

JAERI-Tech

JP0250054

2001-083



高温工学試験研究炉の高温照射試料取扱設備  
(使用済燃料検査室(I))の設計

2002年1月

猪 博一・植田 祥平・鈴木 紘・飛田 勉\*・沢 和弘

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

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2002

編集兼発行 日本原子力研究所

高温工学試験研究炉の高温照射試料取扱設備（使用済燃料検査室（I））の設計

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉開発部

猪 博一・植田 祥平・鈴木 紘・飛田 勉\*・沢 和弘

(2001年11月6日受理)

本報は、高温照射試料取扱設備（使用済燃料検査室（I））の設計条件及び設計結果をこれらの主要な設備毎にまとめたものである。高温照射試料取扱設備は、同じ建家内にある HTTR で照射を行った使用済燃料、高温照射試料を対象として検査及び照射後試験の一部を行う小型のセルである。本設備は既設の高温工学試験研究炉（HTTR）原子炉建家内の限られたスペースに追設するものであり、取扱条件を考慮して限られたスペースを有効に利用できるよう設計した。本設備は 3 つのセルで構成され、主要な設備として使用済燃料等からの中性子線及びガンマ線を遮蔽するための遮蔽体、換気空調装置、試料の取扱に用いる内装機器等がある。今後、本設備及び大洗研究所のホットラボを利用して HTTR 燃料・材料の照射後試験を実施し、高温ガス炉技術基盤を確立するとともに、長期的には HTTR における照射試験・照射後試験を通じて、要素技術の開発、先端的基礎研究を行っていくこととしている。

Design of High Temperature Irradiation Materials Inspection Cells  
(Spent Fuel Inspection Cells) in the High Temperature Engineering Test Reactor

Hiroichi INO, Shouhei UETA, Hiroshi SUZUKI, Tsutomu TOBITA\* and Kazuhiro SAWA

Department of HTTR Project  
Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 6, 2001)

This report summarizes design requirements and design results for shields, ventilation system and fuel handling devices for the high temperature irradiation materials inspection cells (spent fuel inspection cells). These cells are small cells to carry out few post-irradiation examinations of spent fuels, specimen, etc., which are irradiated in the High Temperature Engineering Test Reactor, since the cells should be built in limited space in the HTTR reactor building, the cells are designed considering relationship between the cells and the reactor building to utilize the limited space effectively. The cells consist of three partitioned hot cells with wall for neutron and gamma-ray shields, ventilation system including filtering units and fuel handling devices. The post-irradiation examinations of the fuels and materials are planed by using the cells and the Hot Laboratory of the Japan Materials Testing Reactor to establish the technology basis on high temperature gas-cooled reactors (HTGRs). In future, irradiation tests and post-irradiation examinations will be carried out with the cells to upgrade present HTGR technologies and to make the innovative basic research on high-temperature engineering.

Keywords: Hot Cells, HTTR, Post-irradiation Examinations, Spent Fuels, Shields,  
Ventilation System, Fuel Handling Devices, Design Requirements

---

\* Nuclear Engineering Company,Ltd.

## 目 次

1.	はじめに .....	1
2.	設計条件 .....	4
2.1	遮蔽体 .....	5
2.2	換気空調設備 .....	6
2.3	附属機器及び内装機器 .....	7
3.	設計結果 .....	9
3.1	遮蔽体 .....	9
3.2	換気空調設備 .....	13
3.3	その他主要な機器 .....	15
4.	まとめ .....	45
	謝辞 .....	45
	参考文献 .....	46

## Contents

1.	Introduction .....	1
2.	Design Requirements .....	4
2.1	Shieldings .....	5
2.2	Ventilation System .....	6
2.3	Fuel Handling Devices .....	7
3.	Design Results .....	9
3.1	Shieldings .....	9
3.2	Ventilation System .....	13
3.3	Other Important Devices .....	15
4.	Summary .....	45
	Acknowledgements .....	45
	References .....	46

This is a blank page.

## 1. はじめに

高温照射試料取扱設備(使用済燃料検査室(I))は、既設の高温工学試験研究炉(HTTR)原子炉建家内の限られたスペースに追設する小型のセルである。高温照射試料取扱設備では同じ建家内にある HTTR で照射を行った使用済燃料、高温照射試料のみを対象として検査及び照射後試験の一部を行う。高温照射試料取扱設備は小型のセルであるため、検査機器及び試験機器等を設置するスペースが限られている。そこで本設備で実施することが困難な検査及び試験等は大洗研究所のホットラボ等で実施する計画である<sup>(1,2)</sup>。

Figure 1-1 に本設備に係る使用済燃料等の流れを、Fig. 1-2 に本設備の全体概略図を示す。本設備の設計・製作は、平成 11 年度から 12 年度に行った。内装機器等については平成 12 年度から開始し、照射後試験計画に沿って、順次設置を進めている。

本設備は 3 つのセルで構成され、No.1 セルでは、燃料棒、黒鉛ブロック及びキャップセル等高照射化物試料の試験検査を、No.2 セルでは、燃料体及びキャップセル等高温照射物の受入、搬出及び上記搬入物の解体、燃料棒、黒鉛ブロック及びキャップセル等高照射化物試料の試験検査及び燃料体、燃料棒および照射物試料の一時保管を行う計画である。No.3 セルでは、低放射化物試料の試験検査、試験装置等の搬出入仮置き、点検整備、汚染除去等の準備を行う。

本設備の主要な設備は、使用済燃料等からの中性子線及びガンマ線を遮蔽するための遮蔽体、セル内の雰囲気を排気する換気空調装置、試料の取扱に用いる内装機器等である。設計は既設 HTTR 原子炉建家の取合条件を考慮するとともに施工方法を検討して実施した。

本報は、高温照射試料取扱設備の設計条件及び設計結果をこれらの主要な設備毎にまとめたものである。

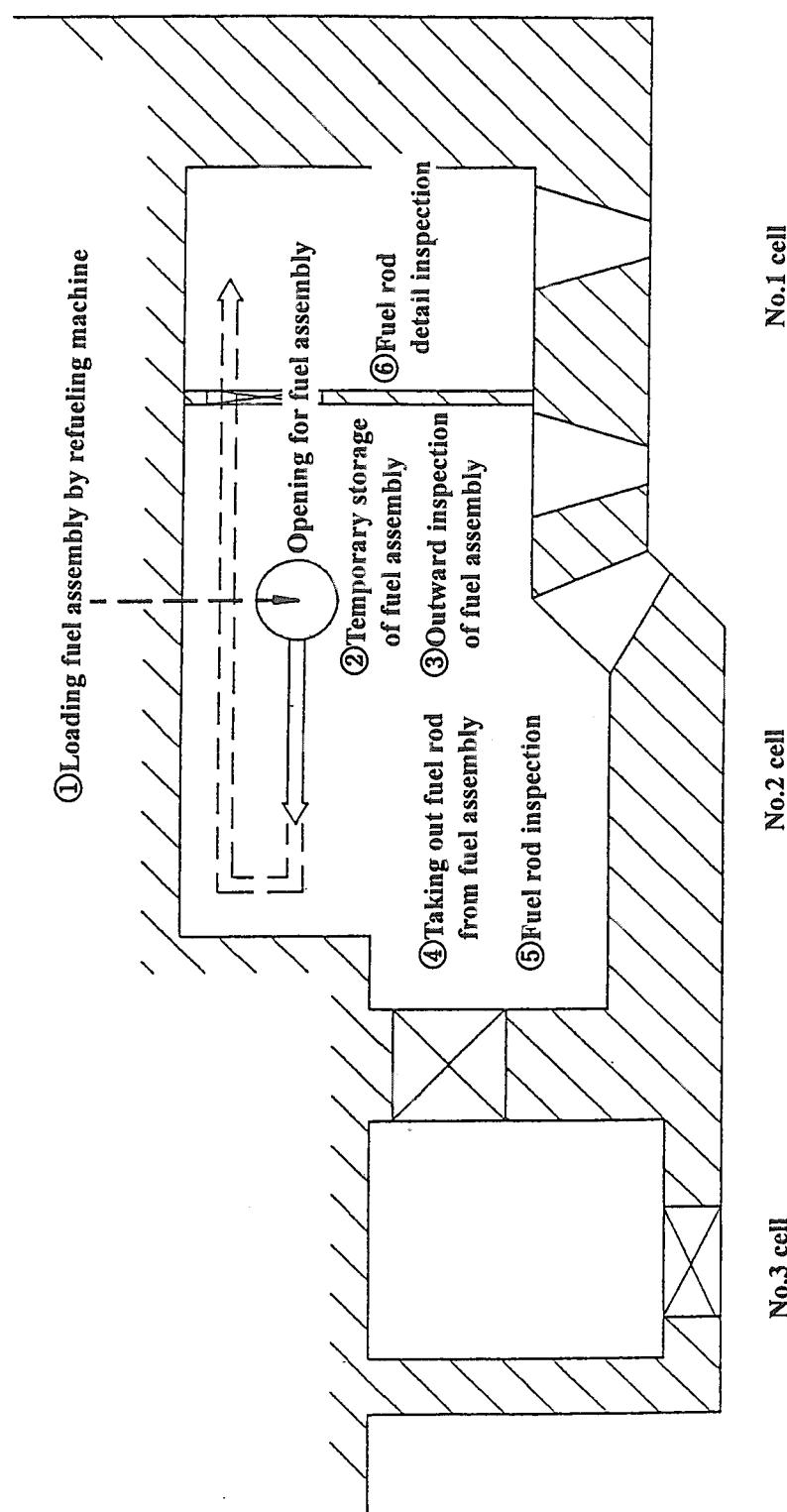


Fig. 1-1 Flow of spent fuel in the cells.

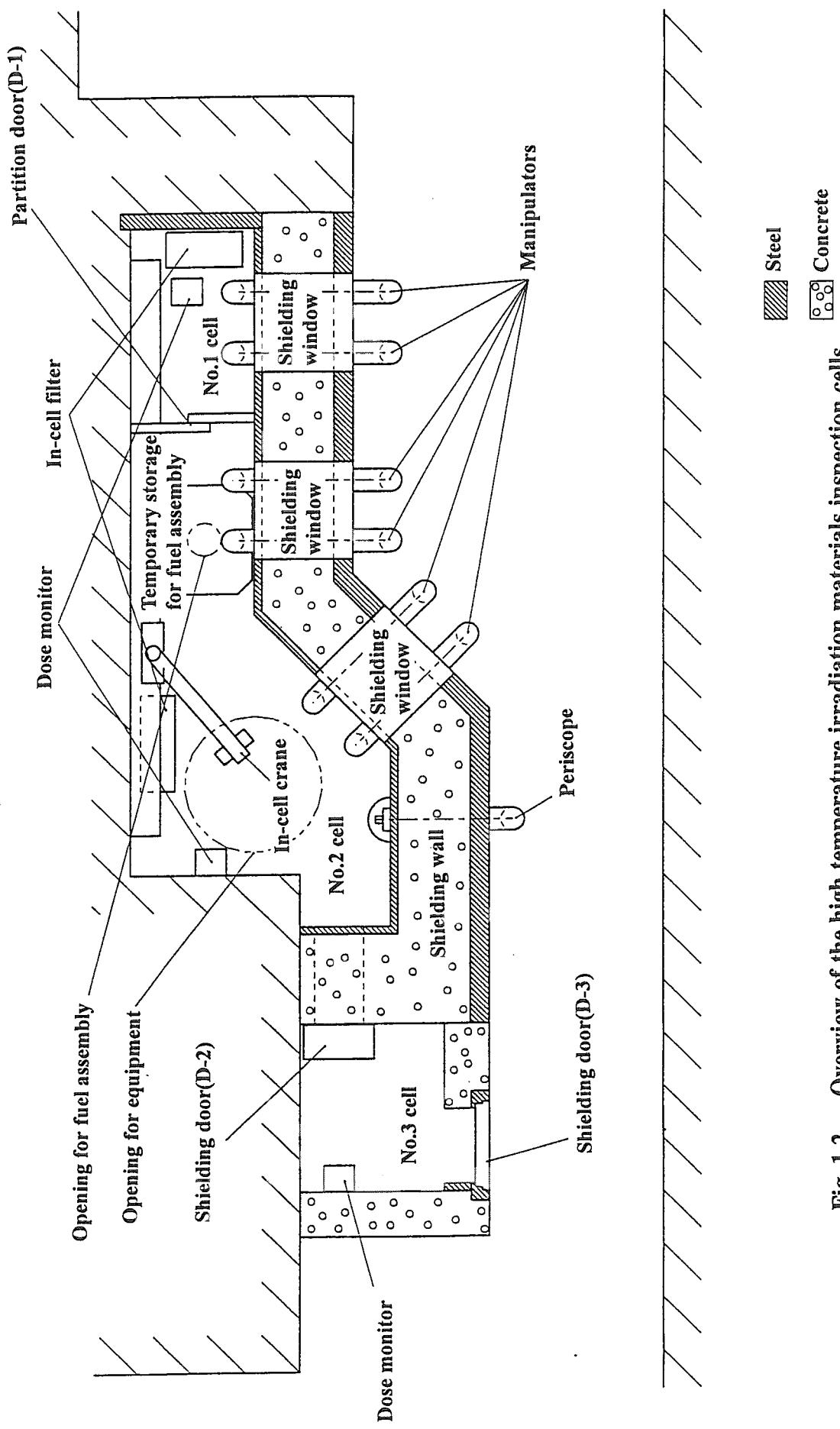


Fig. 1-2 Overview of the high temperature irradiation materials inspection cells (spent fuel inspection cells).

## 2. 設計条件

高温照射試料取扱設備は HTTR で照射を行った使用済燃料、高温照射試料等の照射後試験の一部を行うとともに、HTTR 外への試料搬出準備を行うことを目的としており、使用済を含む燃料体、燃料棒、燃料体黒鉛ブロック、可動反射体ブロック、制御棒案内ブロック、試験燃料体、ブロック照射試料、各種試験片を取扱えるよう設計する。取扱対象物は、既設 HTTR 原子炉建家の燃料取扱フロアの床にある既設の貫通孔を利用して本設備への搬出入を行えるようにするため、本設備は既設貫通孔の下の部分にある既設 HTTR 原子炉建家地下 1 階の限られたスペースに追設する。

本設備の設計は、セル内での取扱対象物の大きさ、作業内容、設置スペース、既設設備の配置等を考慮して実施する。また、本設備は既設 HTTR 原子炉建家内に追設する設備であることから資材搬入経路、搬入口の大きさ、施工方法についても考慮して設計を行う。

セル内の雰囲気は 18~40°C の空気で、-96Pa 以上の負圧管理を行う（現状-180~-230Pa で管理）。

3 つのセルでの主な作業内容は以下のとおりである。

### ① No.1 セル (K305 室)

燃料棒、黒鉛ブロック及びキャップセル等、高照射量の試料の試験検査を行う。取扱う最大の線源は、使用済燃料体 1 体 ( $3.7 \times 10^{15}$ Bq) である。

### ② No.2 セル (K306 室)

燃料体及びキャップセル等、高温照射物の受入、搬出及びこれらの搬入物の解体、燃料棒、黒鉛ブロック及びキャップセル等、高照射量の試料の試験検査及び燃料体、燃料棒および照射物試料の一時保管。取扱う最大の線源は、使用済燃料体 1 体 ( $3.7 \times 10^{15}$ Bq) である。

なお、燃料体の取扱制限は、No.1 セルと No.2 セルを合わせて 1 体である。

### ③ No.3 セル (K307 室)

低放射化物試料の試験検査、試験装置等の搬出入仮置き、点検整備、汚染除去等の準備。取扱う最大の線源は、使用済燃料棒 1 体相当の核分裂生成物ガス ( $3.7 \times 10^{10}$ Bq) とした。

高温照射試料取扱設備の主要な設備として、遮蔽体、換気空調設備、附属機器及び内

装機器がある。以下に、これらの設備の設計条件を示す。

## 2.1 遮蔽体

遮蔽体は上記の3つのセルを区画するとともに、セル内で取扱う燃料体、燃料棒、燃料体黒鉛ブロック、可動反射体ブロック、制御棒案内ブロック、試験燃料体、ブロック照射試料、各種試験片等からの放射線を遮蔽する機能を有するよう設計する。No.1 セル及び No.2 セルで取扱う最大の線源としては、最高燃焼度 (33GWd/t) で 10 日間冷却後の使用済燃料からのガンマ線及び中性子線を想定する。No. 3 セルでは燃料体は取扱わず、 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  の核分裂生成物ガスを取扱うことのできるよう遮蔽を設置する。遮蔽壁は、既設 HTTR 原子炉建家の狭いスペースに設置するため、セル内の作業スペース、セル外の作業スペース、マニプレータの引き抜き代、既設設備との干渉等を考慮するとともに放射線のストリーミングが小さくなるような構造としてセルの外側の操作室（通路）の遮蔽区分は A 区分 ( $6\mu\text{Sv/h}$  以下) とする。なお、燃料体がセル内にある場合でも、特に必要な場合にはセル内にアクセスできるよう、遮蔽機能を有する一時保管庫を設け、燃料を格納した時のセル内の線量を C 区分 ( $500\mu\text{Sv/h}$  以下) とし、極短時間のアクセスが可能なように設計する。燃料の格納は遠隔操作で実施するため一時保管庫は遠隔操作性を考慮して設計する。

No.1 セルと No.2 セルでは取扱う最大の線源が同じであるため、その間の扉は遮蔽機能を有しない仕切扉 (D-1) とする。No.2 セルと No.3 セル間及び No.3 セルと操作室（通路）間は取扱う最大線源及び遮蔽区分が異なるため、扉には遮蔽機能が要求される。No.2 セルと No.3 セル間の遮蔽扉 (D-2) 及び No.3 セルと操作室（通路）間の遮蔽扉 (D-3) の遮蔽機能は、バルクの遮蔽体と同等以上にする。遮蔽扉は遮蔽機能を有するため構造的に大きなものとなるが、遮蔽扉 (D-2) を設置する No.3 セル及び遮蔽扉 (D-3) 扉を設置する通路は非常に狭いため、遮蔽扉の構造は狭いスペースを有効に使えるような構造とする。

D-1 及び D-2 扉は操作室（通路）で開閉できるよう設計する。また、セル内の線量当量率を測定し、高線量の場合はセル内に立ち入ることができないよう D-3 扉にインターロックを設ける。

その他、遮蔽機能を有する天井のハッチ用遮蔽プラグ（2基）等のプラグについても相当するバルクの遮蔽体（コンクリート厚さ 2m）と同等以上の遮蔽機能を有するよう設計する。また、遮蔽プラグは燃料体等の高温照射試料取扱設備に使用する燃料出入機

等で取扱える構造とする。

遮蔽窓は同様に遮蔽壁と同等以上の遮蔽能力を有する鉛ガラスで製作し、No.1 セルに 1 基、No.2 セルに 2 基設ける。遮蔽窓の設置レベルは、セル内での取扱対象物の大きさ、検査架台の高さ等を考慮して設計する。

本設備は HTTR 原子炉建家地下 1 階に設置するため、耐震クラスは HTTR 原子炉建家と同じ B クラスとして設計する。また、除染の容易性、密封性の観点からセル内にラインニングを内張りする。

## 2.2 換気空調設備

換気空調設備は、排風機、給気フィルタ、排気フィルタ、ダクト等で構成し、万一燃料体の落下事故により核分裂生成物がセル内に放出されても高所放出できるよう、排風機、排気フィルタは独立 2 系統とし、排風機は非常用電源に接続する。各セル内は -96Pa 以上の負圧管理を行う（現状-180～-230Pa で管理）。また、換気風量はセル内の過度の温度上昇を防止する観点からも設定する。換気空調設備の系統を Fig. 2-1 に示す。高温照射試料取扱設備の換気空調設備は HTTR の原子炉建家 I 系排気 B 系統に区分される<sup>(3)</sup>。

原子炉建家 I 系排気 B 系統の安全上の機能条件は、事故を想定した場合核分裂生成物を排気筒から高所放出することである。本設備における最も厳しい事故は、取扱中の使用済燃料体 1 体が落下しその中の核分裂生成物の全て（ $\gamma$ 線換算量  $9.3 \times 10^9 \text{ MeV} \cdot \text{Bq}$ 、 $^{131}\text{I}$  換算量  $1.4 \times 10^9 \text{ Bq}$ ）が瞬時に放出される、燃料体落下事故である<sup>(4)</sup>。この時、地上放出を仮定すると、実効線量当量率は約  $10^{-5} \text{ Sv}$  となり、放射性物質のサービスエリア外への漏洩の代表事象である気体廃棄物処理設備破損事故の実効線量当量（約  $3.9 \times 10^{-6} \text{ Sv}$ ）を上回る。そのため、事故時においても高所放出できるよう、本排気系の排風機等は独立 2 系統とするとともに非常用電源に接続する。この時、燃料体落下事故時の実効線量当量は  $2.8 \times 10^{-7} \text{ Sv}$  以下となり、代表事象である気体廃棄物処理設備破損事故時の評価結果に十分包絡される。

排気フィルタにはプレフィルタ、HEPA フィルタ 2 個、チャコールフィルタを設ける。チャコールフィルタの効率は 95% 以上と設定し、この値を十分満足できるよう、DOP  $0.15 \mu\text{m}$  粒子に対して 99.97% 以上とする。なお、No.1 及び No.2 セル内にプレフィルタと HEPA フィルタからなるインセルフィルタを設置するが、作業性等の観点から設置しているもので、安全系としては考えておらず、核分裂生成物の除去は期待していない。また、給気フィルタはプレフィルタと HEPA フィルタで構成する。

なお、フィルタユニット、排風機及びダクトは高温ガス炉第5種管として、耐震クラスはCとして設計する。

### 2.3 附属機器及び内装機器

外部からの小物の投入はトボガン式の小物投入口により行う。また、No.1セル及びNo.2セルに搬送トレイを設けるとともに、取扱対象物等をハンドリングするためのインセルクレーン、搬送トレイ等の搬送設備を設ける。インセルクレーンはセル内の取扱対象物の重量を考慮して容量を設定するとともにNo.1、No.2セル内の全てのエリアをカバーできる構造とする。

その他、セル内照明、照明盤、セル内消火設備、電離箱検出器等を設ける他、高温ガス炉第4種管、耐震クラスBの気体廃棄物B処理系への接続配管、耐震クラスBの洗浄廃液ドレン系接続配管をセル内に設ける。

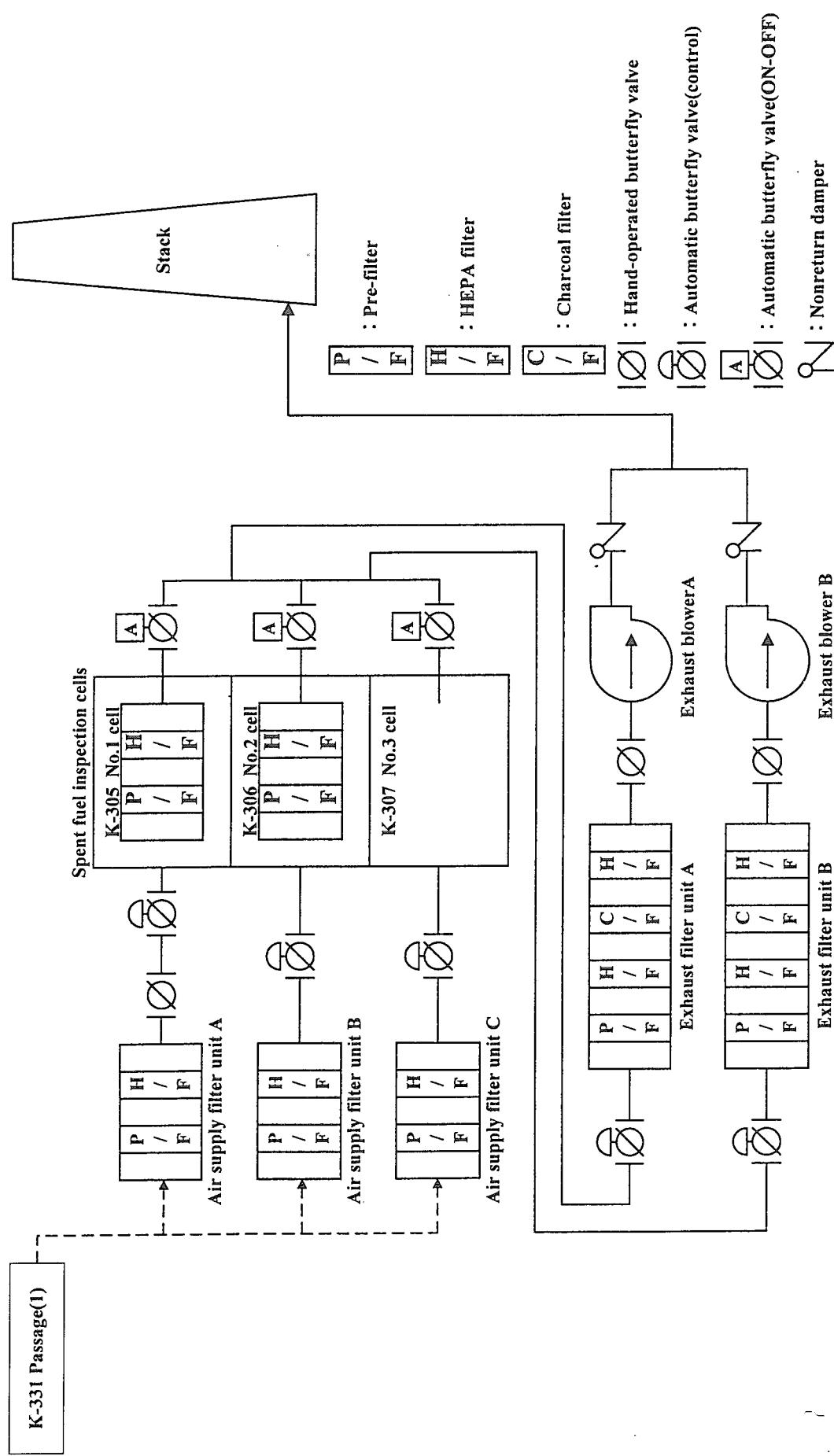


Fig.2-1 Diagram of ventilation system for spent fuel inspection cells.

### 3. 設計結果

#### 3.1 遮蔽体

高温照射試料取扱設備の主な遮蔽体は、遮蔽壁、遮蔽扉、遮蔽窓及び天井ハッチである。本節では、これらの遮蔽体の構造、遮蔽評価結果、耐震評価結果を示す。なお、その他に遮蔽機能を有するものとして、貫通孔等による部分的な遮蔽欠損を補償するための補償遮蔽体がある。

##### (1) 構造

###### ①遮蔽壁

高温照射試料取扱設備の No.1、2 セルでは、使用済燃料体を 1 体取扱うこととしている。この線源をコンクリートで遮蔽する場合、壁の厚さは約 2.2m 必要となり、セル外側の通路幅は最小部で約 0.8m となり、操作のための十分な空間を確保できなくなる。また、マニプレータ設置部分の通路幅は約 3 m となり、マニプレータメンテナンス時の引き抜き代を十分に確保できなくなる。そこで、主な線源がガンマ線であることから、遮蔽体をコンクリートと鉄で構成することとした。

狭く遮蔽壁に使用する鉄の遮蔽体は、既設 HTTR 原子炉建家の搬入口の大きさを考慮して分割構造とし、複数の鉄板を組み合わせているがストリーミングを小さくするため、鉄板を段違いに組み合わせる構造とした。鉄板の組立際には作業スペースが狭いことを考慮して工程管理を十分に行い、必要な時期に必要な量だけ鉄板を搬入して作業スペースを確保した。

遮蔽壁の構造を Fig. 3-1 に示す。No.1 及び No.2 セルの遮蔽体は、既設 HTTR 原子炉建家地下 1 階の床と天井にある既設の埋込金物に鉄骨を固定し、その鉄骨で支持された鉄板をコンクリートの型枠替わりとしてその間にコンクリートを充填する構造とした。コンクリートは、既設の配管トレーニングに仮設配管を設置して管理区域を開放状態にすることなく、HTTR 原子炉建家の外側からコンクリートポンプ車により地下 1 階へ圧送して打設を行った。

鉄板の厚さはセルの内側 (Hot 側) が 10cm、セルの外側 (Cold 側) が 25cm である。コンクリートの厚さは 95cm とし、合計 130cm とした。No.3 セルは取扱う線源が小さいため、コンクリートのみ 60cm とした。コンクリートの設計基準強度は  $24.0 \text{ N/mm}^2$ 、

気乾密度は  $2.1 \text{ t/m}^3$  以上と規定した。鉄板は JIS G 3101（一般構造用圧延鋼材）に定める SS400、鉄筋は JIS G 3112（鉄筋コンクリート用棒鋼）に定める SD345 としている。

### ②遮蔽扉

遮蔽扉のうち D-1 扉は、取扱う最大線源が全く同一である No.1 セルと No.2 セル間にあるため、遮蔽機能を有していない仕切り扉であり、気密性も不要とした。遮蔽機能を期待している扉は、No.2 セル（燃料体 1 体取扱）と No.3 セル（核分裂生成物ガス取扱）間の D-2 扉と、No.3 セルと通路（操作室）間の D-3 扉である。遮蔽扉には一般的にヒンジ式とスライド式がある。D-2 扉をヒンジ式にすると遮蔽扉が扇型に開くため広いスペースが必要となり、狭い No.3 セル内を有効に使用できなくなるため D-2 扉にはスライド式を採用した。D-3 扉についてはスライド式にすると遮蔽確保のため遮蔽扉本体を遮蔽壁の外側に設置することになり、遮蔽扉が常にセル外の通路部分に出た状態となり通路が狭くなる。ヒンジ式にした場合には遮蔽扉を閉めれば遮蔽扉と遮蔽壁を面一にすることが可能である。また、遮蔽扉を開く際には広いスペースが必要となるが  $180^\circ$  開く構造とすることで遮蔽扉開放時にも通路を広く確保することができる。したがって D-3 扉についてはヒンジ式を採用した。

D-2 扉及び D-3 扉の主要材料、寸法を Table 3-1 に、構造をそれぞれ Fig. 3-2 及び Fig. 3-3 に示す。

高温照射試料取扱設備を設置するスペースには揚重機がないため、重量物である遮蔽扉を既設 HTTR 原子炉建家地下 1 階で移動する際には仮設のホイストを設置した。

### ③遮蔽窓

高温照射試料取扱設備には、Fig. 3-1 の上図に示すように No.1 セルに 1 つ、No.2 セルに 2 つの合計 3 つの遮蔽窓があり、全て同仕様である。遮蔽窓の概略構造を Fig. 3-4 に示す。図に示すように遮蔽窓は①～⑥の 6 枚のガラスより構成する。形式は乾式合せ窓で、主要寸法は約 W800mm × L500mm（操作室側開口部）である。主要材質は鉛ガラス（カバーガラスを含む）である。それぞれのガラスの比重及び寸法を Table 3-2 に示す。

遮蔽窓の設置レベルは、セル内での取扱対象物の大きさ、将来設置する検査架台の高さ等を考慮して設計した。検査架台は高さをセル内の床面から約 1 m 程度とし、長尺のものを取扱う場合には検査架台の一部を取り外して設置できる構造とする。その検査架台の上に燃料体（高さ 580mm）を載せた場合に燃料体上面が目視できるように遮蔽窓の中心のレベルを HTTR 原子炉建家地下 1 階のフロアレベルから約 1.8m とした。なお、

通路側には、300mm 程度の踏み台を設置する。

遮蔽窓は 1 体約 8.5ton もあり、既設 HTTR 原子炉建家の搬入口にある天井クレーンでは搬入することができなかつたため、既設 HTTR 原子炉建家の搬入口に仮設のクレーンを設置し地下 1 階へ搬入した。また、地下 1 階では仮設のレールを設置して台車により移動させるとともに遮蔽窓据付用のホイスト付架台を製作して据付を実施した。

#### ④天井ハッチ

**Figure 3-5** に示すように No.2 セルの天井部分に 2 つの天井ハッチがある。天井ハッチの構造を **Fig. 3-6** に示す。天井ハッチ-1 は、機器搬出入口（有効開口 $\phi$ 1800mm）であり、天井ハッチ-2 は燃料搬出入口（有効開口 $\phi$ 540mm）である。

天井ハッチ-1 は、有効開口が大きくハッチの取り外しが困難であることから小さいものの搬出入用のために内側に小プラグ（有効開口 $\phi$ 565mm）を有する二重プラグ構造とした。なお、小プラグの大きさは、床上ドアバルブ（3）及び将来設備として製作が計画されているプラグ取扱機の取合条件を考慮して設定した。

天井ハッチ-2 は、有効開口が $\phi$ 540mm であり燃料体の通過には支障がないが、この開口に合わせたハッチにした場合、燃料出入機や燃料交換機で引き抜くことができなくなるため、天井ハッチ-1 と同様に内側に小プラグ（有効開口 $\phi$ 435mm）を有する二重構造とした。なお、天井ハッチ-2 の小プラグの大きさは燃料出入機、燃料交換機両方の取合条件を考慮して設定した。

#### （2）遮蔽評価結果

高温照射試料取扱設備の遮蔽体は、設計条件で決めた核燃料物質の最大取扱量に対して、遮蔽区分を満足するよう設計を行った。評価に用いた線源強度は、ORIGEN コードで計算した。No.1 セル及び No.2 セルで取扱う燃料体 1 体の最高燃焼度は 35GWd/t、冷却期間は 10 日と仮定した。この時のエネルギー別の線源強度を **Table 3-3** に示す。また、No.3 セルで取扱う放射性ガスの線源強度を **Table 3-4** に示す。

遮蔽計算は、 $\gamma$ 線については点減衰コード QAD を、中性子及び 2 次 $\gamma$ 線については二次元輸送コード DOT3.5 を用いて行った。

#### ①遮蔽壁

結果を **Table 3-5** 及び **Fig. 3-7** に示す。線量当量率が最大となるのは No.1 及び No.2 セルの外側で、約  $2.4\mu\text{Sv}/\text{h}$  となる。その他の設備からの寄与を考慮しても、加算線量当量率で  $6\mu\text{Sv}/\text{h}$  を下回る。その他、No.1 セルの側面は約  $1.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、No.3 セルの正面で

約  $1.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、側面で約  $2.0\mu\text{Sv}/\text{h}$ （新燃料貯蔵セルの影響を受ける）となり、最大値である約  $2.4\mu\text{Sv}/\text{h}$  を下回る。

#### ②遮蔽扉

遮蔽扉（D-2）については、No.2 セルの使用済燃料体からの放射線が遮蔽扉及び No.3 セル壁を透過する経路及び No.3 セルの核分裂生成物ガスによる放射線が No.3 セル壁を透過する経路の合計で評価した。遮蔽扉（D-3）については、No.2 セルの使用済燃料体からの放射線が No.2 セル壁を透過して遮蔽扉（D-3）を透過する経路及び No.3 セルの核分裂生成物ガスによる放射線が遮蔽（D-3）を透過する経路の合計で評価した。

評価結果を Table 3-6 に示す。評価点における線量当量率は遮蔽扉（D-2）で  $2.0\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、遮蔽扉（D-3）で  $1.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  とバルク部（躯体）よりも小さく、基準値である  $6\mu\text{Sv}/\text{h}$  以下で問題ないことを確認した。

#### ③遮蔽窓

評価結果を Table 3-7 に示す。評価点におけるガンマ線と中性子線の合計線量当量率は  $1.6\mu\text{Sv}/\text{h}$  であり、評価基準値の  $6\mu\text{Sv}/\text{h}$  以下であることから遮蔽窓の遮蔽性能に問題のないことを確認した。

#### ④天井ハッチ

評価するパスを Fig. 3-8 に示す。天井ハッチ-1 は二重構造であるが、遮蔽能力が小さい外側（安全側）のハッチに対して行った。また、天井ハッチ-2 も天井ハッチ-1 と同様に二重構造であることから、評価は遮蔽能力が小さい内側（安全側）のハッチに対して行った。

線量当量率を Table 3-8 に示す。合計値は天井ハッチ-1 で  $0.4\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、天井ハッチ-2 で  $0.9\mu\text{Sv}/\text{h}$  であり、評価基準値以下であることを確認した。

### (3) 耐震計算結果

#### ①遮蔽壁

遮蔽壁の設計荷重のうち、自重は 424ton であり、その内訳は鉄板、機器等重量 254ton、コンクリート重量 170ton である。遮蔽壁の鉄板は既設 HTTR 原子炉建家地下 1 階の床と天井の埋込金物に固定された鉄骨に支持されるとともに鉄板の上端と下端も地下 1 階の天井と床の埋込金物に固定されている。

ここで、遮蔽扉重量（D-2 : 0.8ton、D-3 : 0.4ton）及び遮蔽窓重量（ $8.5\text{ton} \times 3$ ）は、結果が保守的になる（荷重が大きくなる）よう、機器等重量に含めている。なお、本遮

蔽壁が設置される地下 1 階の建家重量は約 15000ton であり、本遮蔽壁の重量はその 3% 以下である。したがって本遮蔽壁が建家に与える影響は小さい。

遮蔽壁自身の耐震計算では、有限要素法解析コード NASTRAN を用いた。解析モデル及び評価部位を Fig. 3-9 に示す。遮蔽壁は、原子炉建家地下 1 階の床面に設置されるが、地下 1 階の天井に接続する。そこで、地震力は安全側の評価結果となるように、HTTR 原子炉建家の解析により得られた HTTR 原子炉建家 1 階の値の 1.2 倍を用いた。固有值解析の結果、遮蔽壁の固有振動数は 24Hz であり、設計用床応答スペクトルの卓越する領域よりも高い固有振動数であることから、剛構造と見なして評価を行った。結果を Table 3-9 に示す。発生応力は許容応力に対して十分小さいことを確認した。

### ②遮蔽扉

評価に用いた地震力は、建家の解析より得られた当該遮蔽扉を支持している遮蔽壁と同じ地震力とした。固有值解析の結果、遮蔽扉の固有振動数は、D-2 扉が 158Hz、D-3 扉が 78.5Hz であり、どちらも 20Hz 以上でかつ、設計用床応答スペクトルの卓越する領域よりも高い固有振動数であることから、剛構造として評価を実施した。遮蔽扉は耐震上、機器として評価を実施できるので、遮蔽壁と同様に既設 HTTR 原子炉建家の解析により得られた 1 階の地震力を 1.2 倍して使用した。評価点を Fig. 3-10 及び 3-11 に、評価結果を Table 3-10 及び 3-11 に示す。各部の発生応力は許容応力に対して十分に小さく、安全上問題ないことを確認した。

### ③遮蔽窓

遮蔽窓本体については、遮蔽壁に溶接して埋め込む構造であり、遮蔽壁の耐震性を確認することにより、安全上問題ないことを確認できる。

## 3.2 換気空調設備

高温照射試料取扱設備は、放射性物質の漏洩を防止するため No.1～No.3 セルの内部を周囲の管理区域に対して -96Pa 以上に維持する設計とした(現状 -180～-230Pa で管理)。本設備への給気は、セルが設置されている地下 1 階から給気フィルタを通して行う。また、排気は地下 2 階に設置した排気フィルタユニットによりろ過した後に原子炉建家 I 系排気 A 系統に合流させて排気筒から排出する構造とした。なお、万一の排風機が故障した場合には予備の排風機が自動的に起動し、セル内の負圧を維持できるようロジックを構成した。さらに、商用電源喪失時には非常用電源設備から排風機に電源を供給する。

### (1) 容量設計

フィルタユニット及び排風機の容量は、主に以下の観点から定めた。

- ① 機器保護の観点から、発熱量を考慮して、セル内の温度を 40°C に保つ
- ② セルの容積を考慮して、換気回数（10~20 回/h 程度）<sup>(5)</sup> を満足する

①では、今後設置する予定の内装機器及び照明の発熱量（約 7000 kcal/h）に基づき、必要容量 35m<sup>3</sup>/min を算出した。発熱量の内訳の概算を Table 3-12 に示す。排気温度は、以下の式によって求められる。

$$\text{排気温度} = \frac{\text{発熱量}}{(\text{比熱}) \times (\text{密度}) \times (\text{容量})} + (\text{給気温度}) \quad (1)$$

容量が 35m<sup>3</sup>/min の時、上記発熱量を基に計算を行う（比熱（0.24cal/g·deg）、密度（1.2kg/cm<sup>3</sup>）、給気温度（26°C））と、約 37°C の排気温度となる。高温照射試料取扱設備への給気は、HTTR 原子炉建家外部の空気を空調機により温度 25°C に調整して行うこととしている。ここでは、裕度として 1°C を加えて給気温度を 26°C とした。

②については、セルの容積（約 120 m<sup>3</sup>）から約 20m<sup>3</sup>/h あれば十分であり、①の条件に包絡される。

### (2) 耐震設計

排気 B 系統排気フィルタユニット及び排気 B 系統排風機の耐震計算は、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）に従って行った。

フィルタユニット機器及び排風機（横型ポンプ）は、構造的に大きなブロック状で重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ下面が基礎ボルトに固定されている。基礎ボルトの応力は、引張力とせん断力について評価した。その結果、算出応力は、許容応力に比べて十分小さく、排気 B 系統排気フィルタユニット及び排気 B 系統排風機は、耐震クラス B 相当の設計となっている。

なお、原子炉建家 I 系換気空調装置の排気 B 系統フィルタユニット及び排風機を設置する HTTR 建家地下 2 階（EL22.7m）の水平震度は以下の式によって求められる。

$$K = \alpha \times 0.1 \times n \times \left(1 - \frac{H}{40}\right) \times Z \quad (2)$$

ここで、 K：水平震度

n：重要度に応じた係数（B クラスは 1.5）

H：地下部分の各部分の基準レベル（TP+36.5）からの深さで、20 を超えるときは 20 とする。（単位：m）

Z：地震地域係数（1.0）

a：建家側方地盤の影響を考慮した水平地下震度の補正係数（2.0）

である。

### 3.3 その他主要な機器

本節では、既に述べた遮蔽壁、換気空調設備以外の主要な機器について簡単に述べる。なお、燃料体の取扱等のために必要な内装機器類は、その都度順次整備していく予定である。

#### (1) ライニング

内部にステンレス製のライニングを施し、汚染の拡大の防止を図る。厚さは 4mm である。No. 1 及び No. 2 セルは全面に、No. 3 セルは上部を除いて設置する。形式は壁との一体構造式とし、設計温度は 40℃、材質は SUS304 である。ライニング溶接部は、除染性を考慮して表面仕上げをバフ#200 以上としている。

#### (2) マニプレータ

マニプレータは各遮蔽窓に 2 本、合計 6 本設置できるよう貫通孔を設けている。各遮蔽窓に 2 本設置するマニプレータのうち 1 本は、セル床面及びセル内に設置する検査架台上面を操作範囲とし、もう 1 本はセル内に設置する架台上面より上のレベルを操作範囲とすることとしている。マニプレータの貫通孔の設置レベルは遮蔽窓の高さ、マニプレータの構造、セル内操作範囲等を考慮して HTTR 原子炉建家地下 1 階のフロアレベルから約 3.1m とした。

#### (3) セル内搬送装置

取扱対象物等をハンドリングするためのインセルクレーンを設けている。セル内では一時保管庫の蓋（約 600kg）、その他の機器の移動が可能なように定格荷重約 1.5t とした。揚程は約 2.85m である。

セル内は **Figure 1-2** に示したように No.2 セルの一部が広くなっている。したがって

通常の天井走行式のクレーンでは No.2 セルの広い部分にアクセサルすることが出来なくなる。セル内のすべてのエリアにアクセスするためクレーンはジブクレーン方式としてクレーンのアームの旋回によりすべてのエリアにアクセスできる構造とした。さらにインセルクレーンには、セル内の機器との干渉を防止するためのインターロックを設けている。

また、No.1 セル及び No.2 セルに搬送トレイを設けており、セル内での燃料棒、小物等の移動が可能である。

#### (4) 一時保管庫

**Figure 3-5** に示したように、燃料搬出入口の真下に一時保管庫を設置している。セル内に使用済燃料体 1 体を保管できる一時保管庫を設けている。本保管庫は、セル内で使用済燃料体 1 体を取扱っている際に人が入る必要が生じた場合に、使用済燃料体を待避させるためのものであり、その中に使用済燃料体 1 体を収納して蓋をした時に一時保管庫周辺の線量当量率が  $500\mu\text{Sv}/\text{h}$  となる厚さの遮蔽体を有する。これは、セル内に短時間アクセスできること条件として遮蔽区分を C 区分 ( $500\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) としたものである。

一時保管庫の構造を **Fig. 3-12** に示す。一時保管庫内にはバスケットを設置して蓋とワイヤーで接続し、一時保管庫の蓋を開けた場合にバスケットも蓋と一緒に取り出せる構造としている。

取扱燃料の発熱量は、1 体当たり  $400\sim500\text{W}$  (10 日冷却後) である。崩壊熱除去機能としては、保管庫の健全性が保てるここと及び周囲のセル内のコンクリート温度が  $65^\circ\text{C}$  を超えないこととする。

#### (5) 密封容器

使用済燃料は、燃料交換機又は燃料出入機で本設備に搬入する。この際、最高燃焼度 ( $33\text{GWd/t}$ ) で冷却期間 4 ヶ月未満の燃料体が万一落下して内蔵する核分裂生成物が全て放出されると、2.2 節で述べたように、安全評価における包絡性が逆転する。そのため、冷却期間 4 ヶ月未満の燃料体を取扱う必要がある場合は、万一の落下時に外部への核分裂生成物放出を抑制する密封容器（空間）を設けることとしている。現在は、この空間（容器）は設置していないが、設置する場合は **Fig. 3-13** に示すような構造を想定している。

### (6) 照明設備

セル内照明は、Na ランプ+水銀ランプ式で、No.1 セル内に Na ランプ 3 台、水銀ランプ 3 台、No.2 セル内に Na ランプ 7 台、水銀ランプ 7 台設けている。No.3 セル内には、蛍光灯を 2 台設けている。

セル内の平均照度は、遮蔽窓の光の減衰及び照明器具の保守率を考慮して、遮蔽窓透過後の平均照度が JIS Z 9110 の設計室、製図室の照度基準である 750 lx 以上になるように設定した。セル内の平均照度は以下の式によって求められる。

$$\text{セル内平均照度} = \frac{\text{遮蔽窓透過後の平均照度}}{(\text{遮蔽窓の透過率}) \times (\text{照明器具の保守率})}$$

遮蔽窓透過後の平均照度 750 lx、遮蔽窓の透過率 0.24、照明器具の保守率 0.7 とするとセル内の平均照度は約 4464 lx となる。

### (7) インセルフィルタ

No.1 及び No.2 セル内には、HEPA フィルタを有するインセルフィルタを設けている。なお、No.3 セル内では当面放射性物質を使用する計画はないため、インセルフィルタは設けていない。

### (8) 電離箱モニタ

電離箱モニタを各セルに 1 台づつ、計 3 台設けている。測定範囲は  $10^{-2} \sim 10^5 \text{ mSv/h}$  程度である。本測定値が  $500 \mu\text{Sv/h}$  を超えている場合、セル内に立ち入ることができないよう、遮蔽扉 D-2 及び D-3 が開かないようなインターロックを設けている。

### (9) 消火設備

セル内消火設備は、二酸化炭素によるもので、手動起動式である。また、セル内には熱検出器を設置している。

防火対象物として、燃料 ( $\text{UO}_2$ )、黒鉛、有機溶剤 (アルコール、アセトン等)、油、ウエス、ケーブル等を想定している。火災時にはセル内消火設備を手動で起動すると、セルへの給気は自動停止する。この時、セル内の負圧を維持するために排気は継続する。また、二酸化炭素の噴出量は、セル内の負圧を維持するために排気量を上回らずに、消防に必要な濃度を確保できるよう設定している。

#### (10) 運転監視盤

表示の種類としては、扉の開閉情報(インターロック)及びモニタリング表示がある。

#### (11) 気体廃棄物処理

セル内で高放射性気体廃棄物が発生する場合、これを既設の気体廃棄物処理設備の減衰タンクに移送できるよう、No.2 セル内に高放射性気体廃棄物接続配管を設けている。本配管は、第 4 種管として設計施工しており、既設の気体廃棄物 B 処理系へ接続している。

#### (12) 液体廃棄物処理

セル内で発生した液体廃棄物は、既設の液体廃棄物処理設備機器 ドレン配管により洗浄廃液ドレン系廃液槽に移送される。セル内には、既設の液体廃棄物処理設備機器 ドレン配管に接続するための配管が No.1 及び No.2 セル内に各 1 本、No.3 セル内に 2 本の計 4 本設置している。

#### (13) その他

遮蔽壁の No.2 遮蔽窓に、ペリスcope用の貫通孔を 1 つ設けている。現在ペリスcopeは未設置であるが、必要に応じて設置する予定である。また、トボガン式の小物投入孔を No.2 セルに 1 基設置している。

本設計に基づき、製作した高温照射試料取扱設備を Fig.3-14、Fig.3-15、換気空調設備を Fig.3-16 に示す。

Table 3-1 Major specifications of shielding doors.

Name	Major materials	Major sizes	
		Opening w×h (mm)	Minimum door thickness (mm)
Shielding door	D-2	SS400	650×1800
	D-3	SS400	1000×2000

Table 3-2 Design of glasses of shielding window.

Glass No.	Glass specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Sizes w×h×t (mm)
①	2.4	1300×1000×25
②	2.4	1120×900×260
③	2.4	975×650×265
④	4.1	800×530×350
⑤	5.1	800×500×350
⑥	2.4	910×580×8

Table 3-3 Neutron and gamma-ray intensities of a spent fuel.

Neutron		Gamma-ray	
Energy range (MeV)	Number of source neutrons (n/s)	Energy range (MeV)	Number of source gamma-rays (photon/s)
5.8×10 <sup>-4</sup> ~3.4×10 <sup>-3</sup>	3.7×10 <sup>2</sup>	0.00~0.15	6.5×10 <sup>15</sup>
3.4×10 <sup>-3</sup> ~0.11	7.3×10 <sup>4</sup>	0.15~0.30	6.5×10 <sup>14</sup>
0.11~0.55	6.0×10 <sup>5</sup>	0.30~0.45	5.3×10 <sup>14</sup>
0.55~1.1	8.9×10 <sup>5</sup>	0.46~0.70	1.6×10 <sup>15</sup>
1.1~1.8	9.9×10 <sup>5</sup>	0.7~1.0	2.2×10 <sup>13</sup>
1.8~2.4	5.6×10 <sup>5</sup>	1.0~1.5	1.5×10 <sup>14</sup>
2.4~2.5	1.0×10 <sup>5</sup>	1.5~2.0	6.2×10 <sup>14</sup>
2.5~3.0	4.4×10 <sup>5</sup>	2.0~2.5	3.5×10 <sup>13</sup>
3.0~4.1	5.6×10 <sup>5</sup>	2.5~3.0	2.3×10 <sup>13</sup>
4.1~5.0	2.8×10 <sup>5</sup>	3.0~4.0	2.0×10 <sup>11</sup>
5.0~6.4	2.2×10 <sup>5</sup>	4.0~6.0	2.0×10 <sup>5</sup>
6.4~8.2	1.1×10 <sup>5</sup>	6.0~8.0	2.3×10 <sup>4</sup>
8.2~10	3.6×10 <sup>4</sup>	8.0~14.0	2.6×10 <sup>3</sup>
10~12.2	1.3×10 <sup>4</sup>		
12.2~14.9	3.4×10 <sup>3</sup>		

Table 3-4 Gamma-ray intensities of a fission gases treated in No.3 cell.

Energy range (MeV)	Number of source gamma-rays (photon/s)
0.00~0.10	8.2×10 <sup>9</sup>
0.10~0.15	0.0
0.15~0.225	1.0×10 <sup>9</sup>
0.225~0.45	1.3×10 <sup>10</sup>
0.45~0.70	1.3×10 <sup>9</sup>
0.7~1.0	2.9×10 <sup>8</sup>
1.0~1.5	1.2×10 <sup>6</sup>
1.5~2.0	7.7×10 <sup>2</sup>

Table 3-5 Calculated dose for shielding wall.

Evaluated point (Fig. 3-7)	Dose rate ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
B-1	1.2
B-2	2.4
B-3	4.0
B-4	1.1
B-5	3.6

Table 3-6 Calculated dose for shielding doors.

Radiation source	Dose rate ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	
	Shielding door (D-2)	Shielding door (D-3)
Gamma-ray	1.8	1.4
Neutron*	0.2	0.1
Total	2.0	1.5
Dose rate limit	6	6

\* : Secondary gamma-ray is infinitesimal.

Table 3-7 Calculated dose for shielding windows.

Radiation source	Dose rate ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
Gamma-ray	1.3
Neutron*	0.3
Total	1.6
Dose rate limit	6

\* : Contain secondary gamma-ray( $<0.01\mu\text{Sv}/\text{h}$ )

Table 3-8 Calculated dose for shielding plugs.

Radiation Source	Dose rate ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	
	Opening for equipment	Opening for fuel assembly
Gamma-ray	0.3	0.8
Neutron*	$<0.1$	$<0.1$
Total	0.4	0.9
Dose rate limit	6	6

\* : Secondary gamma-ray is infinitesimal.

Table 3-9 Stress calculation results of shielding wall

		Primary general membrane stress						Tensile stress			Shearing stress	
Evaluated point	Allowable stress condition	Stress	Allowable stress	Stress	Allowable stress	Stress	Allowable stress	Stress	Allowable stress	Stress	Allowable stress	
	Deadweight + Pressure + Seismic force	$S_0$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Deadweight + Pressure + Seismic force	Min(Sy, 0.6Su)	Deadweight + Pressure + Seismic force	Sy	Deadweight + Pressure + Seismic force	0.45Sy	Deadweight + Pressure + Seismic force	0.45Sy	Deadweight + Pressure + Seismic force	0.45Sy	0.45Sy $\sqrt{3}$	
I	Design condition	6	100	—	—	—	—	—	—	—	—	
I	B <sub>A</sub> S	7	215	15	215	—	—	—	—	—	—	
II	Design condition	1	100	—	—	—	—	—	—	—	—	
II	B <sub>A</sub> S	3	215	4	215	—	—	—	—	—	—	
III	B <sub>A</sub> S	—	—	—	—	33	96	41	55	—	—	

B<sub>A</sub>S : Allowable stress condition of seismic classification BS<sub>0</sub> : Allowable tensile stress

Sy : Yield point

Su : Tensile strength

Table3-10 Stress calculation results of D-2 shielding door

Evaluated point	Load condition	Allowable stress (N/mm <sup>2</sup> ) {kg/cm <sup>2</sup> }				Stress (N/mm <sup>2</sup> ) {kg/cm <sup>2</sup> }				$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$			
		Compression fc fb	Bending ft	Tension fs	Shearing fs	Compression $\sigma_c$	Bending $\sigma_b$	Tension $\sigma_t$	Shearing $\tau$	$\frac{\sigma_c}{fc}$	$\frac{\sigma_b}{fb}$	$\frac{\sigma_t}{ft}$	$\frac{\tau}{fs}$
Rail	Long time loading	156 {1600}	156 {1600}	90 {923}	—	6.8 {69.0}	—	3.4 {[34.3]}	—	0.05	—	0.04	—
	Short time loading	235 {2400}	235 {2400}	135 {1384}	—	17.1 {173.7}	—	3.4 {[34.7]}	—	0.08	—	0.03	0.08
Rail support bolt	Long time loading	434 {4433}	434 {4433}	250 {2559}	—	—	29.1 {295.9}	—	—	—	0.07	—	—
	Short time loading	651 {6649}	651 {6649}	375 {3838}	—	—	55.6 {566.3}	4.4 {[44.7]}	—	—	0.09	0.02	0.03
Bracket	Long time loading	156 {1600}	156 {1600}	90 {923}	—	10.9 {110.6}	—	5.5 {[55.3]}	—	0.07	—	0.07	0.10
	Short time loading	235 {2400}	235 {2400}	135 {1384}	—	15.8 {160.5}	0.9 {[8.4]}	5.5 {[55.3]}	—	0.07	0.01	0.05	0.08
Bracket Support bolt	Long time loading	156 {1600}	156 {1600}	90 {923}	—	—	52.2 {[531.7]}	29.1 {[295.9]}	—	—	0.22	0.33	0.33
	Short time loading	235 {2400}	235 {2400}	135 {1384}	—	—	52.2 {[531.7]}	29.1 {[295.1]}	—	—	0.23	0.22	0.22
Guide roller shaft ①	Short time loading	214 {2199}	214 {2199}	123 {1269}	—	34.7 {[353.1]}	—	6.1 {[61.5]}	—	0.17	—	0.05	0.17
Guide roller shaft ②	Short time loading	214 {2199}	214 {2199}	123 {1269}	—	—	—	9.5 {[95.1]}	—	—	—	0.08	0.08
Guide roller shaft ③	Short time loading	214 {2199}	214 {2199}	123 {1269}	—	118.8 {[1211.3]}	—	8.4 {[85.5]}	—	0.56	—	0.07	0.56
Guide roller shaft ④	Short time loading	214 {2199}	214 {2199}	123 {1269}	—	—	—	13.1 {[133.3]}	—	—	—	0.11	0.11
Lock pin	Short time loading	137 {1400}	137 {1400}	79 {808}	—	—	—	22.5 {[228.6]}	—	—	—	0.29	0.29
Lock pin block support bolt	Short time loading	651 {6649}	651 {6649}	375 {3838}	—	—	—	176.6 {[1800]}	—	—	—	0.48	0.47

Table 3-11 Stress calculation result of D-3 shielding door.

Evaluated point	Load condition	Allowable stress (N/mm <sup>2</sup> ) (kg/cm <sup>2</sup> )			Stress (N/mm <sup>2</sup> ) (kg/cm <sup>2</sup> )			$\frac{\sigma_c}{f_c}$	$\frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\sigma_t}{f_s}$	$\frac{\tau}{f_\tau}$	$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$
		Compression fc	Bending fb	Tension ft	Shearing fs	Compression $\sigma_c$	Bending $\sigma_b$	Tension $\sigma_t$	Shearing $\tau$			
Hinge	Long time loading	143 {1466}	143 {1466}	82 {846}	1.3 {12.3}	34 {346.3}	—	3.8 {38.0}	0.01	0.24	—	0.05
	Short time loading	214 {2199}	214 {2199}	123 {1269}	1.3 {12.3}	38.6 {393.0}	—	3.8 {38.2}	0.01	0.19	—	0.26
Upper hinge pin	Long time loading	228 {2333}	228 {2333}	132 {1347}	—	16.6 {168.7}	—	2.9 {29.3}	—	0.08	—	0.19
	Short time loading	342 {3499}	342 {3499}	198 {2020}	—	25.8 {262.6}	—	4.5 {45.6}	—	0.08	—	0.20
Lower hinge pin	Long time loading	228 {2333}	228 {2333}	132 {1347}	16.1 {163.3}	16.6 {168.7}	—	2.9 {29.3}	0.08 {0.08}	0.08	—	0.08
	Short time loading	342 {3499}	342 {3499}	198 {2020}	16.1 {163.3}	25.8 {262.6}	—	4.5 {45.6}	0.05 {0.05}	0.08	—	0.06
Hinge support bolt	Long time loading	434 {4433}	434 {4433}	250 {2559}	—	—	32.0 {325.8}	74.6 {760.2}	—	—	0.08	0.30
	Short time loading	651 {6649}	651 {6649}	375 {3838}	—	—	34.5 {351.5}	75.4 {768.6}	—	—	0.06	0.21
Lock pin	Short time loading	205 {2100}	205 {2100}	118 {1212}	—	—	36.9 {376.7}	74.6 {760.2}	—	—	0.06	0.20
	Short time support bolt loading	651 {6649}	651 {6649}	375 {3838}	—	—	45.1 {459.4}	6.0 {60.4}	—	—	0.07	—

Table 3-12 Heat sources in the hot cells.

Heat source	Calorific power (kcal/h)
Lighting equipment	300
Fuel assembly	1000
Crane	260
Manipulator	50
Fuel assembly disassembling machine	200
Fluoroscopic apparatus	3000
Etc.(Various experimental apparatus)	1800
Total	6610
Calorific power for designing the hot cells	7000

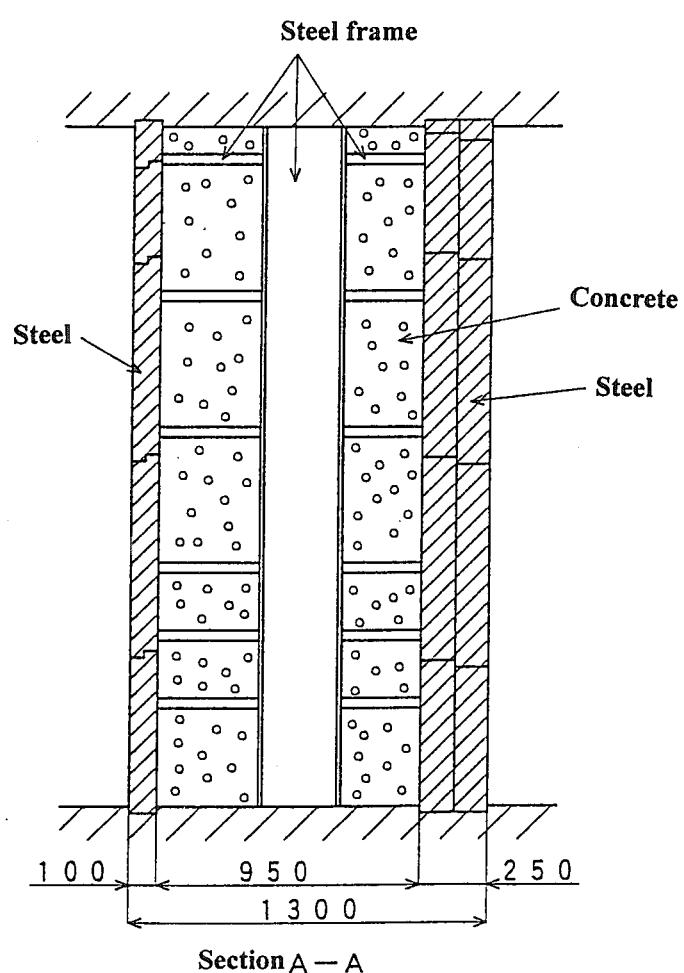
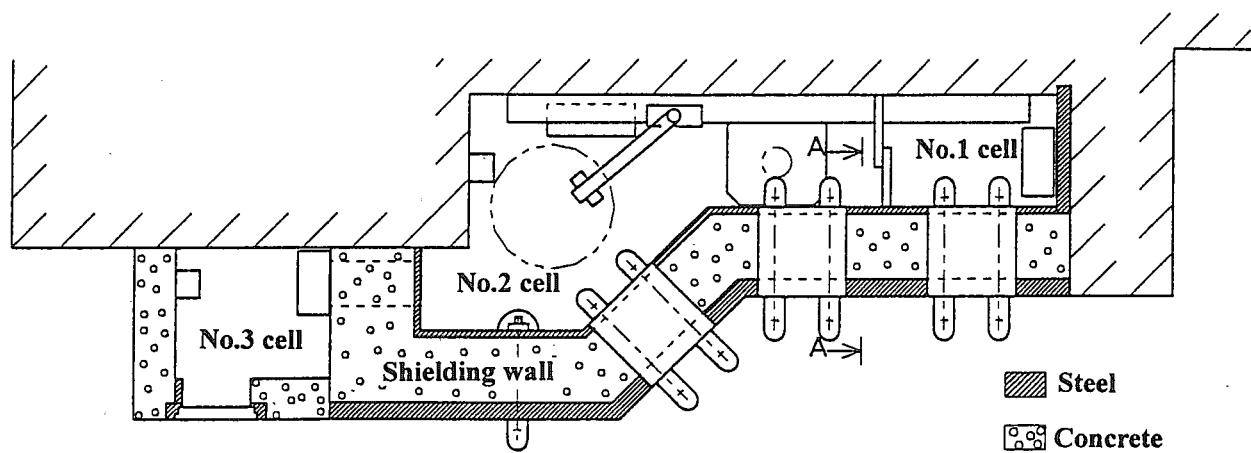
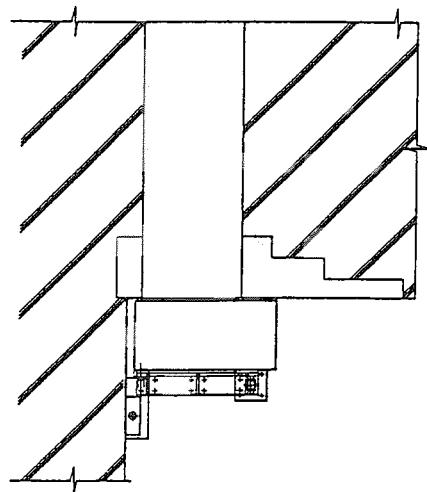
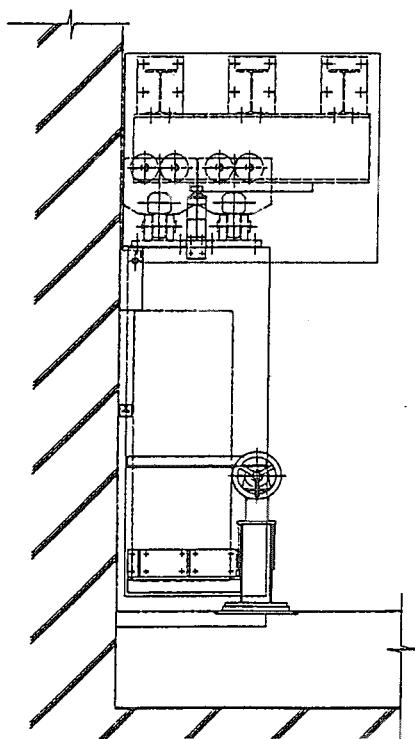


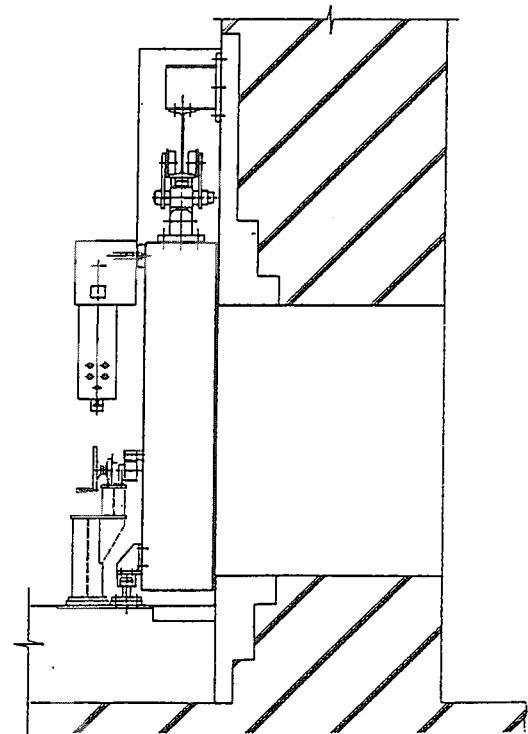
Fig. 3-1 Structure of shielding wall.



Plane cross section

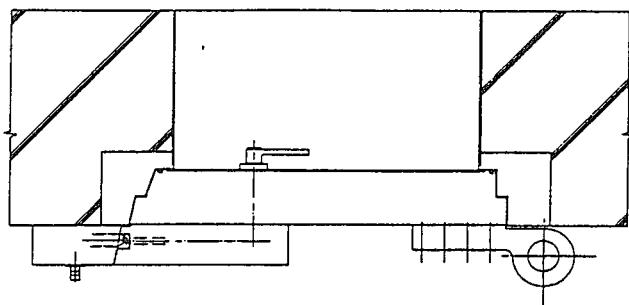


Front view

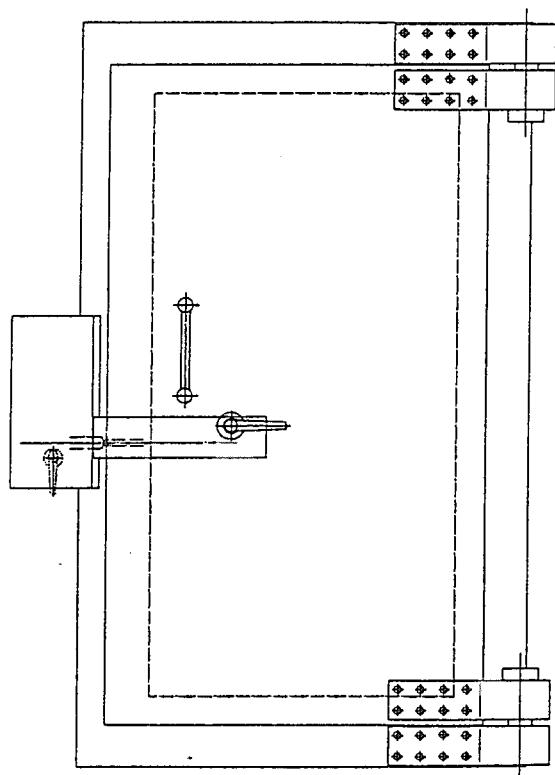


Elevation cross section

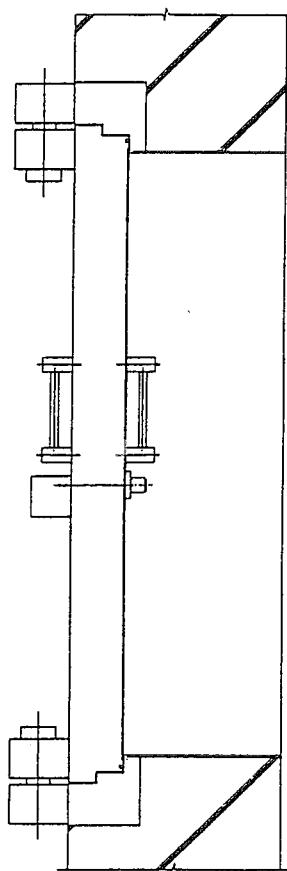
Fig. 3-2 Structure of D-2 shielding door.



Plane cross section



Front view



Elevation cross section

Fig. 3-3 Structure of D-3 shielding door.

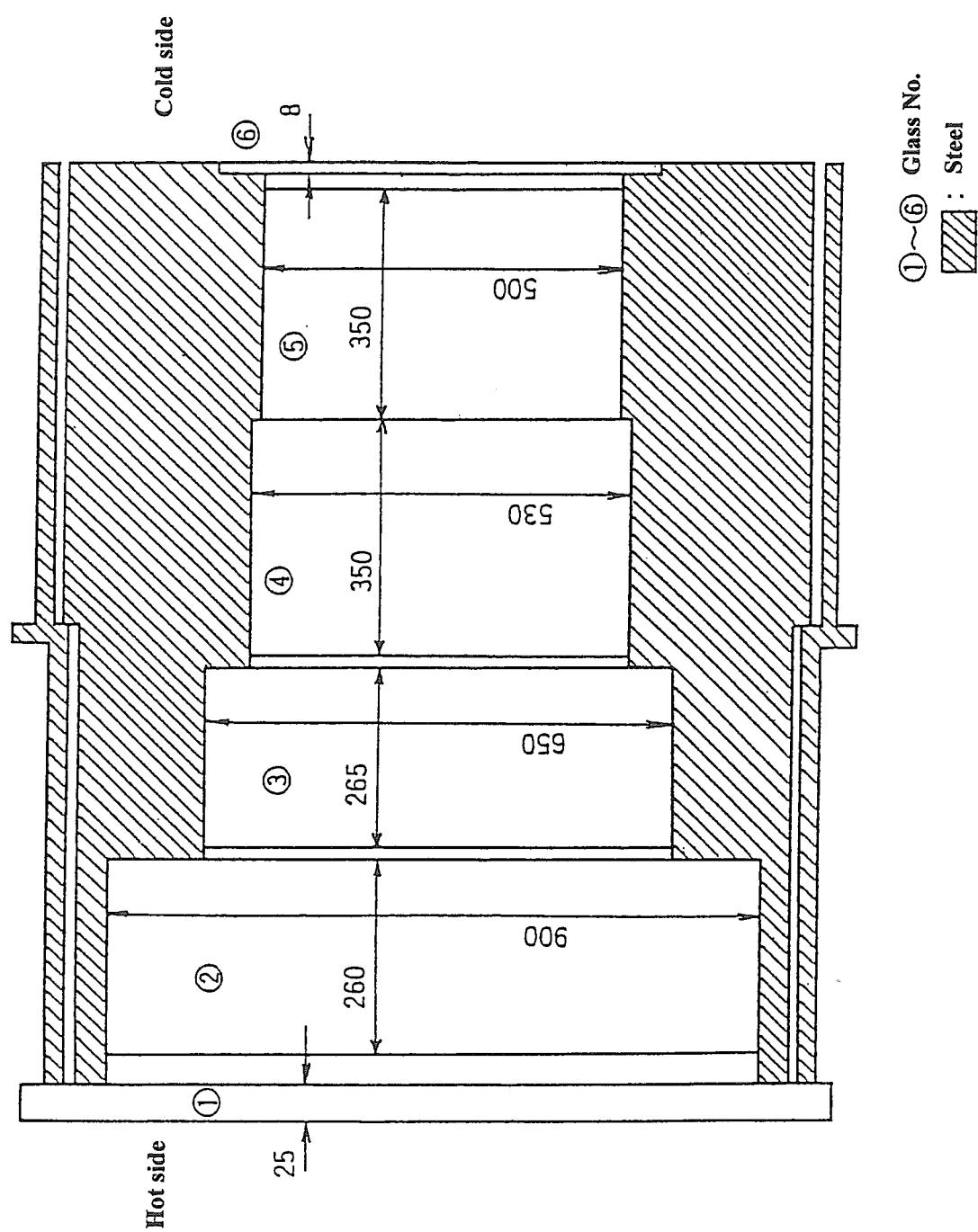


Fig. 3-4 Structure of shielding window.

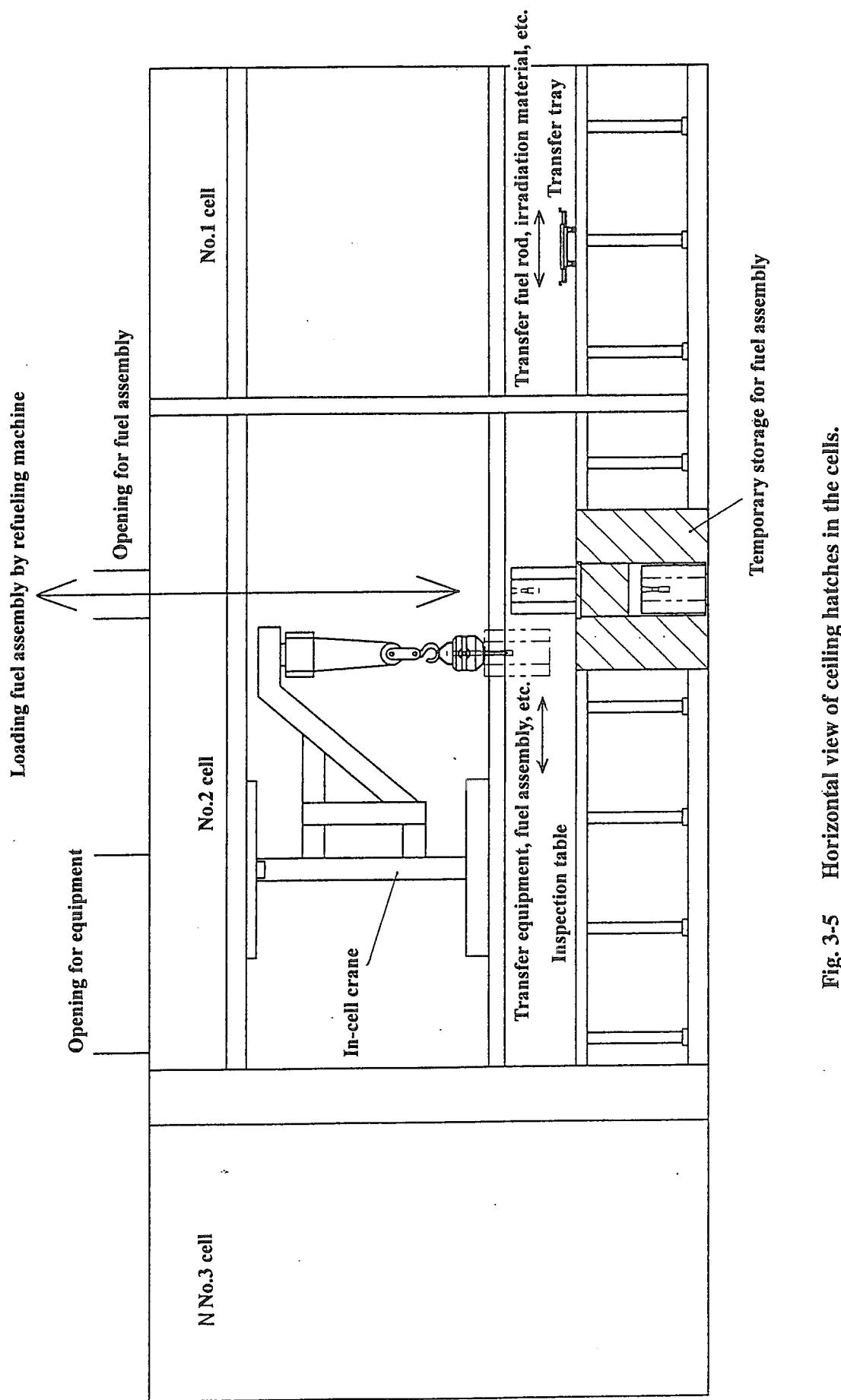


Fig. 3-5 Horizontal view of ceiling hatches in the cells.

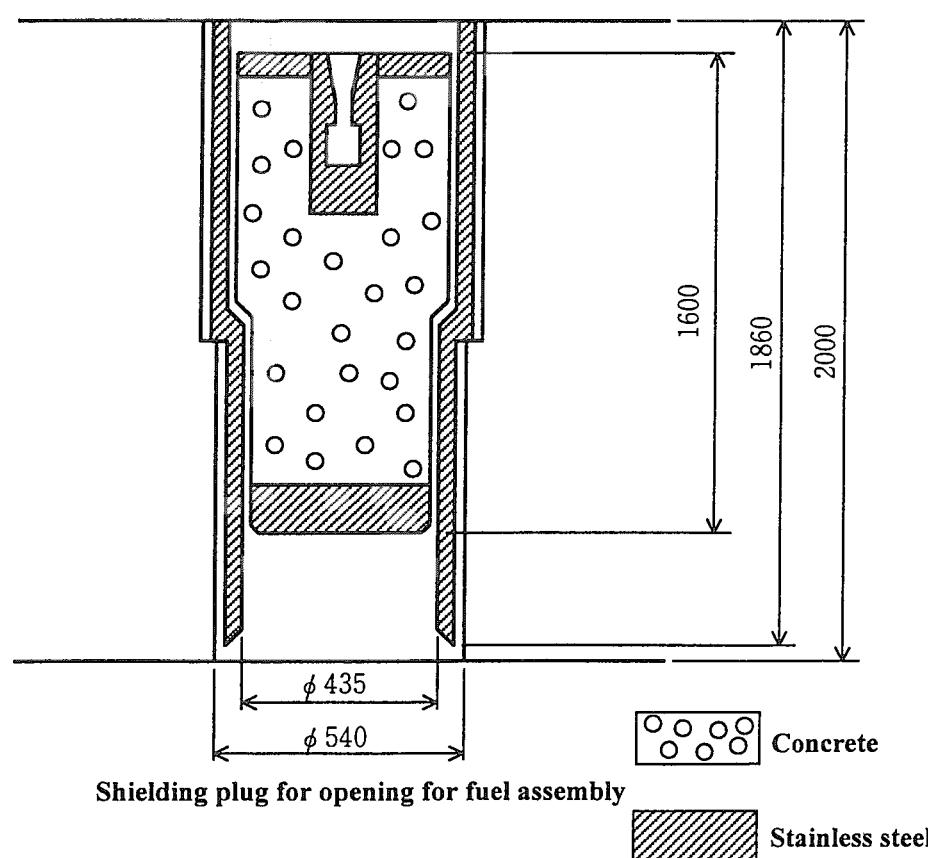
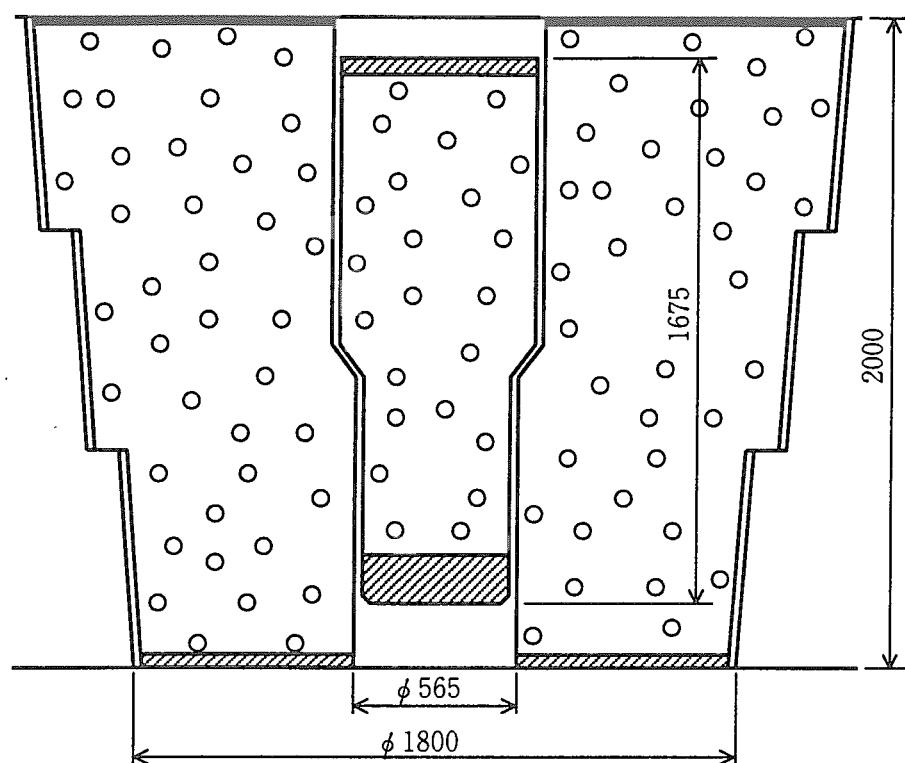


Fig.3-6 Structure of shielding plug for ceiling hatches.

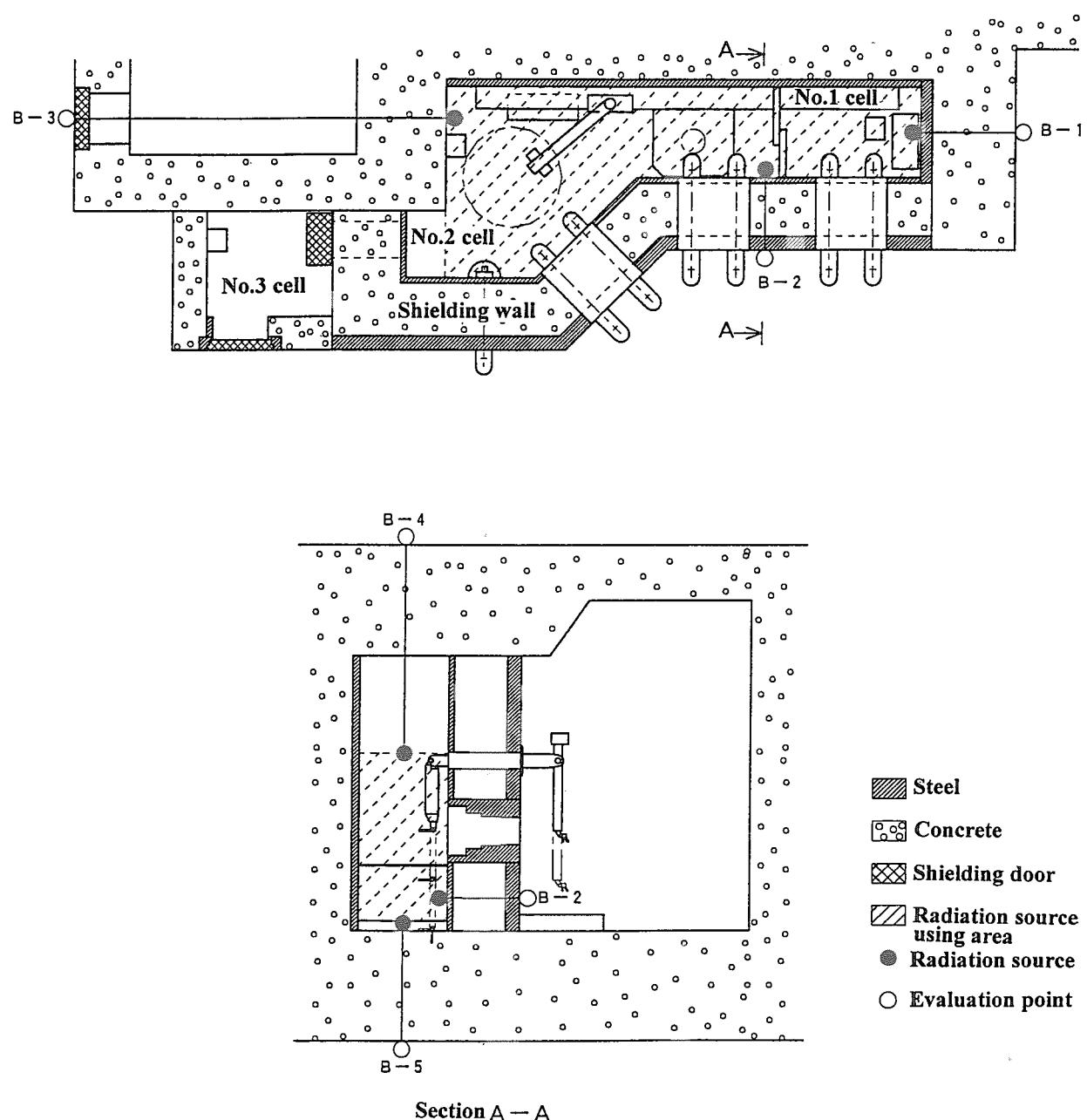


Fig. 3-7 Calculated dose for cells.

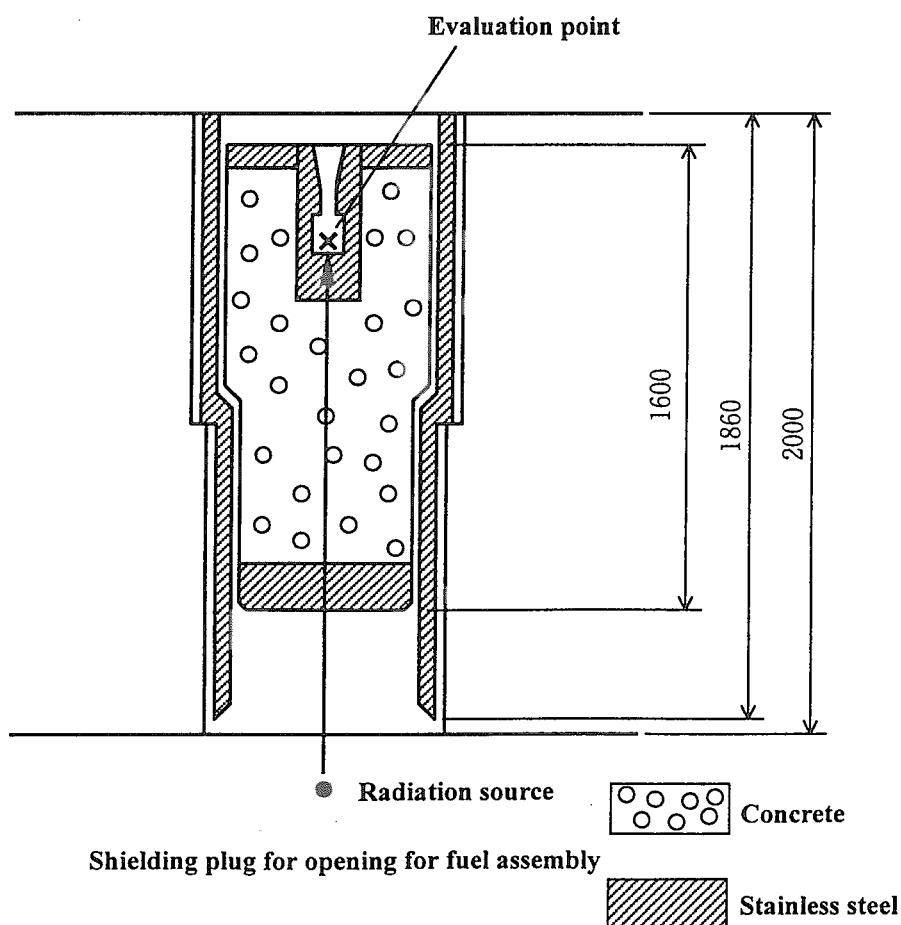
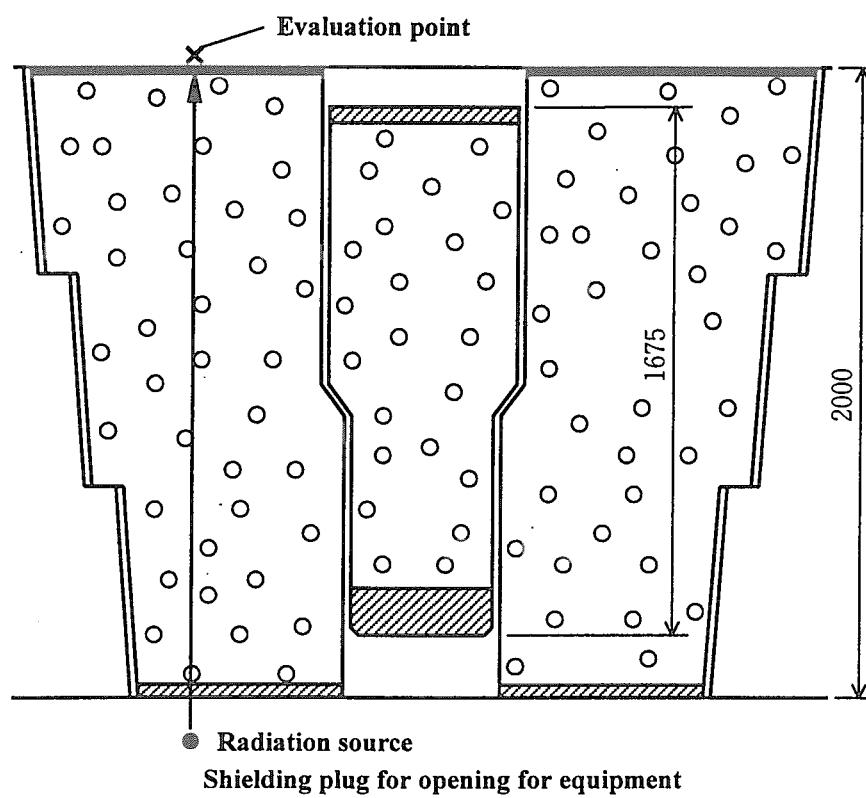
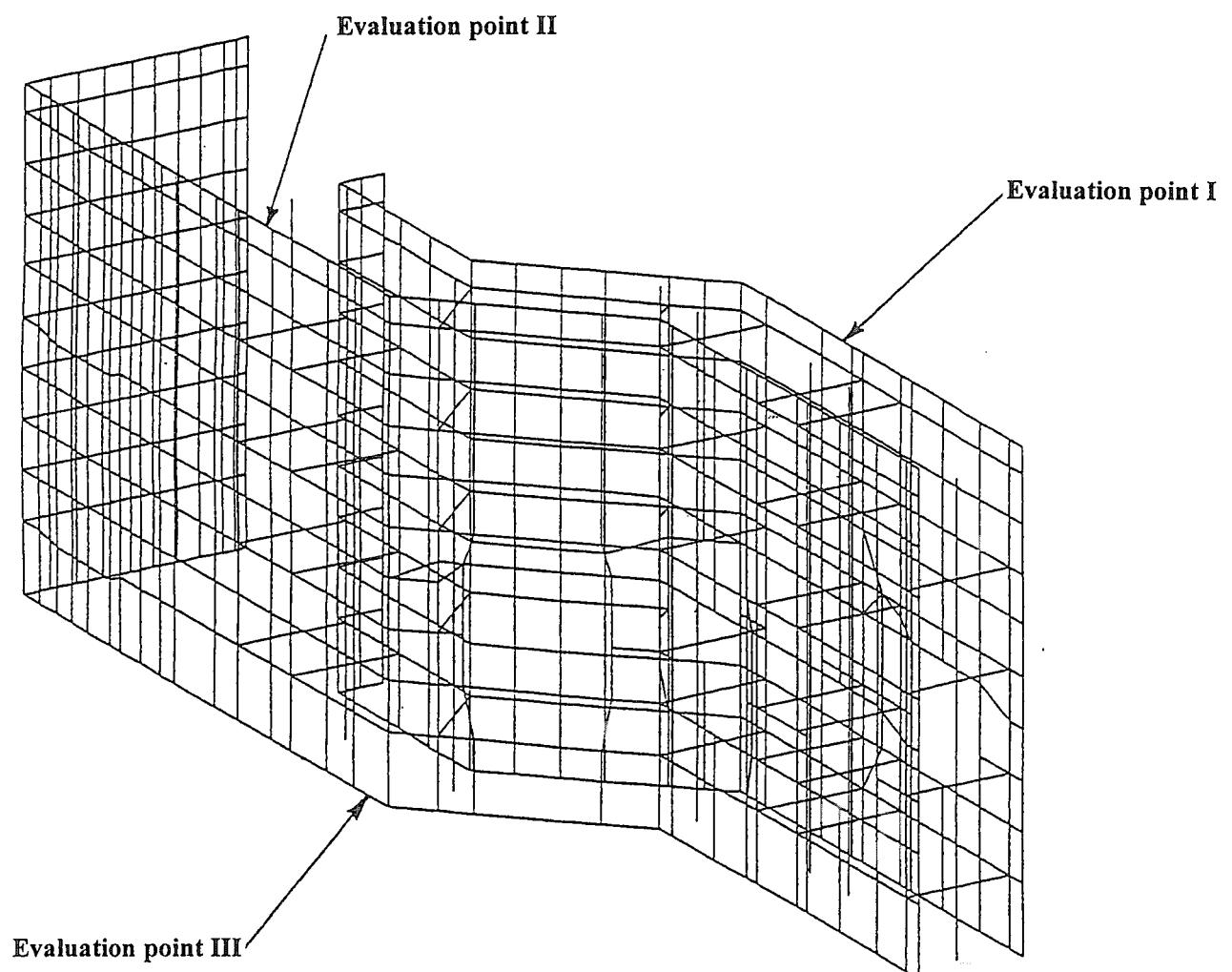


Fig.3-8 Dose calculation models of ceiling hatches



**Fig. 3-9 Seismic calculation model for shielding wall.**

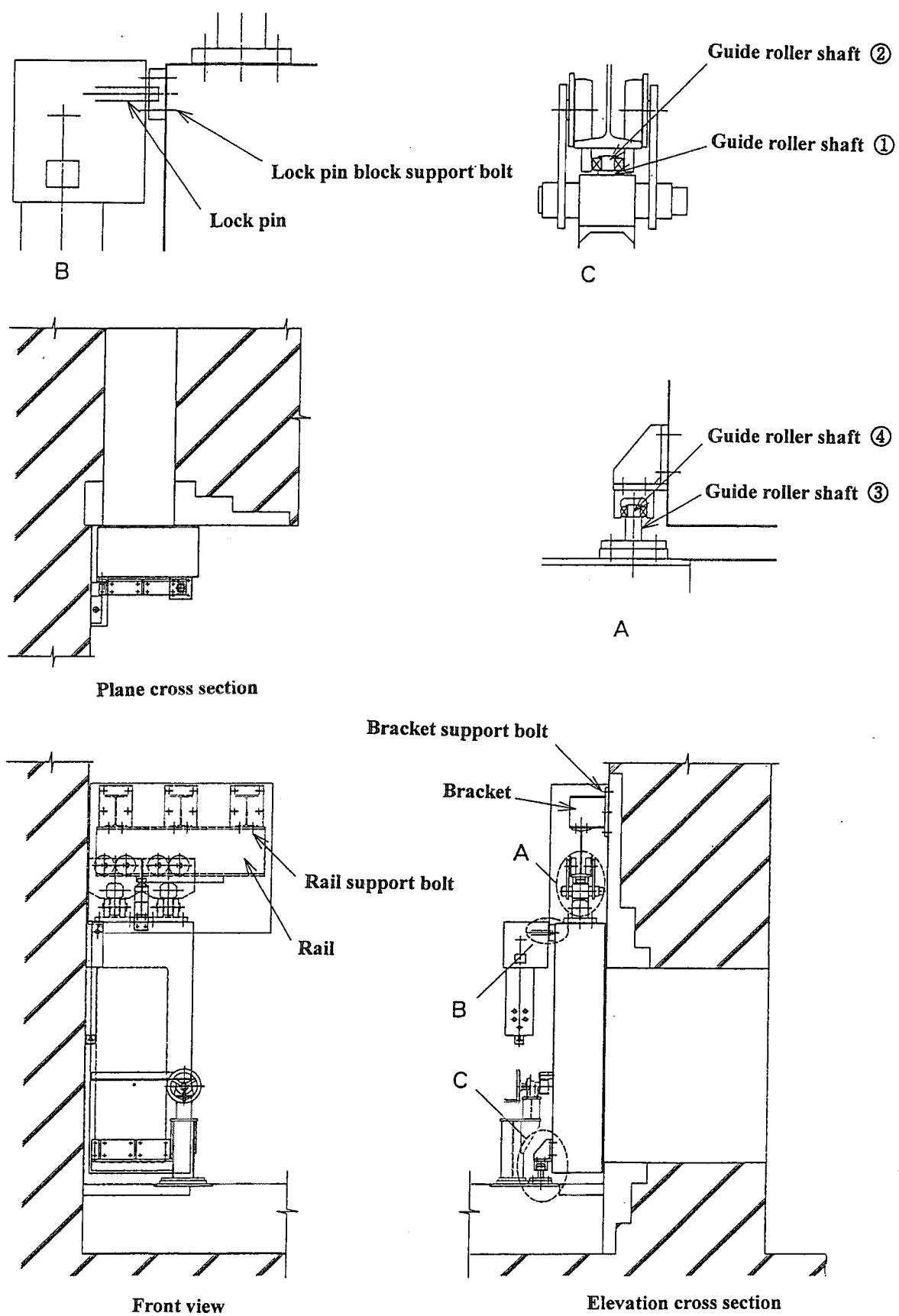
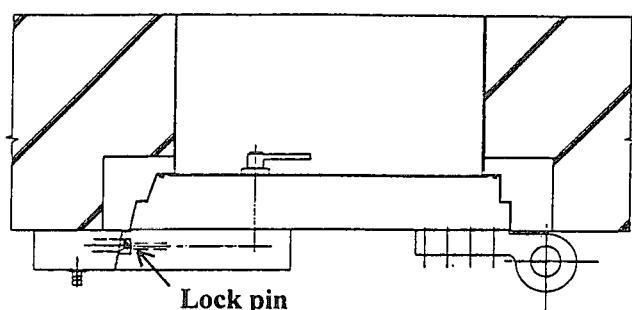
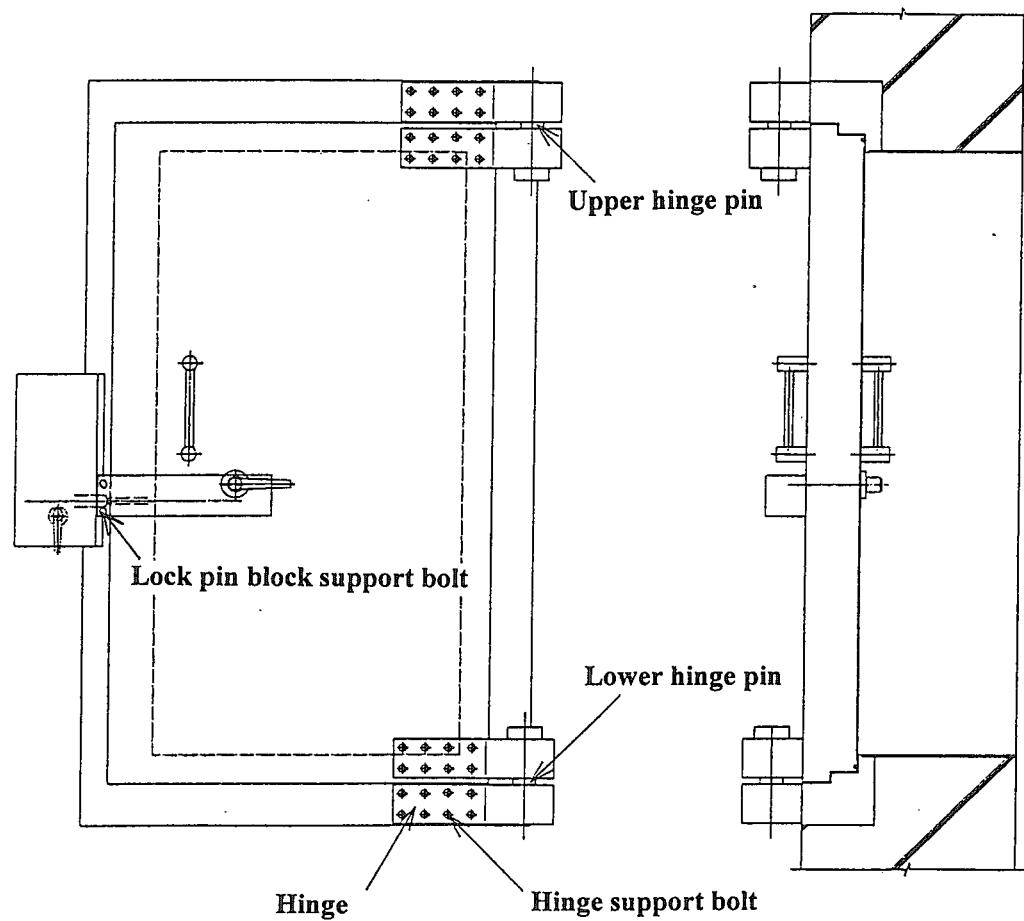


Fig. 3-10 Seismic calculation model for D-2 shielding door.



Plane cross section



Front view

Elevation cross section

Fig. 3-11 Seismic calculation model for D-3 shielding door.

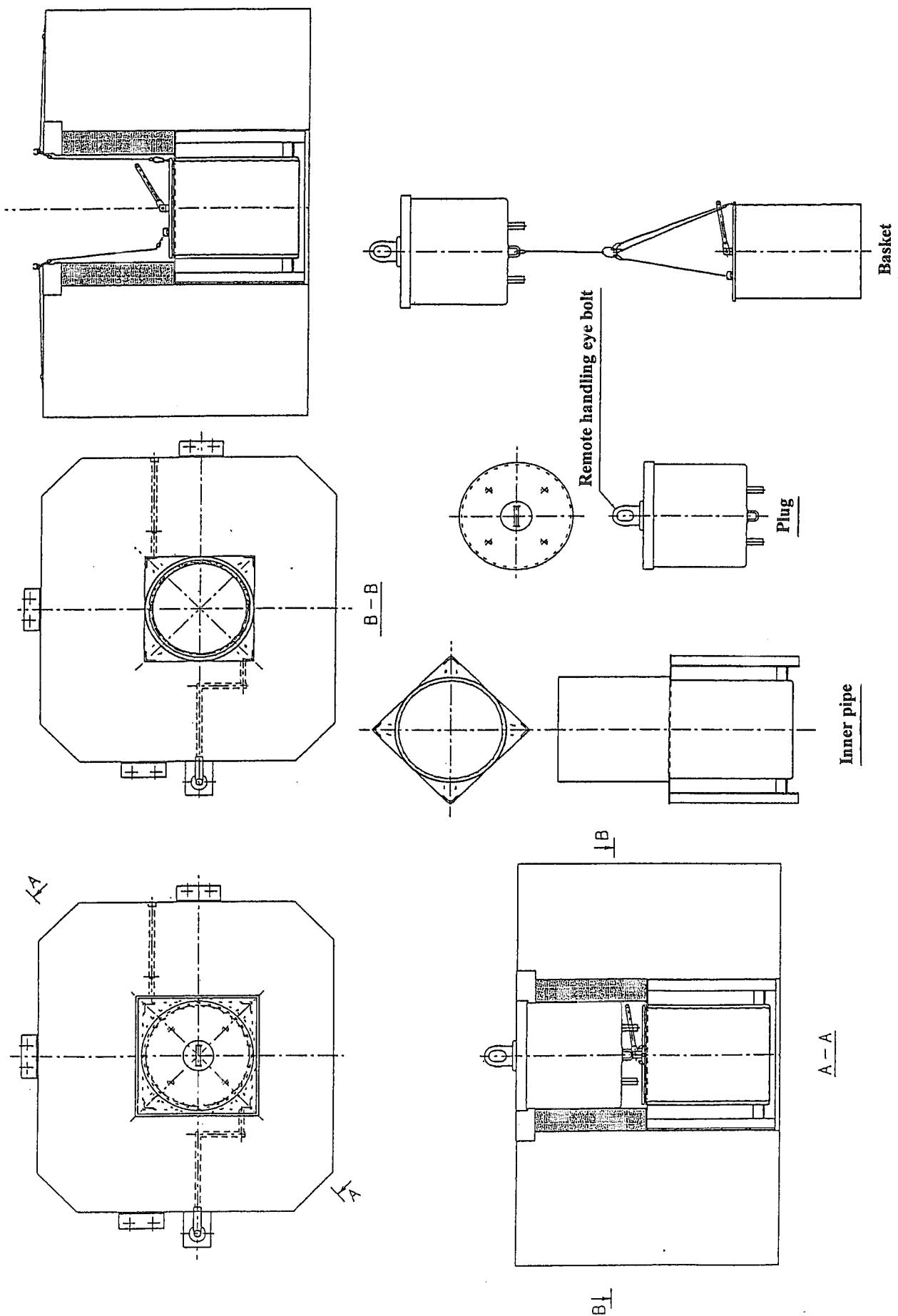
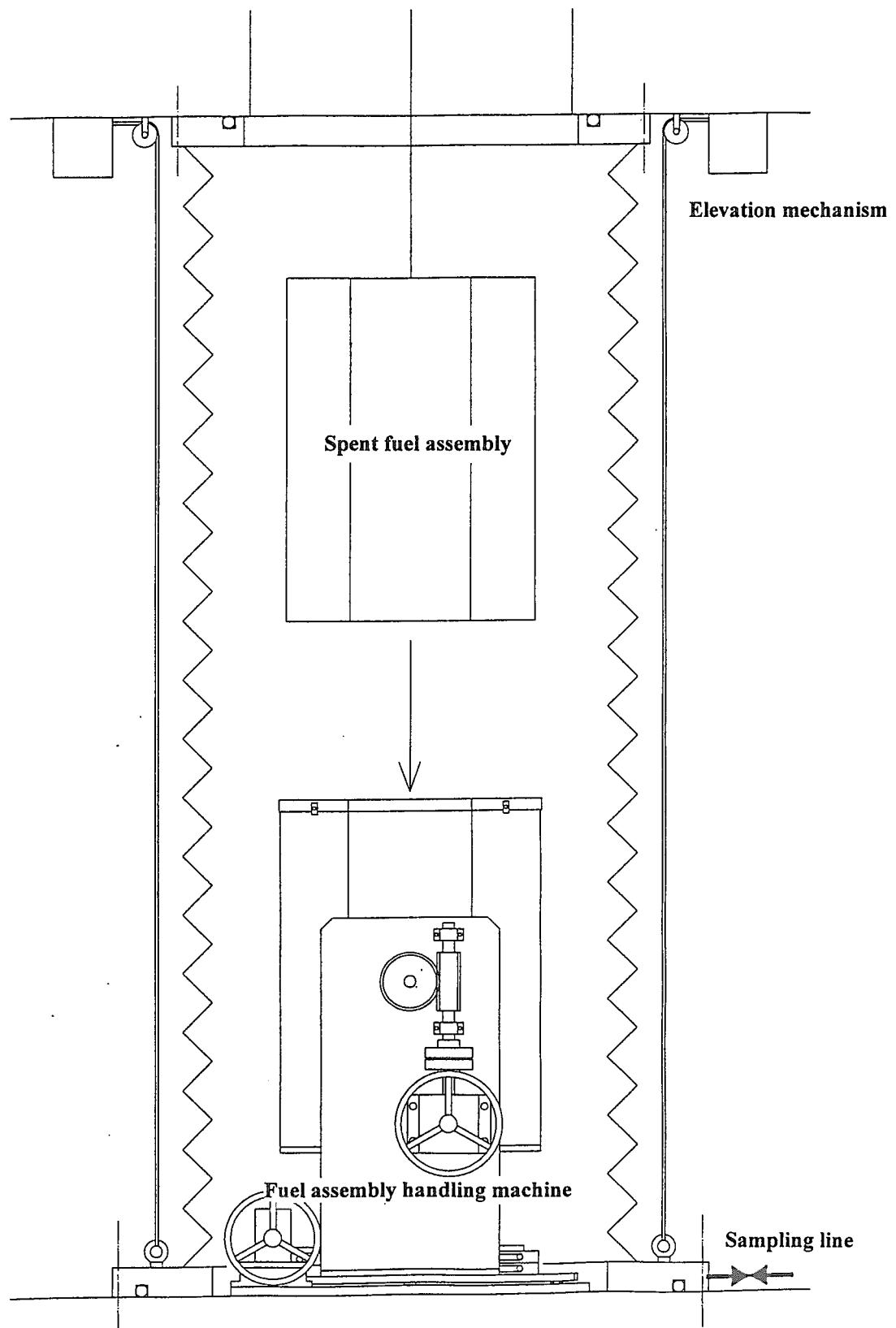


Fig. 3-12 Structure of temporary fuel storage box.

**Opening for fuel assembly**



**Fig. 3-13 Design of sealed container for fuel handling.**

This is a blank page.

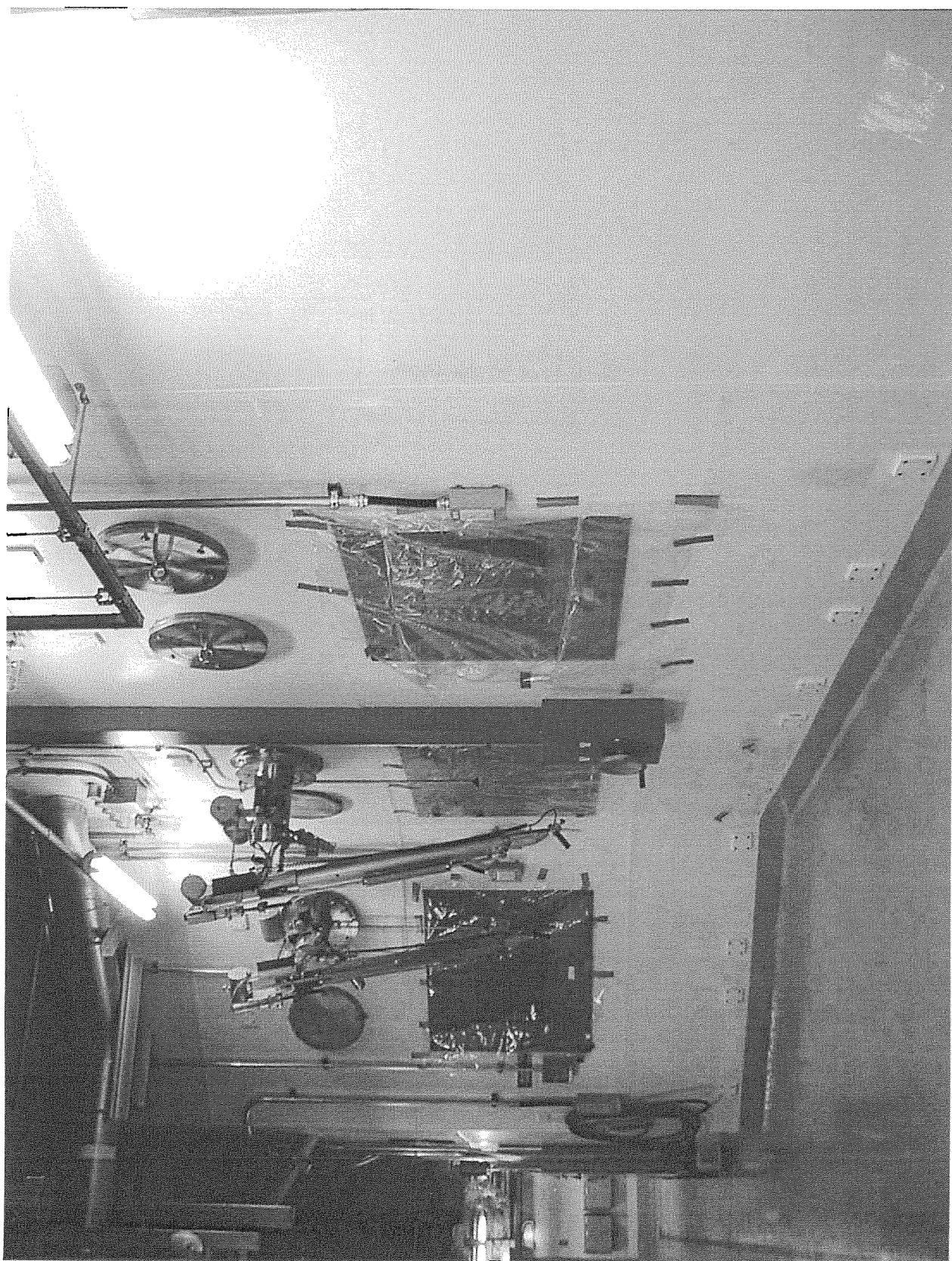


Fig.3-14 The high temperature irradiation materials inspection cells. (outside)

This is a blank page.



Fig.3-15 The high temperature irradiation materials inspection cells. (inside)

This is a blank page..

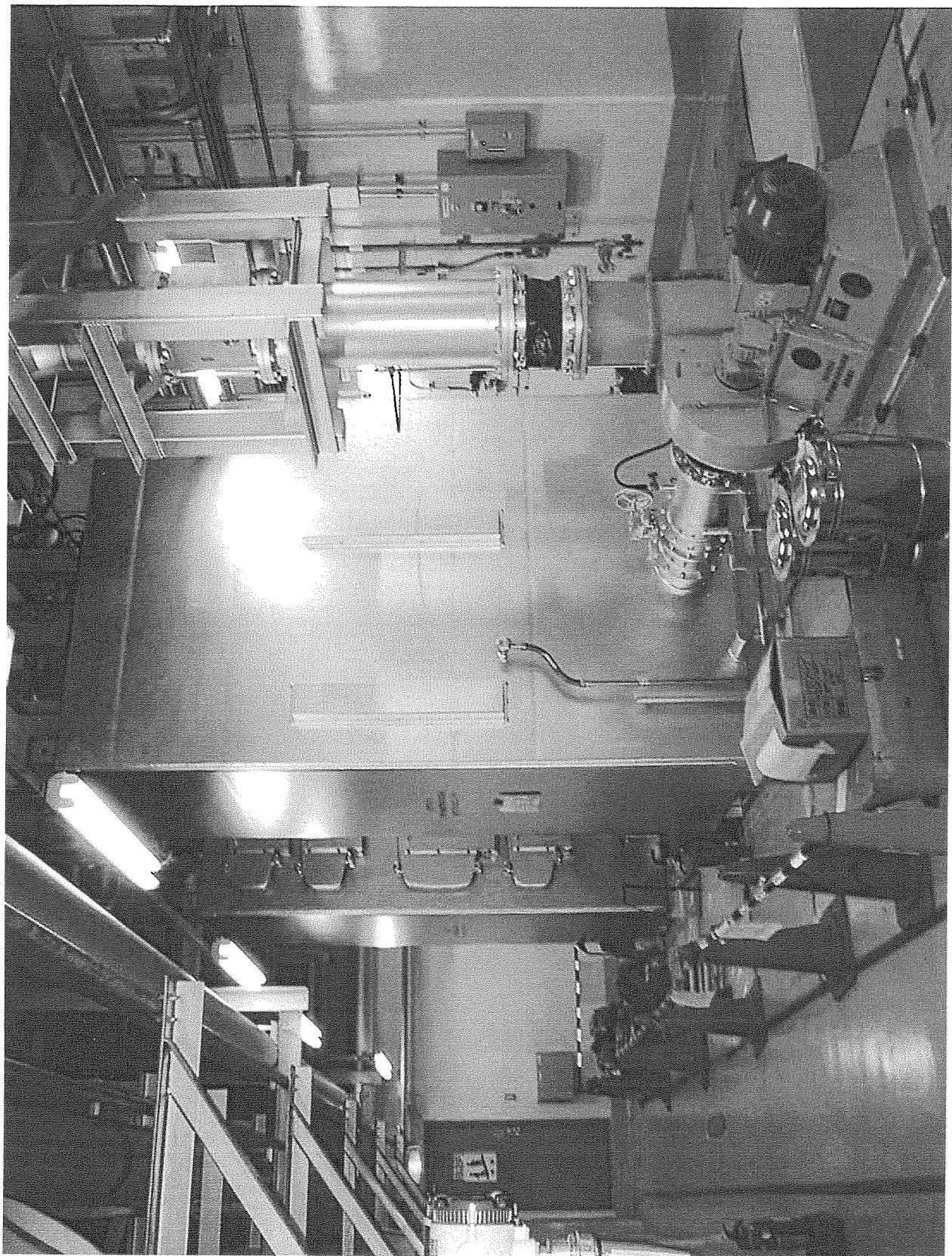


Fig.3-16 The ventilation system.

This is a blank page.

#### 4. まとめ

HTTR で照射を行った使用済燃料（高温照射試料を含む）等の照射後試験の一部を行うために設置した高温照射試料取扱設備の設計条件及び設計結果を主要な設備毎にまとめた。本設備は既設 HTTR 原子炉建家に限られたスペースに設置したものであり、既設 HTTR 原子炉建家の取合条件を考慮するとともに施工方法を検討して設計を実施した。

- ① No.1 セル及び No.2 セルでは、使用済燃料体 1 体 ( $3.7 \times 10^{15}$ Bq) を取扱えるよう、遮蔽設計を行い、鉄板 35cm、コンクリート 95cm の遮蔽壁を設けた。No. 3 セルでは燃料体は取扱わず、 $3.7 \times 10^{10}$ Bq の核分裂生成物ガスを取扱うことのできるよう 60cm のコンクリート壁を設置した。
- ② 排風機、給気フィルタ、排気フィルタ、ダクト等で換気空調設備を構成し、万一燃料体の落下事故により核分裂生成物がセル内に放出されても高所放出できるよう、排風機、排気フィルタは独立 2 系統とし、排風機は非常用電源に接続した。各セル内は-96Pa 以上の負圧管理を行うこととした。
- ③ その他、小物投入口、搬送トレイ、インセルクレーン、一時保管庫、セル内照明、照明盤、セル内消火設備、電離箱検出器等を設けるとともに、高放射性気体廃棄物処理系への接続配管、洗浄廃液ドレン系接続配管をセル内に設けた。

今後、マニプレータ、燃料体取扱装置等の内装機器の整備を進め、本検査室及び大洗研究所のホットラボを利用して HTTR 燃料・材料の照射後試験を実施し、高温ガス炉技術基盤を確立するとともに、長期的には HTTR における照射試験・照射後試験を通じて、要素技術の開発、先端的基礎研究を行っていく予定である。

#### 謝辞

本検討を行うに当たり、御指導、御助言いただいた伊与久達夫 HTTR 技術開発室長をはじめとする同部の皆様方に感謝いたします。また、貴重なコメントを頂いた、齋藤順市ホットラボ課長代理に感謝いたします。

## 参考文献

1. K. Sawa, J. Sumita, S. Ueta, S. Suzuki, T. Tobita, "Integrity Confirmation Tests and Post-irradiation Test Plan of the HTTR First-loading Fuel", *J. Nucl. Sci. Technol.*, Vol. 38, p.403 (2001).
2. K. Sawa, M. Ishihara, T. Tobita, J. Sumita, K. Hayashi, T. Hoshiya, H. Sekino, E. Oeda, "R&D Status and Requirements for PIE in the Field of the HTGR Fuel and the Innovative Basic Research on High-temperature Engineering", *JAERI-Conf 99-009* (1999).
3. S. SAITO, T.TANAKA, Y.SUDO, O.BABA, et al., "Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)", *JAERI-1332* (1994).
4. 沢和弘、田沢勇次郎、見上寿、岡本太、北野匡四郎、塩沢周策、新藤雅美、私信、(1990).
5. 「遠隔操作技術」研究専門委員会、「高放射性物質取扱施設設計マニュアル」、日本原子力学会（1985）.

## 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, l
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

## 換算表

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
力	N(=10 <sup>3</sup> dyn)	kgf	lbf		
	1	0.101972	0.224809		
	9.80665	1	2.20462		
	4.44822	0.453592	1		
粘度	1 Pa·s(N·s/m <sup>2</sup> )	= 10 P(ポアズ)(g/(cm·s))			
動粘度	1 m <sup>2</sup> /s	= 10 <sup>4</sup> St(ストークス)(cm <sup>2</sup> /s)			
力	1	10.1972	10.1972	9.86923	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)	
								1	= 4.184 J(熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>		= 4.1855 J(15 °C)
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>		= 4.1868 J(国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>		仕事率 1 PS(仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>		= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>		= 735.499 W
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>	1	100	1	3876	1	100	1	0.01	1
	3.7 × 10 <sup>-19</sup>	1	0.01	1		2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1				

高温工学試験研究部の高温照射試料取扱設備(使用済燃料検査室(一))の設計

R100  
古紙配合率100%  
白色度70%再生紙を使用しています