	W (kg)	$Z_p$ ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	$I_p$ ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )	$A_p$ ( $\text{mm}^2$ )
150	1497	950	737	2162	5250	49.8	249	1667

2.5.2 基礎ボルト

$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	N (-)	$n_1$	$n_2$	$n_3$	E ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )	$F_p$	$F_b$
201 (M16)	12	4	4	4	$2.1 \times 10^4$	2930	7718

2.5.3 引出し材

W (kg)	$Z_p$ ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	$I_p$ ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )	$A_p$ ( $\text{mm}^2$ )
390	20.1	75.3	881.8

## 2.6 計算結果

### 2.6.1 固有周期

固有周期を表2.4に示す。

表2.4 固有周期

モード	固有周期T (s)
1	0.0287

### 2.6.2 応答解析結果

応答解析結果を表2.5に示す。

表2.5 応答解析結果

解析箇所	項目 (単位)	解析結果
柱材	$Q_p$ (kg)	875
	$C_v Q_p$ (kg)	315
	$N_p$ (kg)	2530
	$M_p$ (kg-mm)	635420
	$F_p$ (kg)	1953
基礎ボルト	$F_b$ (kg)	7718
	$M_b$ (kg-mm)	8377400

備考

最上級 引出し材	$Q_p$ (kg)	360	せん断
	$C_v Q_p$ (kg)	130	せん断
	$N_p$ (kg)	0	
	$M_p$ (kg・mm)	282200	曲げ
	$F_p$ (kg)	529	引張/圧縮力

## 2.6.3 応力計算結果

## (1) 柱材に生じる応力

柱材に生じる応力を表2.6に示す。

表2.6 柱材に生じる応力  
単位 (kg/mm<sup>2</sup>)

	地震力	応力	算出応力
柱 材	運転時重量による応力	圧縮	$\sigma_{p1} = 0.525$
	水平方向地震力による 応力	引張・圧縮	$\sigma_{p2} = 1.52$
		曲げ	$\sigma_{p3} = 12.76$
		せん断	$\tau_p = 1.17$
	鉛直方向地震力による 応力	引張・圧縮	$\sigma_{p4} = 0.19$
	組合せ応力		

## (2) 引き出し部に生じる応力

引き出し部に生じる応力を表2.7に示す。

表2.7 引き出し部に生じる応力

単位 (kg/mm<sup>2</sup>)

	地震力	応力	算出応力
	運転時重量による応力	せん断	$\tau_{p1} = 0.1$
	水平方向地震力 による応力	引張・圧縮	$\sigma_{p1} = 0.15$
	水平・鉛直地 による応力	曲げ	$\sigma_{p3} = 3.5$
	鉛直方向地震力 による応力	せん断	$\tau_{p4} = 0.038$
	組合せ応力		

## (3) 基礎ボルトに生じる応力

基礎ボルトに生じる応力を表2.8に示す。

表2.8 基礎ボルトに生じる応力

単位 (kg/mm<sup>2</sup>)

	応力	算出応力
基礎ボルト	せん断	$\tau_b = 3.20$
	引張	$\sigma_p = 2.65$

## 2.6.4 溶接継手部の評価

各部材に生ずる荷重を計算の結果、最大曲げモーメントは以下の通りとなった。他の荷重は小さいため無視できる。

## 1) 荷重計算

## (1) 正面側ハリ 2段以降 (□ 75\*40\*5t × 2本) に生ずる曲げモーメント

2段: 約  $0.3384 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 3段: 約  $0.2330 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 4段: 約  $0.2315 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 5段: 約  $0.1755 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 

## (2) 側面のハリ (□ 100\*100\*4.5t) に生ずる曲げモーメント

1段: 約  $0.4170 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 2段: 約  $0.2996 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 3段: 約  $0.2976 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 4段: 約  $0.2344 \times 10^5 \text{ kg cm}$ 5段: 約  $0.1561 \times 10^5 \text{ kg cm}$

(3) 柱 (□ 100\*100\*4.5t ) に生ずる曲げモーメント

基礎部 : 約  $0.8030 \times 10^5 \text{ kg cm}$

1 段迄 : 約  $0.9260 \times 10^5 \text{ kg cm}$

2 段迄 : 約  $0.9531 \times 10^5 \text{ kg cm}$

3 段迄 : 約  $0.4198 \times 10^5 \text{ kg cm}$

4 段迄 : 約  $0.2973 \times 10^5 \text{ kg cm}$

5 段迄 : 約  $0.2638 \times 10^5 \text{ kg cm}$

頂部迄 : 約  $0.1342 \times 10^5 \text{ kg cm}$

(4) 基礎部及び頂部のハリ (□ 100\*100\*4.5t ) に生ずる曲げモーメント

基礎部 : 約  $0.3384 \times 10^5 \text{ kg cm}$

頂部 : 約  $0.1342 \times 10^5 \text{ kg cm}$

2) 応力計算

(1) 正面側ハリ 2 段以降 (□ 75\*40\*5t × 2 本) について

(a) 曲げ応力

$$0.3384 \times 10^5 \text{ kg cm} / 40.2 \text{ cm}^3 = 8.41 \text{ kg/mm}^2$$

継手効率 : 約 0.35

(b) 検査方法

溶接部表面目視検査で割れがなければよい。

(2) 側面のハリ (□ 100\*100\*4.5t ) について

(a) 曲げ応力

$$0.4171 \times 10^5 \text{ kg cm} / 49.8 \text{ cm}^3 = 8.37 \text{ kg/mm}^2$$

継手効率 : 約 0.35

(b) 検査方法

溶接部表面目視検査で割れがなければよい。

(3) 柱 (□ 100\*100\*4.5t ) について

i. 中間部

(a) 曲げ応力

柱は3本あるため、発生荷重を1.5で除す。

$$0.9531 \times 10^5 \text{ kg cm} / 49.8 \text{ cm}^3 \times 1.5 = 12.76 \text{ kg/mm}^2$$

(b) 検査方法

溶接部がないため不要。

ii. 頂部

(a) 曲げ応力

柱は3本あるため、発生荷重を1.5で除す。

$$0.1342 \times 10^5 \text{ kg cm} / 49.8 \text{ cm}^3 \times 1.5 = 1.80 \text{ kg/mm}^2$$

継手効率：約 0.08

(b) 検査方法

溶接部表面目視検査で割れがなければよい。

(4) 基礎部及び頂部のハリ (□ 100\*100\*4.5t ) について

(a) 曲げ応力

$$0.3384 \times 10^5 \text{ kg cm} / 49.8 \text{ cm}^3 = 6.80 \text{ kg/mm}^2$$

継手効率：約 0.285

(b) 検査方法

溶接部表面目視検査でよい。



## 2.7 評価結果

評価結果を表2.9に示す。

表2.9 評価結果

単位 (kg/mm<sup>2</sup>)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
柱材	SS400	組合せ	$\sigma_p = 16.0$	$f_t = 24.0$
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{\sigma_{p1} + \sigma_{p2} + \sigma_{p4}}{f_c} + \frac{\sigma_{p3}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈評価)	0.654	
基礎ボルト	SS400	せん断	$\tau_b = 3.2$	$f_{sb} = 13.8$
		引張	$\sigma_b = 2.65$	$f_{ts} = 12.9$
引出し材	SS400	組合せ	$\sigma_p = 3.65$	$f_t = 24.0$

溶接部の継手効率を表2.10に示す。

表2.10 溶接部の継手効率

		算出効率	許容値
溶接部	継手効率	0.3 以下	0.35

表2.9から各部材の算出応力は、すべて許容応力以下であることが確認できた。溶接部については、表面目視検査を行い、割れがなければよい (MITI 501号99条) 結果となった。

### Ⅲ 線量当量率評価

#### 1. 概要

燃料棒貯蔵棚の製作に伴う遮蔽評価を行うもので、燃料棒が収納された場合に隣接する非管理区域における線量当量率を求めるものである。

燃料棒の種類は、DCA3.4wt%MOX 燃料棒、「常陽」MK-II 燃料棒、「常陽」MK-I 燃料棒の3種類を対象にして、それぞれが満杯の収納時における線量当量率を計算した。遮蔽計算コードには一次元S<sub>n</sub>輸送計算コードの「ANISN」を用いた。

計算の結果、3種類の燃料のうち最も高い線量当量率を示すものはDCA3.4wt%MOX 燃料棒であった。その値は壁から50cmの距離において、9.3 μSv/hであった。線量の内訳は大部分が中性子からの寄与による（約92%）ものであった。

#### 2. 計算コード体系

「ANISN」を用いた線量当量率計算は、図3.1に示す計算フローにより処理される。まず「ORIGEN」コードにより、燃料から放出する中性子及びガンマ線の線源強度を計算する。次に「ORIGEN」により求められた線源強度を、「ANISN」に適用する断面積ライブラリーのエネルギー群構造に変換するために、「RENCON」コードが用いられた。

「ANISN」の計算には、上記線源強度の他に線源の体系、遮蔽体の構造・寸法、これら構成材の組成（核種）を入力として、一次元S<sub>n</sub>輸送計算が実行され、中性子及びガンマ線の線束（フラックス）が求められ、終わりに線量率変換係数を通して、各ポイントの線量当量率が求められる。

### 3. 計算解析モデル

#### (1) 線源形状

線源形状は、燃料棒300本分をトレイの実効間隔体積を等価球形状のモデルに置き換えた均質線源密度とした。

まず、3次元の貯蔵棚を1次元にモデル化するため、燃料棒300本を収納した線源の大きさを次のように仮定して決めた。

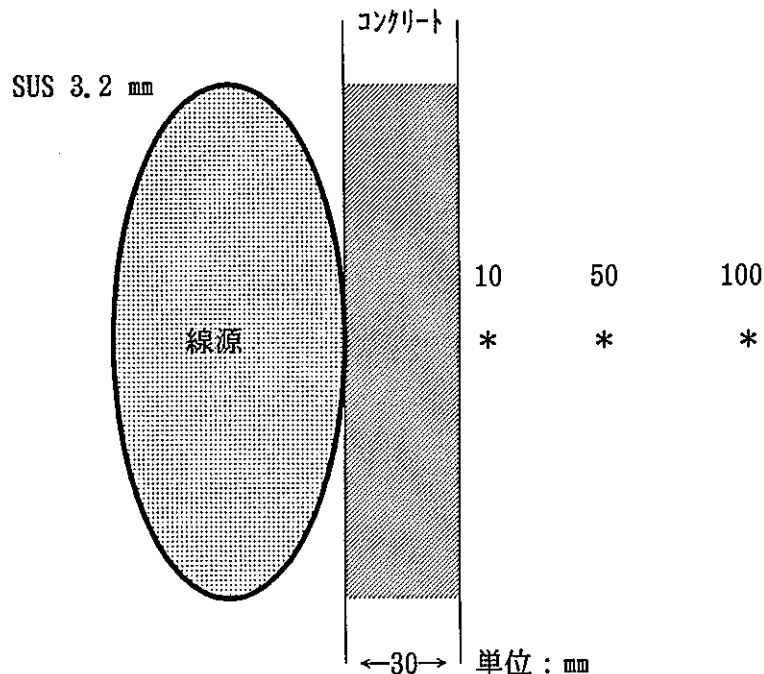
- ① 壁面に向かって、タテと奥行き寸法を燃料棒が存在するトレイの端から端としてタテ164 cm、奥行き72cmとした。
- ② ヨコ幅は、それぞれの燃料棒の燃料有効長とした。
- ③ 次に、上記3次元の立方体の線源体積を1次元の球形体積に置き換えた。
- ④ これにより、次のように球形体積の半径Rを求めた。

・DCA3.4wt%MOX 燃料棒の場合； $164 \times 72 \times 200 = 4 / 3 \pi R^3 \therefore R = 82.6113 \text{ cm}$

・「常陽」MK-II 燃料棒の場合； $164 \times 72 \times 100 = 4 / 3 \pi R^3 \therefore R = 65.5686 \text{ cm}$

・「常陽」MK-I 燃料棒の場合； $164 \times 72 \times 60 = 4 / 3 \pi R^3 \therefore R = 55.3027 \text{ cm}$

なお、燃料棒の被覆管は線源の中に考慮した。



#### (2) 遮蔽体

- ① 貯蔵棚の周囲には3.2 mmの鉄板が張られているので、その鉄板を考慮した。
- ② 貯蔵室と非管理区域の間には、30cmのコンクリートがあり、それを考慮した。

(3) モデル化の保守性

- ① 貯蔵棚とコンクリート壁には、約15cmの距離を確保することになるが、球形線源は壁に密着させたものとした。
- ② トレイ材及び貯蔵棚の構造材の存在を考慮せず、それらの吸収効果を見做している。

4. 計算条件

(1) 燃料棒仕様

貯蔵棚に収納予定の燃料棒は、3種類が考えられ、その仕様は表3.1に示すとおりである。「常陽」MK-II燃料棒及び「常陽」MK-I燃料棒の $^{238}\text{Pu}$ と $^{241}\text{Am}$ の値については、線量当量率計算に効いてくるものであり、東海プルトニウム燃料工場から同様の組成に基づき埋めた。

(2) 原子個数密度

燃料及び構成材の原子個数密度を、表3.2に示す。

(3) 「ANISN」の計算条件

- ① 散乱断面積のルジャンドル展開次数の最大値；P3近似。
- ②  $S_n$ の次数；S8。
- ③ 断面積ライブラリー；PSL-40。

5. 計算結果

(1) 中性子線源

「ORIGEN」と「RENCON」を用いて求められた中性子線源強度をエネルギー-22群について、3種類の燃料の結果を表3.3に示す。

(2) ガンマ線源

「ORIGEN」と「RENCON」を用いて求められたガンマ線源強度をエネルギー-18群について、3種類の燃料の結果を表3.4に示す。

(3) 線量当量率の結果

表3.3と3.4の線源強度及び解析モデルを入力として、「ANISN」による中性子及びガンマ線の1次元輸送計算により、各メッシュ空間点のフラックスを求め、

線量率変換係数を介して、線量当量率が計算される。その壁からの主要な位置での計算結果を表3.5に示す。また、線源からコンクリート壁を通した線量当量率の空間分布を3種類の燃料棒貯蔵時のそれぞれについて、図3.2から図3.4までに示す。

## 6. 考察

- (1) 3種類の燃料の内では、DCA3.4wt%MOX 燃料の線量当量率が最も高かった。
- (2) 燃料棒 300本全収納時で、その線量当量率の値は、壁から50cmの距離において、約  $9.5 \mu\text{Sv/h}$ 、さらに、1本の距離で 約  $5.3 \mu\text{Sv/h}$ であった。
- (3) 線量当量率の内訳は、大部分 (92%) が中性子によるものであった。
- (4) これらの値は、モデルの保守性により実際には低くなるものと考えられる。

表 3.1 貯蔵棚に収納するMOX 燃料棒の仕様一覧

仕様	燃料種類	DCA 3.4 % 燃料	「常陽」Mk-II	「常陽」Mk-I
Pufiss 富化度 (w/o)		3.4	20.8	(14.2)
PuO <sub>2</sub> 富化度 (w/o)		(4.55)	(28.1)	17.7
Pu 組成 (w/o)				
<sup>238</sup> Pu		0.82	0.7	0.1
<sup>239</sup> Pu		68.05	67.3	76.5
<sup>240</sup> Pu		22.01	22.2	19.0
<sup>241</sup> Pu		6.19	6.8	3.7
<sup>242</sup> Pu		2.93	3.0	0.7
<sup>241</sup> Am		2.60	2.3	1.8
U-235 濃縮度 (w/o)		0.73	18.5	23.0
ペレット外径 (mm)		12.43	4.63	5.4
ペレット密度 (g/cm <sup>3</sup> )		10.33	11.03	10.33(93.5%TD)
O/M 比		2.00	1.97	1.98 ~ 2.0
被覆管外径 (mm)		14.50	5.50	6.30
被覆管内径 (mm)		12.70	4.80	5.60
被覆管密度 (g/cm <sup>3</sup> )		6.523	8.035	8.035
被覆管材質		Zry-2	SUS316	SUS316
燃料有効長 (mm)		2000.0	1000.0	600.0
ブランケット長 (mm)		なし	なし	800.0
燃料棒全長 (mm)		—	—	1910.0

( ) は計算値

表3.2 構成素材の原子個数密度

(a/cm<sup>3</sup>)

核種	素材	DCA3.4% 燃料ペレット	常陽MK-2 燃料ペレット	常陽MK-1 燃料ペレット	SUS304	コンクリート	空気
	密度 (g/cc)	0.3185	0.0472	0.0601	7.93	2.05	1.204-3
U-235	5.004-6	1.405-5	2.559-5	—	—	—	
U-238	6.719-4	6.113-5	8.460-5	—	—	—	
Pu-238	2.667-7	2.067-7	2.373-8	—	—	—	
Pu-239	2.204-5	1.979-5	1.808-5	—	—	—	
Pu-240	7.099-6	6.502-6	4.471-6	—	—	—	
Pu-241	1.993-6	1.982-6	8.669-7	—	—	—	
Pu-242	9.373-7	8.714-7	1.634-7	—	—	—	
Am-241	8.304-7	6.720-7	4.220-7	—	—	—	
O	1.415-3	2.104-4	2.684-4	—	3.824-2	1.053-5	
H	—	—	—	—	6.736-3	7.199-9	
C	—	—	—	3.181-4	—	7.854-9	
N	—	—	—	—	—	3.910-5	
Na	—	—	—	—	9.128-4	—	
Mg	—	—	—	—	1.320-4	—	
Al	—	—	—	—	2.081-3	—	
Si	—	—	—	1.700-3	1.377-2	—	
K	—	—	—	—	6.030-4	—	
Ca	—	—	—	—	2.543-3	—	
Cr	7.381-7	1.941-5	2.243-5	1.745-2	—	—	
Mn	—	2.217-6	2.562-6	1.738-3	—	—	
Fe	1.099-6	7.534-5	8.705-5	5.863-2	2.717-4	—	
Ni	3.267-7	2.430-5	2.808-5	7.525-3	—	—	
Zr	4.299-4	—	—	—	—	—	
Mo	—	1.815-6	2.097-6	—	—	—	
Sn	4.979-6	—	—	—	—	—	

表3.3 中性子線源強度

エネルギー群	エネルギー群構造 (eV)	DCA3.4%MOX 燃料 (n/s/cm <sup>3</sup> )	「常陽」MK-2燃料 (n/s/cm <sup>3</sup> )	「常陽」MK-1燃料 (n/s/cm <sup>3</sup> )
1	$1.492 \times 10^7$	$3.618 \times 10^{-3}$	$3.278 \times 10^{-3}$	$1.820 \times 10^{-3}$
2	$1.000 \times 10^7$	$4.627 \times 10^{-2}$	$4.193 \times 10^{-2}$	$2.328 \times 10^{-2}$
3	$6.703 \times 10^6$	$1.452 \times 10^{-1}$	$1.316 \times 10^{-1}$	$7.304 \times 10^{-2}$
4	$4.966 \times 10^6$	$2.193 \times 10^{-1}$	$1.941 \times 10^{-1}$	$1.032 \times 10^{-1}$
5	$4.066 \times 10^6$	$8.974 \times 10^{-1}$	$7.641 \times 10^{-1}$	$3.755 \times 10^{-1}$
6	$3.012 \times 10^6$	$1.250 \times 10^{+0}$	$1.047 \times 10^{+0}$	$4.963 \times 10^{-1}$
7	$2.466 \times 10^6$	$1.570 \times 10^{+0}$	$1.322 \times 10^{+0}$	$6.345 \times 10^{-1}$
8	$1.827 \times 10^6$	$1.183 \times 10^{+0}$	$1.010 \times 10^{+0}$	$4.997 \times 10^{-1}$
9	$1.353 \times 10^6$	$8.012 \times 10^{-1}$	$7.007 \times 10^{-1}$	$3.639 \times 10^{-1}$
10	$9.072 \times 10^5$	$4.469 \times 10^{-1}$	$3.982 \times 10^{-1}$	$2.144 \times 10^{-1}$
11	$6.081 \times 10^5$	$2.652 \times 10^{-1}$	$2.383 \times 10^{-1}$	$1.303 \times 10^{-1}$
12	$4.076 \times 10^5$	$3.161 \times 10^{-1}$	$2.847 \times 10^{-1}$	$1.564 \times 10^{-1}$
13	$1.111 \times 10^5$	$5.381 \times 10^{-2}$	$4.876 \times 10^{-2}$	$2.708 \times 10^{-2}$
14	$1.503 \times 10^4$	$2.615 \times 10^{-3}$	$2.370 \times 10^{-3}$	$1.316 \times 10^{-3}$
15	$3.355 \times 10^3$	$2.874 \times 10^{-4}$	$2.605 \times 10^{-4}$	$1.446 \times 10^{-4}$
16	$5.830 \times 10^2$	$2.085 \times 10^{-5}$	$1.889 \times 10^{-5}$	$1.049 \times 10^{-5}$
17	$1.013 \times 10^2$	$1.378 \times 10^{-6}$	$1.249 \times 10^{-6}$	$6.935 \times 10^{-7}$
18	$2.902 \times 10^1$	$1.939 \times 10^{-7}$	$1.757 \times 10^{-7}$	$9.755 \times 10^{-8}$
19	$1.068 \times 10^1$	$4.718 \times 10^{-8}$	$4.275 \times 10^{-8}$	$2.374 \times 10^{-8}$
20	$3.059 \times 10^0$	$6.637 \times 10^{-9}$	$6.014 \times 10^{-9}$	$3.339 \times 10^{-9}$
21	$1.125 \times 10^0$	$1.480 \times 10^{-9}$	$1.341 \times 10^{-9}$	$7.447 \times 10^{-10}$
22	$4.140 \times 10^{-1}$	$4.252 \times 10^{-10}$	$3.853 \times 10^{-10}$	$2.140 \times 10^{-10}$
下限	$1.000 \times 10^{-3}$			
合計		7.201	6.188	3.101



表3.4 ガンマ線の線源強度

エネルギー群	エネルギー群構造 (eV)	DCA3.4%MOX 燃料 (photons/s/cm <sup>2</sup> )	「常陽」MK-2燃料 (photons/s/cm <sup>2</sup> )	「常陽」MK-1燃料 (photons/s/cm <sup>2</sup> )
1	$1.000 \times 10^7$	$1.544 \times 10^{-2}$	$1.397 \times 10^{-2}$	$7.754 \times 10^{-3}$
2	$6.813 \times 10^6$	$1.478 \times 10^{-1}$	$1.335 \times 10^{-1}$	$7.390 \times 10^{-2}$
3	$4.642 \times 10^6$	$4.700 \times 10^{-1}$	$4.240 \times 10^{-1}$	$2.342 \times 10^{-1}$
4	$3.162 \times 10^6$	$1.280 \times 10^0$	$1.153 \times 10^0$	$6.347 \times 10^{-1}$
5	$2.154 \times 10^6$	$2.225 \times 10^0$	$1.994 \times 10^0$	$1.075 \times 10^0$
6	$1.486 \times 10^6$	$4.073 \times 10^0$	$3.551 \times 10^0$	$1.649 \times 10^0$
7	$1.000 \times 10^6$	$1.552 \times 10^2$	$1.253 \times 10^2$	$6.761 \times 10^1$
8	$6.813 \times 10^5$	$2.998 \times 10^2$	$2.451 \times 10^2$	$1.648 \times 10^2$
9	$4.642 \times 10^5$	$1.642 \times 10^3$	$1.428 \times 10^3$	$1.192 \times 10^3$
10	$3.162 \times 10^5$	$1.002 \times 10^3$	$9.256 \times 10^2$	$7.115 \times 10^2$
11	$2.154 \times 10^5$	$1.455 \times 10^3$	$1.276 \times 10^3$	$9.124 \times 10^2$
12	$1.486 \times 10^5$	$1.218 \times 10^4$	$1.013 \times 10^4$	$6.917 \times 10^3$
13	$1.000 \times 10^5$	$1.199 \times 10^6$	$9.632 \times 10^5$	$6.034 \times 10^5$
14	$6.813 \times 10^4$	$1.373 \times 10^7$	$1.103 \times 10^7$	$6.934 \times 10^6$
15	$4.642 \times 10^4$	$1.005 \times 10^6$	$8.062 \times 10^5$	$4.965 \times 10^5$
16	$3.162 \times 10^4$	$9.215 \times 10^5$	$7.402 \times 10^5$	$4.642 \times 10^5$
17	$2.154 \times 10^4$	$7.018 \times 10^6$	$5.753 \times 10^6$	$2.576 \times 10^6$
18	$1.486 \times 10^4$	$1.891 \times 10^7$	$1.551 \times 10^7$	$6.879 \times 10^6$
下限	$1.000 \times 10^4$			
合計		$4.280 \times 10^7$	$3.482 \times 10^7$	$1.796 \times 10^7$

表3.5 線量当量率の計算結果

評価対象燃料	壁からの距離	中性子	ガンマ線	合計
DCA3.4wt%MOX 燃料	10 cm	18.0	1.50	19.5
	50 cm	8.78	0.76	9.54
	100 cm	4.88	0.43	5.31
「常陽」MK-II 燃料	10 cm	12.8	2.81	15.6
	50 cm	5.81	1.33	7.14
	100 cm	3.08	0.71	3.79
「常陽」MK-I 燃料	10 cm	4.71	1.39	6.09
	50 cm	2.03	0.61	2.64
	100 cm	1.04	0.32	1.36

単位：(μSv/h)

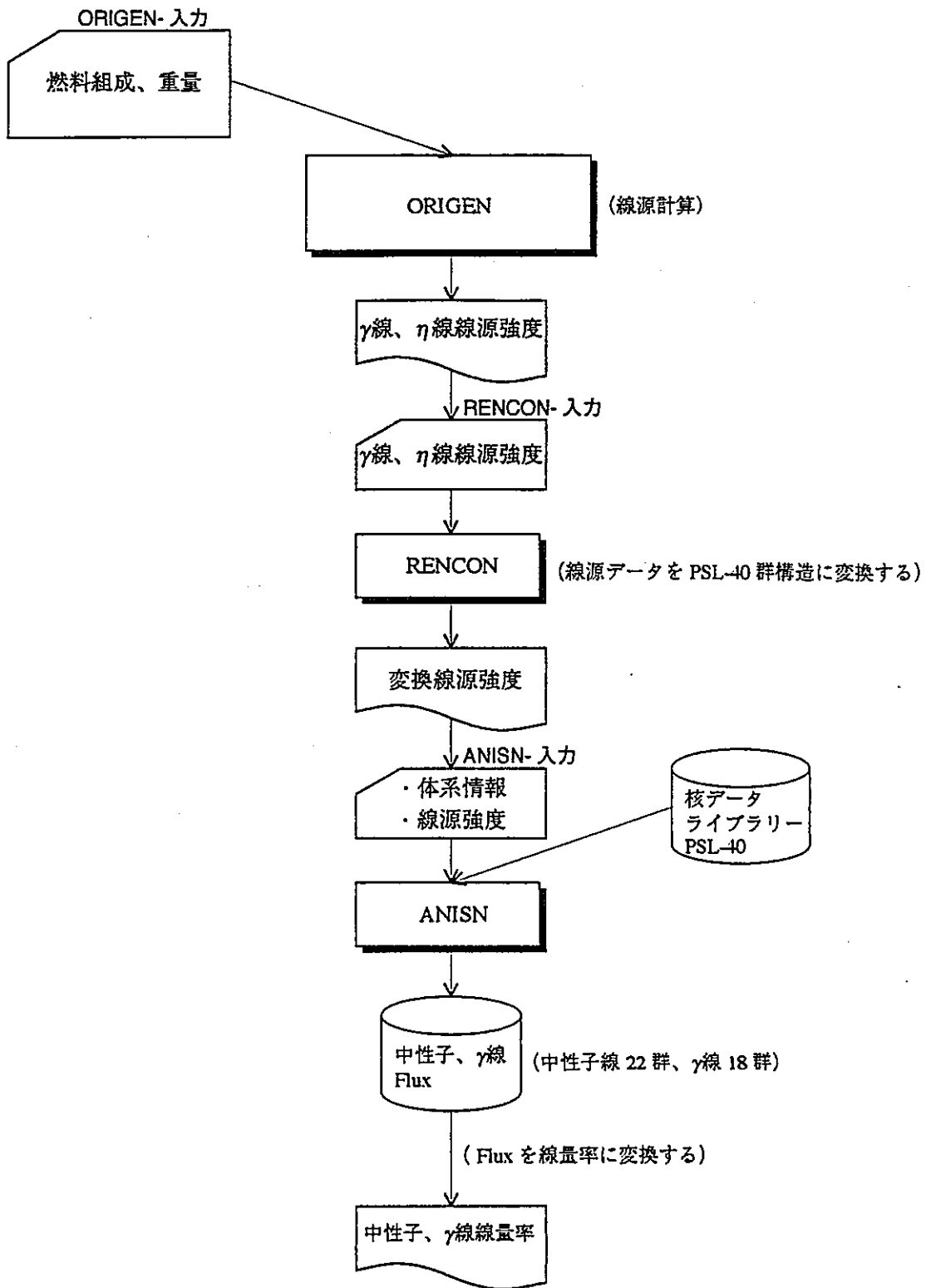


図3.1 遮蔽計算フロー

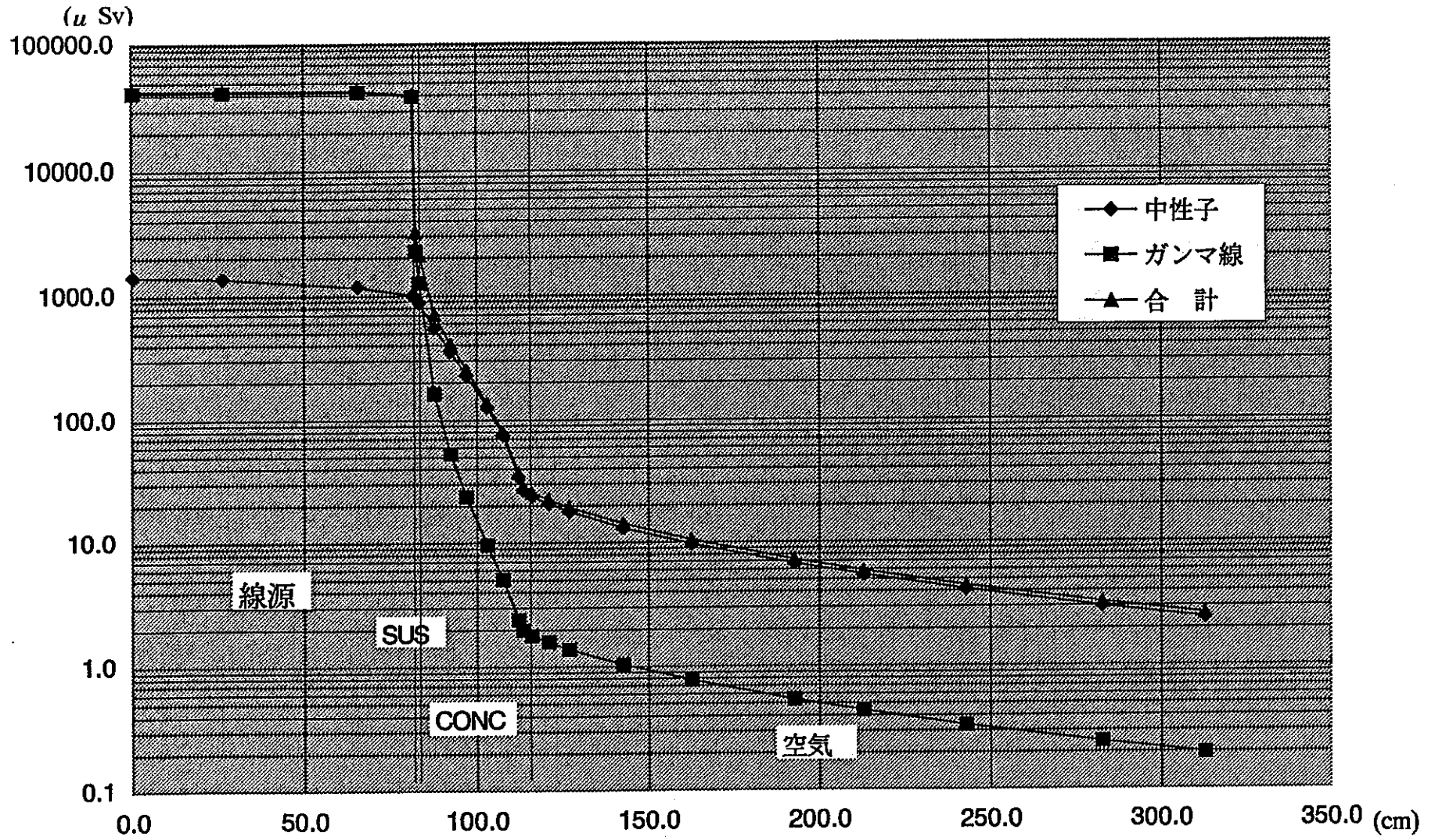


図 3.2 線量当量率の空間分布 (DCA 3.4% 燃料)

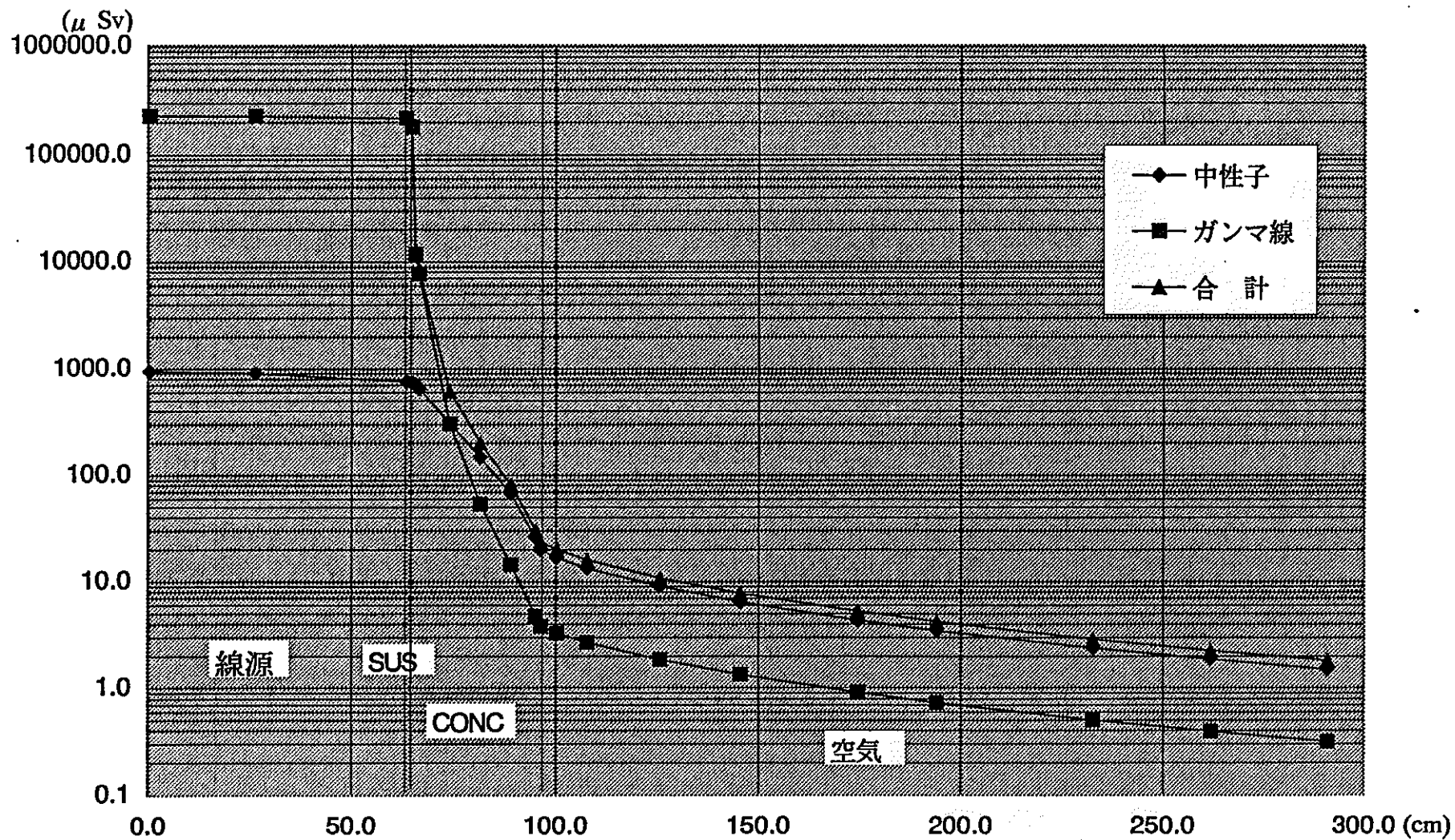


図 3.3 線量当量率の空間分布 (「常陽」 Mk-2)

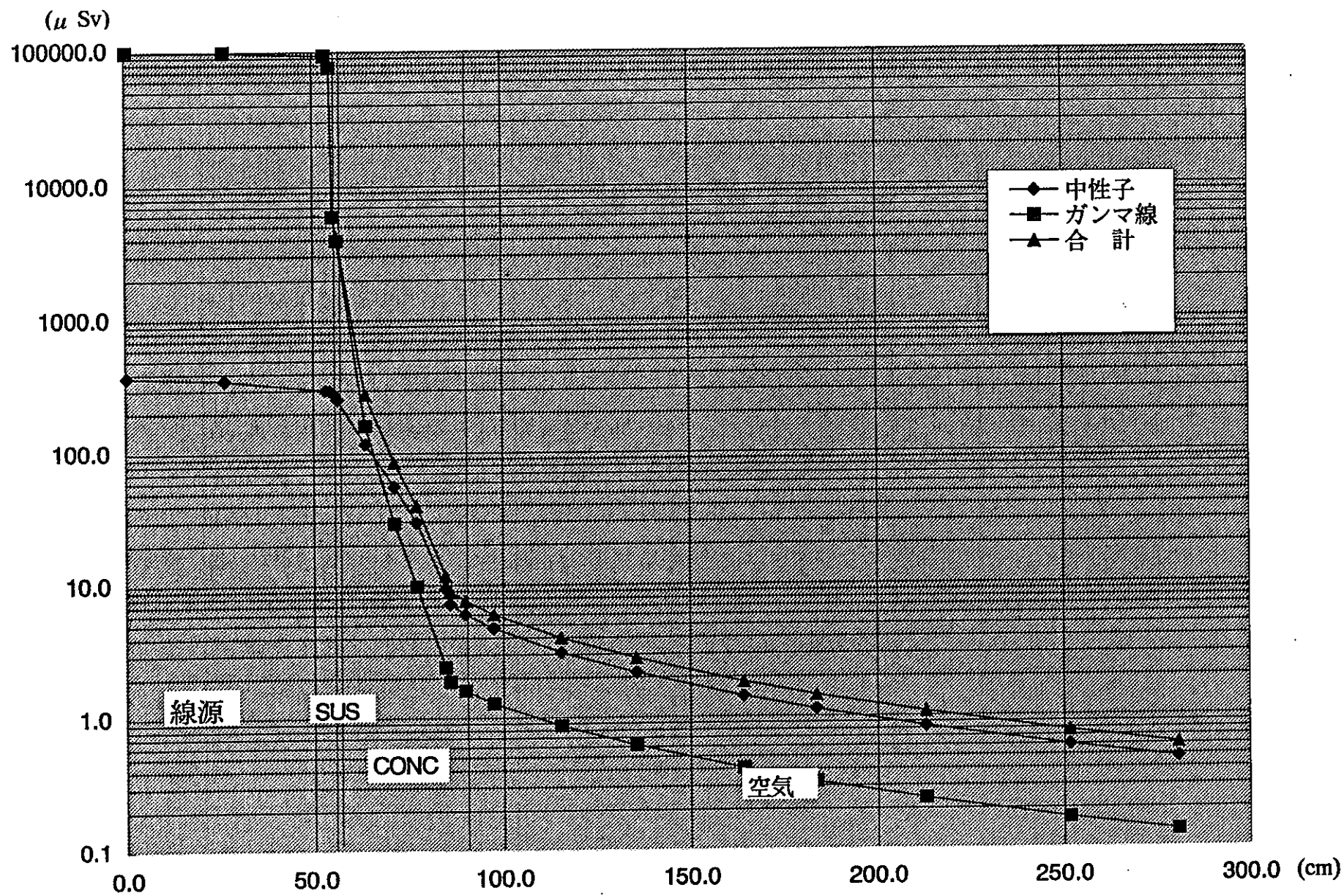


図 3.4 線量当量率の空間分布（「常陽」Mk-1）

〔参考文献〕

- \* 1) 宮脇良夫、湯本鏡三、菊池三郎、「D C A燃料組立工程における臨界計算」、  
SN841 70-25、1970年 8月.
- \* 2) 宮脇良夫、湯本鏡三、松本忠邦、「F B R燃料組立工程における臨界安全性の  
計算(2)」SN841 71-24、1971年 9月.
- \* 3) (財)原子力安全研究協会核燃料施設臨界安全管理編集委員会、「核燃料の臨  
界安全」、実務テキストシリーズNo. 2、昭和59年12月.

付録 A

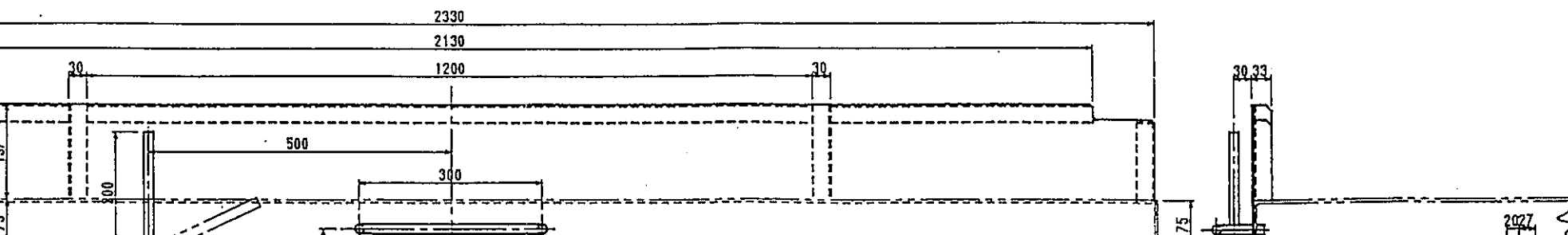
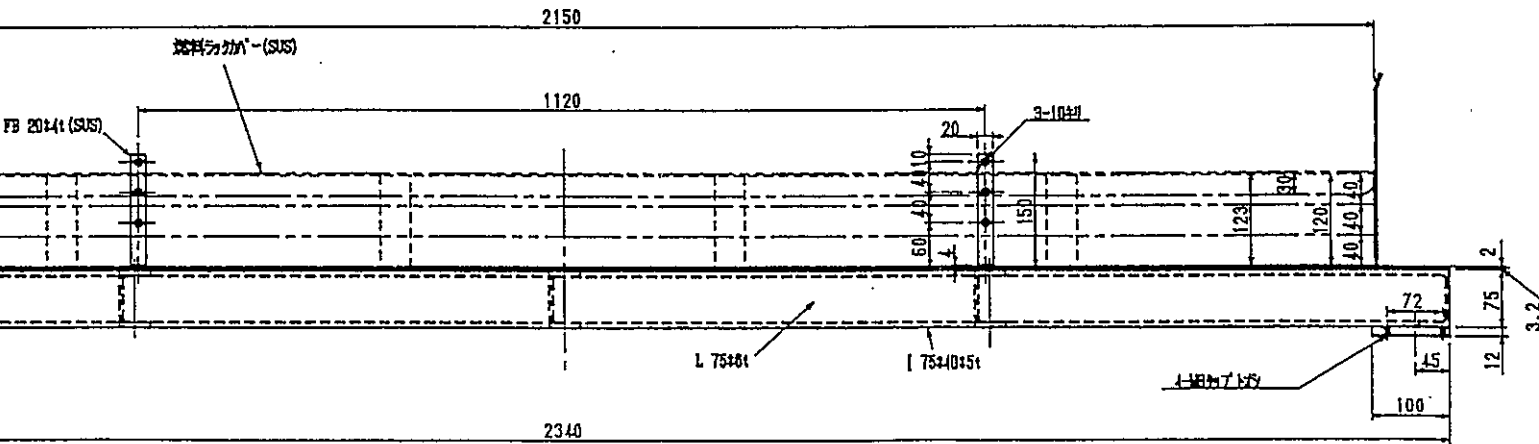
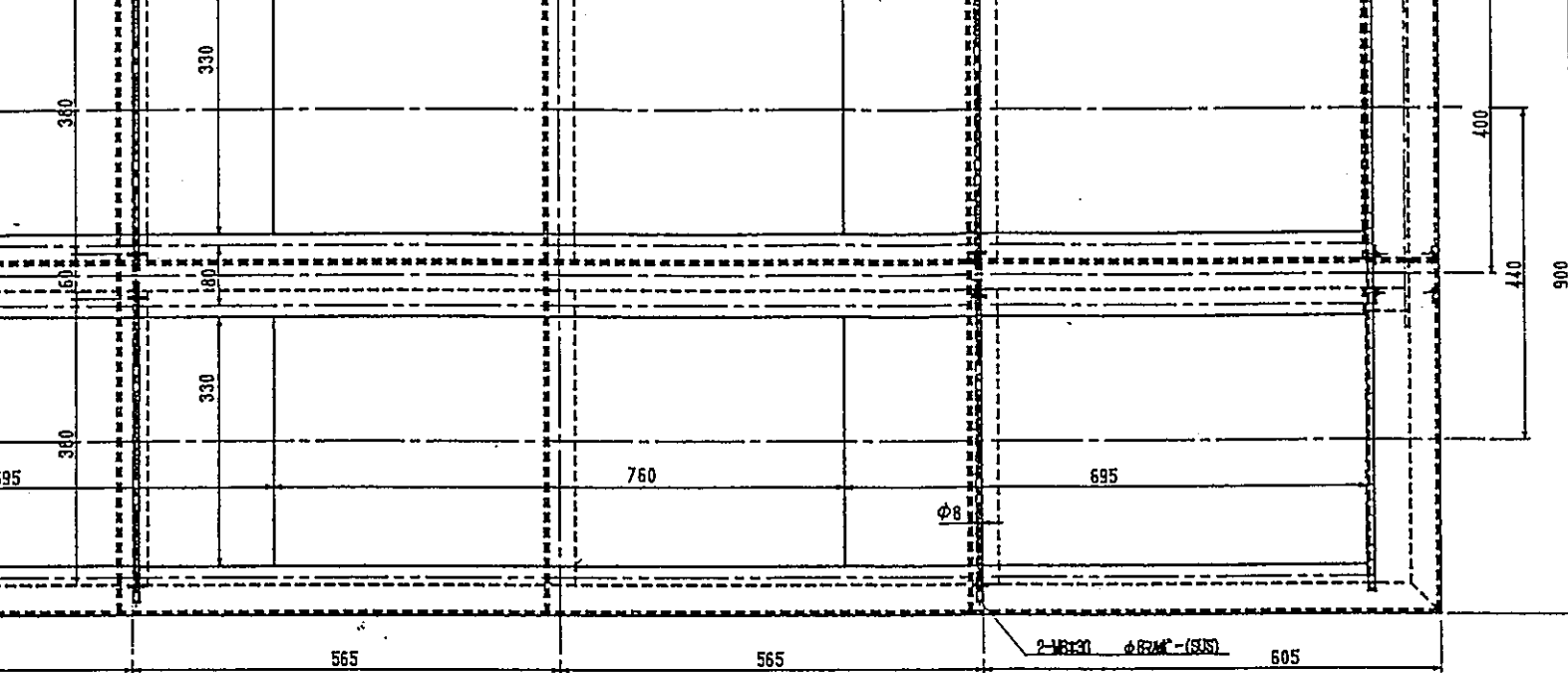
燃料棒貯蔵棚製作図

目次

(1) 燃料貯蔵棚の製作（全体図） .....	5 8
(2) 燃料貯蔵棚の製作（棚詳細） .....	5 9
(3) 燃料貯蔵棚の製作（燃料棒トレイ） .....	6 0

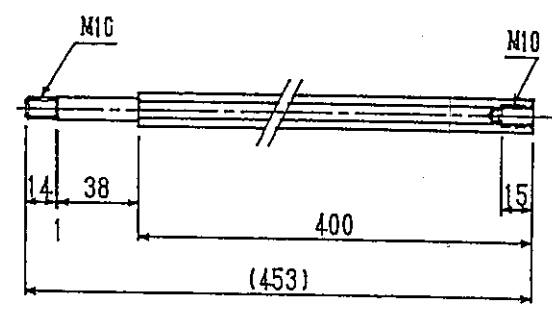
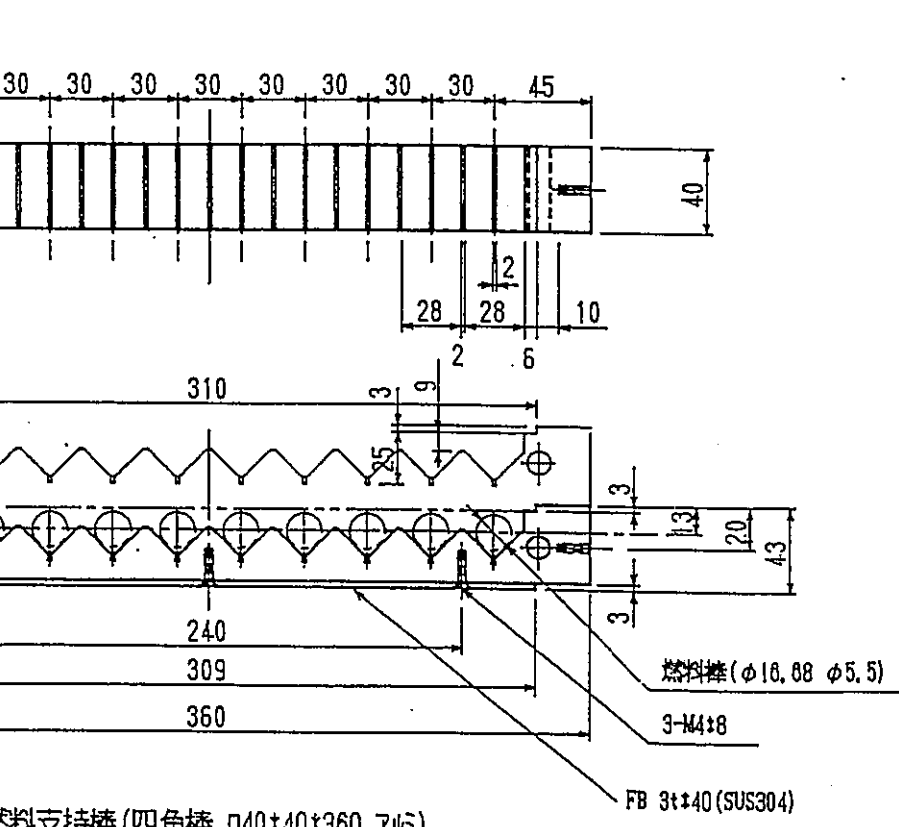
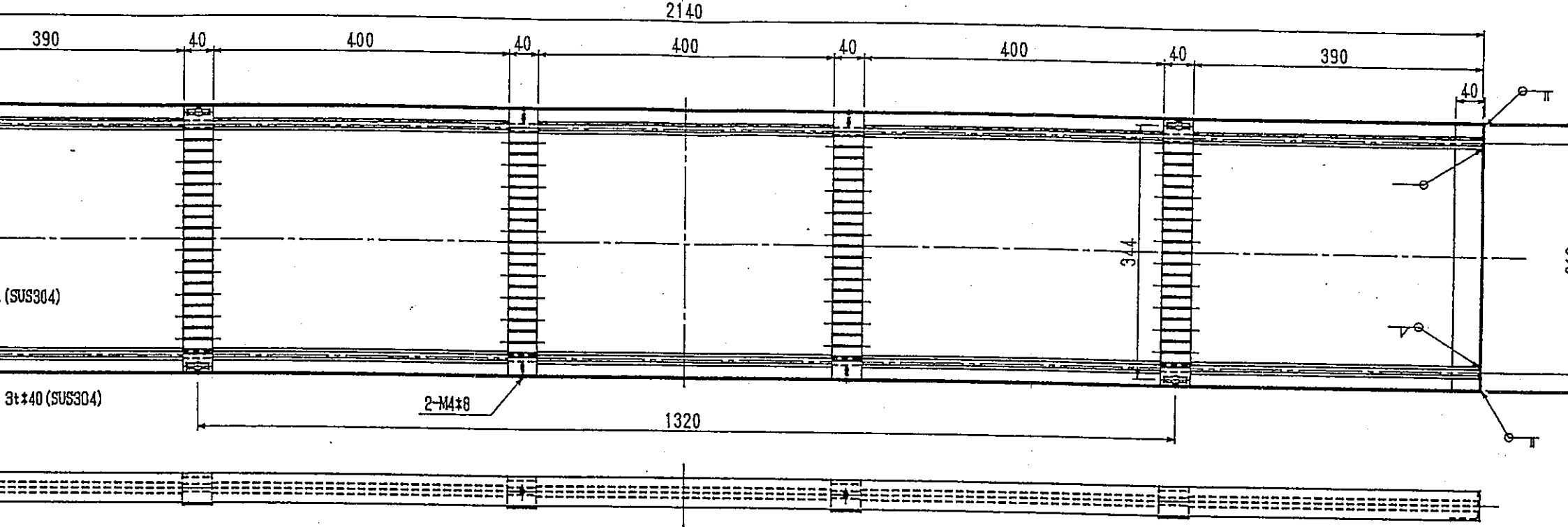






材質：SS400(SUS304)  
製作数：5台

- (注記)
- 1) 溶接構造(上板3, 2t(SS400)は除外)
  - 2) 上板 2t(SS304) 固定しない



製作数：301