



# 東海再処理施設の 臨界安全、遮蔽設計基本データの確認

1999年2月

日本原子力研究所蔵書



330029248③

核燃料サイクル開発機構  
東海事業所

30-50  
D

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ  
ください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番 4 9

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

1999

## 東海再処理施設の臨界安全、遮蔽設計基本データの確認

再処理施設安全対策班

須藤俊幸、清水義雄、中村博文、  
野尻一郎、楨 彰、山内孝道

### 要 旨

東海再処理施設の安全性確認の一環として、昭和40年代に設計された東海再処理施設の初期の施設の臨界安全及び遮蔽設計で用いられた基本データについて、最近の知見を基にその妥当性を確認した。

臨界安全設計では、設計に用いた機器の寸法、U、Puの質量、濃度等に関する臨界値並びに制限値が妥当であることを確認した。遮蔽設計では、設計に用いた「遮蔽厚—許容線源強度グラフ」では一部必要な遮蔽厚を過小評価するおそれのある箇所が見られたが、評価の条件を安全側に設定していることにより、必要な遮蔽厚が確保されていることを確認した。ただし、小型試験設備では、取扱う放射エネルギーを制限する必要が生じた。

また、臨界安全に関してはU、Puの移動に係る運転管理状況の妥当性についても確認を行った。その結果、溶液処理系のバッチ処理の移動では、誤って移動を行ったときに臨界のおそれのある移動経路でのU、Pu濃度確認の信頼性を強化する措置を行うこととした。これ以外の移動経路では、単一の故障あるいは誤操作によって臨界安全上問題となる移動は実施されないことを確認した。

## Assessment of Basic Data for Criticality Safety and Shielding Design of Tokai Reprocessing Plant

Tokai Reprocessing Plant Safety Evaluation and Analysis Team  
Toshiyuki Suto, Yoshio Shimizu, Hirohumi Nakamura  
Ichiro Nojiri, Akira Maki, Takamichi Yamanouchi

### Abstract

As a part of the safety confirmation work of Tokai Reprocessing Plant, the appropriateness was checked on the basic data used in criticality safety and shielding design of early-designed facilities in the plant on the basis of recent knowledge and safety evaluation methods.

In the criticality safety design, it was confirmed that critical and subcritical values concerning mass and concentration of U and Pu and equipment dimension were appropriate. In the shielding design, it was found that the relation between shielding thickness and permissible radioactivity might give underestimated results of shielding thickness necessary to limit dose rate to the designated one on some condition. In this cases, however, it was confirmed that necessary shielding thickness has been secured because of the conservative calculation conditions for the real conditions except the operation test laboratory (OTL). However, the amount of radioactivity handled at OTL needs to be limited.

From a viewpoint of criticality safety, operational control for U and Pu transfer was also investigated. As a result of it, at the transfer route where erroneous batch-wise transfer of process solution might lead to a criticality accident, the reliability of U and Pu concentration measurement needs to be improved by multiple measurements. At other transfer routes, it was confirmed that single failure of equipment or operation error would not lead to a criticality problem.

## 目 次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1. はじめに                         | 1  |
| 2. 臨界安全設計に用いた基本データの確認           | 2  |
| 2.1 対象施設                        | 2  |
| 2.2 核分裂物質の設計条件                  | 2  |
| 2.3 臨界安全設計に用いたハンドブックと計算コード      | 3  |
| 2.4 臨界安全ハンドブックとの比較              | 4  |
| 2.5 計算による確認                     | 9  |
| 2.5.1 中空円筒機器の臨界安全評価             | 9  |
| 2.5.2 ボロン入りラシヒリング使用に対する未臨界濃度の確認 | 10 |
| 2.6 Pu 製品貯槽の複数ユニットの計算           | 12 |
| 2.7 まとめ                         | 13 |
| 参考文献                            | 13 |
| 3. 遮蔽設計に用いた基本データの確認             | 14 |
| 3.1 対象施設                        | 14 |
| 3.2 当時の遮蔽設計手法                   | 14 |
| 3.2.1 遮蔽設計に用いる基準燃料              | 14 |
| 3.2.2 施設内区域の区分                  | 14 |
| 3.2.3 線源の $\gamma$ 線エネルギースペクトル  | 15 |
| 3.2.4 線源形状の分類                   | 15 |
| 3.2.5 遮蔽計算式                     | 17 |
| 3.2.6 許容線源強度に対する補正              | 17 |
| 3.2.7 使用データ                     | 19 |
| 3.3 今回用いた計算手法                   | 20 |
| 3.3.1 計算の種類                     | 20 |
| 3.3.2 計算条件                      | 20 |
| 3.4 設計と今回の計算の比較                 | 21 |
| 3.5 設計値が非安全側となる場合の検討            | 23 |
| 3.6 まとめ                         | 24 |
| 参考文献                            | 25 |
| 4. U、Pu の移動に対する臨界安全に係る運転管理の確認   | 41 |
| 4.1 調査範囲                        | 41 |
| 4.2 運転管理の概要                     | 41 |
| 4.3 移動経路の区切り                    | 41 |
| 4.4 各移動経路の運転管理                  | 42 |
| 4.4.1 廃気処理系                     | 42 |
| 4.4.2 溶液処理系                     | 44 |
| 4.5 プルトニウム転換技術開発施設              | 47 |
| 4.6 まとめ                         | 49 |
| 5. まとめ                          | 69 |

## 1. はじめに

東海再処理施設で最初に建設された分離精製工場等は昭和 40 年代に設計された。これらの施設の臨界安全設計、遮蔽設計は、当時の臨界安全ハンドブックあるいは計算コードや簡易的な手法を用いて行われているが、現在では使用されなくなっているものもある。

その後に設置あるいは設備の更新や変更が行われた施設では、最近のデータと計算コードを用いた設計が行われてきている。

本報告は、東海再処理施設の安全性確認の一環として、初期に臨界安全設計、遮蔽設計が行われた施設について、設計で用いられた基本データについて、最新の知見を基にその妥当性の確認を行ったものである。

また、臨界安全に関しては、機器の臨界安全設計と運転時の臨界安全管理の両方によって確保されるものである。濃度・質量管理機器の臨界安全は運転管理に依存することになる。したがって、本報告では、特に、U、Pu を含有する、あるいは含有するおそれのある溶液又は粉末の、形状管理機器から濃度・質量管理機器への移動及び濃度・質量管理機器間の移動に係る運転管理の現状を調査し、その妥当性についても確認を行った。

2章では臨界安全設計に用いた基本データの確認について、3章では遮蔽設計に用いた基本データの確認について報告し、4章で臨界安全に係る運転管理の確認について報告する。

## 2. 臨界安全設計に用いた基本データの確認

東海再処理施設の主工程施設等の設計は昭和 40 年から 45 年頃にかけて行われ、建設着工は昭和 46 年、ホット試験開始は昭和 52 年である。施設の臨界安全設計は、当時のいわゆる臨界安全ハンドブックならびに計算コード等を用いて行われている。円柱や平板などの単純形状機器に対しては、臨界濃度や臨界寸法などの基本的臨界データに対し 1 より大きい安全係数で除することによって機器の寸法や容量を制限し、円環形状や複数の装置を組み合わせた複雑な形状の機器あるいは複数ユニットについては、計算コードを用いて臨界安全性を確認している。

ここでは、当時使用した基本的な臨界データや制限値等について、現在の臨界安全ハンドブック等との比較作業を行い、その妥当性を確認した。

### 2.1 対象施設

臨界安全設計の基本データを確認する施設は、臨界管理対象施設のうち、初期に設計・建設された分離精製工場、ウラン貯蔵所及び分析所の小型試験設備とした。

昭和 50 年代から設置された施設については、2.3 項で述べる臨界安全ハンドブックの他に TID-7016 Rev.2<sup>1)</sup>や Handbuch zur Kritikalität<sup>2)</sup>なども参考にされている。昭和 55 年及び 57 年にそれぞれ着工したプルトニウム転換技術開発施設及びウラン脱硝施設、ならびに昭和 59 年に追加設置された濃縮ウラン溶解槽などでは ANISN<sup>3)4)</sup>、KENO-IV<sup>5)</sup>、Hansen-Roach 16 群<sup>6)</sup>又は MGCL-137 群ライブラリ<sup>7)</sup>を用いて臨界安全評価が行われ、ウラン貯蔵所に貯蔵する 4%濃縮  $UO_3$  貯蔵容器の追加製作や第三ウラン貯蔵所の設置では、SCALE コードシステム<sup>8)</sup>の XSDRN, KENO-IV, Hansen-Roach 16 群や ENDF/B-IV 27 群ライブラリが用いられてきている。また、第二ウラン貯蔵所の設置では二次元拡散コードを用いて臨界安全評価が行われているが、ウラン貯蔵所と同様に貯蔵容器内をウラン酸化物( $UO_2$  又は  $UO_3$ )と水の最適減速条件を用いて十分に保守的な評価を行っている。一方、その後に設置された第三ウラン貯蔵所ではその後の知見を反映し  $UO_3$  粉末の含水率を保守的に 4wt%として臨界安全評価を行っている。

これらの施設については、現在でも使用されている最近のデータと計算コードによる臨界安全評価が行われていることから、今回の再確認の対象外とした。

### 2.2 核分裂物質の設計条件

東海再処理施設の各工程における核分裂物質の物理的・化学的形態と、これに対する設計条件を表 2-1 に示す。初期に建設された施設の設計当時は、U、Pu の硝酸溶液 ( $UO_2(NO_3)_2$ ,  $Pu(NO_3)_4$ ) の臨界データがなく、化学形態としてフッ化物( $UO_2F_2$ ,  $PuO_2F_2$ ) のデータを用いて設計している。窒素(N)に比べてフッ素(F)の中性子吸収効果が小さいため安全側の設計となる。

表 2-1 各工程の核分裂物質と設計対象核分裂物質

| 主な工程     | 形態    |  | 設計条件              |                               |
|----------|-------|--|-------------------|-------------------------------|
|          | 物理的   | 化学的  | 核分裂物質             | 濃縮度又は <sup>239</sup> Puの割合(%) |
| 受入れ・貯蔵   | 固体    | UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>  | <sup>235</sup> U  | 4                             |
| 脱被覆(せん断) | 固体    | UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>  | <sup>235</sup> U  | 4                             |
| 溶解       | 固体-液体 | UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>  | <sup>235</sup> U  | 4                             |
|          |       | UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>   |                   |                               |
| 分離       | 液体    | UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> | <sup>235</sup> U  | 4                             |
| 精製       |       |  |                   |                               |
| プルトニウム   | 液体    | Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>  | <sup>239</sup> Pu | 100                           |
| ウラン      | 液体-粉末 | UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                      | <sup>235</sup> U  | 4                             |
| 製品貯蔵     |       |  |                   |                               |
| プルトニウム   | 液体    | Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>  | <sup>239</sup> Pu | 100                           |
| ウラン      | 粉末    | UO <sub>3</sub>  | <sup>235</sup> U  | 1.6                           |
|          |       | UO <sub>3</sub>  | <sup>235</sup> U  | 4                             |

### 2.3 臨界安全設計に用いたハンドブックと計算コード

#### (1) ハンドブック

主工程施設等の当時の臨界安全設計に用いられたハンドブックは次のとおりである。ハンドブックによる臨界データに対し、臨界安全設計上、表 2-2のような安全係数を採用している。

- 1) CEA-R-3114, Guide de Criticité (1967)
- 2) AHSB(H) Handbook 1 (1st Revision), Handbook of Criticality Data, volume 1 (1965)
- 3) TID-7016, Rev.1, Nuclear Safety Guide (1961)
- 4) CEA-R-3931, Etude Experimentale et Theorique de L'empoisonnement Heterogene de Solution de Metiere Fissile par des Tubes ou des Anneaux en Verre au Borosilicate (1969)

#### (2) 計算コード

主工程施設等の臨界安全解析・評価に用いた計算コードは表 2-3に示すとおりである。これらの計算コードについては、当時の臨界実験データを用いて安全側の結果を与えることが確認されている。



表 2-2 安全係数

| パラメータ | 安全係数 |          |
|-------|------|----------|
|       | 非均質系 | 均質系      |
| 質量    | 2.3  | 2.3      |
|       | 1.4  | 1.18     |
| 容積    | 1.3  | 1.18     |
| 円筒直径  | 1.18 | 1.1      |
| 平板厚   | 1.3  | 1.18     |
| 濃度    | ---  | 1.3 (Pu) |
|       |      | 1.18 (U) |

表 2-3 計算コード

| 理論又は内容         | コード名称                | 目的  |
|----------------|----------------------|---|
| モンテカルロ         | SECI 001<br>~005     | 複雑な装置及びセル内等の実効増倍係数(k <sub>eff</sub> )の計算*   |
| 輸送理論           | DSN-SCEA<br>003A     | 臨界寸法の計算、主に U(4% <sup>235</sup> U)O <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O 系の臨界データの計算 |
| Wigner-Wilkins | SOFOCATE-<br>TEMPEST | 熱中性子群の反応断面積の計算  |
| 拡散・輸送理論        | GAMTEC II            | 均質・非均質無限媒質の反応断面積、多群拡散係数、無限増倍係数 k <sub>∞</sub> 、拡散距離 L、材料バックリングの計算                           |
| 立体角理論          | SEC 043              | 装置間の中性子相互干渉による K <sub>eff</sub> の計算   |

\* 低速中性子群の反応断面積は、AWRE-O-28/60 の文献から引用

## 2.4 臨界安全ハンドブックとの比較

臨界安全設計の基本とした U、Pu の最小臨界データを表 2-4に、設計に採用した制限値を表 2-5に示す。それぞれの表には最近の臨界安全ハンドブックの対応する値も示した。

主工程施設等の臨界データはフランスのデータが主体となっている。当時は硝酸溶液系のデータがなくフッ化物のデータを使用している。窒素に比べフッ素の中性子吸収効果が小さいため安全側のデータとなる。

なお、臨界及び未臨界データは各国のハンドブックで数値設定の方法が異なるため値はそれぞれ異なる。日本の臨界安全ハンドブックの場合、推定臨界値は多数のベンチマーク計

算(臨界実験データを用いた計算)の臨界増倍率の平均値に対応する値、推定臨界下限値はベンチマークに用いた実験データ数と臨界増倍率の平均値と分散とから、統計的手法を用いてある信頼度で推定される値である。米国のハンドブック(LA-12808,1996)では、未臨界制限値として最小臨界増倍率から安全マージンとして $\Delta k_{eff}=0.02$ だけ下げた増倍率に対応する値とし、ドイツのハンドブックでは、未臨界制限値は安全係数として体積の場合 0.8、寸法の場合 0.9 を臨界値に乗じた値以下でかつ  $k_{eff} \leq 0.98$  となる値としている。

#### (1) 臨界値の比較

臨界値が機器設計に直接採用されたものではなく、また、表 2-4に示した全てのデータが設計に使用されてたものではないが、基本データとして最近のハンドブックに記載された値と比較した。

設計に用いられた  $UO_2F_2-H_2O$  均質系の値を最近の臨界安全ハンドブックの同じ体系の値と比べると大きな値、すなわち非安全側になっている。しかし、実際の体系である硝酸溶液系の値と比べると十分安全側になっている。また、 $UO_2-H_2O$  均質系の値も臨界安全ハンドブックに対して大きめになっている。

$PuO_2F_2-H_2O$  均質系では同じ体系で臨界安全ハンドブックに比較するものはないが、 $UO_2F_2-H_2O$  均質系と同様に硝酸溶液系に比べると安全側のあるいは同等の値となっている。

#### (2) 制限値の比較

主工程施設等の制限値は、臨界データに対し安全係数による安全余裕を見込んだもので、実際に設計で採用されたものである。臨界データ同様、 $UO_2F_2-H_2O$  均質系の値の一部が臨界安全ハンドブックの同じ体系と比べて大きな値になっているが、硝酸溶液系の値と比べると十分安全側になっている。

$PuO_2F_2-H_2O$  均質系でも、 $UO_2F_2-H_2O$  均質系と同様に硝酸溶液系に比べると安全側の値となっている。

酸化物-水系の場合も臨界安全ハンドブックの値と同じかそれ以下になっている。

表 2-4 設計で基本データとした臨界値と最近の臨界安全ハンドブックの記載値

|   | 項目   | 臨界値         |                              |                 |
|---|--|-------------|------------------------------|-----------------|
|   |  | 設計の<br>臨界値  | 臨界安全ハンドブック<br>最小推定臨界値<br>(1) | LA-12808<br>(2) |
| 4%濃縮U系  | 質量 (kgU)   |             |                              |                 |
|   | UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系  | 72          | 58.1 (約153)                  | 63 (148)        |
|   | UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                 | 58          | 56.8                         | 55.8            |
|   | UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O非均質系                | 54          |                              | 47              |
|   | 容積 (L)   |             |                              |                 |
|   | UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系  | 77          | 44.0 (153)                   | 58.0 (138)      |
|   | UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                 | 40          | 34.4                         | 36.6            |
|   | UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O非均質系                | 28          | 約30.4                        | 27.5            |
|   | 無限円筒直径 (cm)  |             |                              |                 |
|   | UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系  | 36          | 30.4 (46.6)                  | 32.1 (45.6)     |
|   | UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                 | 29.4        | 28.0                         | 28.6            |
|   | UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O非均質系                | 25.9        | 約26.3                        | 25.8            |
|   | 無限平板厚 (cm)   |             |                              |                 |
|   | UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系  | 18          | 15.0 (25.2)                  | 15.9 (25.0)     |
| UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系  | 15   | 13.5        | 14                           |                 |
| UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O非均質系   | 12.7   | 約12.3       | 12.7                         |                 |
| 中空円筒液厚 (cm)   |  |             |                              |                 |
| UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                           | 18   |             |                              |                 |
| 濃度 (gU/L)   |  |             |                              |                 |
| UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(ホロン入りラシヒング'充てん率15.3%) | 340<br>6.6kgU/L, 265g <sup>235</sup> U/L             | 356 (428)   |                              | 約360 (約420)     |
| 無限平板厚30cmの場合  | 540  | 約550 (約760) |                              | (約790)          |
| "    40cm    "  | 470  |             |                              | (約614)          |
| "    40.3cm  "  | 450  |             |                              | (約610)          |
| 無限円筒38cm φの場合   | 900  | 約790 (∞)    |                              | (∞)             |
| 1.6%濃縮U系  | 無限円筒直径 (cm)  |             |                              |                 |
|   | UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                 | 58          |                              |                 |
| 濃度 (gU/L)   |  |             |                              |                 |
| UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(ホロン入りラシヒング'充てん率15.3%) | 16 kgU/L, 265g <sup>235</sup> U/L                    |             |                              | 約1130(∞)        |
| Pu溶液系( <sup>239</sup> Pu 100%)  | 質量 (kgPu)  |             |                              |                 |
|   | PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系 | 0.51        |                              | (0.54)          |
|   | 容積 (L)   |             |                              |                 |
|   | PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系 | 5.5         | (8.24)                       | (8.3)           |
|   | 無限円筒直径 (cm)  |             |                              |                 |
|   | PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系 | 13          | (約16.2)                      | (16.2)          |
|   | 無限平板厚 (cm)   |             |                              |                 |
| PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                          | 4.5  | (5.97)      | (6.2)                        |                 |
| 中空円筒液厚 (cm)   |  |             |                              |                 |
| PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                          | 4.5  |             |                              |                 |
| 濃度 (gPu/L)  |  |             |                              |                 |
| PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                          | 8  | (7.5)       |                              | (7.7)           |
| (ホロン入りラシヒング'充てん率15.3%)  | 10kgPu, 130gPu/L                                     |             |                              |                 |
| (ホロン入りラシヒング'充てん率34.1%)  | 35kgPu, 355gPu/L                                     |             |                              |                 |
| 無限平板厚8cmの場合   | 49.5   | (約57.0)     | 約49                          | (約55)           |
| 中空円筒液厚15cmの場合   | 10.75  |             |                              |                 |

注1 ( )内は硝酸溶液系の値、 注2 表中約～の表現は、グラフより読み取ったもの  
文献

- (1) 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課編, "臨界安全ハンドブック", 1988  
及び "臨界安全ハンドブック改訂準備資料", JAERI-Tech 95-048, 1995
- (2) "Nuclear Criticality Safety Guide", LA-12808, 1996
- (3) Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, "Handbuch zur Kritikalität", 1985

表 2-5 設計上の制限値と臨界安全ハンドブックの記載値

| 項目  | 制限値     |                              |                           | 適用機器               |   |   |
|---|---------|------------------------------|---------------------------|--------------------|---|---|
|   | 設計上の制限値 | 臨界安全ハンドブック<br>推奨臨界下限値<br>(1) | LA-12808<br>未臨界制限値<br>(2) | 西独<br>安全値<br>(3)   | 制限値を適用  | 制限値未滿   |
| 質量<br>UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O非均質系               | 20      |                              | 39.75                     | 25.1               | 小型試験設備(OTL)   |   |
| 容積<br>UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系 |         | 40.5 (124)                   |                           | 46 (110)           |   | 小容量機器   |
| 無限円筒直径<br>(cm)  | 30      | 28.9 (43.6)                  |                           | 28.5 (38.6)        | U溶液蒸発缶(第1段)(263E11),凝縮器(263H13),<br>U溶液蒸発缶(第2段)(263E20),<br>濃縮液受槽(264V10),サージボット(276V16)    | ハルス7ルタ(243F16),<br>凝縮器(263H132),<br>凝縮器(263H21)   |
| UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                      | 25      | 27.0                         | 26.9                      | 25.7               | 4%濃縮U用UO <sub>3</sub> 容器  |   |
| UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O非均質系                     | 22      | 約25.5                        | 24.5                      |                    | 溶解槽(バスケット部)(242R10~12),脱硝塔(264R11)  |   |
| 無限平板厚<br>(cm)   |         |                              |                           |                    |   |   |
| UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系       | 14      | 15.0 (23.4)                  |                           | 14.0 (21.3)        | オーバータンク(242V20),受槽(276V10),溢流受槽(276V30)   |   |
| UO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                      | 12.5    | 12.7                         | 12.6                      | 12.3               | 溶解槽(577部)(242R10~12)  |   |
| 中空円筒の液厚<br>(cm)   | 14      |                              |                           |                    | 洗浄液受槽(242V13),溶解槽溶液受槽(243V10),<br>濃縮液受槽(263V17),希釈槽(263V18),<br>給液槽(263V19),中間貯槽(276V12,15) |   |
| 濃度<br>(gU/L)  |         |                              |                           |                    |   |   |
| UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系       | 240     | 351 (394)                    |                           | (約395<br>(k=0.98)) | 調整槽(251V10),給液槽(251V11)   | 一時貯槽(263V51-58),<br>U調整槽(201V70),<br>ウナナス調整槽(201V74),<br>ウナナス中間貯槽(201V74),<br>貯槽(201V77-79) |
| 無限円筒直径38cm φの場合   | 400     | 約726 (∞)                     |                           |                    | 凝縮器(244H10)   | 酸吸収塔(244T11)  |
| 無限平板厚30cmの場合  | 180     | 約513(約650)                   |                           |                    | 分離工程抽出器(252R11,253R10,255R14~16),<br>U精製工程抽出器(261R13,15),<br>希釈剤洗浄器(252R10,261R14),         | 希釈剤洗浄器<br>(254R101, 256R101)  |
| " 40cm "  | 300     |                              |                           |                    | 溶媒洗浄器(256R10~13, 262R10~11)   |   |
| " 40.3cm "  | 200     |                              |                           |                    | 電解槽(201X71,72)  |   |
| 無限円筒直径<br>(cm)  | 40      |                              | 41.9*                     | 42.8*              | 1.6%濃縮U用UO <sub>3</sub> 容器  |   |
| 濃度<br>(gU/L)  | 450     |                              | 770*                      | 約565*(∞)           | 一時貯槽(263V51~58),貯槽(201V77)  |   |

※ 記載あり

表2-5 設計上の制限値と臨界安全ハンドブックの記載値(続き)

| 項目   | 制限値     |                      |                   | 適用機器     |  |
|--|---------|----------------------|-------------------|----------|--|
|  | 設計上の制限値 | 臨界安全ハンドブック推定臨界下限値(1) | LA-12808未臨界制限値(2) | 西独安全値(3) | 制限値を適用   |
| 質量<br>PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(gPu)    | 220     |                      | (570)*3           | (240)    |  |
| 容積<br>PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(L)      |         | (7.31)               | (10.0)*3          | (6.2)    | 小容量機器  |
| 無限円筒直径<br>PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(cm) | 12.5    | (15.5)               | (17.4)*3          | (14.0)   | トレン受槽(266V40,41),<br>洗浄塔(267T18),<br>サージホット(276V206,V215)              |
| 無限平板厚<br>PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(cm)  | 4       | (5.49)               | (6.7)*3           | (5.0)    | Pu濃縮液受槽(266V23),循環槽(266V24),<br>Pu溶液受槽(276V20),溢流溶媒受槽(276V21)          |
| 中空円筒液厚<br>PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(cm) | 4       |                      |                   |          | 希釈槽(266V13)  |
| 濃度<br>PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系<br>(gPu/L)  |         | (7.0)                | (7.8)*3           | (3.8)    |  |
| 無限平板厚8cmの時   | 22      | (約49.2)              |                   |          | Pu精製工程抽出器(265R20,22),<br>希釈剤洗浄器(265R21)                                |
| 中空円筒液厚15cmの時<br>Pu製品貯槽   | 2.8     |                      |                   |          | 中間貯槽(265V12)   |
| PuO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O均質系                   | 420     |                      |                   |          | Pu製品貯槽は中空円筒機器で、中性子吸収材としてCdを使用<br>(267V10~12(液厚4.5cm), V13~16(液厚5.5cm)) |

注1 ( )内は硝酸溶液系の値、注2 約への表現は、グラフより読み取ったもの、

\*1 2%濃縮Uに対する値 \*2 臨界値に対し、安全ファクタ0.5とした場合 \*3 <sup>210</sup>Pu ≥ 5wt%, <sup>211</sup>Pu ≤ 1wt%の条件に対する値であり参考値として記載した

文献

- (1) 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課編, "臨界安全ハンドブック", 1988 及び "臨界安全ハンドブック改訂準備資料", JAERI-Tech 95-048, 1995
- (2) "Nuclear Criticality Safety Guide", LA-12808, 1996
- (3) Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, "Handbuch zur Kritikalität", 1985

## 2.5 計算による確認

表 2-4、表 2-5の項目にある中空円筒の液厚及び中性子吸収材としてボロン入りラシヒリングを充てんした場合のデータについては、臨界安全ハンドブックでは比較するデータがないため、最近の計算コードを用いた計算を行い妥当であることを確認した。

### 2.5.1 中空円筒機器の臨界安全評価

#### (1) 計算評価条件

計算コード： SCALE コードシステム<sup>9)</sup>CSAS25 シーケンス (KENO V.a),  
27 群 ENDF/B-IV 核データライブラリ

評価モデル： 製作誤差、腐食代を安全側に見込んだ寸法で構造材を考慮、中空部はボイド、外側は水全反射

硝酸溶液組成は安全側に酸濃度を無視し、「臨界安全ハンドブック改訂準備資料」<sup>10)</sup>に記載の密度式を使用して計算

臨界安全の判定： $k_{eff} + 3\sigma \leq 0.95$

#### (2) $UO_2(NO_3)_2-H_2O$ 系 14cm 液厚中空円筒機器

U 系の中空円筒機器は、溶解工程の洗浄液受槽(242V13)、溶解槽溶液受槽(243V10)、U 精製工程の濃縮液受槽(263V17)、希釈槽(263V18)、給液槽(263V19)、リワーク工程の U 系中間貯槽(276V12,V15)であり、すべて液厚 14cm の全濃度安全形状寸法となっている。

液厚は同じであるが半径と高さは機器毎に異なる。計算は  $k_{eff}$  を安全側に評価するように、対象機器の中の最も小さい半径と最も大きい高さを設定した仮想的機器の評価モデルを用いて行った。

計算の結果を表 2-6に示す。 $k_{eff} + 3\sigma$  の最大値は最適 U 濃度 1000g/L のときで 0.835 であり、十分臨界安全である。

#### (3) $Pu(NO_3)_4-H_2O$ 系中空円筒機器

Pu 系の中空円筒機器は、Pu 精製工程の中間貯槽(265V12)、溶媒貯槽(265V24)及び製品貯蔵工程の Pu 製品貯槽(267V10~16)が制限濃度安全形状寸法で、Pu 溶液濃縮工程の希釈槽(266V13)が全濃度安全形状寸法となっている。特に、Pu 製品貯槽は固定中性子吸収材としてカドミウム(Cd)板が機器表面に張られている。これらの機器の計算結果を表 2-6に示す。

265V12 の通常Pu濃度は約 2gPu/L であり、保安規定により 2.8gPu/L に制限し、さらに 2.3gPu/L を工程管理目標値として運転管理している。計算の結果、この機器は 14gPu/L まで臨界安全であり通常の約 6 倍の濃度まで臨界安全余裕を有している。

265V24 は Pu 精製第 2 抽出器(265R22)で Pu を水相側へ逆抽出した後の溶媒を受ける貯槽であり有意な Pu を含まない機器である。265R22 での通常の Pu 濃度は 18gPu/L 以下である。計算の結果、265V24 は 23gPu/L まで臨界安全であり、万が一、送液元の抽

出器から逆抽出されないままで流入してきたとしても臨界安全である。

Pu 製品貯槽はフッ化 Pu(PuO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)溶液系として評価を行った設計では制限濃度安全形状寸法であるが、今回、実体に合わせて硝酸 Pu(Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>)溶液系として評価した結果、266V13 とともに全濃度安全形状であることが確認された。

表 2-6 中空円筒機器の臨界計算結果

|                        | 中空円筒機器   | 計算結果   |                             |            |           |             |
|------------------------|--|--|-----------------------------|------------|-----------|-------------|
| 硝酸<br>U<br>溶<br>液<br>系 | ・全濃度安全形状寸法機器<br>溶解工程<br>洗浄液受槽(242V13)<br>溶解槽溶液受槽(243V10)<br>U 精製工程<br>濃縮液受槽(263V17)<br>希釈槽(263V18)<br>給液槽(263V19)<br>リワーク工程<br>U 系中間貯槽(276V12,V15) | keff+3σ の最大値<br>0.835<br>(最適 U 濃度 1000gU/L)              |                             |            |           |             |
|                        | 硝酸<br>Pu<br>溶<br>液<br>系  | ・制限濃度安全形状寸法機器<br>Pu 精製工程<br>中間貯槽(265V12)<br>溶媒貯槽(265V24) | 未臨界<br>濃度                   | keff+3σ    | 濃度<br>制限値 | 工程管理<br>目標値 |
|                        |  | (単位:gPu/L)   |                             | (単位:gPu/L) |           |             |
|                        |  | 14   | ≤0.95                       | 2.8        | 2.3       | 約 2         |
|                        |  | 23   | ≤0.95                       | 22*        | 18*       | 微           |
|                        |  | * 溶媒流入元の Pu 精製抽出器(265R22)の値                              |                             |            |           |             |
|                        | Pu 製品貯蔵工程<br>Pu 製品貯槽(267V10~12)<br>Pu 製品貯槽(267V13~16)  | --   | 最大 0.886<br>(最適濃度 400gPu/L) | 250        | 245       | 230         |
|                        | ・全濃度安全形状寸法機器<br>Pu 溶液濃縮工程<br>希釈槽(266V13)   | --   | 最大 0.888<br>(最適濃度 600gPu/L) | --         | --        | --          |

2.5.2 ボロン入りラシヒリング使用に対する未臨界濃度の確認

ボロン入りラシヒリングは、U 又は Pu 溶液の蒸発缶の凝縮液受槽(263V14,15, 266V30,31)、Pu 系のオフガス洗浄廃液の受槽(267V19,21)及び U 溶液の貯槽(201V77~79, 263V51~58)に充てんされている。これらはすべてボロンがない状態でも臨界にならない濃度で管理している濃度管理機器であるが、万一の異常事象に備えてボロンを充てんしているものである。

上記の凝縮液及び洗浄廃液には通常有意な U, Pu が流入してくることはない。また、U 溶液の貯槽は、U 溶液蒸発缶で濃縮した約 400gU/L の溶液を全濃度安全形状寸法の希釈槽(263V18)で U 濃縮度に応じて希釈した後に受け入れる。U 濃縮度が 1.6%以下の場合には 450gU/L 以下に、4%以下の場合には 200gU/L 以下に制限し、工程管理目標値としてそれぞれ 430, 180gU/L として運転管理するとともに施設管理を行っている。この濃度により臨界安全管理をしているが、万々に備えて U 溶液の貯槽にもボロン入りラシヒリングを充てんしている。

ボロン入りラシヒリングは 1 個が外径 3cm、高さ 3cm の中空円筒で、肉厚が 2mm と 5mm の 2種類があり、充てん率はそれぞれ約 15、34vol%、ボロン(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)含有率は 11.8wt%以上である。上記機器の 266V30,31 が 5mm 厚のものを、それ以外は 2mm 厚のものを使用している。

ここでは、以下のようにして、ボロン入りラシヒリングを充てんした場合の未臨界濃度を確認した。

#### (1) 計算評価条件

計算コード: MCNP4B2<sup>11)</sup>,

ENDF/B-VI核データライブラリ<sup>12)</sup>

評価モデル: 無限体系の U 又は Pu 硝酸溶液中に、ラシヒリングの充てん率に対応する三角格子ピッチでボロン入りラシヒリングの中空円筒を無限配列\*1

硝酸溶液組成は安全側に酸濃度を無視し、「臨界安全ハンドブック改訂準備資料」<sup>10)</sup>に記載の密度式を使用して計算

ラシヒリングのボロン(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)含有量は安全側に 11wt%で評価。

\*1 「臨界安全ハンドブック」(科学技術庁原子力安全局核燃料規制課編)の図 3.15 に示されるラシヒリングのモデル化の違いによる keff 計算値を参考に、最も保守的な評価結果を与える直立チューブモデルに相当

#### (2) 計算結果

計算結果を表 2-7に示す。濃縮度 4%以下の硝酸 U 溶液では、ボロン入りラシヒリングを充てんしている場合、臨界になり得ないことが分かる。

硝酸 Pu 溶液では、keff+3σ=0.95 に対応する未臨界濃度は、ラシヒリング充てん率 34%の場合に 298gPu/L で、仮に、Pu 溶液蒸発缶(266E20)から凝縮液受槽(266V30,31)へ Pu 濃縮液(Pu 濃度は 250gPu/L 以下)が流入しても臨界には至らない。ラシヒリング充てん率 15%の場合の未臨界濃度は 94gPu/L で、Pu 系のオフガス洗浄廃液の受槽(267V19,21)としては十分な臨界安全余裕を有している。

表 2-4の設計の基本データと比較するために行った 100%<sup>235</sup>U の硝酸溶液の場合の計算結果では、k<sub>∞</sub>=1.0 に対応する臨界濃度は 247gU/L となり、設計の臨界値 265gU/L より若干小さい。硝酸 Pu 溶液では、ラシヒリング充てん率 15、34vol%それぞれに対し、k<sub>∞</sub>=1.0 に対応する臨界濃度はそれぞれ 107、357gPu/L であり、それぞれの設計の臨界値 130、355gPu/L より若干小さいかほぼ等しい。一部の計算による臨界値が設計の臨界値より小さくなる原因として、計算評価上、ラシヒリングの充てん率及びボロン含有量を安全側に実際より若干少ない設定としていることが影響していると考えられる。



表 2-7 ボロン入りラシヒリング充てん機器の臨界計算結果

|                         | ボロン入りラシヒリング充てん機器                            | 計算結果   |                               |                      |
|-------------------------|---|--|-------------------------------|----------------------|
| 硝酸<br>U<br>溶<br>液<br>系  | U 溶液蒸発缶の凝縮液の受槽<br>受槽(263V14,15)             | 濃縮度 4% <sup>235</sup> U 硝酸溶液<br>ラシヒリング充てん率 はすべて 15vol%<br>全濃度範囲で $k_{\infty} < 0.4$  |                               |                      |
|                         | U 溶液の貯槽<br>一時貯槽(263V51~58)<br>貯槽(201V77~79) | (参考)<br>100% <sup>235</sup> U 硝酸溶液の場合<br>$k_{\infty}=1.0$ となる U 濃度は 247gU/L<br>$k_{\infty}+3\sigma=0.95$ となる U 濃度は 217g <sup>235</sup> U/L |                               |                      |
| 硝酸<br>Pu<br>溶<br>液<br>系 |   | <sup>239</sup> P 硝酸溶液  | 未臨界濃度                         | 臨界濃度                 |
|                         |   | ラシヒリング充てん率   | ( $k_{\infty}+3\sigma=0.95$ ) | ( $k_{\infty}=1.0$ ) |
|                         | Pu 系のオフガス洗浄廃液の受槽<br>受槽(267V19,21)           | 15vol%   | 94gPu/L                       | 107gPu/L             |
|                         | Pu 溶液蒸発缶の凝縮液受槽<br>受槽(266V30,31)             | 34vol%   | 298gPu/L                      | 357gPu/L             |

## 2.6 Pu 製品貯槽の複数ユニットの計算

複数ユニットによる臨界を考慮すべき箇所については、当時の設計の中でモンテカルロ計算コード等を用いて臨界安全であることを評価している。ここでは複数ユニットに対する臨界安全性の確認のために、代表として、2.5.1項(3)で中空円筒機器の単一ユニットの臨界計算を行った Pu 製品貯槽を複数設置してある Pu 製品貯蔵セルの臨界計算を実施した。

Pu 製品貯槽は、3 基(267V10~12)が Pu 製品貯蔵セル(R023)に、4 基(267V13~16)が Pu 製品貯蔵セル(R041)に設置されている。セル内の Pu 製品貯槽の配置、セル形状、コンクリート厚みに基づき、50cm 厚のセルコンクリートで Pu 製品貯槽を囲んだ評価モデルを用いて計算した。Pu 製品貯槽内の Pu 溶液の濃度は2.5.1項(3)の計算で最大の  $k_{eff}$  を与える 400gPu/L とし、セル内空間の水密度を  $0 \sim 1\text{gH}_2\text{O}/\text{cm}^3$  の範囲で最も厳しい条件をサーベイしたところ、空間に水がほとんど無い状態( $0 \sim 10^{-3}\text{gH}_2\text{O}/\text{cm}^3$ )が最大の  $k_{eff}$  を与え、 $k_{eff}+3\sigma$  はセル R023, R041 それぞれ 0.855、0.864 と十分臨界安全な結果が得られた。

なお、R023 の  $k_{eff}+3\sigma$  (0.855)は、表 2-6にある Pu 製品貯槽(267V10~12)の単一ユニットの値(0.886)より小さくなっている。単一ユニットの評価では機器を水全反射条件で計算しているのに対し、セルの複数ユニットでは機器間の中性子相互干渉を評価するため水のない状態で複数ユニット全体をコンクリート全反射条件としているという違いのためである。

設計当時の評価では、R023 で Pu 製品貯槽の臨界濃度を約 420gPu/l と評価し、R041 では Pu 製品貯槽の濃度 420gPu/l のときに  $k_{eff}=0.87$  と評価している。これらの評価は  $\text{PuO}_2\text{F}_2$  溶液に対するもので、実際の  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$  溶液を用いた今回の計算結果に比べて保守的な結果となっていることが分かる。

## 2.7 まとめ

昭和 40 年代に設計された東海再処理施設の主工程施設等の臨界安全設計で用いられた基本的な臨界データである臨界値並びに制限値について、最近の臨界ハンドブック等のデータに照らしても妥当であることを確認した。

## 参考文献

- 1) J.T.Thomas: “Nuclear Safety Guide”, TID-7016 Rev.2, (1978).
- 2) W.Thomas: “Handbuch Zur Kritikalität”, (1970).
- 3) W.W.Engle, Jr.: “A Users Manual for ANISN A One Dimensional Discrete Ordinate Transport Code with Anisotropic Scattering”, K-1693, (1977).
- 4) K.Koyama, et al.: “ANISN-JR, A One-Dimensional Discrete Ordinates Code for Neutron and Gamma-Ray Transport Calculations”, JAERI-M 6954, (1977).
- 5) L.M.Petrie, N.F.Cross: “KENO-IV An Improved Monte Carlo Criticality Program”, ORNL-4983, (1975).
- 6) G.E.Hansen, W.H.Roach: “Six and Sixteen Group Cross sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies”, LAMS-2453, (1961).
- 7) Yoshitaka Naito, et al.: “MGCL-Processor: A Computer Code System for Processing Multigroup Constants Library MGCL”, JAERI-M 9396, (1981).
- 8) “SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analysis for Licensing Evaluation”, Radiation Shielding Information Center, CCC-466, (1985).
- 9) “SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analysis for Licensing Evaluation”, Radiation Shielding Information Center, CCC-545, (1993).
- 10) 奥野浩 他: “臨界安全ハンドブック改訂準備資料”, JAERI-Tech 95-048, (1995).
- 11) “MCNP4B2 Monte Carlo N-Particle Transport Code System”, Radiation Safety Information Computational Center, CCC-660, (1997).
- 12) “MCNPXS Standard Neutron, Photon, and Electron Data Libraries for MCNP4B”, Radiation Safety Information Computational Center, DLC-189, (1997).

### 3. 遮蔽設計に用いた基本データの確認

昭和 40 年代に設計された東海再処理施設の主工程施設等の遮蔽設計では、使用済燃料の内蔵放射能は Blomeke and Todd<sup>1)</sup>の方法により求め、遮蔽計算は Reactor Shielding Design Manual<sup>2)</sup>に基づく簡易計算式と減衰係数、ビルドアップ係数等の当時のデータを用いて計算を行っている。

ここでは、最近の評価手法にならぬ、ORIGEN2.1 コード<sup>3)</sup>に基づく $\gamma$ 線スペクトル計算、QAD-CGGP2 コード<sup>4)</sup>を用いた $\gamma$ 線遮蔽計算により、初期の遮蔽評価で基本データとして用いられた「遮蔽厚-許容線源強度グラフ」についての妥当性を確認した。

#### 3.1 対象施設

遮蔽設計の基本データを確認する施設は、昭和 40 年代に設計された分離精製工場、分析所、廃棄物処理場、高放射性固体廃棄物貯蔵庫、ウラン貯蔵所、第二ウラン貯蔵所、スラッジ貯蔵場、第二、三低放射性廃液蒸発処理施設とした。

上記施設の後に設計された施設あるいは設備を更新・変更した施設では、点減衰核積分法計算コード QAD<sup>4)5)6)</sup>や輸送計算コード ANISN<sup>10)</sup>等と ANSI/ANS<sup>7)</sup>等で整備された係数を使った遮蔽評価が行われてきている。プルトニウム転換技術開発施設では、Pu、U に不純物として含まれる、核分裂生成物からの $\gamma$ 線に加えて、Pu、U から発生する $\gamma$ 線及び中性子線を考慮している。Pu 組成は ORIGEN コード<sup>8)</sup>により計算し、Pu、U からの $\gamma$ 線及び中性子線の強度は Pu 燃料用の放射線源強度計算コード PURSE<sup>9)</sup>及び Table of Isotopes 等のデータを用いて算出している。中性子線の遮蔽計算は一次元輸送計算コード ANISN<sup>10)</sup>と核データライブラリ DLC-23<sup>11)</sup>を、 $\gamma$ 線には QAD<sup>5)</sup>を用いている。最近では線源評価に ORIGEN2.1<sup>3)</sup>、遮蔽計算に QAD-CGGP2<sup>4)</sup>が使用されている。これらの施設については、今回の再確認の対象外とした。

#### 3.2 当時の遮蔽設計手法

##### 3.2.1 遮蔽設計に用いる基準燃料

遮蔽設計は、初期ウラン濃縮度 4 wt%、比出力 35MW/t、燃焼度 28,000MWD/t、冷却期間 180 日の条件で決まる放射エネルギーを基準としている。ただし、受入れ工程、濃縮ウラン貯蔵プールについては、冷却期間をそれぞれ 100 日、120 日として決まる放射エネルギーを基準としている。

使用済燃料の放射能組成の計算は、Blomeke and Todd<sup>1)</sup>の方法により行っている。この放射能組成は、設計当初から現在に至るまで採用されている。

##### 3.2.2 施設内区域の区分

平常運転に際して人が作業する区域における遮蔽設計の基準とする線量当量率を建家内の区分に応じて表 3-1 のように定めている。

遮蔽設計において、評価点に対して複数方向からの線量寄与が考えられる場所では、各

方向からの線量寄与の合計が基準値を超えないように、基準線量率以下の目標線量率を設定して、この目標線量率に対して必要な遮蔽体厚を評価している。

表 3-1 区域区分と線量当量率

| 区域名    | 線量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) <sup>(注)</sup> | 備考                            |
|--------|---|-------------------------------|
| ホワイト区域 | $< 6.25^*$                                | 事務室等、汚染のない区域                  |
| グリーン区域 | $\leq 12.5$                               | 操作区域等、平常運転時には汚染のない区域          |
| アンバー区域 | $\leq 500^{**}$                           | 保守操作や一部工程を含む区域で、若干の汚染が考えられる区域 |
| レッド区域  | $> 500$                                   | セル内区域で汚染の考えられる区域              |

\* : 1 週間当たりの線量当量率については、 $300 \mu\text{Sv}$  未満とする。

\*\* : 線量当量率は作業の種類、内容によって設定する。例えば、作業頻度の比較的高い箇所では  $25 \mu\text{Sv/h}$  以下に、一方、立ち入る可能性の極めて少ない箇所に対しては  $500 \mu\text{Sv/h}$  以下に抑える。

注) 当時は rem 単位の表記で、遮蔽設計では照射線量 1R が線量当量 1rem に相当するとして遮蔽評価しているが、表は、現在の表記に合わせたものである。

### 3.2.3 線源の $\gamma$ 線エネルギースペクトル

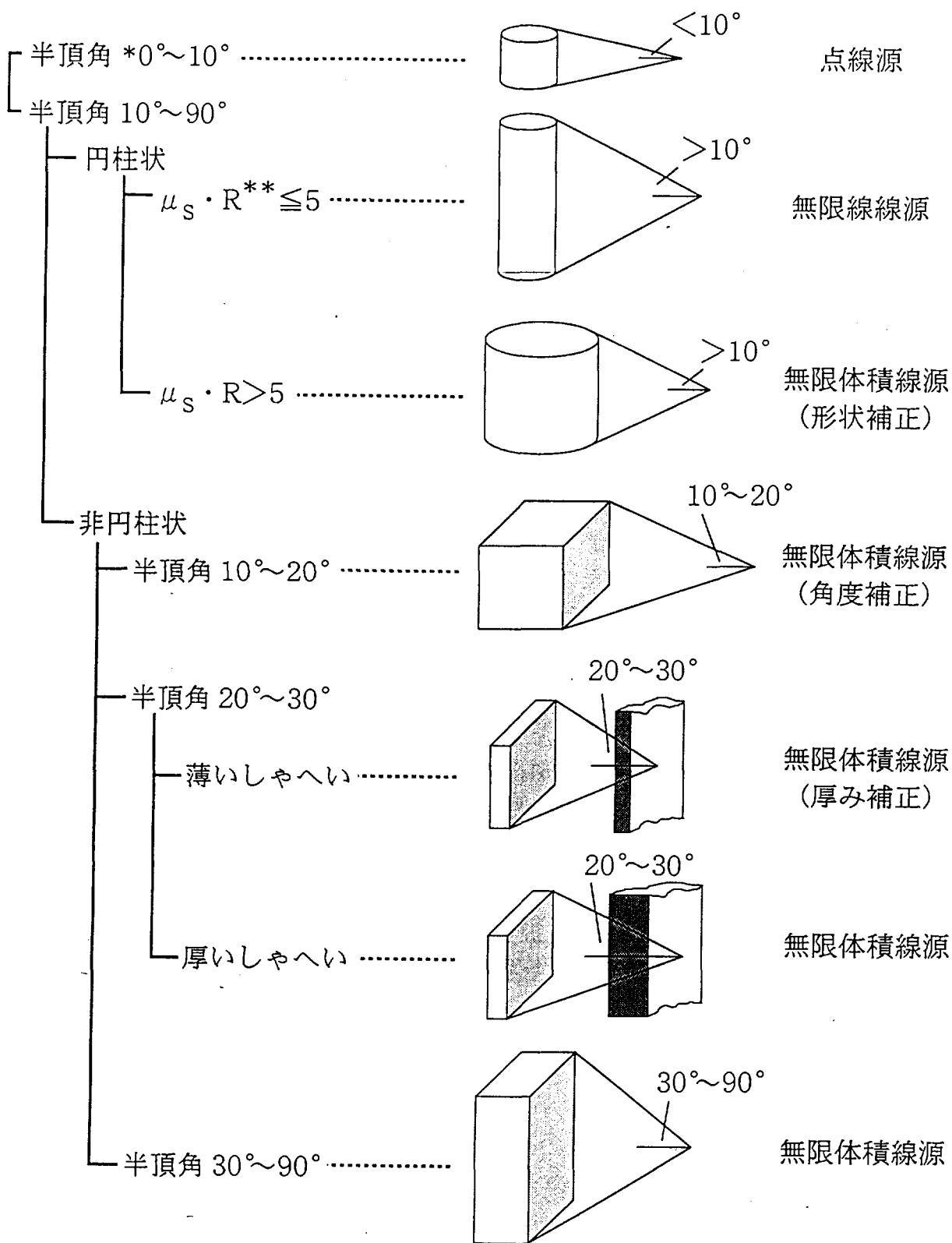
前項に述べた使用済燃料の放射能組成を基に $\gamma$ 線エネルギーを5群に分け、各核種の放射能と $\gamma$ 線のエネルギーとその放出割合を考慮して各 $\gamma$ 線エネルギー群の平均エネルギーとその $\gamma$ 線の放出割合を設定している。この $\gamma$ 線エネルギースペクトルを表 3-2に示す。

表 3-2  $\gamma$ 線エネルギースペクトル

| No. | $\gamma$ 線エネルギー(MeV) | スペクトル(放出割合)           |
|-----|----------------------|-----------------------|
| 1   | 0.5                  | $4.71 \times 10^{-1}$ |
| 2   | 0.75                 | $5.19 \times 10^{-1}$ |
| 3   | 1.5                  | $3.59 \times 10^{-3}$ |
| 4   | 2.2                  | $5.29 \times 10^{-3}$ |
| 5   | 2.5                  | $1.24 \times 10^{-4}$ |

### 3.2.4 線源形状の分類

遮蔽計算では、線源形状と評価点から線源への見込み角より、線源を点線源、無限線線源、無限体積線源の3種類に分類し、これに、線源の大きさ・形状と上記の見込み角に対する補正を行うことで、図 3-1に示すように線源を7種類に分類して計算している。



\* 線量率を計算する位置から線源を見込む円錐の頂角の  $1/2$

\*\*  $\mu_s$  : 線吸収係数  
 R : 線源の半径

図3-1 線源形状の分類

## 3.2.5 遮蔽計算式

点線源、無限線線源、無限体積線源の遮蔽計算は Reactor Shielding Design Manual<sup>2)</sup>に基づいている。各線源に対する遮蔽計算式を以下に示す。

(1) 点線源

$$S_p = \frac{D \cdot 4\pi a^2}{\sum_i \eta_i \cdot K_i \cdot B_i \cdot e^{-b_i}}$$

$S_p$  : 線源強度  
 $D$  : 線量率  
 $a$  : 線源と評価点との距離  
 $\eta_i$  : 第*i*群  $\gamma$  線エネルギーのスペクトル  
 $K_i$  : 第*i*群  $\gamma$  線エネルギーの線量率変換係数  
 $b_i$  :  $\mu_i \cdot x$   
 $\mu_i$  : 遮蔽材の第*i*群  $\gamma$  線エネルギーに対する線減衰係数  
 $x$  : 遮蔽材厚さ  
 $B_i$  : 第*i*群  $\gamma$  線エネルギーに対する遮蔽材のビルドアップ係数

(2) 無限線線源

$$S_l = \frac{D \cdot 2\pi a}{\sum_i \eta_i \cdot K_i \cdot B_i \cdot F\left(\frac{\pi}{2}, b_i\right)}$$

$S_l$  : 線源強度  
 $F(\theta, b) = \int_0^\theta e^{-b \sec \theta'} d\theta'$   
 $\theta$  : 半頂角

(3) 無限体積線源

$$S_v = \frac{2D}{\sum_i \eta_i \cdot K_i \cdot \frac{1}{\mu_{si}} \cdot B_i \cdot E_2(b_i)}$$

$S_v$  : 許容線源強度  
 $\mu_{si}$  : 第*i*群  $\gamma$  線エネルギーに対する線源物質の線減衰係数  
 $E_n(b) = b^{n-1} \int_b^\infty \frac{e^{-t}}{t^n} dt$

## 3.2.6 許容線源強度に対する補正

遮蔽設計では前項の計算式を用いて、点線源-鉛遮蔽体、無限線線源-普通コンクリート遮蔽体、無限体積線源-普通コンクリート遮蔽体の組合せに対して、線源からの距離2m で照射線量率が 2.5mR/h となる「遮蔽厚-許容線源強度グラフ」(以下、基本グラフ)と、鉄、水、普通コンクリート、重コンクリートの鉛に対する等価厚さの関係を示した「材料厚相互変換グラフ」を作成している。

ある線源に対して目標線量率以下にするために必要な遮蔽厚を評価する際には、線源強

度に対して線源と評価点との距離、線源形状と見込み角等の補正を行った後、上記の基本グラフを用いて遮蔽材の必要な厚みを読みとることになる。以下にこれらの補正方法について述べる。

#### (1) 距離補正

線源と評価点との距離を  $a$ (m)とすると、線源強度に乗ずる補正係数  $C_d$ は次のようになる。

$$C_d = \begin{cases} \left(\frac{2.0}{a}\right)^2 & \text{----- 点線源} \\ \frac{2.0}{a} & \text{----- 無限線線源} \end{cases}$$

#### (2) 角度補正

評価点から線源への半頂角(見込み角の 1/2)が  $90^\circ$  (無限長の場合)の基本条件に対して、半頂角が  $\theta$  のときの線源強度に乗ずる補正係数  $C_a$  は、無限線線源及び無限体積線源に対して次のようになる。

$$C_a = \frac{F(\theta, b)}{F(90^\circ, b)}$$

#### (3) 形状補正

円柱状線源を無限体積線源と見なす場合の、線源強度に乗ずる補正係数  $C_s$  は、次のようになる。

$$C_s = \sqrt{\frac{R_0}{a + R_0}}$$

$R_0$  : 円柱の半径

$a$  : 円柱の表面から評価点までの距離

#### (4) 厚み補正

平板状の線源を無限体積線源と見なす場合の、線源強度に乗ずる補正係数  $C_t$  は、次のようになる。

$$C_t = \frac{E_2(b_1) - E_2(b_3)}{E_2(b_1)}$$

$b_3$  :  $b_1 + \mu_{si} \cdot h$

$\mu_{si}$  : 線源物質の線減衰係数

$h$  : 平板状線源の厚み

#### (5) 自己吸収補正<sup>12)</sup>

線源内での線源物質による  $\gamma$  線の減衰を考慮している場合があり、この場合の線源強度に乗ずる補正係数  $C_j$  は次のようになる。

円柱状の線源を線線源と見なす場合と平板状の線源を無限体積線源と見なす場合、

$$C_j = \frac{1 - e^{-\mu h}}{\mu h}$$

円柱状の線源を無限体積線源と見なす場合、

$$C_j = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} e^{-2\mu r \cos \theta} \sin^2 \theta d\theta$$

$\mu$  : 線源物質の線減衰係数

$h$  : 円柱状線源の半径又は平板状線源の厚み

$r$  : 円柱状線源の半径

#### (6) 線量率補正

目標線量率が 2.5mR/h でない場合は、目標線量率の 2.5mR/h に対する割合を線源強度に乘じる。

#### (7) 遮蔽厚の計算例

(1)～(6)の線源強度の補正を行って、基本グラフから遮蔽材の必要な厚みを求める手順について、以下に簡単な例により説明する。

基本グラフは、線源から評価点までの距離 2m、線量率 2.5mR/h の場合のデータである(3.2.5項(1)の式で、 $D=2.5\text{mR/h}$ ,  $a=2\text{m}$  としたもの)。これを用いて線源強度 130Ci の点線源、評価点からの距離 4m、目標線量率 1.25 mR/h の場合の鉛の必要遮蔽厚さは、以下のようにして求められる。

本項(1)の距離補正と(6)の線量率補正により、基本グラフで読みとる際の線源強度は次のようになる。

$$130\text{Ci} \times \left(\frac{2\text{m}}{4\text{m}}\right)^2 \times \left(\frac{2.5\text{mR/h}}{1.25\text{mR/h}}\right) = 65\text{Ci}$$

線源強度 65Ci の点線源に必要な鉛遮蔽厚は、基本グラフより 10cm となる(図 3-3参照)。その他の補正係数についても上記の手順と同じである。

通常、セル等には複数の機器があるが、複数の線源からの寄与の合計が目標線量率を超えないように遮蔽厚を設定している。

### 3.2.7 使用データ

#### (1) ビルドアップ係数

設計当時のビルドアップ係数は、USAEC NYO-3075<sup>13)</sup>のデータが基本となっている。Reactor Shielding Design Manual<sup>2)</sup>もこの文献の係数を引用しており、また、 $\gamma$ 線エネルギーと遮蔽厚に対するフィッティング式としては、Taylor の式<sup>14)</sup>を採用している。

#### (2) 減衰係数

減衰係数については、基本的に Reactor Shielding Design Manual の値を用いている。

#### (3) 線量率換算係数

当時は、照射線量率を用いている。照射線量率換算係数は、空気の質量エネルギー吸収係数から定義される値であり、Reactor Shielding Design Manual の値を用いている。



### 3.3 今回用いた計算手法

#### 3.3.1 計算の種類

設計当時に使用した簡易計算式そのものは理論式であり、現在でも通用するものである。QAD 等の点減衰核積分法に基づく計算コードは、この計算式をコード化し、多群 $\gamma$ 線エネルギー、有限体積線源、3次元遮蔽体系に拡張したものである<sup>15),16),17)</sup>。

基本グラフの妥当性を確認するに当たり、評価に用いるデータの影響と、計算式と計算コードの違いの影響をそれぞれ確認できるように、以下の3種類の計算により基本グラフを作成した。

##### (1) 最新データを用いた簡易計算式による計算

最新データとして、減衰係数、照射線量率換算係数は ANSI/ANS 6.4.3<sup>7)</sup>、ビルドアップ係数は GP 法<sup>18)</sup>を用いて、設計と同じ式を用いた計算

##### (2) 5群 $\gamma$ 線エネルギースペクトルを用いた QAD-CGGP2 による計算

設計と同じ5群 $\gamma$ 線エネルギースペクトルを用いた遮蔽計算コード QAD-CGGP2<sup>4)</sup>(以下、QAD)による計算

##### (3) ORIGEN2.1 に基づく $\gamma$ 線エネルギースペクトルを用いた QAD による計算

燃焼計算コード ORIGEN2.1<sup>3)</sup>(以下、ORIGEN)により計算した 18 群 $\gamma$ 線エネルギースペクトルを用いた QAD による計算

#### 3.3.2 計算条件

前項の計算にあたり、共通の計算条件を以下に示す。これらは基本グラフの作成条件と同様である。

##### (1) 線源条件

点線源、無限線線源、無限体積線源の3種類とする。体積線源の線源物質は水である。

##### (2) 遮蔽体条件

鉛、普通コンクリート、鉄、水について、密度はそれぞれ 11.34、2.3、7.85、0.9982 g/cm<sup>3</sup>、その厚さはそれぞれ 40、200、50、450 cm までの範囲で照射線量率が 2.5mR/h となる線源強度を算出した。普通コンクリートの組成は、ANSI/ANS 6.4.3<sup>7)</sup>に示されている NBS(米国立標準局)コンクリートの組成を用いた。

##### (3) 評価点

線源から評価点までの距離は、鉛、普通コンクリート、鉄遮蔽体の場合は2m、水遮蔽体の場合は4m である。

前項(2)(3)で QAD により計算する場合の減衰係数及びビルドアップ係数は QAD に内蔵されており、減衰係数は ANSI/ANS 6.4.3、ビルドアップ係数は GP 法が採用されている。照射線量率換算係数は、ANSI/ANS 6.4.3 のエネルギー吸収係数から算出した。

QAD で無限線線源の計算をする場合には、長さに対する線量率の寄与についてパラメータサーベイを行い、99.5%以上の線量率の寄与がある中心から5m(全長 10m)までを考慮した。無限体積線源の場合は、無限線線源のパラメータサーベイ結果から、評価点側の面の中心

からの縦横の長さを5m(10m×10mの正方形)とし、奥行きについてはパラメータサーベイにより、線量率が飽和する5mまでを考慮した。QADによる計算では、単位線源強度で計算した評価点の照射線量率に対する2.5mR/hの比から、遮蔽厚に対する許容線源強度を求めた。

線源条件としてORIGENで計算した18群 $\gamma$ 線エネルギースペクトルを、設計で用いた5群エネルギースペクトルとともに図3-2に示す。

### 3.4 設計と今回の計算の比較

遮蔽設計では、点線源-鉛遮蔽体、無限線線源-普通コンクリート遮蔽体及び無限体積線源-普通コンクリート遮蔽体の組合せの基本グラフと他の遮蔽材を用いる場合の遮蔽性能上等价な厚さを示した材料厚相互変換グラフを用いて遮蔽材の必要な厚みを求めている。

設計の基本グラフについては、3種類の線源(点線源、無限線線源、無限体積線源)と4種類の遮蔽体(鉛、普通コンクリート、鉄、水)の12の組合せに対して、比較しやすいように、材料厚相互変換グラフを用いてすべて遮蔽厚-許容線源強度の基本グラフに作成し直し、これらと、今回の計算により得られた同様のグラフとの比較を行った。これらのグラフを図3-3～図3-14に示す。なお、図では線源強度の単位として[ $\gamma$  Ci]を用いているが、 $1 \gamma \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ photons/sec}$ として使用している。

設計の基本グラフと今回のグラフは、全体的に良く一致しているが、一部のグラフで差が見られる部分がある。この部分についての検討を以下に述べる。

#### (1) 鉄遮蔽体で遮蔽体の厚い領域での差

鉄遮蔽体の場合、遮蔽体が厚くなると、設計値の方が許容線源強度が小さくなる傾向にあるが、これは安全側の傾向である(図3-5、図3-9、図3-13)。この原因は、鉄のビルドアップ係数がReactor Shielding Design Manualに示されているものと最新データ(GP法で算出した値)に大きな差が見られるためである(図3-15参照)。

#### (2) 点線源-普通コンクリートにおける設計値と最新データを用いた計算値との差

点線源-普通コンクリート(図3-4)の基本グラフは、遮蔽体が薄い領域で設計値の方が、許容線源強度を大きく計算する傾向がある。

#### (3) 5群と18群 $\gamma$ 線エネルギースペクトルを用いた計算結果の差

全ての基本グラフの遮蔽体が薄い領域では、QADで設計の5群 $\gamma$ 線エネルギースペクトルを用いた結果が、18群を用いた結果より許容線源強度を大きく計算する傾向がある。

ORIGENでは、各群の $\gamma$ 線エネルギー範囲の中央値をその群の代表エネルギーとしており、各核種からの $\gamma$ 線放出量とその $\gamma$ 線エネルギーから得られる平均エネルギーとは異なる。そこで、ORIGENにより算出した各核種の放射エネルギーと放出する $\gamma$ 線エネルギー<sup>19)20)</sup>に基づいて、各群の $\gamma$ 線の平均エネルギーを算出した。さらに、各群の $\gamma$ 線放出エネルギー総量を保存するために、ORIGENで算出される各群の $\gamma$ 線エネルギースペクトルに、今回算出した平均エネルギーに対するORIGENの代表エネルギーの比をかけて補正した。

ORIGENに基づく各群の代表エネルギーと $\gamma$ 線エネルギースペクトルと、今回算出した平均エネルギーと補正したスペクトルを表3-3に示す。この平均エネルギーとスペクトルを

用いて、点線源—鉛遮蔽体における QAD による計算を実施した。この際、遮蔽設計の基準燃料の線源強度が、設計値に対して ORIGEN 計算値が約 10%小さくなること(表 3-4参照)も考慮した。計算結果を図 3-16に示す。図 3-3では、5群と18群の $\gamma$ 線エネルギースペクトルの違いにより最大で約2倍の差が生じていたが、平均エネルギーを用いるとその差は最大で約 1.16 倍となりほとんど一致する。つまり、ORIGEN の代表エネルギーを用いることが過大な評価を与えることが分かる。

表 3-3  $\gamma$ 線に関する ORIGEN コードの代表エネルギーと平均エネルギー

| No. | ORIGEN           |                  | スペクトル<br>(放出割合)        | 核種組成に基づく<br>平均エネルギー<br>(MeV) | スペクトル<br>(放出割合)        |
|-----|------------------|------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
|     | 下限エネルギー<br>(MeV) | 代表エネルギー<br>(MeV) |                        |                              |                        |
| 1   | 0.0              | 0.01             | $8.50 \times 10^{-3}$  | 0.0169                       | $5.03 \times 10^{-3}$  |
| 2   | 0.02             | 0.025            | $8.78 \times 10^{-3}$  | 0.0237                       | $9.26 \times 10^{-3}$  |
| 3   | 0.03             | 0.0375           | $7.43 \times 10^{-2}$  | 0.0367                       | $7.60 \times 10^{-2}$  |
| 4   | 0.045            | 0.0575           | $1.51 \times 10^{-3}$  | 0.052                        | $1.67 \times 10^{-3}$  |
| 5   | 0.07             | 0.085            | $1.44 \times 10^{-2}$  | 0.0815                       | $1.50 \times 10^{-2}$  |
| 6   | 0.1              | 0.125            | $8.33 \times 10^{-2}$  | 0.135                        | $7.70 \times 10^{-2}$  |
| 7   | 0.15             | 0.225            | $1.46 \times 10^{-3}$  | 0.204                        | $1.61 \times 10^{-3}$  |
| 8   | 0.3              | 0.375            | $3.64 \times 10^{-3}$  | 0.426                        | $3.21 \times 10^{-3}$  |
| 9   | 0.45             | 0.575            | $2.62 \times 10^{-1}$  | 0.587                        | $2.56 \times 10^{-1}$  |
| 10  | 0.7              | 0.85             | $5.24 \times 10^{-1}$  | 0.763                        | $5.84 \times 10^{-1}$  |
| 11  | 1.0              | 1.25             | $1.24 \times 10^{-2}$  | 1.22                         | $1.27 \times 10^{-2}$  |
| 12  | 1.5              | 1.75             | $7.81 \times 10^{-4}$  | 1.64                         | $8.33 \times 10^{-4}$  |
| 13  | 2.0              | 2.25             | $4.61 \times 10^{-3}$  | 2.19                         | $4.73 \times 10^{-3}$  |
| 14  | 2.5              | 2.75             | $3.27 \times 10^{-5}$  | 2.65                         | $3.39 \times 10^{-5}$  |
| 15  | 3.0              | 3.5              | $4.37 \times 10^{-6}$  | 3.07                         | $4.98 \times 10^{-6}$  |
| 16  | 4.0              | 5.0              | $9.86 \times 10^{-22}$ | 5.0*1                        | $9.86 \times 10^{-22}$ |
| 17  | 6.0              | 7.0              | $6.40 \times 10^{-23}$ | 7.0*1                        | $6.40 \times 10^{-23}$ |
| 18  | 8.0              | 9.5              | $4.05 \times 10^{-24}$ | 9.5*1                        | $4.05 \times 10^{-24}$ |
|     | 11.0             |                  |                        |                              |                        |

\*1 第16～18群の平均 $\gamma$ 線エネルギーは、 $\gamma$ 線の放出割合が無視できる程度であるため、ORIGENと同じ値とした。

表 3-4 遮蔽設計の基準燃料の線源強度

(初期濃縮度 4wt%, 比出力 35MW/t, 燃焼度 28,000MWD/t, 冷却期間 180 日)

| 線源強度 (photons/sec/kgU) |                       |
|------------------------|-----------------------|
| 設計値                    | $5.55 \times 10^{13}$ |
| ORIGEN2.1 計算値          | $4.96 \times 10^{13}$ |

## (4) 無限体積線源での最新のパラメータを用いた計算と QAD 計算との差

最新のパラメータを用いた計算と、設計と同じ 5 群  $\gamma$  線エネルギースペクトルを用いた QAD の計算は、減衰係数やビルドアップ係数等も同じ係数を使用していることから、非常に良く一致している。しかし、無限体積線源の場合は、遮蔽体が薄い領域で QAD による許容線源強度が最新のパラメータを使用した計算より小さくなる(図 3-11～図 3-13)。

3.2.5項(3)の無限体積線源の計算式では、各  $\gamma$  線エネルギー及び各遮蔽厚さに対応した一定のビルドアップ係数( $B_i$ )を用いている。一方、QAD による体積線源の計算では、線源領域を多くの小領域に分割し、それぞれを点線源とみなして遮蔽計算を行った結果を積算する。体積線源内のある小領域の点線源から評価点に向かって遮蔽体を斜めに通過する場合に、遮蔽体を垂直に通過する場合よりも通過距離(遮蔽厚)が長くなることによるビルドアップ係数の増大が考慮されるため、QAD の方が許容線源強度が小さくなる。

遮蔽体が薄い場合は上記の効果が顕著であるが、遮蔽体が厚くなると、 $\gamma$  線の減衰が大きいので、垂直に近い角度で遮蔽体を最短距離で通過する  $\gamma$  線の寄与が大きくなり、上記の効果は目立たなくなる。

線線源でも同様の傾向はあるが、体積線源に比べてその影響はわずかである。

## 3.5 設計値が非安全側となる場合の検討

前項で、設計に用いた「遮蔽厚－許容線源強度」の基本グラフを確認した結果、設計が過小評価をしているおそれがあるものは、遮蔽体が薄いと次の場合であり、今回の計算では許容線源強度が最大で2倍弱ほど小さくなる場合があった。

- ① 無限体積線源－普通コンクリート及び鉄遮蔽体の場合
- ② 点線源－普通コンクリート遮蔽体の場合

上記①②に該当する箇所について、各部屋の計算条件、遮蔽体の施工厚並びに遮蔽設計で線量率がそれ以下になるように遮蔽厚を定めた目標線量率について個別に確認を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (1) ①に該当する箇所では、実際には有限体積であることを考慮し QAD で計算すると設計値の方が安全側となる。
- (2) 設計の必要遮蔽厚に対し、建物の強度や隣の壁厚とのバランス等を考慮して施工厚を大きくしている場合には、十分な遮蔽厚となる。
- (3) ②に該当する区域はアンバー区域であり、この区域の遮蔽設計上の線量率の基準は 500 又は  $25 \mu\text{Sv/h}$  以下である。遮蔽設計に用いた目標線量率が基準とする線量率の半分以下に設定されている場合には、十分な遮蔽厚となる。
- (4) 抽出工程の分離工程の遮蔽設計では、線源強度を安全側に設定するため、分離第1サイクル工程での放射能の除去効果を、プロセス設計の場合に対し、1/3に低下させて設計しているため、線源強度に3倍の安全余裕を持たせている。

上記(1)～(4)に該当しない箇所は、小型試験設備(OTL)のレッド区域(試験セル R145B)に面したグリーン区域である(図 3-17参照)。ここでの遮蔽設計では、試験セル内の線源強度を約  $2 \times 10^{12}\text{Bq}$  としているが、試験を行う際には取扱う放射エネルギーを  $1 \times 10^{12}\text{Bq}$  以下とすることを

運転要領書に明記し、線量率が基準を超えることがないよう管理することとした。

また、実際には日常の放射線管理で放射線モニタ、サーベイメータ等により各区域の線量率が基準値以下であることを確認している。

### 3.6 まとめ

昭和 40 年代に設計された東海再処理施設の初期の施設の遮蔽設計で用いられた基本的データである遮蔽厚—許容線源強度グラフについて、最新の手法を用いて確認した。最新の手法による結果と比較して、一部必要な遮蔽厚を過小評価しているおそれのある箇所がみられたが、有限体積線源を無限体積線源として評価していること、遮蔽設計上の基準線量率に対して目標線量率を小さく設定していること等により、小型試験設備(OTL)を除き必要な遮蔽厚が確保されていることを確認した。小型試験設備のレッド区域(試験セル R145B)については、運転要領書に取扱う放射エネルギーとして設計値の半分に相当する $1 \times 10^{12} \text{Bq}$  以下とすることを明記し、線量率が遮蔽設計上の基準を超えることがないよう管理することとした。

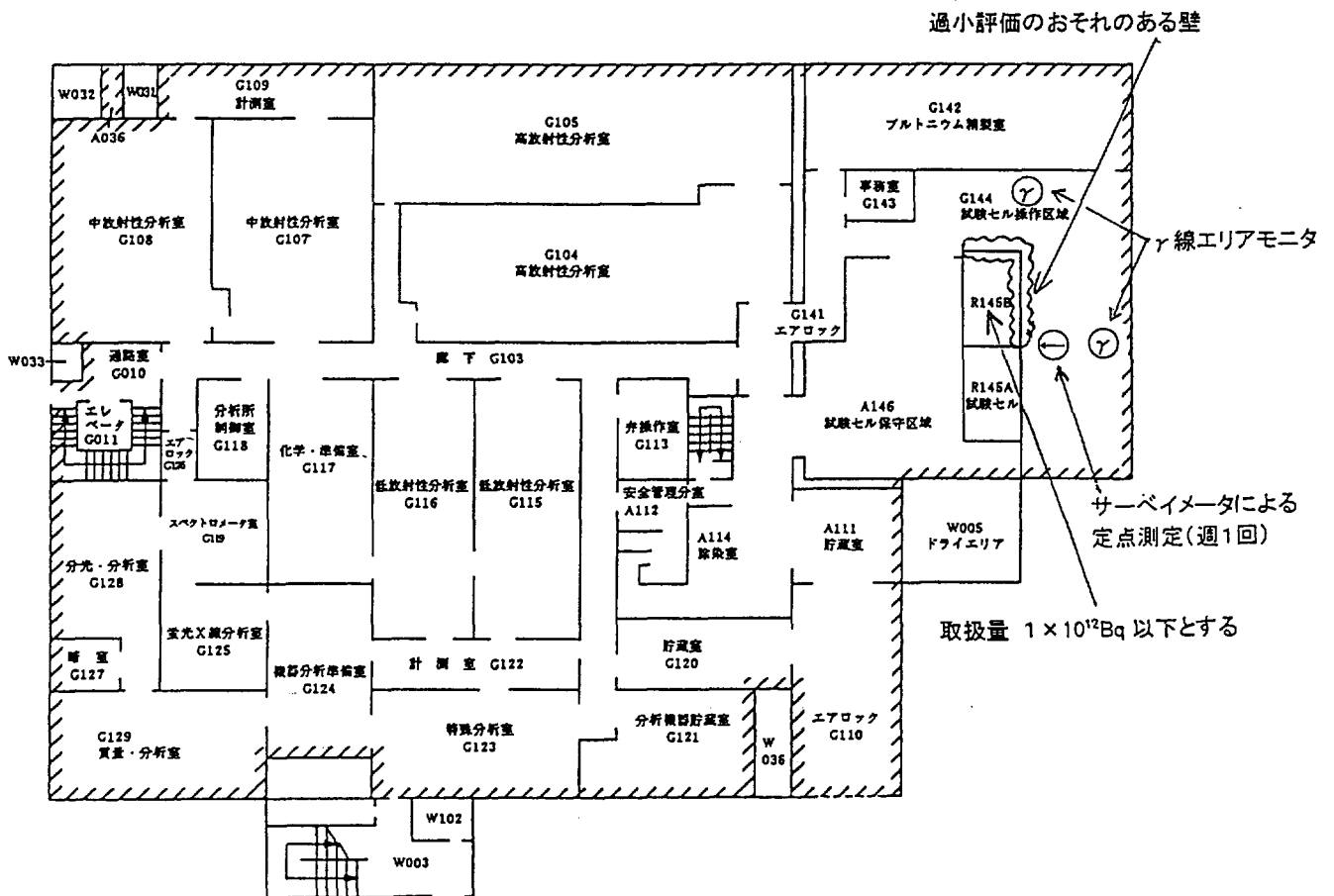


図 3-17 分析所1階平面図

## 参考文献

- 1) J.O. Blomeke & M.F. Todd: "Uranium-235 Fission-Product Production as a Function of Thermal Neutron Flux Irradiation Time and Decay Time", ORNL-2127, (1957).
- 2) T.Rockwell III: "Reactor Shielding Design Manual", D.Van Nostrand Company, Inc., (1956).
- 3) "ORIGEN2.1 Isotope Generation and Depletion Code, Matrix Exponential Method", Radiation Shielding Information Center CCC-371, (1991).
- 4) Y.Sakamoto, S.Tanaka: "QAD-CGGP2 and G33-GP2 : Revised Versions of QAD-CGGP and G33-GP Code with Conversion Factors from Exposure to Ambient and Maximum Dose Equivalents", JAERI-M90-110, (1990).
- 5) R.E.Malenfant: "QAD: A Series of Point-Kernel General-Purpose Shielding Program", LA-3573, (1966).
- 6) E.Solomito, J.Stockton: "Modifications of thr Point-Kernel Code QAD-P5A", ORNL-4181, (1968).
- 7) "Gamma-Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials", ANSI/ANS-6.4.3-1991.
- 8) M.J.Bell: "ORIGEN - The ORNL Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-4628, (1973).
- 9) R.Yumoto, et al.: "PURSE: A Plutonium Radiation Source Code", PNCT 852-79-13, (1978).
- 10) W.W.Engle, Jr.: "A Users Manual for ANISN A One Dimensional Discrete Ordinate Transport Code with Anisotropic Scattering", K-1693, (1967)
- 11) "40 Group Coupled Neutron and Gamma-Ray Cross-section Data", Radiation Shielding Information Center DLC-23/CASK.
- 12) W.R.Dixon: "Self-Absorption Correction for Large Gamma-Ray Sources", Nucleonics 8, 4, (1951).
- 13) H.Goldstein and J.R.Wilkins: "Calculation of the Penetration of Gamma Rays", USAEC report, NYO-3075, (1954).
- 14) J.J.Taylor: "Application of Gamma Ray Buildup Data to Shielding Design", WAPD Memo. Rm-217, (1954).
- 15) "ガンマ線遮蔽設計ハンドブック", 日本原子力学会, (1988).
- 16) 竹内 清: "放射線遮蔽計算の理論と実際 第三巻 総集編", (1986).
- 17) 核燃料施設安全性研究委員会 遮蔽安全性実証解析専門部会: "遮蔽安全ガイド資料基礎編", JAERI-Tech 94-036, (1994).
- 18) Y.Harima, et al.: "Validity of the Geometric Progression Formula in Approximation Gamma-Ray Buildup Factors", Nucl. Sci. Eng., Vol.94, No.24, (1986).
- 19) "アイントープ手帳 改訂9版", (社)日本アイントープ協会, 平成8年.
- 20) Richard B.Firestone, et al. Ed.: "Table of Isotopes 8th Edition", (1998).

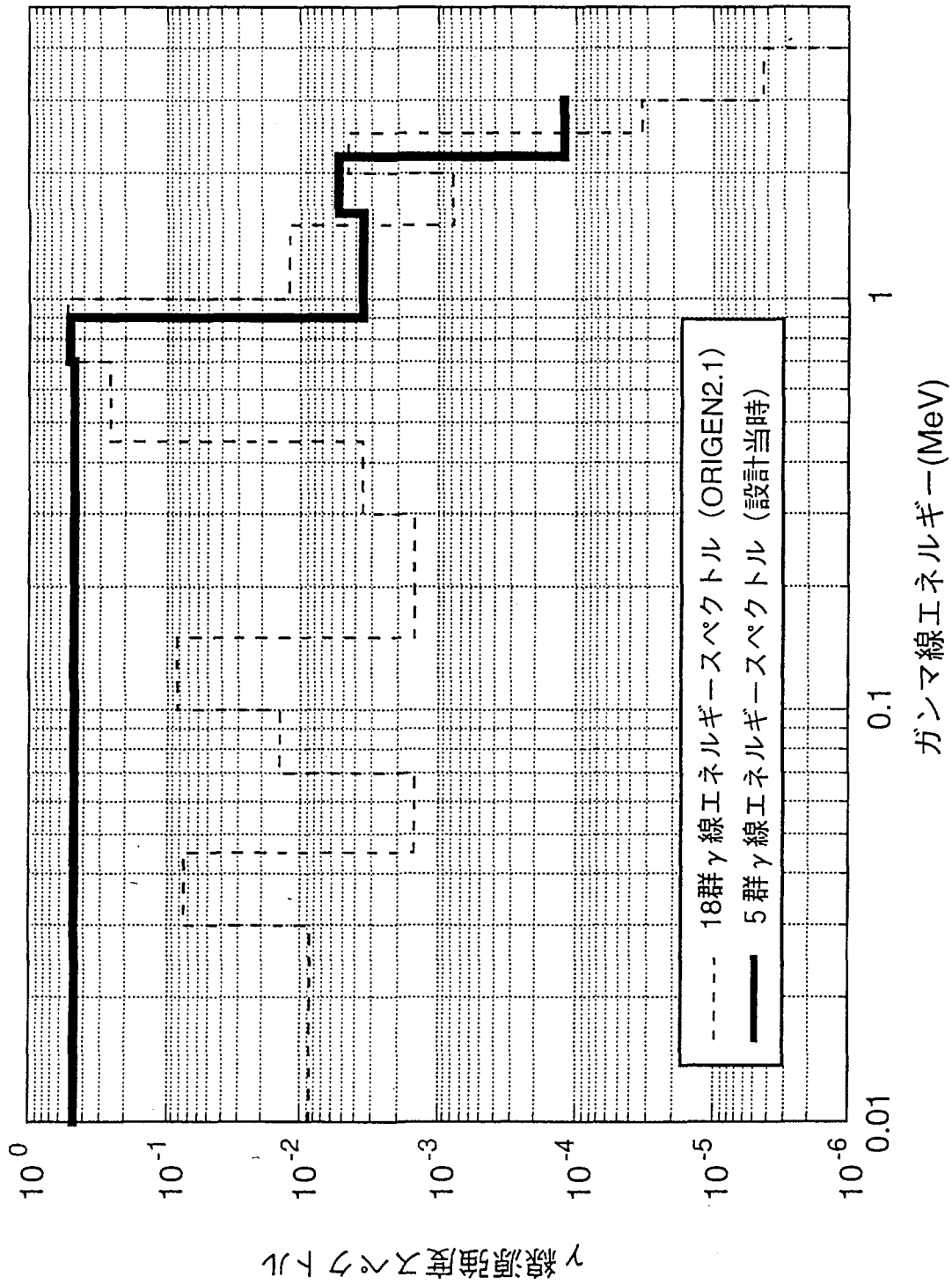


図3-2 5群と18群γ線エネルギースペクトルの比較

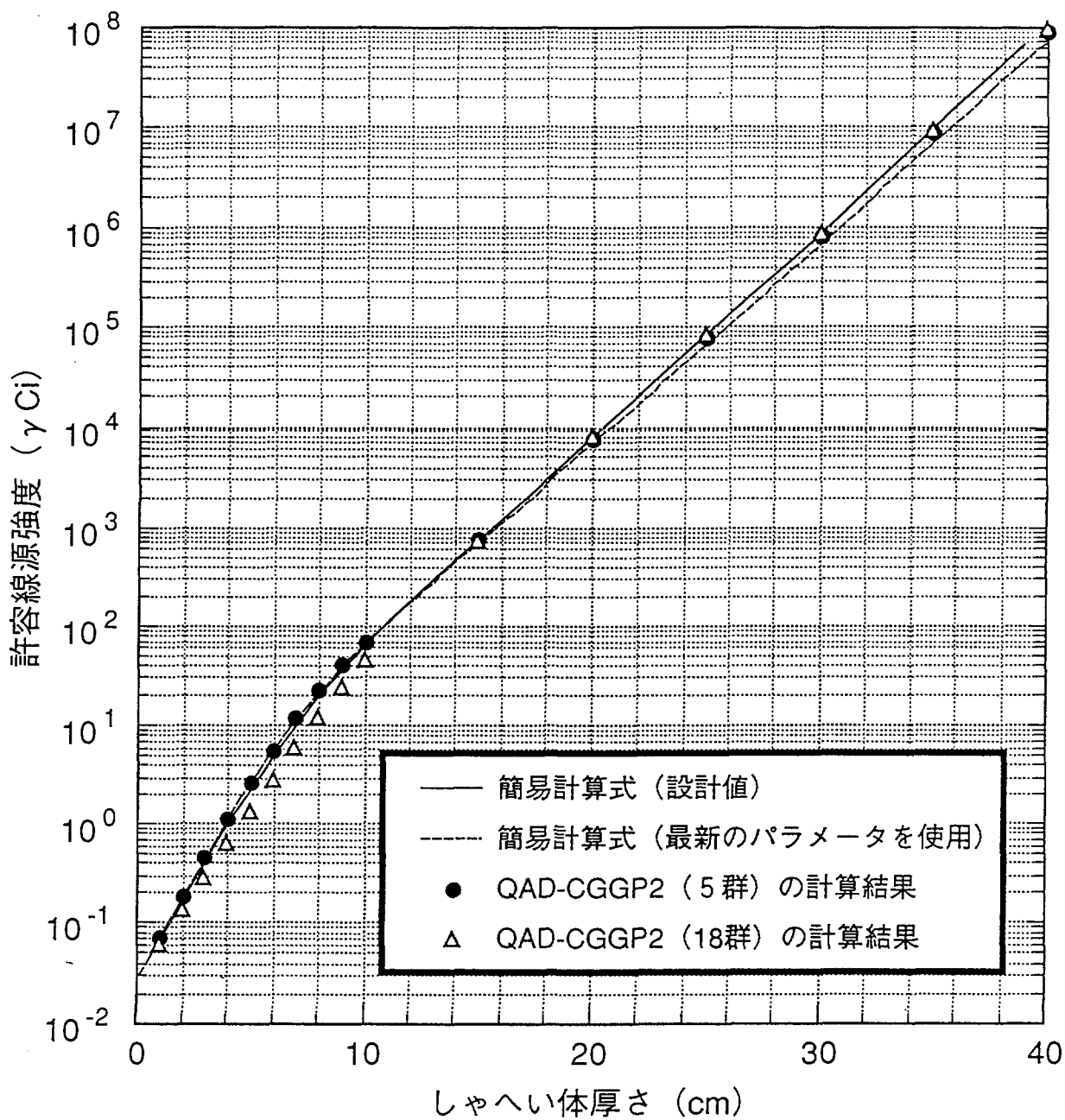


図3-3 点線源-鉛 (2.5mR/h,2m)



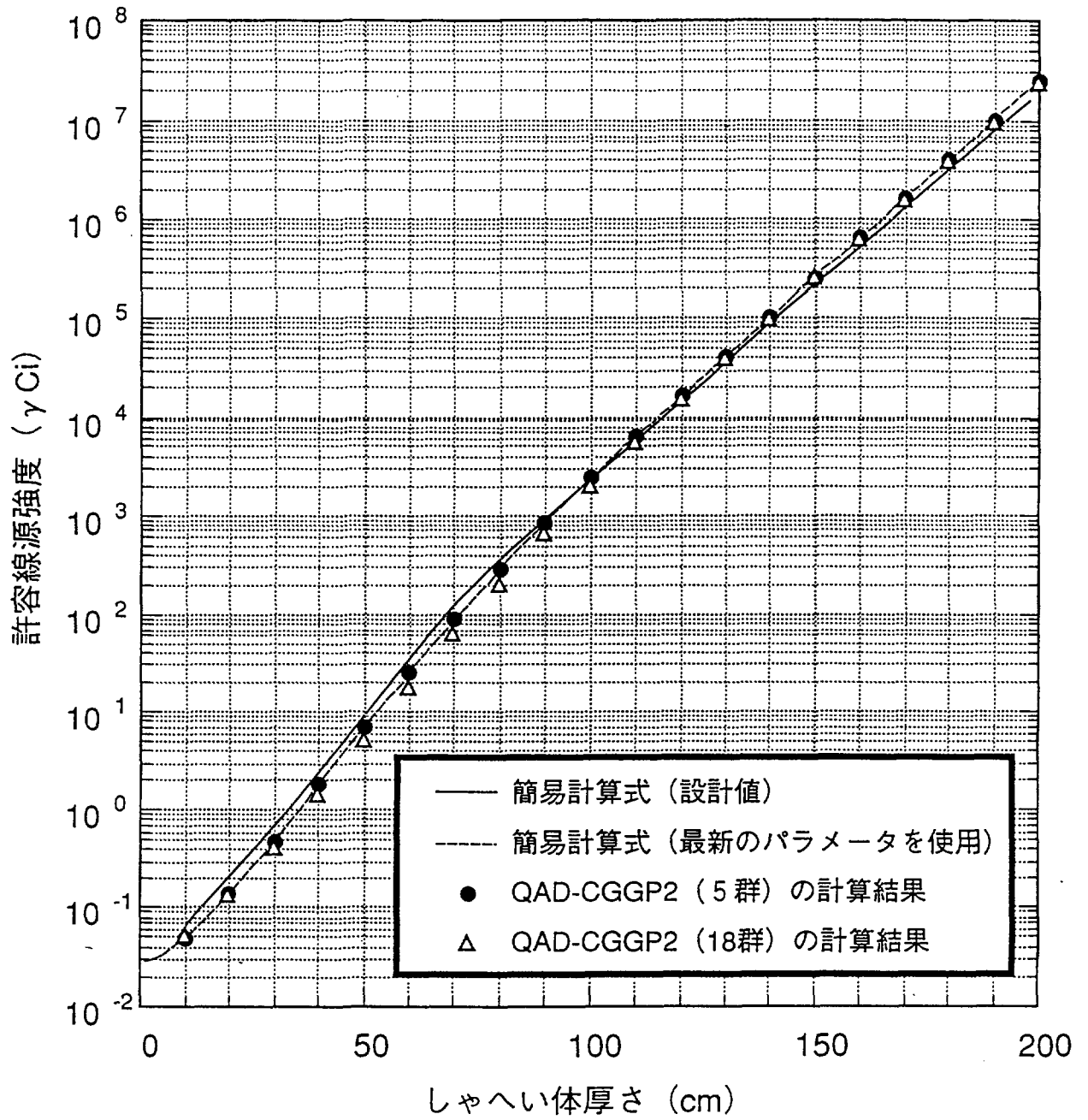


図3-4 点線源-普通コンクリート (2.5 mR/h, 2m)

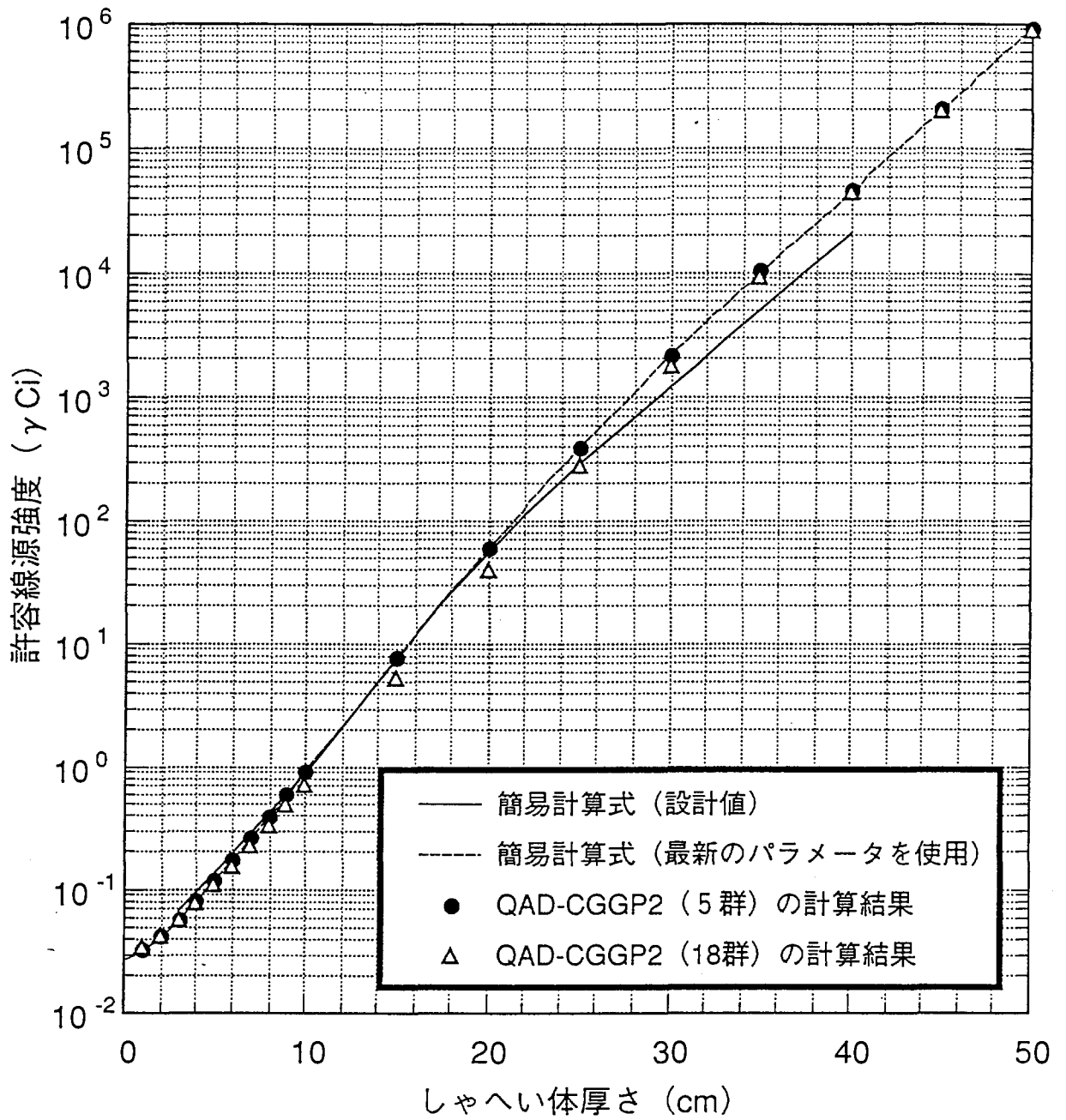


図3-5 点線源-鉄 (2.5mR/h, 2m)

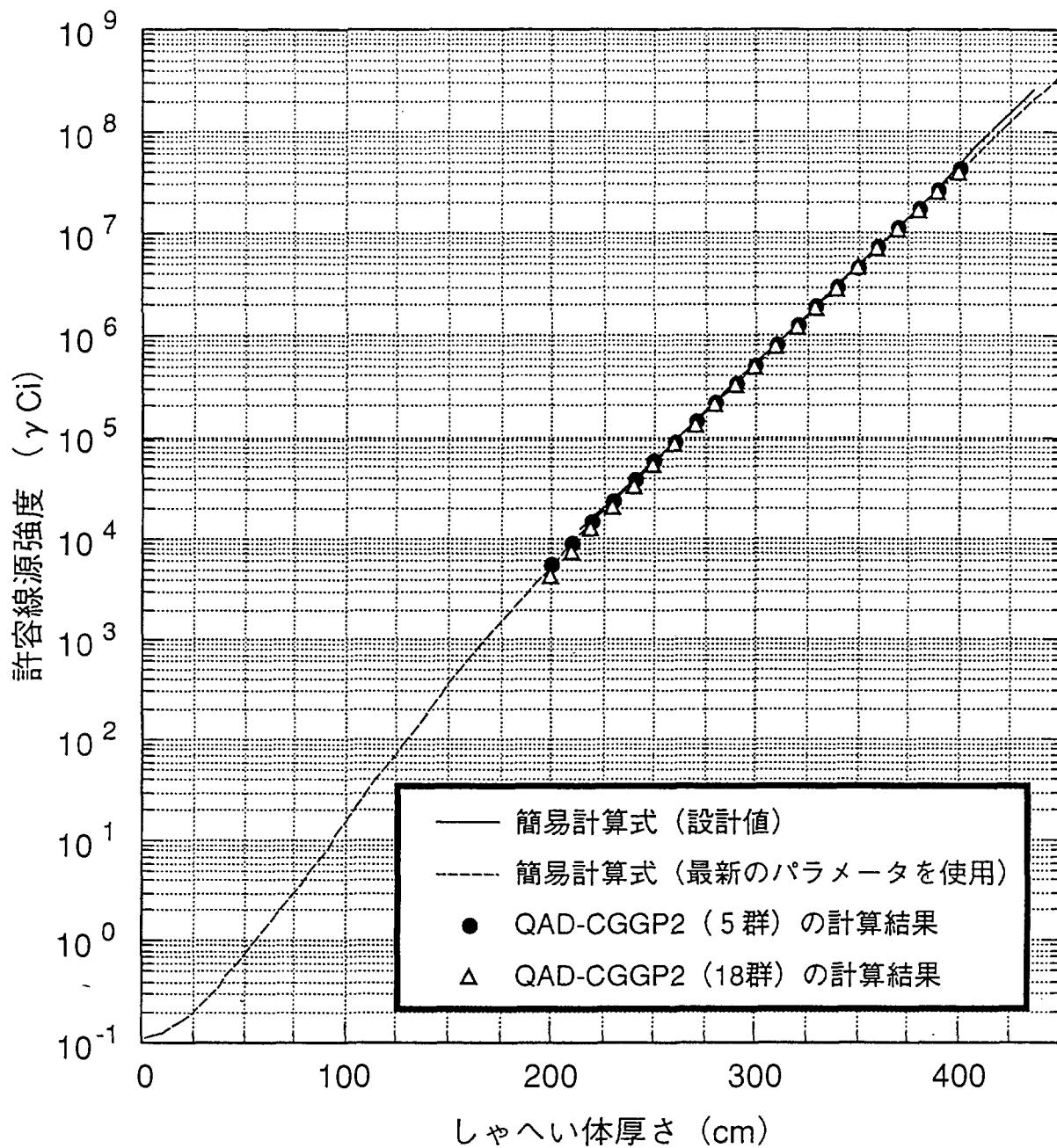


図3-6 点線源-水 (2.5 mR/h, 4m)

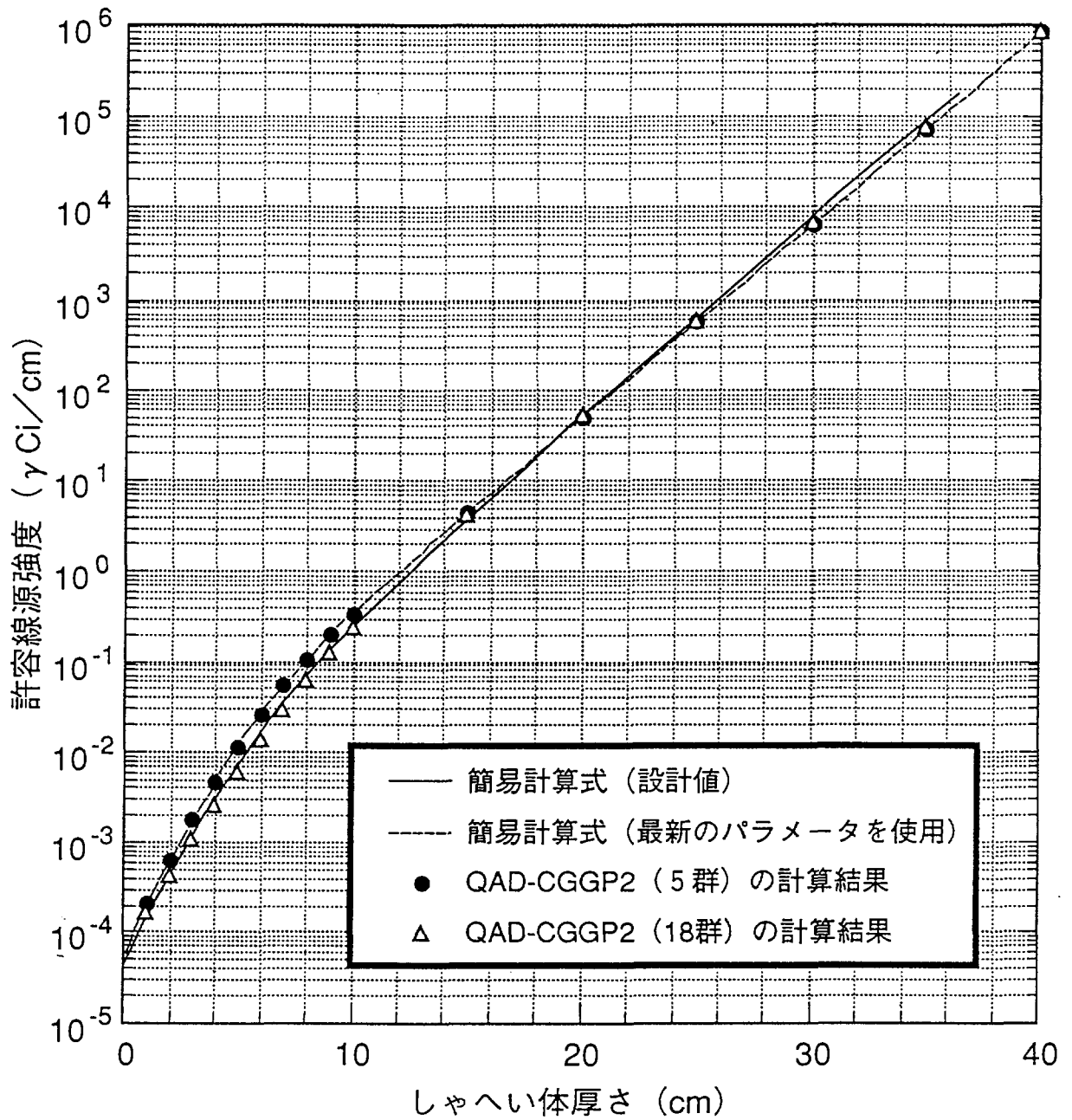


図3-7 無限線線源-鉛 (2.5mR/h, 2m)

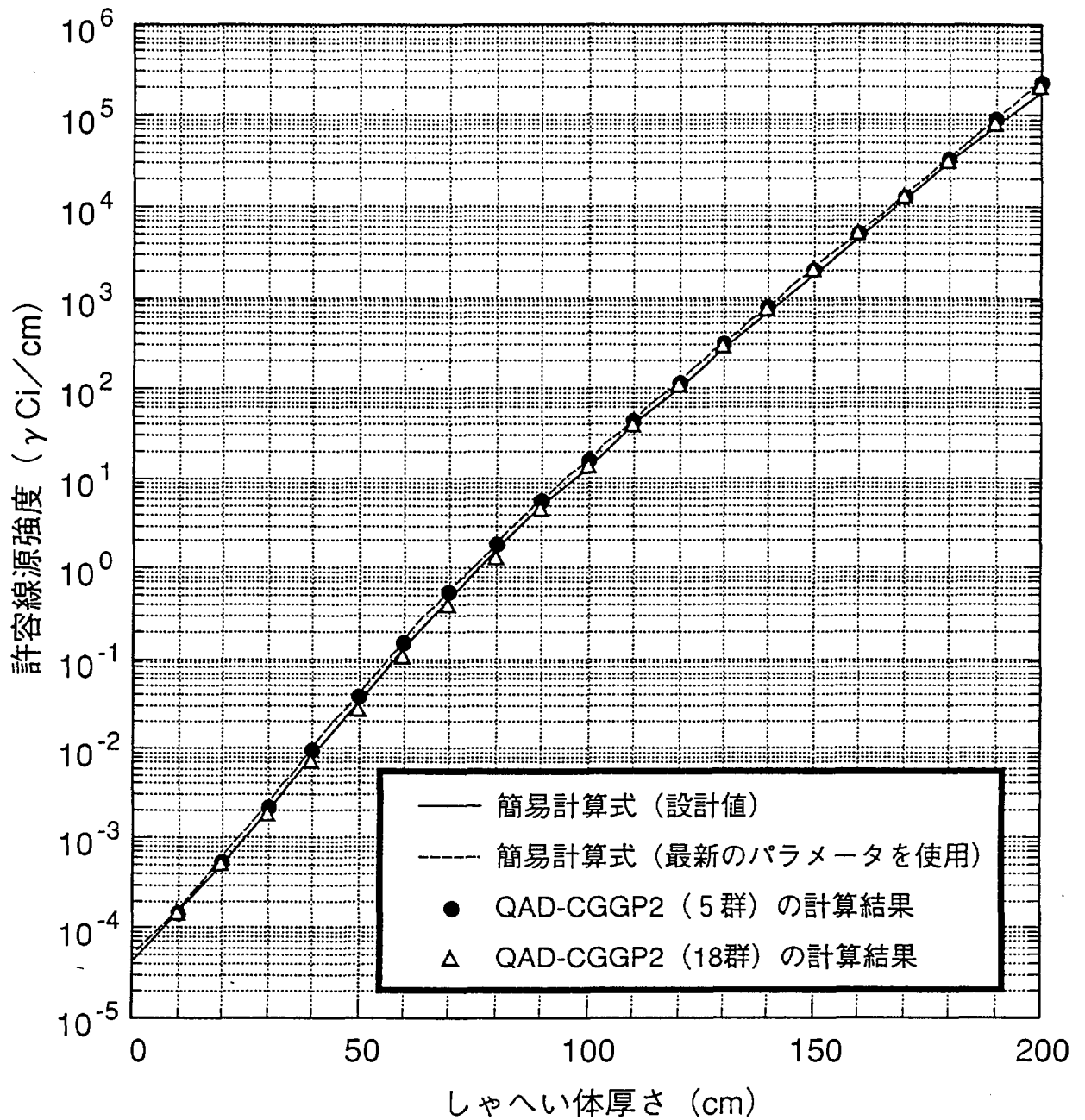


図3-8 無限線線源-普通コンクリート (2.5mR/h, 2m)

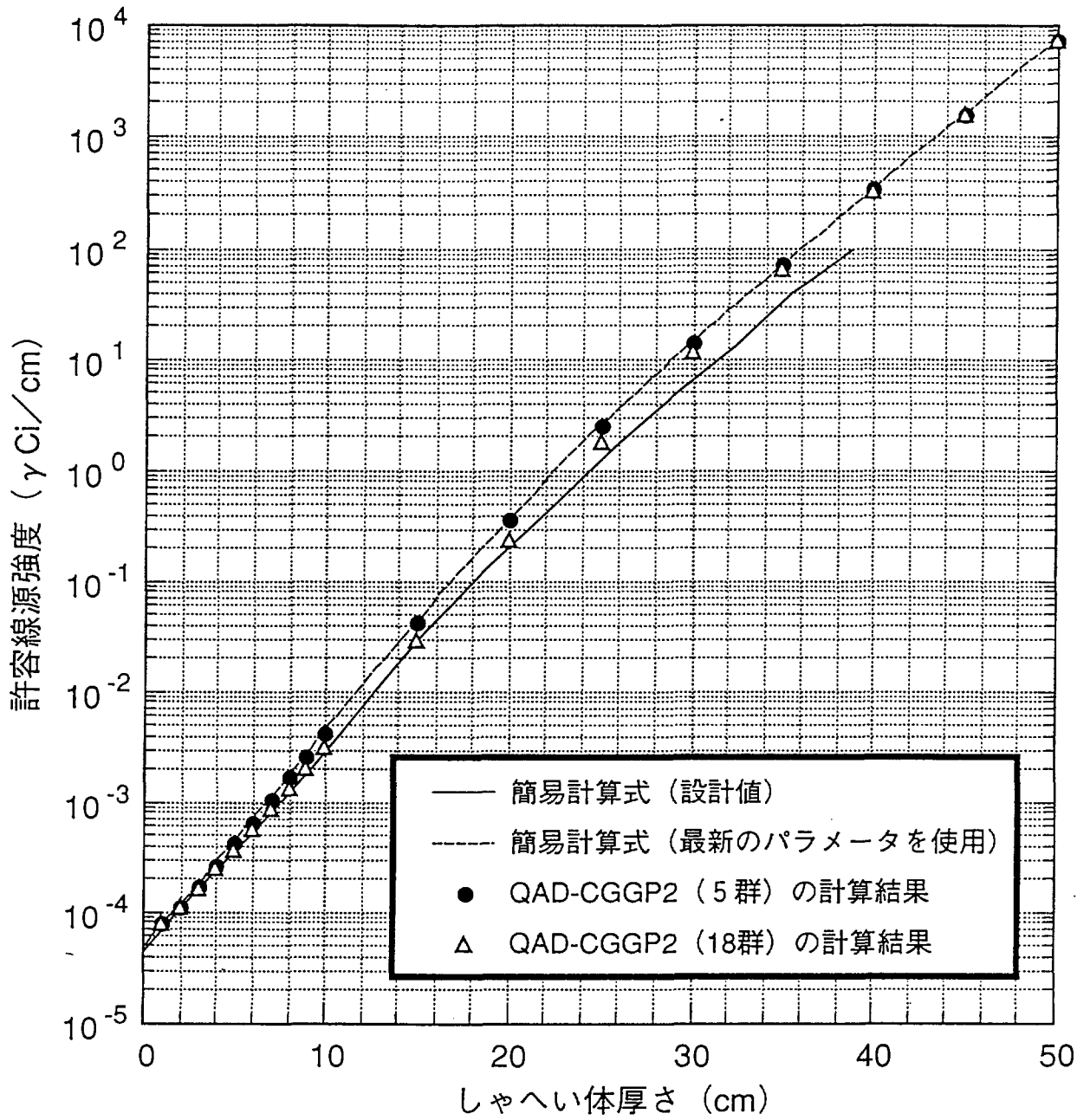


図3-9 無限線源-鉄 (2.5mR/h, 2m)

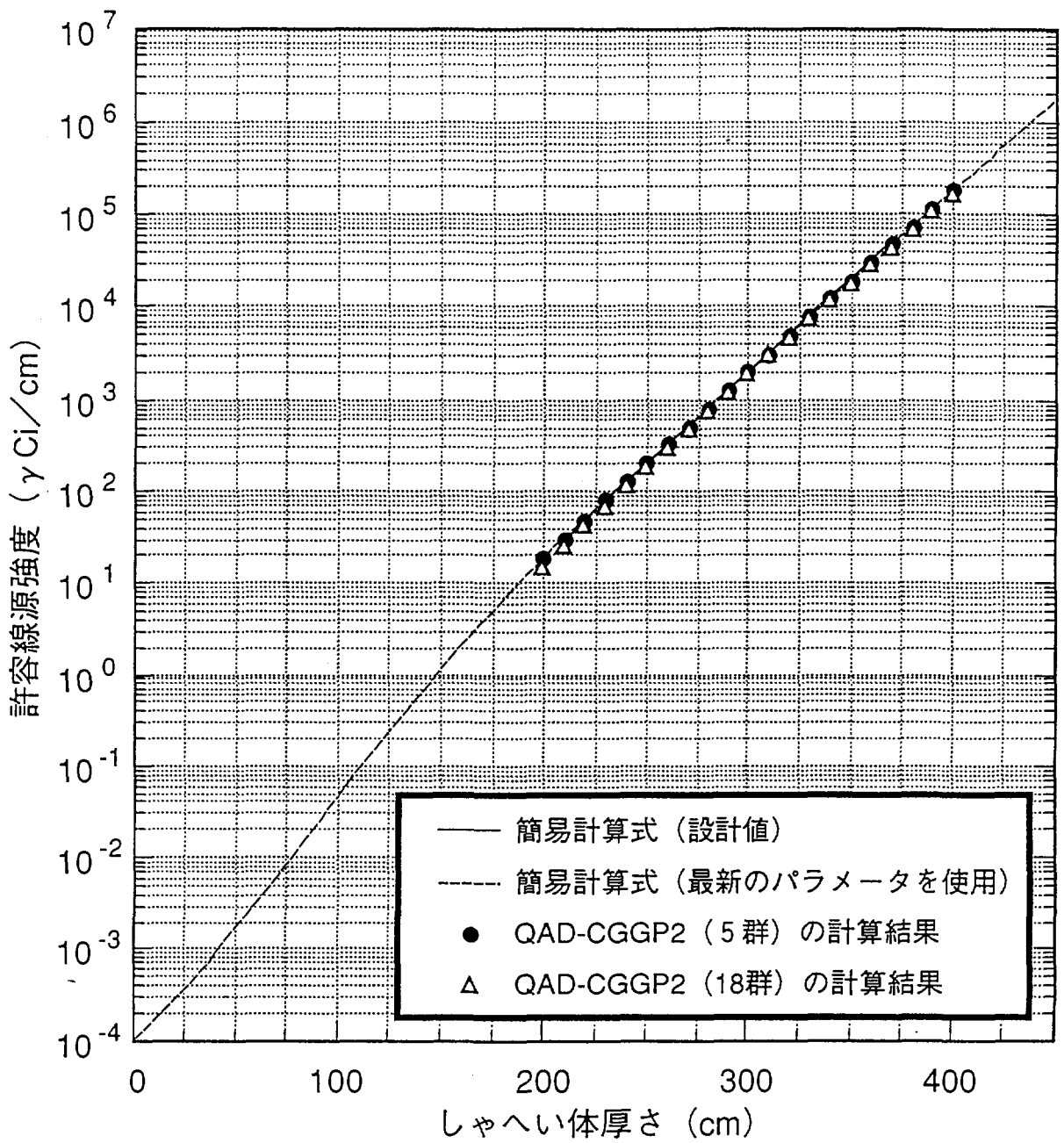


図3-10 無限線線源-水 (2.5mR/h, 4m)

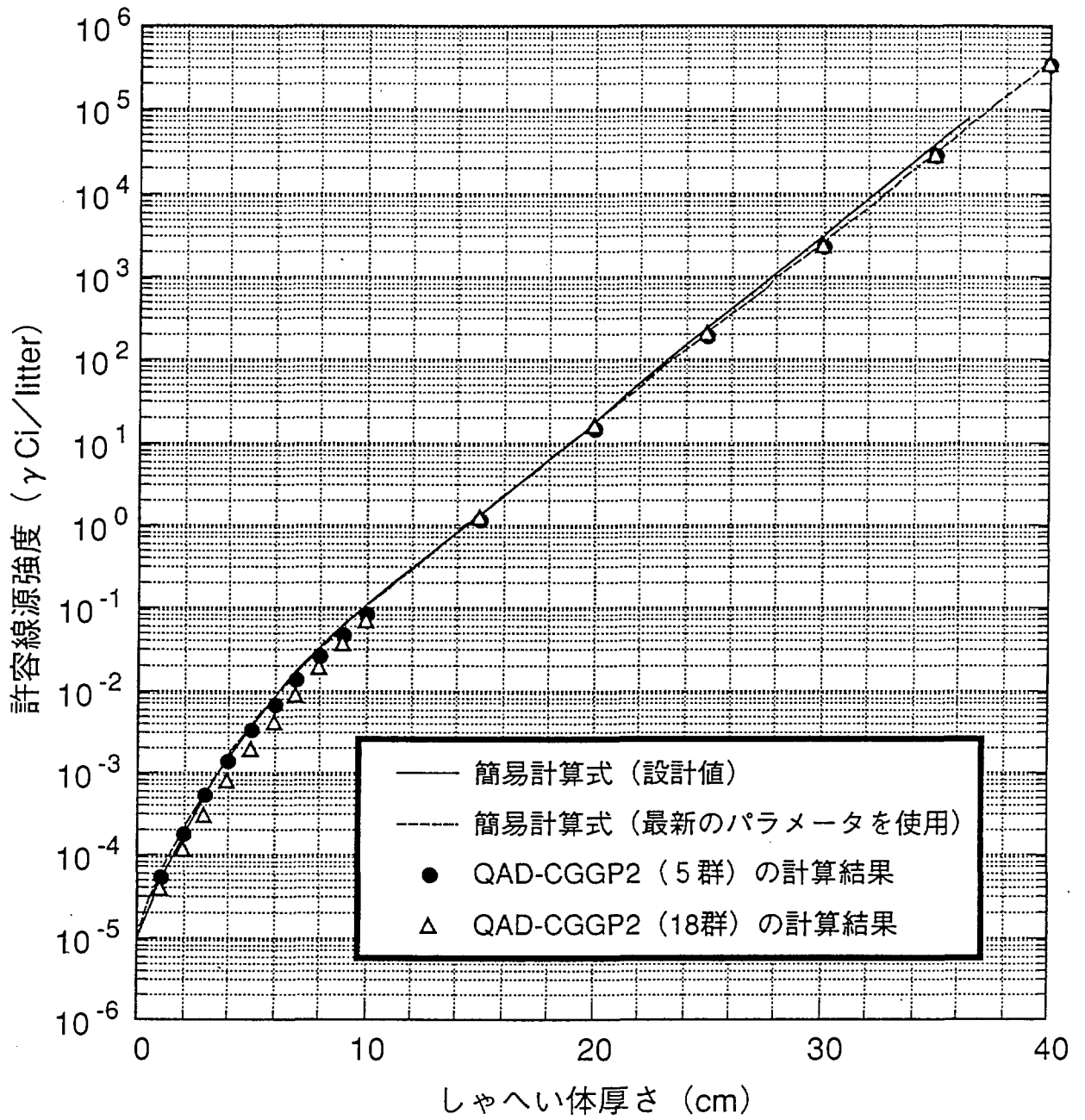


図3-11 無限体積線源-鉛 (2.5mR/h, 2m)



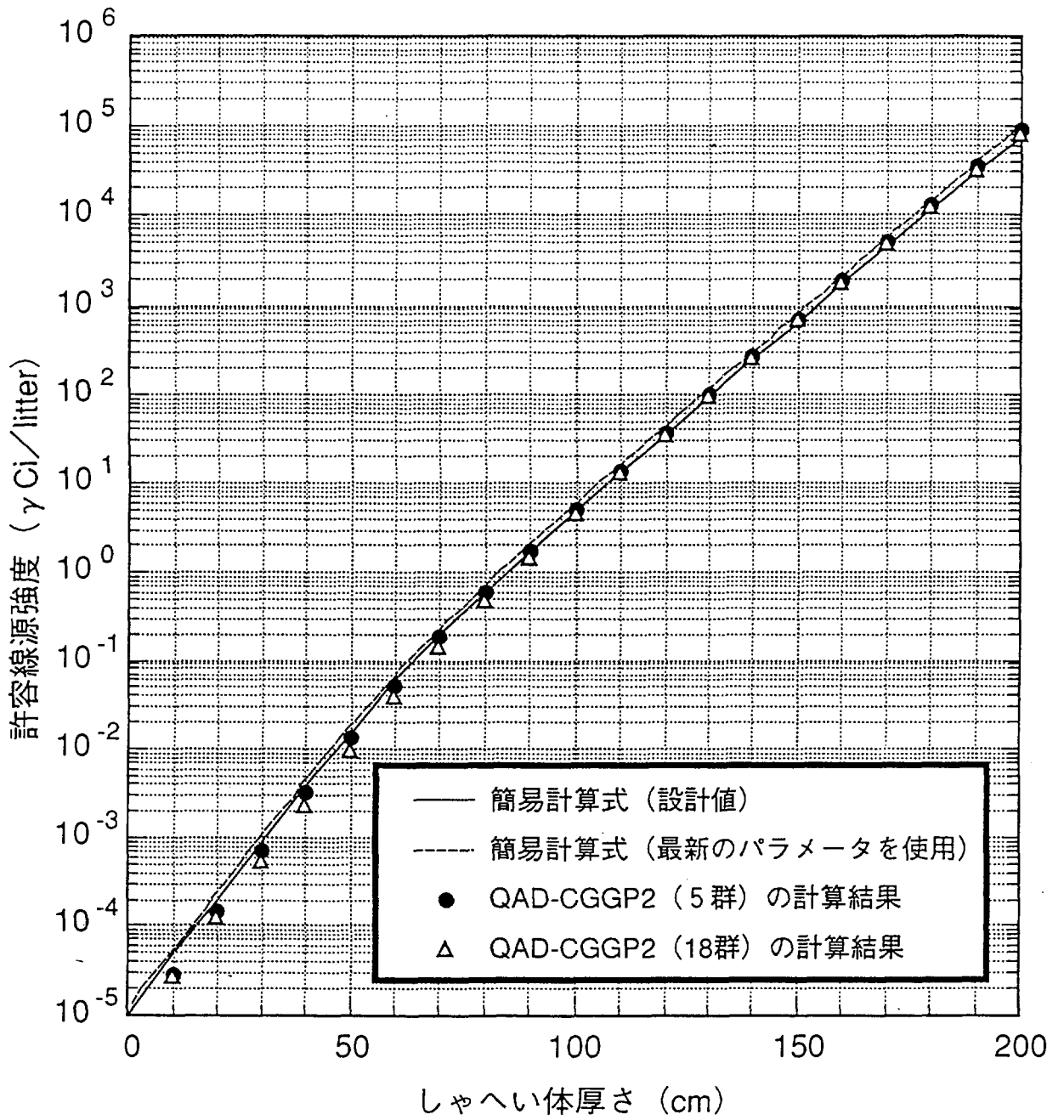


図3-12 無限体積線源-普通コンクリート (2.5mR/h,2m)

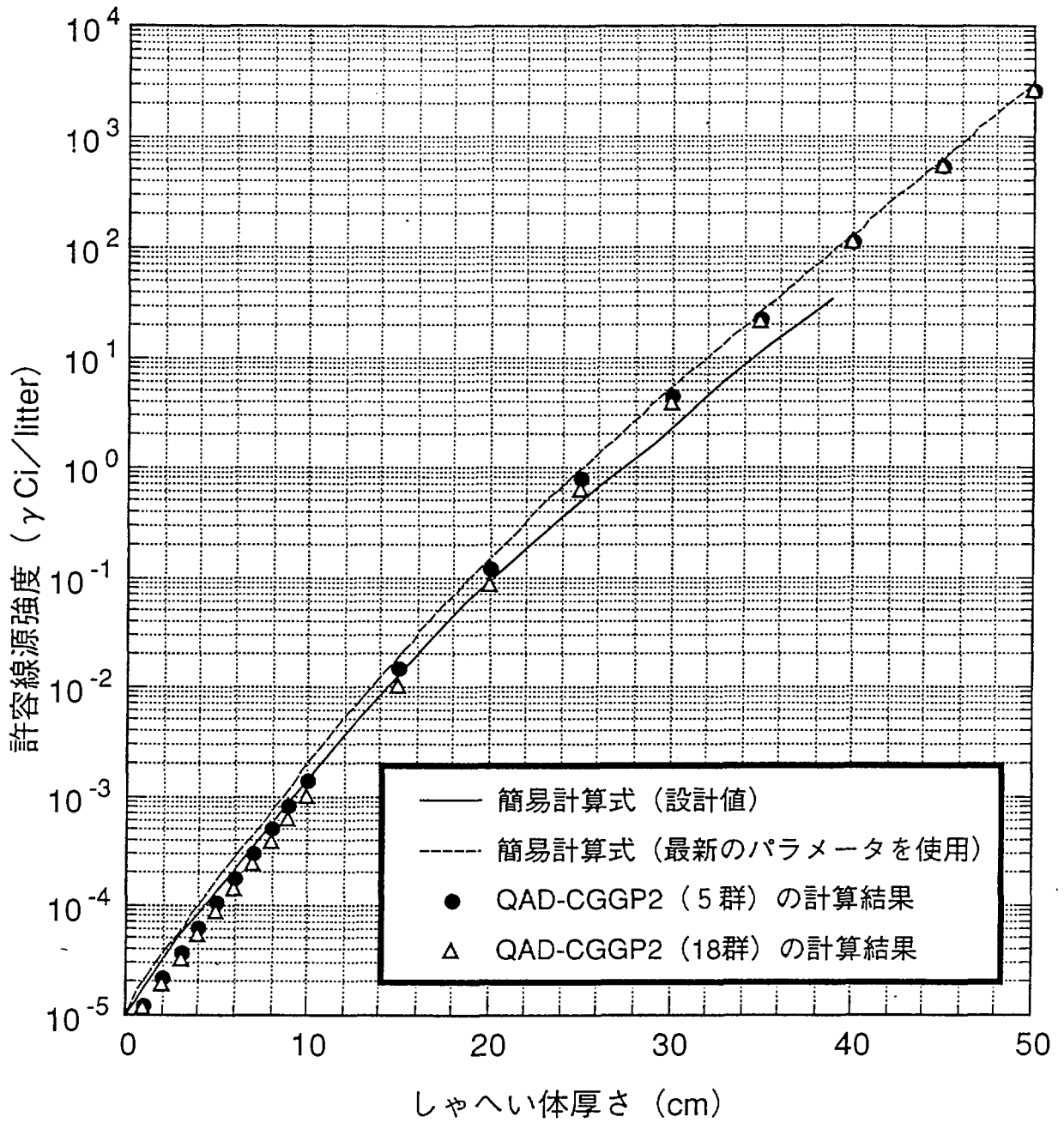


図3-13 無限体積線源-鉄 (2.5mR/h, 2m)

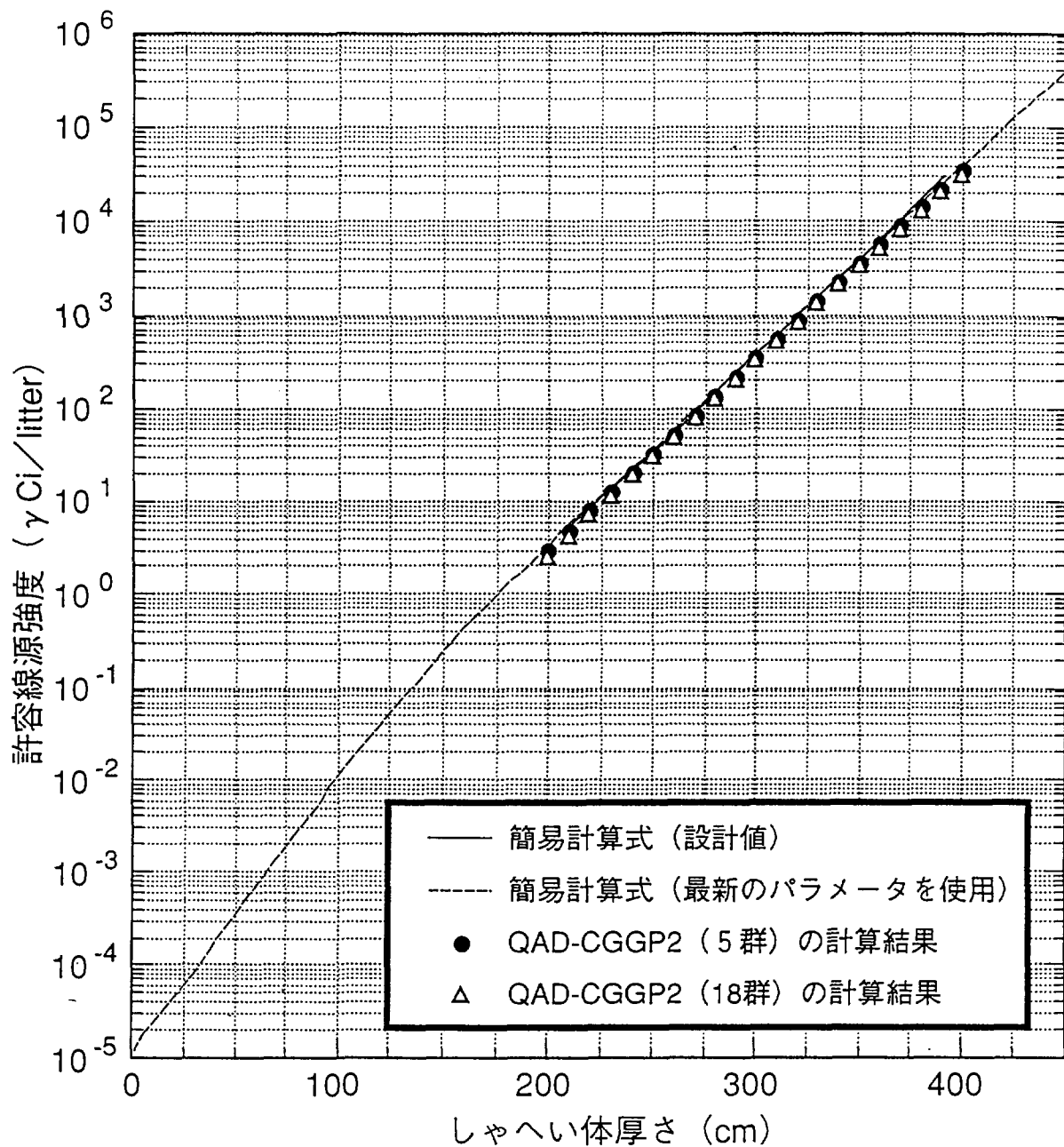


図3-14 無限体積線源-水 (2.5mR/h, 4m)

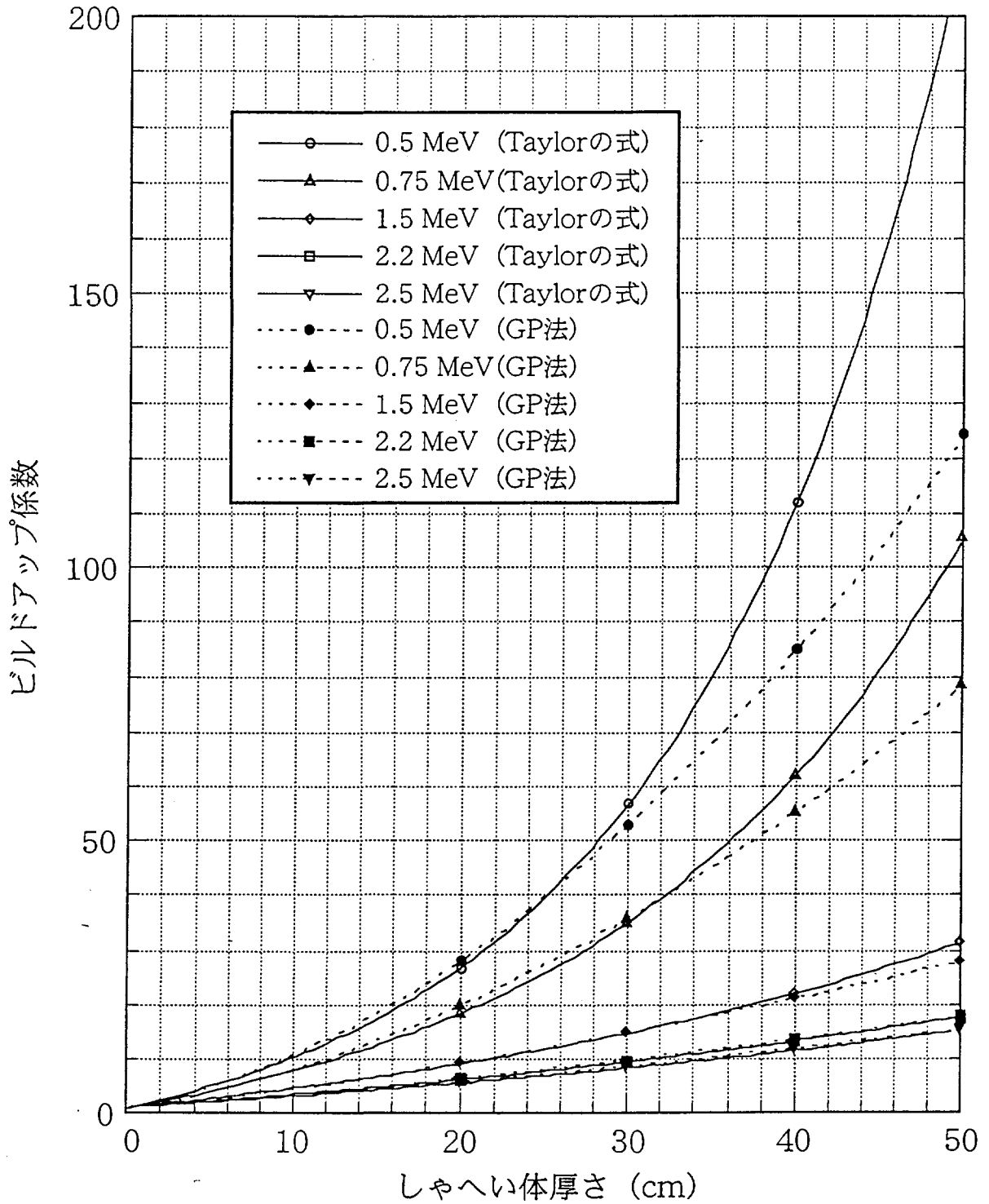


図3-15 鉄のビルドアップ係数の比較(GP法とTaylorの式)

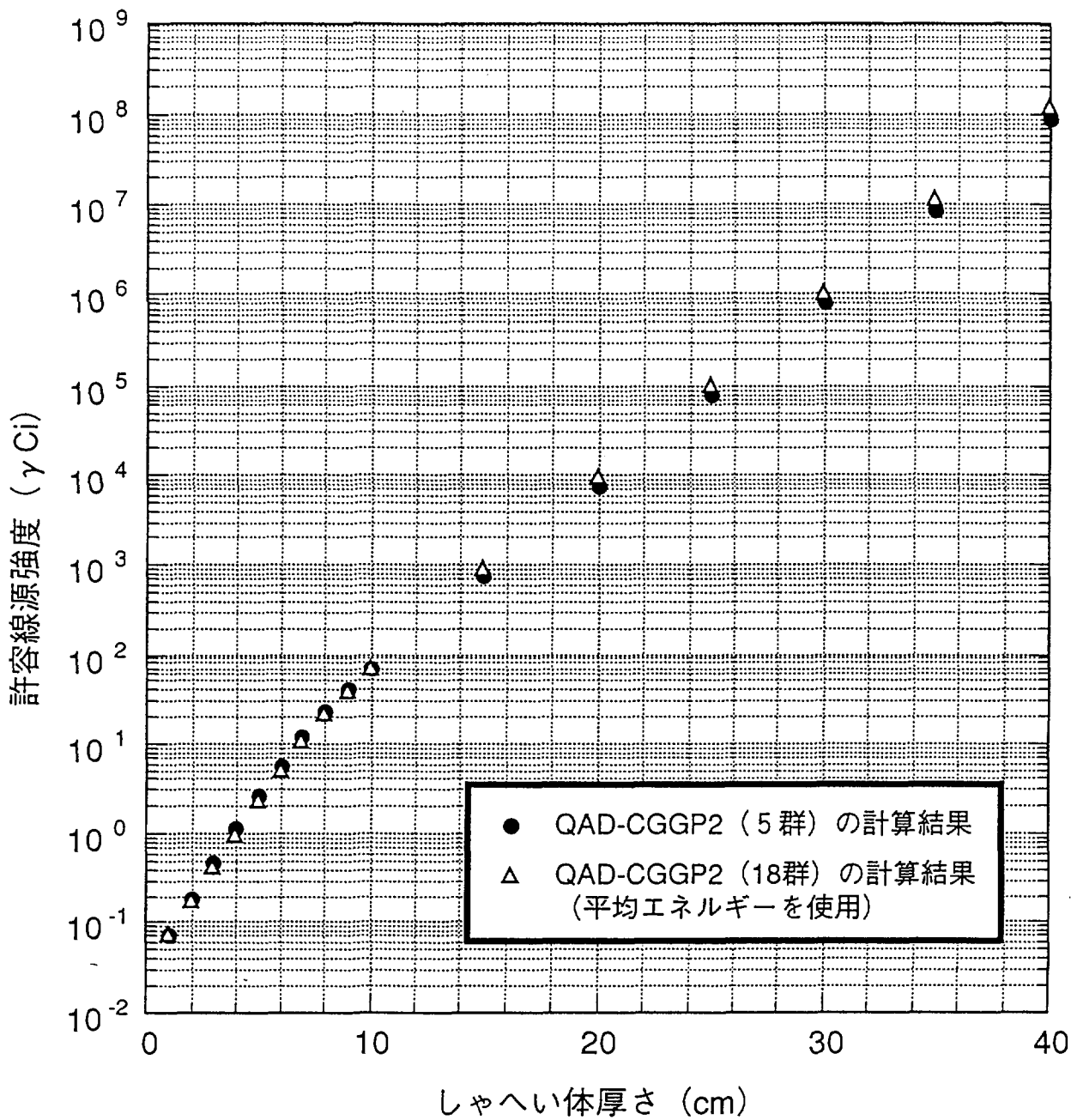


図3-16 点線源-鉛(2.5mR/h,2m) (18群平均エネルギーを使用)

#### 4. U、Pu の移動に対する臨界安全に係る運転管理の確認

東海再処理施設の臨界安全は、機器の臨界安全設計と運転時の臨界安全管理（以下、運転管理）によって確保される。ここでは、運転管理に依存する濃度・質量管理機器について、特に、U、Pu を含有する、あるいは含有するおそれのある溶液又は粉末の、形状管理機器から濃度・質量管理機器への移動及び濃度・質量管理機器間の移動に係る運転管理の現状を調査し、その妥当性について確認した。

##### 4.1 調査範囲

東海再処理施設の臨界管理系統を図 4-1 に示す。移動の確認範囲は、以下に該当する移動経路である。

- ・ 全濃度形状管理機器 → 制限濃度安全形状管理機器、濃度・質量管理機器  
又は臨界管理対象外機器
- ・ 制限濃度管理機器 → 臨界濃度が移動元より小さくなる制限濃度安全形状管理機器又は濃度・質量管理機器
- ・ 質量管理機器 → 質量管理機器
- ・ 濃度・質量管理機器 → 臨界管理対象外機器

##### 4.2 運転管理の概要

再処理施設の主要な工程は基本的に連続で運転される。抽出工程では連続供給、連続抜き出しで、調整槽、中間貯槽を経て次工程へ連続的に溶液が流れていく。U、Pu の蒸発缶も連続供給で、濃縮液、凝縮液は連続的に各受槽に送られる（ただし、Pu 蒸発缶の濃縮液の払出はバッチ操作）。このような工程では、基本的に定期的なサンプリングや各種計装データ（密度、 $\alpha$  モニタ、中性子モニタ等）の確認等により、異常な U、Pu の流出や濃度上昇を防止している。

一方、バッチ操作には、U、Pu を含む溶液の一時貯槽あるいは製品貯槽への移動並びに主要なプロセスフロー以外の移動があり、廃液ではオフガスや溶媒の洗浄廃液、蒸発缶の凝縮液などの移動がある。廃液は連続的に貯槽に受入れ、バッチ操作で払い出される。これらの廃液への U、Pu の混入は、前工程で連続運転される上流側の運転管理により防止される。

以下、4.4 項では連続処理系とバッチ処理系に分類して運転管理状況を述べる。

プルトニウム転換技術開発施設（以下、転換施設）は、U、Pu 硝酸溶液を受け入れ、脱硝、焙焼還元工程を経て混合酸化物(MOX)粉末を製造する。運転は基本的にバッチ処理で、主要な工程である MOX 粉末の処理工程では質量管理が主体となる。転換施設の運転管理状況は溶液処理系と粉末処理系に分けて4.5 項で述べる。

##### 4.3 移動経路の区切り

バッチ処理系の移動経路は移動元の機器から移動先の機器までであり、この範囲の運転管理状況を確認する。連続処理系での移動の場合は、移動先の機器に対して移動元の機器だけでなく、さらにその上流側の機器の運転管理状況が運転状態に影響してくる。したがって、廃気処理系では廃気発生元となる蒸発缶等を起点として移動先機器までの運転管理状況を

確認した。溶液処理系では対象となる移動経路で連続処理系であるのは抽出工程であり、移動先の機器から上流にある抽出器を移動元とする移動経路の範囲の運転管理状況を確認した。

#### 4.4 各移動経路の運転管理

U、Pu の移動に対し、臨界安全上移動可能であることの確認行為が多重になっているものについてはその管理は妥当と言える。それ以外の場合、移動に対する確認行為そのものに多重性はないが、通常状態では移動しても臨界にならない場合には、移動により臨界のおそれを生じさせるような運転状況の異常が検知できれば管理に多重性があると言える。このように、運転管理状況とそれが損なわれた場合の臨界安全性の組合せに応じて管理の妥当性を確認していく必要がある。

したがって、各処理系の分類の移動経路ごとに、運転管理として実施される作業並びに安全対策として設置されている警報や緊急操作機能等の異常事象の防止措置について、以下に示す観点で整理し、それぞれの管理の組合せに対して、十分な管理方法であるかどうか検討を行った。

- ・ 運転管理のパターンとして、移動に対するインターロック機能、計装データの確認行為、サンプリング分析による U、Pu 濃度確認、施錠弁管理の 4 項目の有無
- ・ 通常状態において移動元から移動先へ、移動前に移動元で実施すべき作業(確認作業のみでなく、必要に応じての溶液の調整作業等を含む)を行わずにそのまま移動した場合の、移動先での臨界の可能性

各移動経路の運転管理状況を表 4-1 に示す。以下では再処理工程を大きく廃気処理系と溶液処理系に分割し、各分類毎に運転管理の確認結果を述べる。

##### 4.4.1 廃気処理系

###### (1) 連続処理系

廃気処理系の移動経路は、

溶解槽、蒸発缶、脱硝塔等の廃気→(冷却器等)→凝縮液、洗浄廃液受槽

である。液は連続で受槽に流入し、バッチ単位で払い出す。ただし、U 蒸発缶の凝縮液受槽(263V14、15)から試薬調整工程(ユニット 201)へ、及び脱硝塔廃気の酸吸収塔(264T12)から酸回収工程へは連続で払い出す。

通常時の廃気は有意な U、Pu を含まず、液を他の貯槽へ移動しても臨界上の問題はない。U、Pu が流入してくる可能性としては、廃気発生元の蒸発缶等での突沸などによる圧力や液位の急激な上昇を伴う異常を起こした場合が考えられるが、このような異常は発生元の方で検知し、事象の進展を防止できる。以下に、これらの移動経路に対する設備上の対策を含めた運転管理状況を述べる。

###### ① 移動元の機器

- ・ 運転状態の常時監視
- ・ 計装データ(液位、密度、温度、圧力)の定期的確認(ログシートへの記入を含む)

- ・ 液位や圧力上昇等の異常事象に対する警報、緊急操作による運転停止
- ・ せん断及びウラン脱硝の廃気処理系では、2 段のフィルタ(焼結フィルタ+高性能エアフィルタ)により、U、Pu を含む微粉末を除去し、U、Pu の流入を防止

## ② 移動先の機器

- ・ 蒸発缶の凝縮液の受槽(263V14,15、263V37,38、266V30,31)には中性子吸収材としてボロン入りラシヒリング充てん
- ・ 受槽は定期的サンプリング又は移動元の圧力上昇時のサンプリングを実施
- ・ Pu を取扱う工程の槽類換気の洗浄廃液の受槽(266V19、21)には、一部の貯槽内の液の空気攪拌に伴う飛沫同伴により微量の Pu が流入してくるだけである。受槽では定期的サンプリングを実施しており、さらにボロン入りラシヒリングを充てんしてある。

## (2) バッチ処理系

連続処理で受け入れた凝縮液、洗浄廃液の移動(払出し)は、一部を除いてバッチ単位で行われる。この移動に対する運転管理を以下に述べる。

- ・ 原則的に移動前サンプリングを実施
- ・ Pu 槽類換気の洗浄塔(267T20)の洗浄廃液を受ける受槽(267V21)から液を払い出す場合、極力 Pu を回収するために Pu 蒸発缶(266E20,T21)へ供給している、これを廃液として廃液中間貯蔵工程(ユニット 275)へ移動する経路はあるが使用していない。Pu 槽類換気の洗浄廃液の受槽(267V19、21)の Pu 濃度の増加は極めて緩慢であるため、移動前サンプリングは行っておらず、定期的サンプリングにより、液組成を確認している。

## (3) 廃気処理系の運転管理の整理

以上で述べた廃気処理系の運転管理の概要を図 4-2に示す。廃液処理系の移動経路では、通常時において移動に対する臨界の問題はなく、かつ、移動元の異常検知の失敗とサンプリング分析のミスが重ならないと U、Pu を含む溶液の移動は実施されることはないため、運転管理には問題はない。



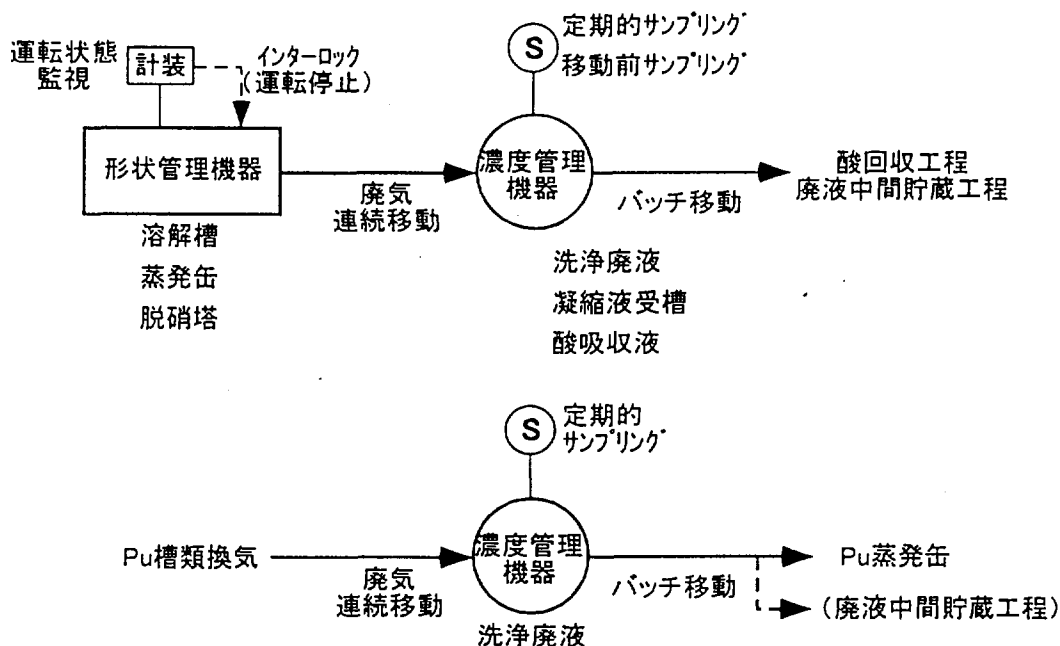


図 4-2 廃気処理系の運転管理の概要

#### 4.4.2 溶液処理系

##### (1) 連続処理系

抽出工程は連続運転である。制限濃度形状管理機器である抽出器から調整槽、中間貯槽等の濃度管理機器へは連続的に液が流れ、連続的に次の抽出器へ送られる。また、U、Pu を抽出された後の抽出残液は、中間貯槽に連続的に流入し、U、Pu を逆抽出された後の溶媒は溶媒洗浄を経て溶媒貯槽に連続的に送られる。

通常運転状態では、抽出残液、逆抽出後の溶媒に含まれる U、Pu は微量であり、これを受ける濃度管理機器の臨界安全上の問題はない。また、U、Pu 製品側への流れの U、Pu を含む溶液の濃度は当然の事ながら臨界安全上の管理濃度未満である。

濃度管理機器に臨界安全上問題となる U、Pu の流入が起こるのは、抽出器の運転に異常が生じた場合であり、このような異常は抽出器、貯槽の計装データ及び定期的サンプリングにより検知できる。以下に、連続処理系の移動経路に対する設備上の対策を含めた運転管理状況を述べる。

##### ① 移動元の機器

- ・ 抽出器出口段での定期的サンプリング
- ・ 抽出残液の酸回収系への移動では、上記に加えて、抽出器を出た後の液を収集するサンプリングポットのサンプリング
- ・ 分離工程及び Pu 精製工程の抽出器では、 $\alpha$  モニタ、中性子モニタ又は密度計により運転状態を確認(定期的なログシートへの記入を含む)
- ・ 抽出器では、抽出残液や逆抽出後の溶媒への U、Pu のリークあるいは U、Pu 溶液濃度の上昇の主要な原因となる試薬供給流量の減少に対する緊急操作による運転停止

② 移動先の機器

- ・ 酸回収中間貯槽(273V20)での定期的サンプリング
- ・ 逆抽出後の溶媒の移動では、制限濃度安全形状管理機器である Pu 精製工程の溶媒貯槽(265V24)を除き、移動先の濃度管理機器の溶媒貯槽(254V16、256V16)で定期的に密度計確認
- ・ U、Pu 溶液の移動では、移動先の中間貯槽で定期的サンプリング、さらに、U 精製工程からの移動先の中間貯槽(263V10)を除き、密度計又は中性子モニタの確認

(2) バッチ処理系

バッチ処理としての移動には以下のようなものがある。

- ・ 溶解液の調整槽(251V10)への移動
- ・ U、Pu 溶液の中間貯槽、一時貯槽あるいは製品貯槽への移動
- ・ 抽出工程の溶媒洗浄廃液の中間貯槽から廃液中間貯槽への移動
- ・ 抽出工程の抽出残液の中間貯槽から高放射性廃液濃縮工程への移動
- ・ 機器の洗浄廃液の移動
- ・ その他の非定常作業による移動

原則的に、バッチ処理の移動に対しては、移動前サンプリング又は密度計による濃度確認と施錠弁管理を行っている。特に、全濃度安全形状管理機器又は制限濃度安全形状管理機器から濃度管理機器への移動に対しては、すべて施錠弁管理が適用されている。

リワーク工程では、複数工程の複数の機器から溶液を受け入れるため、受入液の組成が一定していない。したがって、リワーク工程の機器は(受入液が特定されている場合(276V13,14)を除いて)すべて全濃度安全形状管理機器となっている。リワーク工程の全濃度安全形状管理機器から臨界管理形態の異なる機器への移動の際は、すべてサンプリングを行うとともに施錠弁管理されている。

以下では、施錠弁管理を行っていない移動経路の運転管理について述べる。

○ 沈降槽(254V20) → 中間貯槽(275V10)

- ・ 移動元は逆抽出後の U、Pu を微量にしか含まない溶媒を溶媒洗浄器に通し、その溶媒をろ過するフィルタを逆洗浄した廃液を受ける槽であり、そのまま移動しても臨界上の問題はない。
- ・ 溶媒に問題となり得る量の U、Pu が含まれないことは、分離工程抽出器及び溶媒洗浄器の運転管理で確保され、かつ、移動前サンプリングを実施し、分析結果を確認してから移動している。

- 溶媒洗浄廃液中間貯槽(254V15) → 高放射性廃液中間貯槽(252V13)、  
中間貯槽(275V10)、中間貯槽(272V20)  
溶媒洗浄廃液中間貯槽(256V15) → 中間貯槽(275V10)
  - ・ 移動元は逆抽出後の U、Pu を微量にしか含まない溶媒の溶媒洗浄廃液を受ける槽であり、そのまま移動しても臨界上の問題はない。
  - ・ 溶媒に問題となり得る量の U、Pu が含まれないことは、分離工程抽出器及び溶媒洗浄器の運転管理で確保され、かつ、移動前サンプリングを実施し、分析結果を確認してから移動している。
- 
- Pu 濃縮液受槽(266V23) → Pu 製品貯槽(267V10～16)
  - ・ Pu 濃縮液受槽(266V23)へ液を払い出す Pu 蒸発缶(266E20)では、所定の Pu 供給量又は溶液密度に達したら運転停止し、Pu 濃度が管理値以下になるよう管理している。
  - ・ 制限濃度安全形状(フッ化 Pu としての評価の場合であり、硝酸 Pu としては全濃度安全形状、2.5.1 項(3)参照)である移動先の臨界濃度(>420gPu/L)に対し、移動元の Pu 濃度(約 230gPu/L)は十分低く、そのまま移動しても臨界上の問題はない。
  - ・ 移動元での液の保持時間が長いため、移動元の密度計の定期的確認により移動前に複数回の密度確認が行われる。

(3) 溶液処理系の運転管理の整理

以上で述べた溶液処理系の運転管理の概要を図 4-3に示す。

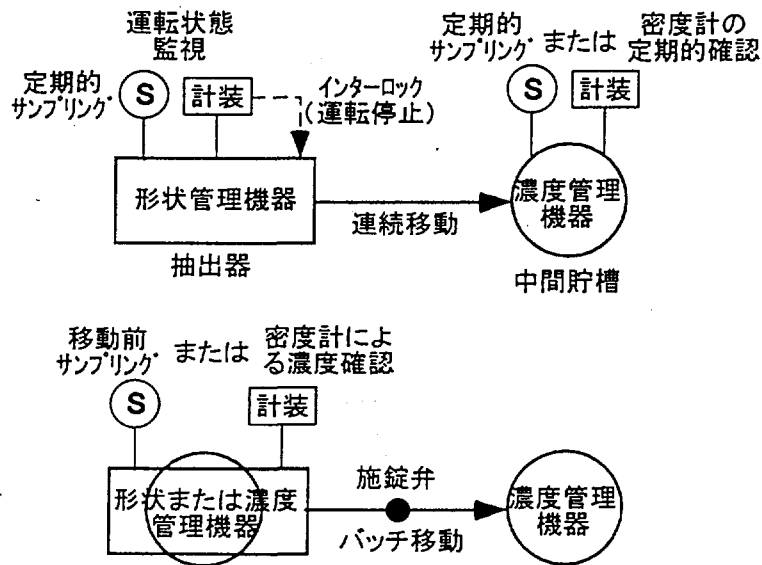


図 4-3 溶液処理系の運転管理の概要

溶液処理系の運転管理は以下のように行われている。

- ① 抽出工程で溶液が連続的に移動していく場合、移動元の抽出器では $\alpha$ モニタ、中性子モニタ又は密度計による運転状態の監視と抽出器出口段の定期的サンプリングが行われ、移動先でも定期的サンプリング分析又は密度計の定期的確認がなされる。
- ② バッチ処理で溶液を移動する場合は、移動前のサンプリング分析又は密度計による濃度確認に加え、原則、施錠弁管理が実施されている。
- ③ バッチ処理で施錠弁管理がされていない移動経路は、移動元の上流側の工程の運転管理により、U、Pu を微量にしか含まないかあるいは管理濃度未満の溶液であり、通常状態において移動に対する臨界の問題はない。

したがって、①と③については、上流工程の異常とサンプリング分析のミスあるいは密度計の故障が重ならないと臨界安全上問題となる U、Pu を含む溶液の移動は実施されることはないため、運転管理には問題はない。

②の場合、施錠弁管理では、移動先に溶液を移動しても安全上問題のないことを上位者が濃度測定結果を確認することによって解錠が許可される。この場合は、濃度管理と施錠管理は依存関係にあり、独立した2つの方法により臨界を防止していると言いはし難い。したがって、臨界安全上の運転管理を無視して移動を行った場合に臨界のおそれのある移動経路では、移動元での U、Pu 濃度の信頼性が重要になってくる。

これに該当する次の移動経路については、次の対応をとることとする。

- ・ 希釈槽(263V18) → 中間貯槽(263V10)
- ・ 希釈槽(266V13) → 中間貯槽(265V12)、中間貯槽(266V12)
- ・ リワーク工程の受槽(276V10)、中間貯槽(276V12)、Pu 溶液受槽(276V20)、溢流溶媒受槽(276V21)からの移動

上記移動経路の移動元の機器のサンプリング試料の分析を2回行うことにより、分析値の信頼性を高める。また、硝酸 U 溶液の場合、無限体系での臨界濃度は 400gU/L 以上と高く、臨界安全上問題のない U 濃度であることの確認は、溶液の酸濃度と密度によって推定することが可能であると考えられる。したがって、U 濃度測定の信頼性をより高める意味で有効と考えられるため、酸濃度分析値と密度(密度計あるいは分析値)による U 濃度の推定も並行して行う。

なお、分析作業では、標準試料による分析機器の定期的確認を実施している。

#### 4.5 プルトニウム転換技術開発施設

転換施設は、分離精製工場から U、Pu 硝酸溶液あるいは再処理施設外から硝酸 U 溶液を受け入れ、U 溶液と Pu 溶液を混合した後、マイクロ波直接脱硝、焙焼還元工程をへて混合酸化物(MOX)粉末を製造し、一時貯蔵した後、輸送容器でプルトニウム燃料製造施設へ払い出す。運転は基本的にバッチ処理で、U、Pu の移動毎に、移動元と移動先での U、Pu 濃度と液量測定あるいは重量測定により、溶液処理系では濃度管理、粉末処理系では質量管理を行っている。

転換施設の各移動経路の運転管理状況を表 4-2に示す。以下、溶液処理系と粉末処理

## (1) 溶液処理系

U、Pu 硝酸溶液の受入から混合工程までは溶液処理となる。Pu を含む溶液を取り扱う臨界管理機器はすべて全濃度安全形状管理であり、U 溶液を扱う機器は制限濃度安全形状管理である。また、溶液処理の終端は脱硝工程での受入までである。

溶液の移動で形状管理機器から濃度・質量管理機器への移動経路は、脱硝工程の中間槽(P13V1201、3201)から脱硝加熱器(P13X12、32)への移動並びに廃液受入槽(P71V11、12)からの払出しのみであるが、表 4-2には転換施設外からの溶液の受入時の運転管理についても記載した。なお、分離精製工場からの U 溶液を受け入れる場合は、全く同じ濃度管理条件であるため対象外とした。

受入工程の運転管理では、サンプリングによる濃度と同位体組成の確認及び密度計による濃度確認、さらに配管で連結されている分離精製工場からの移動に対しては施錠弁管理がなされている。

廃液受入槽の廃液は、脱硝工程、焙焼還元工程からの廃気処理液などで、含まれる U、Pu は微量である。廃液受入槽からの払出時にはサンプリングによる濃度管理と施錠弁管理が行われている。

形状と質量を組み合わせた管理機器である脱硝加熱器への移動では、オーバーフロータイプの給液槽(P12V13、14)で一定量以上の液が移動されないようにし、液の濃度はサンプリングにより確認して、Pu、U の質量を管理している。さらに、2 重装荷に対するインターロックが施されており、また、脱硝加熱器自体は 2 重装荷に対して臨界安全となるように設計している。

## (2) 粉末処理系

脱硝加熱器以降の粉末取扱工程は、前の操作が終了しないと次の操作が開始しないシーケンス制御による機械装置が主体である。粉末取扱工程では質量管理が基本となり、収納容器の重量測定により、グローブボックス等の質量管理区域の出入りの収支を管理している。移動量は送り側と受け側で相互に測定し、受払間差違を確認している。

粉末は、脱硝ボート、焙焼還元ボート、粉末缶並びに貯蔵容器等の収納容器単位での移動又は上記容器内の全量を気送で移動するため、上記の重量測定による管理と同時に、収納容器の個数による管理を並行して行っている。また、粉末を容器に充てんするところでは、過充てんや 2 重装荷防止のインターロック機能が組み込まれている。さらに、質量管理値は 2 重装荷に対しても臨界安全となるように設定している。

粉末処理系の運転管理の概要を図 4-4に示す。

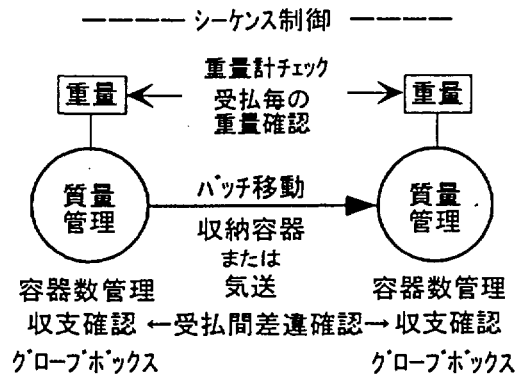


図 4-4 粉末処理系の運転管理の概要

#### 4.6 まとめ

東海再処理施設の臨界安全性に関して、U、Pu を含有あるいは含有するおそれのある溶液又は粉末の形状管理機器から濃度・質量管理機器及び濃度・質量管理機器間等の移動経路に対する運転管理状況を調査した。

溶液処理系の連続処理並びに廃気処理系の移動経路では、単一の故障あるいは誤操作によって臨界安全上問題となる移動は実施されないことを確認した。

溶液処理系のバッチ処理の移動経路では、移動前サンプリング又は密度計による濃度確認と施錠弁管理が基本となっている。施錠弁管理は誤操作防止には有効であるが、濃度確認した後には移動可能として解錠されることになるため、臨界安全上の運転管理(濃度確認、必要な溶液調整等)を誤って移動を行った場合に臨界のおそれのある移動経路では、移動元での U、Pu 濃度管理の信頼性が重要となる。したがって、これに該当する以下の移動経路については、次の対応をとることとする。

- ・ 希釈槽(263V18) → 中間貯槽(263V10)
- ・ 希釈槽(266V13) → 中間貯槽(265V12)、中間貯槽(266V12)
- ・ リワーク工程の受槽(276V10)、中間貯槽(276V12)、Pu 溶液受槽(276V20)、溢流溶媒受槽(276V21)からの移動

移動元の機器のサンプリング試料の分析を 2 回行う。また、硝酸 U 溶液の場合は、U 濃度測定信頼性をより高める意味で有効と考えられる、酸濃度分析値と密度(密度計あるいは分析値)による U 濃度の推定も並行して行う。

プルトニウム転換技術開発施設では、溶液処理系ではサンプリング分析と計装データの確認等、粉末処理系では重量測定と物理的に過剰な量の粉末を取り扱えないような構造あるいはインターロックを有していること等、さらに質量管理値は2重装荷に対しても臨界安全となるように設定していることにより、臨界安全上問題となる移動は実施されないことを確認した。

# 凡例

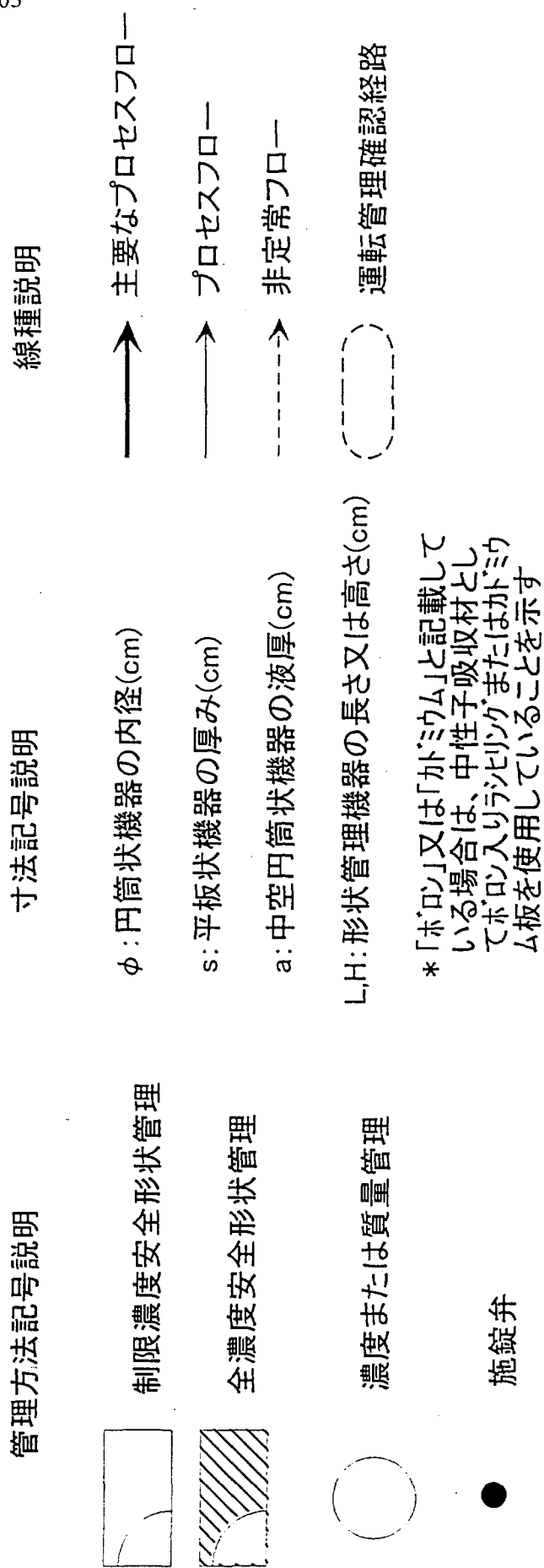


図4-1 臨界管理系統図

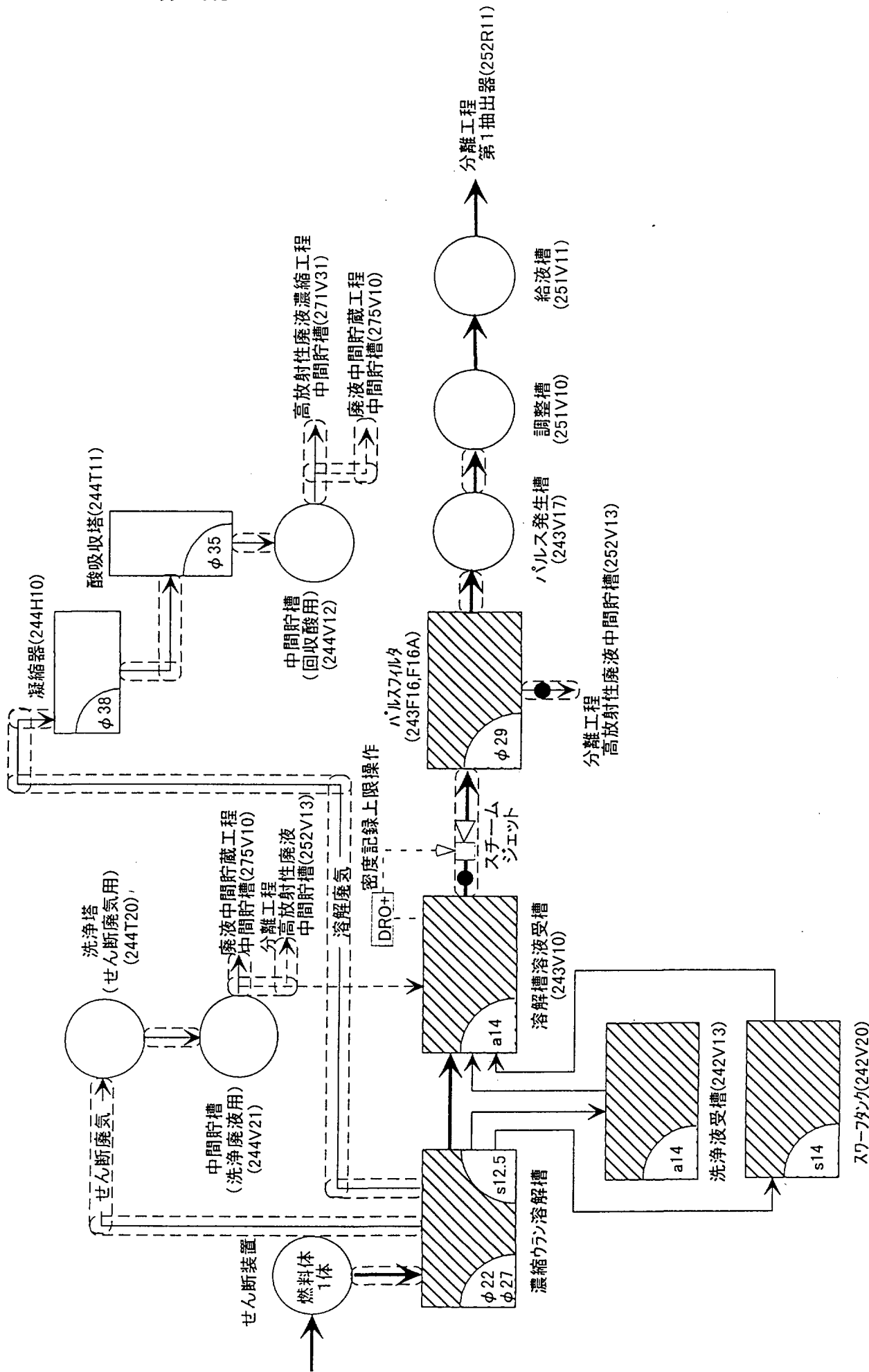


図4-1 (1) 臨界管理系統図 (溶解工程)



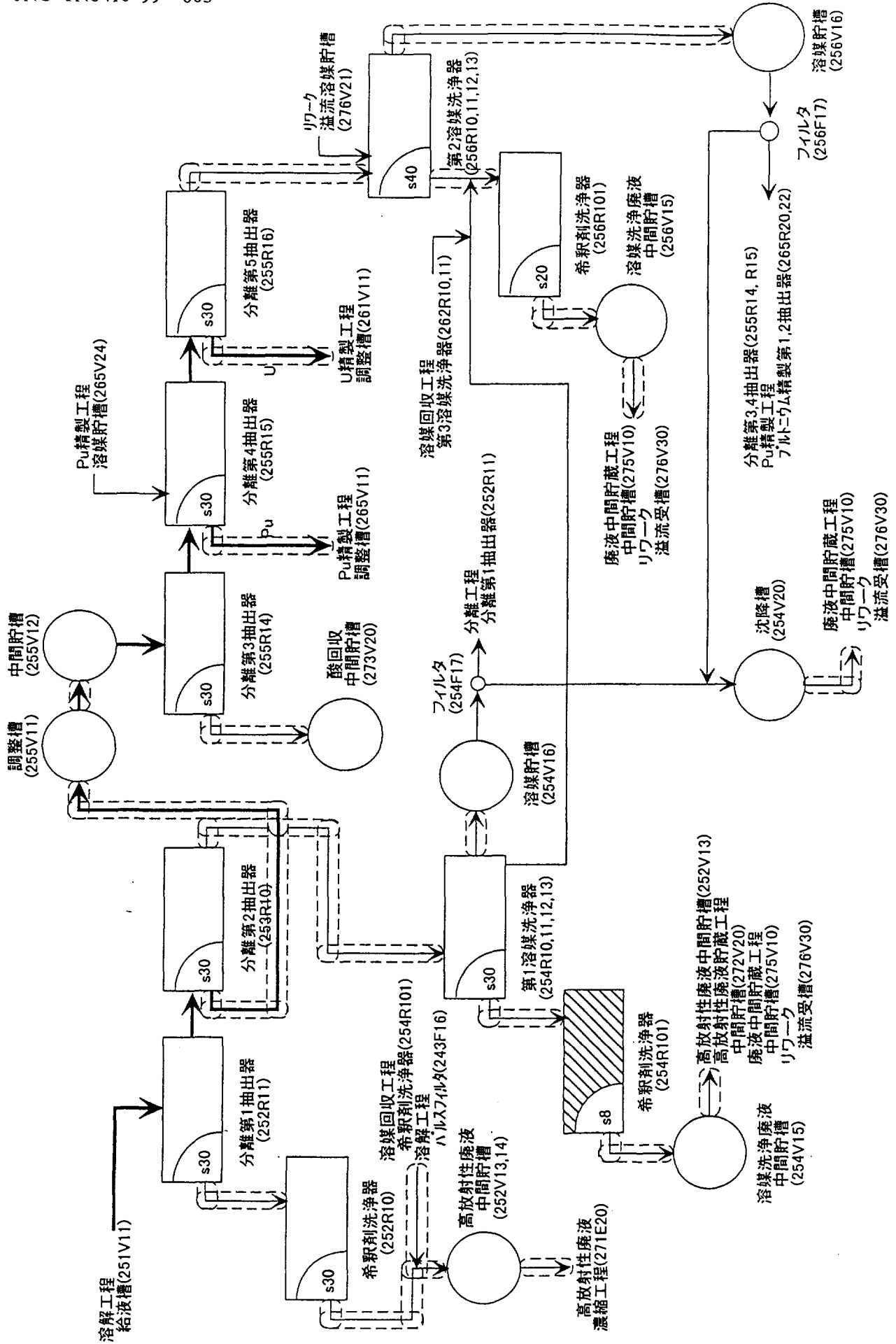


図4-1 (2) 臨界管理系統図 (分離工程、溶媒回収工程)

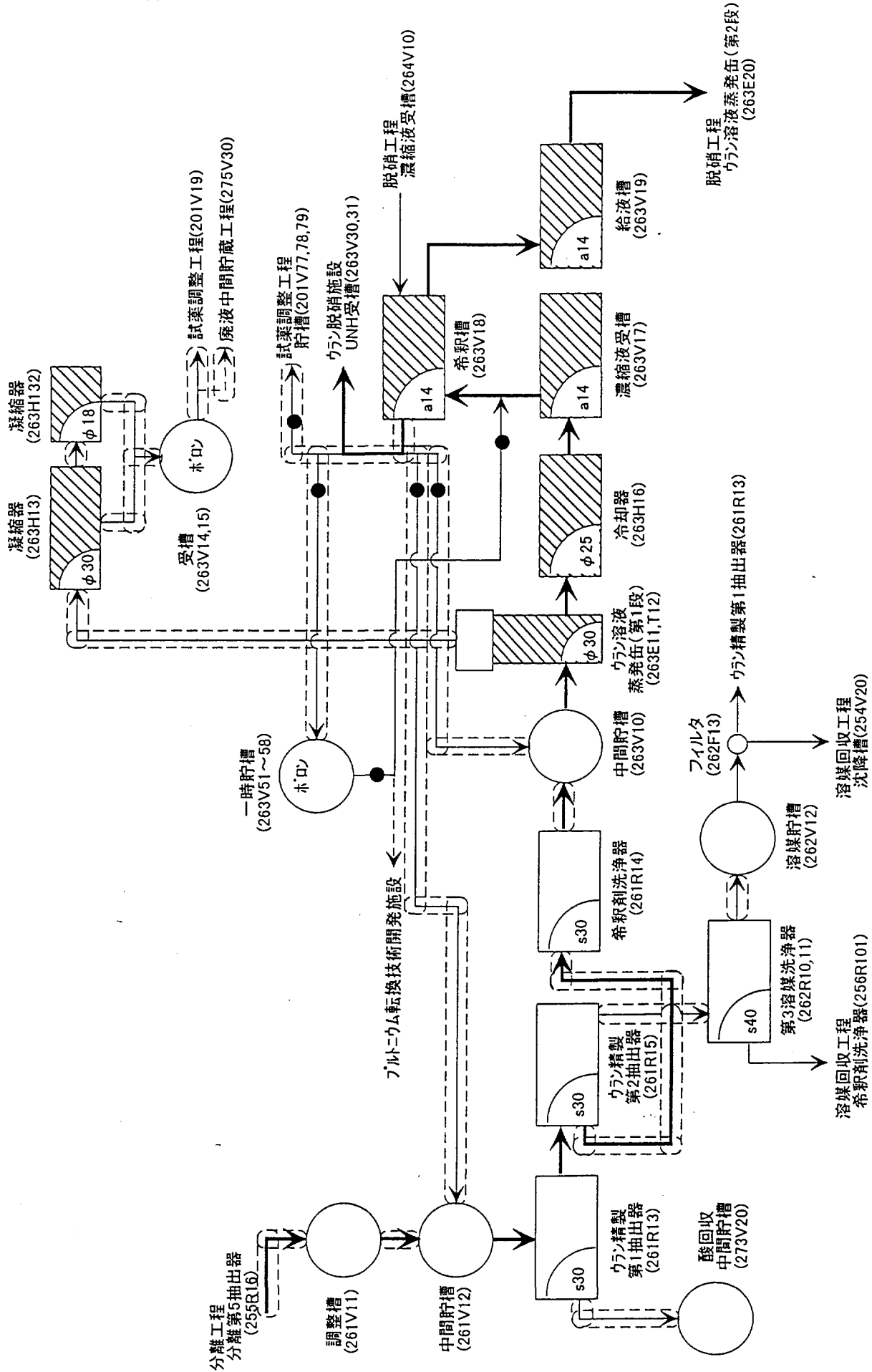


図4-1 (3) 臨界管理系統図 (ウラン精製工程)

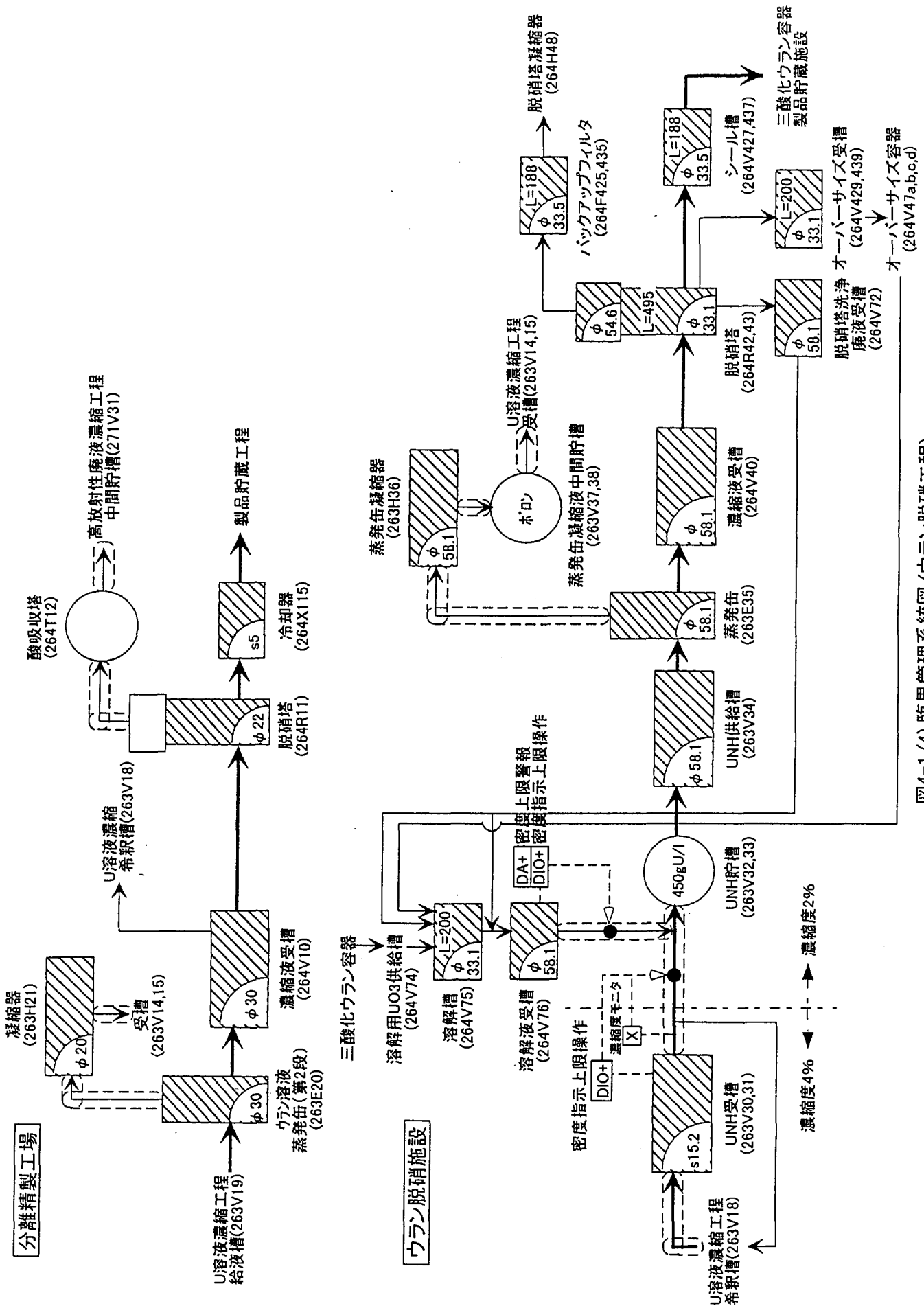


図4-1 (4) 臨界管理系統図(ウラン脱硝工程)

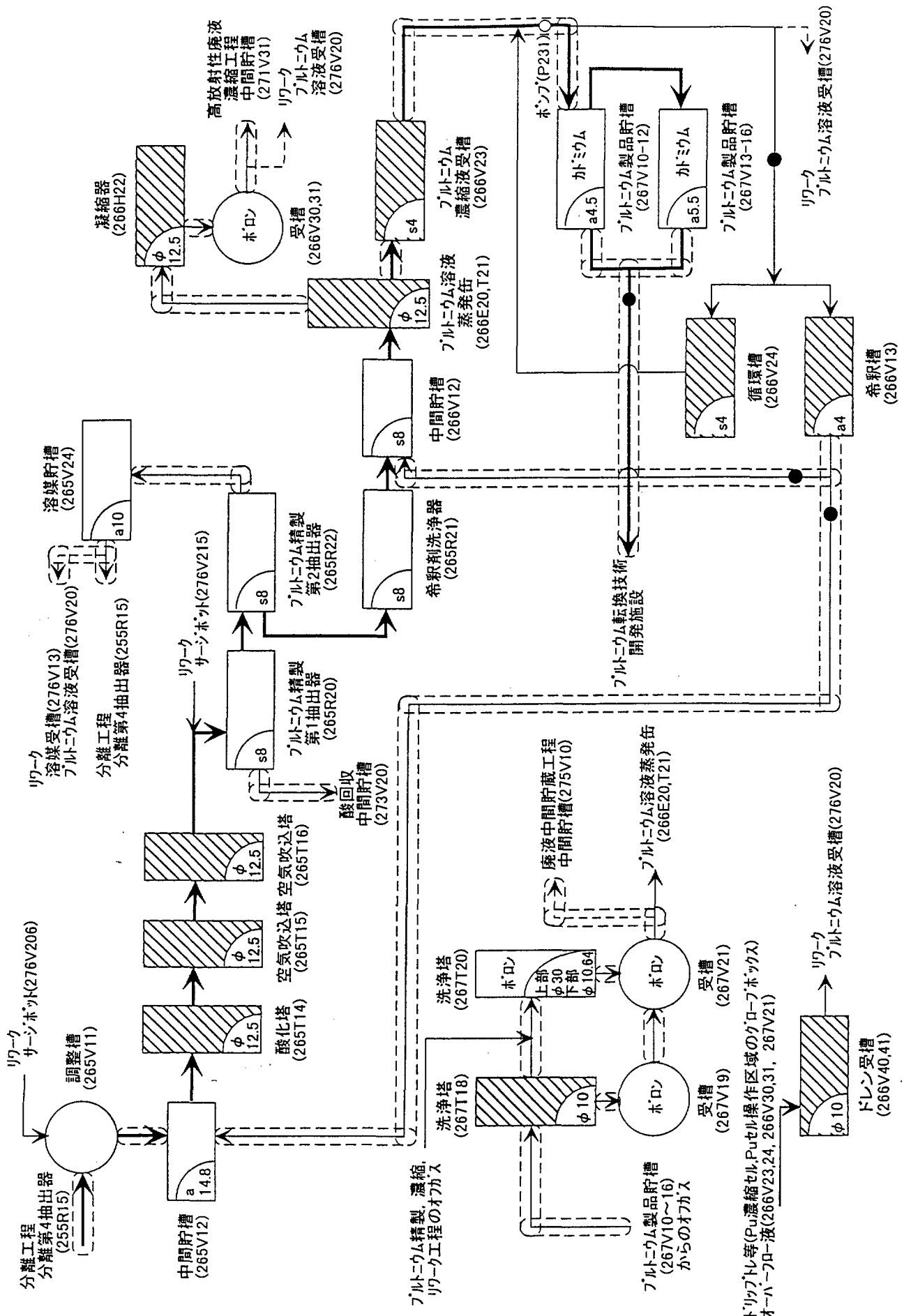


図4-1 (5) 臨界管理系統図 (プルトニウム精製、濃縮、製品貯蔵工程)



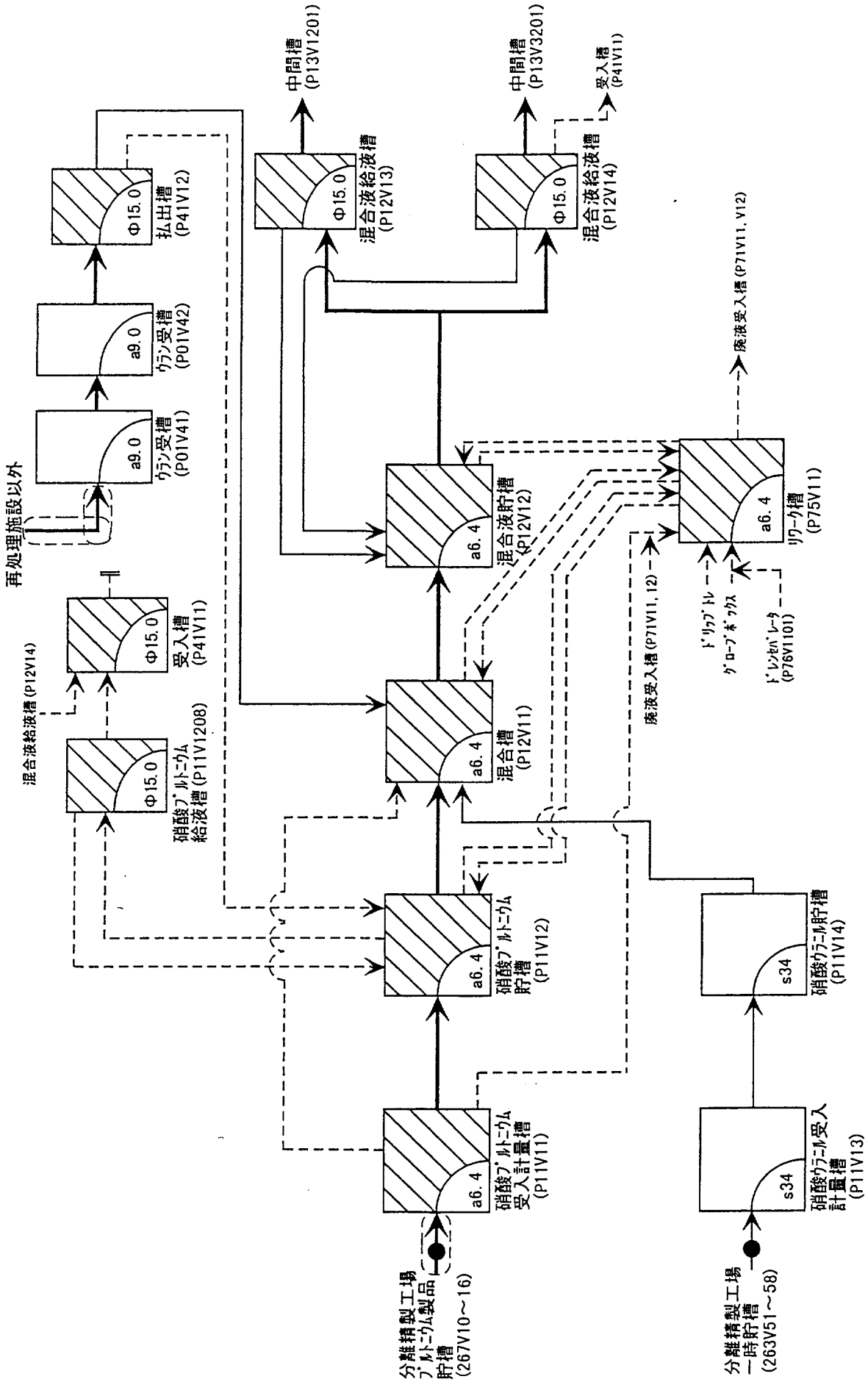


図4-1 (7) 臨界管理系統図 (ノリニカム転換技術開発施設:受入・混合・リワーク工程)

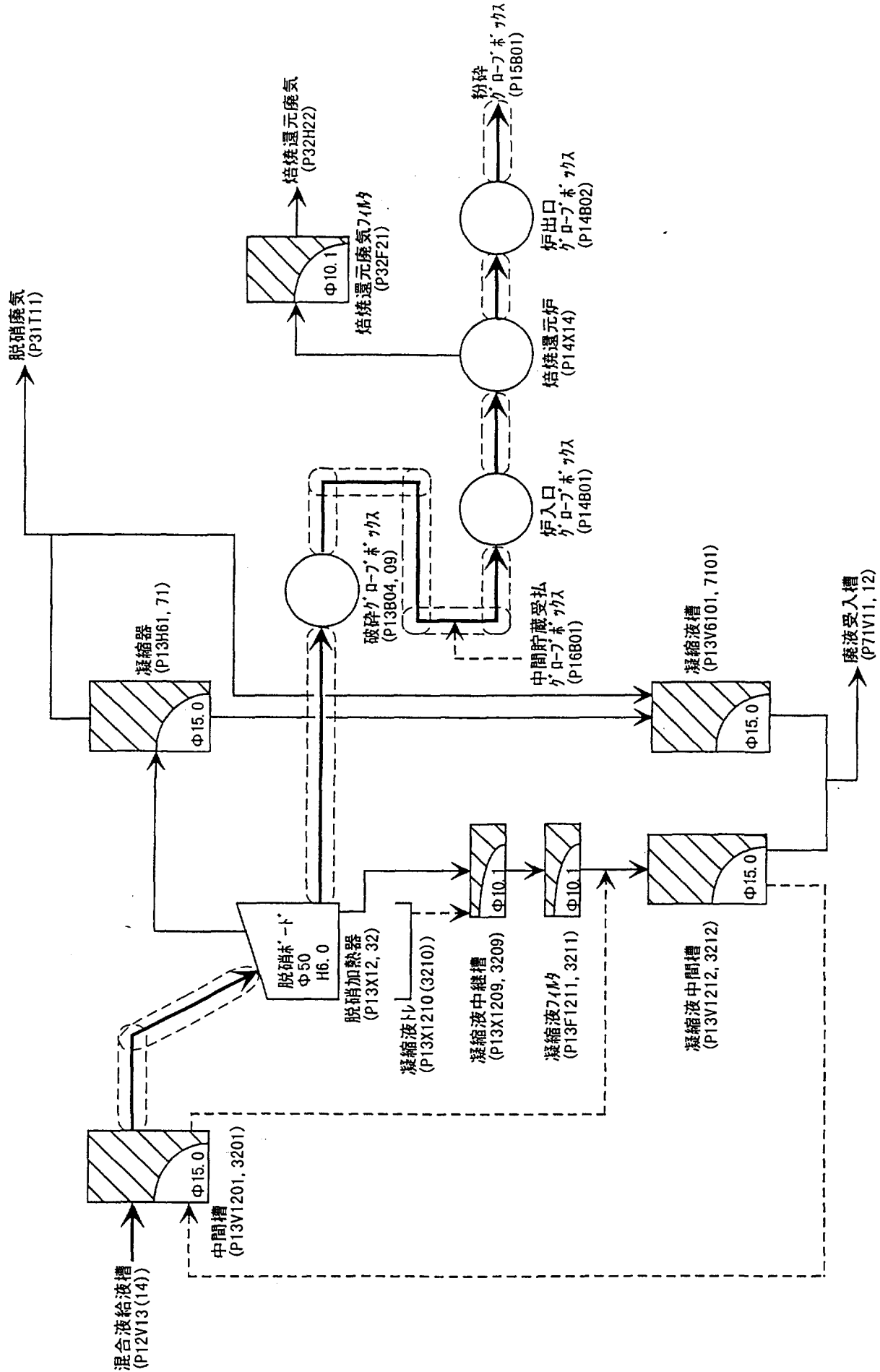


図4-1 (8) 臨界管理系統図 (7) ルニカ転換技術開発施設: 脱硝・焙焼還元工程

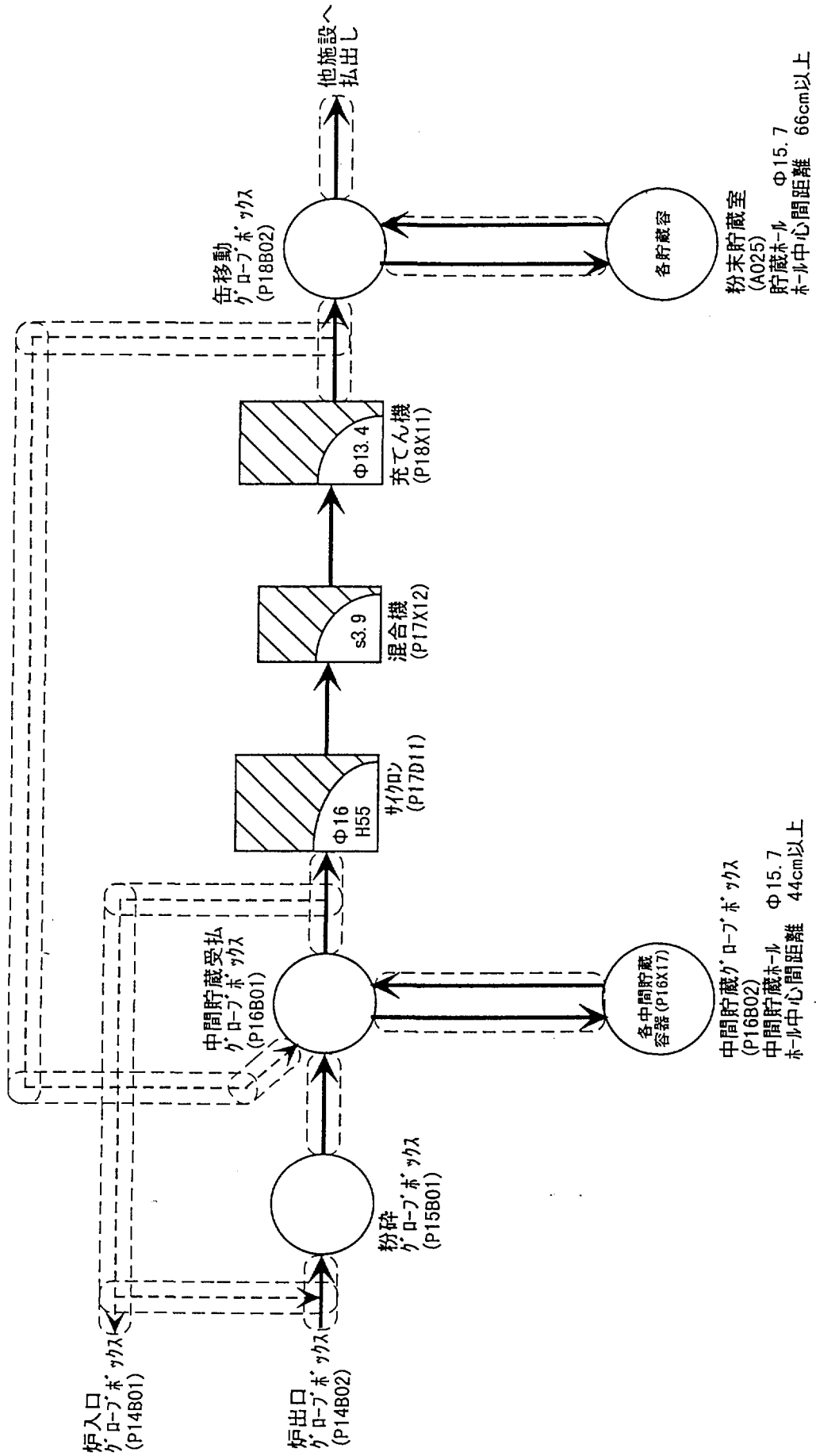


図4-1 (9) 臨界管理系統図 (ブルーム転換技術開発施設: 粉砕・貯蔵工程)



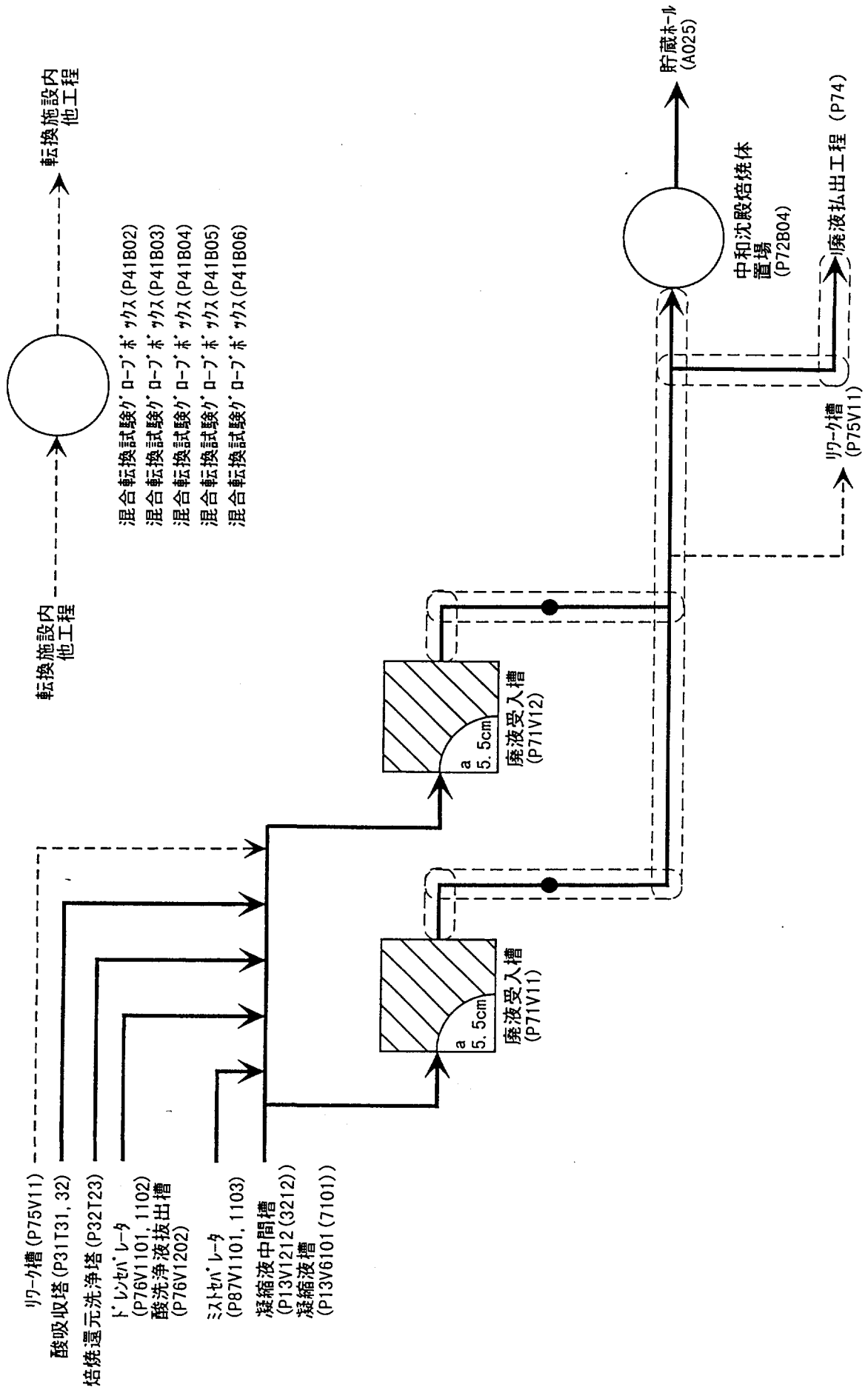


図4-1 (10) 臨界管理系統図 (7-ルニウム転換技術開発施設: 廃液処理工程)

表4-1 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況

移動経路:

下線付きイタリック体は濃度(質量)管理機器, 上線付きは制限濃度形状管理機器, その他は全濃度安全形状管理機器, (ホロン)は中性子吸収材としてホロン入りリフレクティングが充填されている機器, ( )は評価対象外機器を示す  
管理パターンの記号:

- ・インターロック: ○印は液移動の直接的防止措置があること, △印は移動元の異常時の緊急操作(プロテクション)による運転停止等があることを示す
- ・計装確認, サンプリング: ○印はその行為があることを, またハッチ操作の場合の△印は, 移動時ではなく定期的確認行為又は移動先サンプリングであることを示す
- ・施錠弁: ○印は施錠弁管理がなされていることを示す
- ・臨界安全: 臨界管理を無視して移動した場合に, ○印は臨界安全上問題ない, △印は核的制限値等の管理濃度を超えるおそれがあるが臨界には至らない, ×印は臨界のおそれがあることを示す

| No. | 分類        | 移動経路  | 運転管理状況   | 管理パターン      |          |            |         |          |
|-----|-----------|---|--|-------------|----------|------------|---------|----------|
|     |           |   |  | インター<br>ロック | 計装<br>確認 | サンプ<br>リング | 施錠<br>弁 | 臨界<br>安全 |
| 1   | 連続<br>処理系 | (せん断廃気)→溶解槽→洗浄塔(244T20)→<br>中間貯槽(244V21)  | 244V21: 定期的サンプリング(1回/5ハッチ)   |             |          | ○          | ○       | ○        |
| 2   |           | 溶解槽→凝縮器(244H10)→酸吸収塔(244T11)<br>→中間貯槽(244V12)                                       | 溶解槽: 圧力, 液位, 密度, 温度の監視<br>液位上限警報, 圧力上限緊急操作<br>244H10: アモニタの監視<br>244V12: 溶解槽内圧上昇(突沸時)のサンプリ<br>ング<br>定期的サンプリング(1回/5ハッチ)           | △           | ○        | ○          | ○       | ○        |
| 3   |           | U溶液蒸発缶(第1段)(263E11, T12)<br>→凝縮器(263H13, 132)<br>→受槽(263V14, 15)(ホロン)→(試薬調整工程(201)) | U蒸発缶: 液位, 密度, 温度, 圧力の監視<br>液位計の定期的確認(1回/4時間), 密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>液位上限緊急操作, 密度上限警報, 温度上限警報及び緊急操作<br>263V14, 15: 定期的サンプリング(3回/週) | △           | ○        | ○          | ○       | ○        |
| 4   |           | U溶液蒸発缶(第2段)(263E20)→凝縮器(263H21)<br>→受槽(263V14, 15)(ホロン)                             | U蒸発缶: 液位, 密度, 温度, 圧力の監視<br>液位計, 密度計の定期的確認(1回/1時間)<br>液位上限緊急操作, 密度上限警報, 圧力上限注意, 温度上限注意<br>263V14, 15: 定期的サンプリング(3回/週)             | △           | ○        | ○          | ○       | ○        |
| 5   |           | 蒸発缶(263E35)→蒸発缶凝縮器(263H36)<br>→蒸発缶凝縮液中間貯槽(263V37, 38)(ホロン)                          | U蒸発缶: 液位, 密度, 温度, 圧力の監視<br>液位, 密度, 温度, 圧力計の定期的確認(1回/1時間)<br>圧力及び温度上限緊急操作, 液位及び密度上限警報, 温度上限注意                                     | △           | ○        | ○          | ○       | ○        |
| 6   |           | 脱硝塔(264R11)→酸吸収塔(264T12)<br>→(中間貯槽(271V31))   | 脱硝塔: 圧力, 温度, レベル, 流動用空気流量の監視<br>レベル上限緊急操作, 差圧上限緊急操作<br>264T12: 定期的サンプリング(2回/週)   | △           | ○        | ○          | ○       | ○        |
| 7   |           | Pu溶液蒸発缶(266E20, T21)→凝縮器(266H22)<br>→受槽(266V30, 31)(ホロン)                            | Pu蒸発缶: 圧力, 密度, 温度の監視<br>圧力及び温度上限緊急操作, 液位及び密度上限警報<br>266V30, 31: Pu蒸発缶圧力異常時のサンプリ<br>ング<br>液位上限警報及び注意                              | △           | ○        | ○          | ○       | ○        |
| 8   |           | Pu製品貯槽(267V10-16)→洗浄塔(267T18)<br>→受槽(267V19)(ホロン)                                   | 267V19: 定期的サンプリング(1回/週)  |             |          | ○          | ○       | ○        |
| 9   |           | Pu製品貯槽(267V10-16)→洗浄塔(267T18)<br>→洗浄塔(267T20)→受槽(267V21)(ホロン)                       | 267V21: 定期的サンプリング(1回/週)  |             |          | ○          | ○       | ○        |

表4-1 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況

| No. | 分類              | 移動経路   | 運転管理状況                    | 管理パターン  |      |       |     |
|-----|-----------------|--|---------------------------|---------|------|-------|-----|
|     |                 |  |                           | インターロック | 計装確認 | サフリング | 施錠弁 |
| 10  | 廃気処理系<br>バッチ処理系 | 中間貯槽(244V21)→(中間貯槽(275V10))                      | 移動前サフリング                  |         | ○    |       | ○   |
| 11  |                 | 中間貯槽(244V21)<br>→高放射性廃液中間貯槽(252V13)              | 移動前サフリング                  |         | ○    |       | ○   |
| 12  |                 | 中間貯槽(244V12)→(中間貯槽(271V31))                      | 244V12:溶解槽内圧上昇(突沸)時のサフリング |         | △    |       | ○   |
| 13  |                 | 中間貯槽(244V12)→(中間貯槽(275V10))                      | 移動前サフリング                  |         | ○    |       | ○   |
| 14  |                 | 蒸発凝縮液中間貯槽(263V37.38)(ホロン)<br>→受槽(263V14.15)(ホロン) | 移動前サフリング(頻度 1回/2バッチ)      |         | ○    |       | ○   |
| 15  |                 | 受槽(263V14.15)(ホロン)→(中間貯槽(275V30))                | 移動前サフリング                  |         | ○    |       | ○   |
| 16  |                 | 受槽(266V30.31)→(中間貯槽(271V31))                     | 移動前サフリング(頻度 約2回/直)        |         | ○    |       | ○   |
| 17  |                 | 受槽(267V19)(ホロン)→受槽(267V21)(ホロン)                  | 267V19:定期的サフリング(1回/週)     |         | △    |       | ○   |
| 18  |                 | 受槽(267V21)(ホロン)→(中間貯槽(275V10))                   | 267V21:定期的サフリング(1回/週)     |         | △    |       | ○   |

表4-1 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況

| No. | 分類             | 移動経路   | 運転管理状況  | 管理パターン    |      |     |    |
|-----|----------------|--|---|-----------|------|-----|----|
|     |                |  |   | インターロッキング | 計表確認 | サイン | 施錠 |
| 19  | 抽出液の流れ         | 分離第1抽出器(252R11)→希釈剤洗浄器(252R10)<br>→高放射性廃液中間貯槽(252V13,14)<br>→(高放射性廃液蒸発缶(271E20)) | 252R11: 抽出器水相出口段の定期的サンプリング(2回/日)<br>密度計, 中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>溶媒流量下限緊急操作   | △         | ○    | ○   | ○  |
| 20  |                | 分離第3抽出器(255R14)<br>→(中間貯槽(255V22), サンプルホット(V212))<br>→酸回収中間貯槽(273V20)            | 255R14: 抽出器水相出口段, 255V212 定期的サンプリング(1回/日)<br>密度計, αモニタ, 中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>溶媒流量下限緊急操作<br>273V20 定期的サンプリング(1回/週)                  | △         | ○    | ○   | ○  |
| 21  | 抽出液の流れ         | U精製第1抽出器(261R13)<br>→(中間貯槽(261V22), サンプルホット(V212))<br>→酸回収中間貯槽(273V20)           | 261R13: 抽出器水相出口段, 261V212 定期的サンプリング(1回/日)<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>溶媒流量下限緊急操作<br>273V20: 定期的サンプリング(1回/週)                               | △         | ○    | ○   | ○  |
| 22  |                | Pu精製第1抽出器(265R20)<br>→(中間貯槽(265V32), サンプルホット(V312))<br>→酸回収中間貯槽(273V20)          | 265R20: 抽出器水相出口段, 265V312 定期的サンプリング(1回/日)<br>αモニタ, 中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>溶媒流量下限緊急操作<br>273V20: 定期的サンプリング(1回/週)                      | △         | ○    | ○   | ○  |
| 23  | 連続処理系<br>溶液処理系 | 分離第2抽出器(253R10)→第1溶媒洗浄器(254R10)<br>→溶媒貯槽(254V16)                                 | 253R10: 抽出器有機相出口段の定期的サンプリング(2回/日)<br>αモニタ, 中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>逆抽出液流量下限緊急操作<br>254R10: 炭酸ナトリウム流量下限警報<br>254V16: 密度計の定期的確認(1回/2時間) | △         | ○    | ○   | ○  |
| 24  |                | 分離第5抽出器(255R16)→第2溶媒洗浄器(256R10)<br>→溶媒貯槽(256V16)                                 | 255R16: 抽出器有機相出口段の定期的サンプリング(1回/日)<br>U逆抽出液流量下限緊急操作<br>256R10: 炭酸ナトリウム流量下限警報<br>256V16: 密度計の定期的確認(1回/2時間)                              | △         | ○    | ○   | ○  |
| 25  | 抽出液の流れ         | U精製第2抽出器(261R15)<br>→第3溶媒洗浄器(262R10)→溶媒貯槽(262V12)                                | 261R15: 抽出器有機相出口段の定期的サンプリング(1回/日)<br>U逆抽出液流量下限緊急操作<br>262V12: 密度計の定期的確認(1回/2時間)   | △         | ○    | ○   | ○  |
| 26  |                | Pu精製第2抽出器(265R22)→溶媒貯槽(265V24)<br>→分離第4抽出器(255R15)                               | 265R22: 抽出器有機相出口段の定期的サンプリング(1回/日)<br>αモニタ, 中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>逆抽出液流量下限緊急操作<br>硝酸ウラス流量下限警報  | △         | ○    | ○   | ○  |

表4-1 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況

| No. | 分類                            | 移動経路   | 運転管理状況   | 管理パターン  |      |       |     |      |
|-----|-------------------------------|--|--|---------|------|-------|-----|------|
|     |                               |  |  | インターロック | 計装確認 | サフリング | 施錠弁 | 臨界安全 |
| 27  | U・P・Uの流れ                      | 分離第2抽出器(253R10)→調整槽(255V11)→中間貯槽(255V12)                 | 253R10: 抽出器水相出口段の定期的サフリング(2回/日)<br>αモニタ 中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>逆抽出液流量下限緊急操作 | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 255V12: 定期的サフリング(2回/日)<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)                                  | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 28  | 連続処理系                         | 分離第4抽出器(255R15)→調整槽(265V11)→中間貯槽(265V12)(試料採取槽(265V143)) | 255R15: 抽出器水相出口段の定期的サフリング(2回/日)<br>中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>Pu逆抽出液流量下限緊急操作    | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 265V12: 265V143 定期的サフリング(2回/日)<br>密度計、中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)                   | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 29  | U精製第2抽出器(261R14)→中間貯槽(261V12) | 分離第5抽出器(255R16)→調整槽(261V11)→中間貯槽(261V12)                 | 255R16: 抽出器水相出口段の定期的サフリング(2回/日)<br>U逆抽出液流量下限緊急操作                             | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 261V12: 定期的サフリング(2回/日)<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)                                  | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 30  | 溶液処理系                         | U精製第2抽出器(261R15)→希釈洗浄器(261R14)→中間貯槽(263V10)              | 261R15: 抽出器水相出口段の定期的サフリング(2回/日)<br>U逆抽出液流量下限緊急操作                             | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 263V10: 定期的サフリング(3回/週)   | △       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 31  | バッチ処理系                        | 溶解槽溶液受槽(243V10)→調整槽(251V10)                              | 243V10: 装荷U量と液量による濃度推定<br>移動前の密度計の確認、密度計による移動のインターロック<br>密度計の定期的確認(1回/4時間)   | ○       | ○    | ○     | ○   | △    |
|     |                               |  | 施錠弁<br>251V10: 移動中の密度計の監視<br>密度計の定期的確認(1回/4時間)                               | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 32  | バッチ処理系                        | パルスバルブ(243F16,F16A)→高放射性廃液中間貯槽(252V13)                   | 243F16,F16A: 移動前洗浄、洗浄液のサフリング(242V13)<br>施錠弁                                  | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 252V13: 定期的サフリング(3回/週)   | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 33  | バッチ処理系                        | 溶解槽(254V20)→(中間貯槽(275V10))                               | 275V10: 移動前サフリング   | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 275V10: 定期的サフリング(3回/週)   | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 34  | バッチ処理系                        | 溶解槽(254V15)→高放射性廃液中間貯槽(252V13)→(中間貯槽(275V10,272V20))     | 254V15: 移動前サフリング   | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 275V10,272V20: 定期的サフリング(2回/日)  | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 35  | バッチ処理系                        | 溶解槽(256V15)→(中間貯槽(275V10))                               | 275V10: 移動前サフリング   | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
|     |                               |  | 275V10: 定期的サフリング(2回/日)   | ○       | ○    | ○     | ○   | ○    |
| 36  | バッチ処理系                        | 希釈槽(263V18)→貯槽(201V7,78,79)(ホロン)                         | 263V18: 密度計によるU濃度確認<br>密度計の定期的確認(1回/4時間)<br>定期的サフリング(1回/日)                   | ○       | ○    | ○     | ○   | △    |
|     |                               |  | 201V7,78,79: 移動後サフリング  | ○       | ○    | ○     | ○   | △    |

表4-1 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況

| No. | 分類     | 移動経路  | 運転管理状況   | 管理パターン      |          |         |          |
|-----|--------|---|--|-------------|----------|---------|----------|
|     |        |   |  | インター<br>ロック | 計装<br>確認 | サン<br>プ | 臨界<br>安全 |
| 37  |        | 希釈槽(263V18)→中間貯槽(261V12)                            | 263V18: 密度計によるU濃度(<200gU/l)の確認<br>密度計の定期的確認(1回/4時間)<br>定期的サンプリング(1回/日)                                 | ○           | △        | ○       | △        |
|     |        |   | 施錠弁<br>261V12: 移動前後の261V12サンプリング<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>定期的サンプリング(2回/日)                               | ○           | △        | ○       | △        |
| 38  |        | 希釈槽(263V18)→中間貯槽(263V10)                            | 263V18: 移動前サンプリング<br>密度計の定期的確認(1回/4時間)   | △           | ○        | ○       | ×        |
|     |        |   | 施錠弁<br>263V10: 定期的サンプリング(3回/週)   |             |          |         |          |
| 39  |        | 希釈槽(263V18)→一時貯槽(263V51~52(ホロン))                    | 263V18: 密度計によるU濃度確認又は移動前サンプリング<br>密度計の定期的確認(1回/4時間)<br>定期的サンプリング(1回/日)                                 | ○           | △        | ○       | △        |
|     |        |   | 施錠弁  |             |          |         |          |
| 40  | バッチ処理系 | UNH受槽(263V30,31)→UNH貯槽(263V32,33)                   | 263V30,31: 濃縮度モニタによるU濃縮度確認とインターロック<br>密度計によるU濃度確認とインターロック<br>移動前サンプリング(U濃度, U濃縮度)<br>密度計の定期的確認(1回/4時間) | ○           | ○        | ○       | ○        |
|     |        |   | 施錠弁  |             |          |         |          |
| 41  |        | 溶解液受槽(264V76)→UNH受槽(263V32,33)                      | 263V32,33: 密度計の定期的確認(1回/4時間)   | ○           | ○        | ○       | ○        |
|     |        |   | 264V76: 密度計による濃度確認とインターロック<br>移動前サンプリング  |             |          |         |          |
| 42  |        | 溶媒貯槽(265V24)→溶媒貯槽(276V13)                           | 施錠弁<br>移動前サンプリング   |             |          |         |          |
|     |        |   | 施錠弁  |             |          |         |          |
| 43  |        | 希釈槽(266V13)→中間貯槽(265V12)                            | 移動前サンプリング  | ○           | ○        | ○       | ×        |
|     |        |   | 施錠弁  |             |          |         |          |
| 44  |        | 希釈槽(266V13)→中間貯槽(266V12)                            | 266V13: 移動前サンプリング  | ○           | ○        | ○       | ×        |
|     |        |   | 施錠弁  |             |          |         |          |
| 45  |        | Pu濃縮液受槽(266V23)→Pu製品貯槽(267V10~16)                   | 266V12: 定期的サンプリング(3回/日)  | △           | ○        | ○       | ○        |
|     |        |   | 266V23: 移動前サンプリング<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>定期的サンプリング(1回/月)  |             |          |         |          |
| 46  |        | Pu製品貯槽(267V10-16)→<br>(Pu転換技術開発施設)硝酸Pu受入計量槽(P11V11) | 267V10-16: 定期的サンプリング(1回/月)又は移動前サンプリング<br>密度計の定期的確認(運転中1回/2時間, 停止中1回/4時間)                               | △           | ○        | ○       | ○        |
|     |        |   |  |             |          |         |          |

表4-1 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況

| No. | 分類     | 移動経路   | 運転管理状況  | 管理パターン      |          |           |               |
|-----|--------|--|---|-------------|----------|-----------|---------------|
|     |        |  |   | インター<br>ロック | 計装<br>確認 | サフ<br>リンク | 施錠<br>井<br>安全 |
| 47  | 溶液処理系  | 受槽(276V10)→希釈洗浄器(252R10)<br>受槽(276V10)→(中間貯槽(275V10))<br>受槽(276V10)→溶媒受槽(276V13)                                 | 276V10: 移動前サフリンク<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>施錠井<br>276V13: 密度計の定期的確認(1回/2時間)                                     | △           | ○        | ○         | ×             |
| 48  |        | 中間貯槽(276V12)→<br>高放射性廃液中間貯槽(252V13)<br>中間貯槽(276V12)→中間貯槽(255V12)<br>中間貯槽(276V12)→(中間貯槽(275V10))                  | 276V12: 移動前サフリンク<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>施錠井<br>255V12: 密度計の定期的確認(1回/2時間)                                     | △           | ○        | ○         | ×             |
| 49  | リワーク工程 | Pu溶液受槽(276V20)→調整槽(265V11)<br>→中間貯槽(265V12)<br>Pu溶液受槽(276V20)→(中間貯槽(275V10))<br>Pu溶液受槽(276V20)→中間貯槽(276V15(V12)) | 276V20: 移動前サフリンク<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>施錠井<br>265V12: 密度計、中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)<br>276V12: 密度計の定期的確認(1回/2時間) | △           | ○        | ○         | ×             |
| 50  | 溶液処理系  | 溢流溶媒受槽(276V21)→第2溶媒洗浄器(256R10)<br>溢流溶媒受槽(276V21)→<br>Pu精製第1抽出器(265R20)<br>溢流溶媒受槽(276V21)→盛溶媒受槽(276V14)           | 276V21: 移動前サフリンク<br>密度計の定期的確認(1回/2時間)<br>施錠井<br>265R20: αモニタ、中性子モニタの定期的確認(1回/2時間)                             | △           | ○        | ○         | ×             |

表4-2 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況(プルトニウム転換技術開発施設)

移動経路:

下線付きイタリック体は濃度(質量)管理機器、上線付きは制限濃度形状管理機器、その他は全濃度安全形状管理機器、または、GBはグローブボックスを、( )は評価対象外機器を示す

管理パターンの記号:

- ・臨界安全: 臨界管理を無視して移動した場合に、○印は臨界安全上問題ない、△印は核的制限値等の臨界上の管理値を超えるおそれがあるが臨界には至らない、×印は臨界のおそれがあることを示す
- ・臨界安全以外の項目: ○印はインターロック、計装確認行為、サンプリング分析、施設弁管理それぞれがあることを示す

| No. | 移動経路   | 運転管理状況   | 管理パターン  |      |        |     |
|-----|--|--|---------|------|--------|-----|
|     |  |  | インターロック | 計装確認 | サンプリング | 施設弁 |
| 1   | Pu製品貯槽(267V10~16)→硝酸Pu受入計量槽(P11V11)  | 267V10~16: 定期的サンプリング(1回/月)又は移動前サンプリング(Pu濃度、同位体組成確認) 密度計(267V13-16)の定期的確認 (運転中1回/2時間、停止中1回/4時間) P11V11: 移動中の密度計の監視 移動後サンプリング  | ○       | ○    | ○      | ○   |
| 2   | 再処理施設外→U受槽(P01V41)   | 核燃料物質等移動通知票の確認 P01V41: 密度計の確認 移動後サンプリング  | ○       | ○    | ○      | ○   |
| 3   | 溶液系<br>混合槽(P12V11)→混合液貯槽(P12V12)→混合液給液槽(P12V13,14)→中間槽(P13V1201,3201)→脱硝加熱器(P13X12,32) | P12V11: 残液のU,Pu濃度、液量及びP11V12,V14のU,Pu溶液の濃度、及び移動量(液位オート設定と移動中の液位監視)による濃度推定 サンプリングによる濃度確認<br>P12V12: 残液のU,Pu濃度、液量及びP12V11のU,Pu濃度及び移動量 (移動中の液位監視)による濃度推定 サンプリングによる濃度確認<br>P12V13,14: オートモードにより液量7.6L、液位確認 P12V12からの液移動中は、流量上限操作注意により、次に送液できないようインターロック<br>P13V1201,3201: 液位確認<br>P13X12,32: 2重装荷に対しても臨界安全な設計 弁のインターロック、空の脱硝ポートの装てん確認及びインターロック(2重装荷防止) | ○       | ○    | ○      | ○   |
| 4   | 脱硝加熱器(P13X12,32)→破砕GB(P13B04,09)   | P13X12,32: GB内脱硝ポート取扱いV1皿 発光検出器及び反射電流計による脱硝終了確認と移動のインターロック<br>P13B04,09: 脱硝GBと破砕GBで取扱い合計2皿 空ポート及び脱硝後ポート秤量 物質収支確認   | ○       | ○    | ○      | ○   |
| 5   | 粉末系<br>破砕GB(P13B04,09)→炬入口GB(P14B01)→焙焼還元炬(P14X14)→炬出口GB(P14B02)                       | P13B04,09: 気送前後脱硝ポート秤量<br>P14B01,P14X14,P14B02: それぞれ焙焼還元ポート5皿以下でしか取扱えない構造 受入、払出毎に焙焼還元ポート秤量 受入用のホッパの重量計に、前回の値と受入前の値に変化がないことを確認 P13, P14間の受払い間差違の確認 物質収支確認   | ○       | ○    | ○      | ○   |



表 4-2 各移動経路に対する臨界安全上の運転管理状況(プルトウム転換技術開発施設)

| No. | 移動経路   | 運転管理状況   | 管理パターン  |      |       |                |
|-----|--|--|---------|------|-------|----------------|
|     |  |  | インターロック | 計装確認 | サフリンク | 施錠<br>境界<br>安全 |
| 6   | 炬出口GB(P14B02)→粉砕GB(P15B01)→<br>中間貯蔵受取GB(P16B01)                  | P14B02: 気送前後焙焼還元ポート秤量<br>P15B01: 気送前後粉末移動容器秤量<br>(秤量器で、前回の払出後の空容器重量と<br>受入前の空容器重量に差がないことを確認)<br>P16B01: 気送前後中間貯蔵容器秤量<br>粉末サブリンク<br>空の中間貯蔵容器でないときと気送できないようインターロック(2重装荷防止)<br>P15, P16間の受取間差違の確認<br>物質収支確認 | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 7   | 中間貯蔵受取GB(P16B01)←→<br>中間貯蔵GB(P16B02)                             | 各貯蔵ホールには中間貯蔵容器を1本しか貯蔵できない構造<br>B01, B02間の移動毎に中間貯蔵容器を秤量   | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 8   | 中間貯蔵受取GB(P16B01)→<br>炬入り口GB(P14B01). 粉砕GB(P15B01)                | 気送前後の秤量  | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 9   | 充てん機(P18X11)→<br>充てん機(P18X11)→<br>中間貯蔵受取GB(P16B02)               | P18X11: 充填機の充てん量を設定(～3kg),<br>充てん後、粉末秤量(秤量器は事前に検量実施)<br>監視カメラにより所定時間内に充てんが終了しないと充てん停止するインターロック<br>粉末サブリンク<br>P18B02: 粉末缶は最大4缶までしか取り扱えないインターロック   | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 10  | 充てん機(P18X11)→<br>中間貯蔵受取GB(P16B01)                                | 移動前後の秤量  | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 11  | 缶移動GB(P18B02)←→<br>缶移動GB(P18B02)→<br>粉末貯蔵室(A025)                 | P18B02: 粉末缶の貯蔵容器への装てんは最大4缶(約10kg)までしか入らない<br>構造とインターロック<br>A025: 貯蔵ホールの在庫状態はコンピュータ管理<br>作業員の指令とコンピュータ内のデータが合致しないとクレーンが動作しないインターロック<br>貯蔵ホールへの2重装荷に対するインターロック   | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 12  | 缶移動GB(P18B02)→他施設払出  | P18B02: 貯蔵容器を1本しか取り扱えないインターロック   | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 13  | 廃液受入槽(P71V11,12)→<br>中和沈殿焙焼体置場(P72B04)<br>廃液受入槽(P71V11,12)→(P74) | P71V11,12: 移動前サブリンク<br>施設錠弁<br>P72B04: 焙焼体サブリンク, 重量測定, 移動量確認   | ○       | ○    | ○     | ○              |
| 14  | 他工程→P41B02,03,04,05,06→他工程                                       | 移動前サブリンク, 重量測定により, 移動によるGB内の変動確認   | ○       | ○    | ○     | △              |

## 5. まとめ

昭和 40 年代に設計された東海再処理施設の初期の施設の臨界安全及び遮蔽設計で用いられた基本データについて、最近の臨界安全ハンドブックや計算コードを用いてその妥当性を確認した。

臨界安全設計では、設計に用いた機器の寸法、U,Pu 濃度等に関する臨界値並びに制限値が妥当であることを確認した。遮蔽設計では、設計に用いた「遮蔽厚—許容線源強度グラフ」について、最新の手法を用いた結果と比較して一部必要な遮蔽厚を過小評価しているおそれのある箇所が見られたが、有限線源を無限体積線源として評価していること、設計上の線量率基準に対して目標線量率を小さく設定していること等により、小型試験設備を除き必要な遮蔽厚が確保されていることを確認した。小型試験設備のレッド区域(試験セル R145B)については、運転要領書に取扱う放射エネルギーとして設計値の約半分に相当する値を明記し、線量率が設計上の基準を超えることがないように管理することとした。

臨界安全に関しては、形状管理機器から濃度・質量管理機器、濃度・質量管理機器間等の移動経路に対する運転管理状況について確認し、溶液処理系の連続処理及び廃気処理系の移動経路では、単一の故障あるいは誤操作によって臨界安全上問題となる移動は実施されないことを確認した。

溶液処理系の移動経路では、移動前の U,Pu 濃度確認と施錠弁管理が基本である。この場合、臨界安全上の運転管理を誤って移動を行った場合に臨界のおそれのある移動経路では、移動元での U,Pu 濃度確認の信頼性が非常に重要となる。これに該当する移動経路(263V18→263V10、266V13→265V12,266V12、276V10,12,20,21 からの移動)については、移動元の機器のサンプリング試料の分析を 2 回行い、さらに、硝酸 U 溶液の場合は、酸濃度と密度からの U 濃度の確認も並行して行うこととした。

上記以外のバッチ処理の移動経路では、プルトニウム転換技術開発施設での粉末処理系を含めて、運転管理を誤って移動を行った場合でも臨界に至るものではないことを確認した。