

JAERI-Tech

JP0450517

2004-047



HTTR出力上昇試験における 遮へい性能検査結果

2004年6月

植田 祥平・高田 英治・角田 淳弥・清水 厚志
足利谷 好信・梅田 政幸・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, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

HTTR 出力上昇試験における遮へい性能検査結果

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

植田 祥平・高田 英治※・角田 淳弥・清水 厚志
足利谷 好信⁺・梅田 政幸・沢 和弘⁺⁺

(2004 年 3 月 5 日受理)

高温工学試験研究炉 (High Temperature Engineering Test Reactor : HTTR) では、1 次冷却材として遮へい能力のある水ではなくヘリウムガスを用いているため、遮へい設計においては中性子のストリーミングに特に留意する必要がある。特に、原子炉圧力容器上部には、31 本のスタンドパイプが 1 次上部遮へい体を貫通しており、原子炉上方向への中性子ストリーミングに留意する必要がある。本報は HTTR の出力上昇試験のうち、遮へい性能検査における測定点選定の考え方、測定方法及び 30MW 定格出力までの出力上昇試験における測定結果についてまとめた。試験の結果、通常人の立ち入る区画の線量当量率は、中性子線が検出限界以下、ガンマ線がバックグラウンド相当であり、運転管理上問題がないことを確認した。また、スタンドパイプ室の中性子線量当量率は、定格運転時で約 $120\mu\text{Sv}/\text{h}$ であり、設計値 (約 $330\text{mSv}/\text{h}$) 及び予測値 (約 $10\text{mSv}/\text{h}$) を十分下回り、遮へい設計の保守性を確認した。一方、スタンドパイプ室の線量当量率変化は、予測通り原子炉出力に対して非線形的に上昇することを確認した。

大洗研究所：〒311-1394 茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀 3607

⁺ 保安管理室

⁺⁺ 企画室

※ 業務協力員 (富士電機システムズ株式会社)

Results of Shielding Performance Test in Rise-to-power Test of the HTTR

Shohei UETA, Eiji TAKADA*, Junya SUMITA, Atsushi SHIMIZU,
Yoshinobu ASHIKAGAYA⁺, Masayuki UMEDA and Kazuhiro SAWA⁺⁺

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

(Received March 5, 2004)

In the radiation shielding design of the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR), strong attention is needed to avoid streaming since helium, which is used as a coolant in the HTTR core, has no shielding ability. Especially, neutron streaming to upper direction should be careful because there are 31 standpipes penetrate the primary upper shield. This report describes selection of measuring points, measuring method and results of shielding performance test in the Rise-to-power test up to full power operation of 30MW. The measured dose equivalent rates in unrestricted area were lower than the detection limit for neutron-ray, and background level for gamma-ray. The neutron dose equivalent rate measured in the stand pipes room was about $120\mu\text{Sv/h}$ at full power operation, which was much lower than dose equivalent rate evaluated in the shielding design value (330 mSv/h) and predicted value (10 mSv/h). It suggests that shielding design would be much conservative. On the other hand, the validation of neutron and gamma-ray dose equivalent rates shifts upwards with the power rising, which is same as the prediction.

Keywords: HTTR, Rise-to-power Test, Shielding, Streaming, Dose Equivalent

⁺ Office of Operational Safety Administration

⁺⁺ Office of Planning

* Cooperative Staff (Fuji Electric Systems Co., Ltd.)

目 次

1. 緒言	1
2. 遮へい設計	2
2.1 遮へい設計の基本方針	2
2.2 原子炉周りの遮へい構造	2
2.3 遮へい設計における解析方法及び解析条件	3
2.4 出力上昇試験における遮へい解析	3
3. 試験内容	23
3.1 基本的考え方	23
3.2 判定基準の考え方	23
3.3 測定点の選定	24
3.4 測定方法	25
4. 試験結果	39
4.1 運転前遮へい試験及び低出力遮へい試験結果	39
4.2 出力上昇試験での結果	39
5. 考察	51
5.1 スタンドパイプ室内線量当量率測定	51
5.2 事前評価値との比較	52
5.3 原子炉出力に対するスタンドパイプ室内線量当量率変化	54
6. まとめ	60
謝辞	61
参考文献	61
付録-1 TLD による測定	63
付録-2 固体飛跡線量計による測定	84

Contents

1. Introduction	1
2. Shielding Design	2
2.1 Basic Concept of Shielding Design	2
2.2 Shielding Structure around the Reactor Pressure Vessel	2
2.3 Analytical Method and Condition for Shielding Design	3
2.4 Shielding Analysis for Rise-to-power Test	3
3. Shielding Performance Test	23
3.1 Basic Concept	23
3.2 Criteria	23
3.3 Selection of Measuring Points	24
3.4 Measuring Method	25
4. Test Results	39
4.1 Shielding Performance Tests in Pre-operation and Low Power Operation	39
4.2 Results of Rise-to-power Test	39
5. Discussions	51
5.1 Stand Pipe Room Measurement	51
5.2 Comparison	52
5.3 Validation of Dose Equivalent Rates in the Standpipe Room with Reactor Power	54
6. Conclusions	60
Acknowledgements	61
References	61
Appendix-1 Measurement by TLD	63
Appendix-2 Measurement by STD	84

1. 緒 言

高温工学試験研究炉 (High Temperature Engineering Test Reactor : HTTR) は、原子炉出力 30MW、原子炉出口ヘリウムガス温度 950°C (最高) の高温ガス炉であり、高温ガス炉の技術基盤の確立、高度化、先端的基礎研究のための試験研究に供される⁽¹⁾。

HTTR では冷却材として、軽水炉のように中性子に対する有効な遮へい材である水ではなくヘリウムガスを用いているため、遮へい設計において炉心からの中性子線に留意する必要があった。また、HTTR のような高温ガス炉では、固体の遮へい体のみを使用する。この時、構造物の温度が高くなることによる熱膨張を考慮する必要があるため、隙間の多い構造となる。特に HTTR の場合、原子炉容器上部には、燃料交換や制御棒の出し入れ等を目的としたスタンドパイプが 1 次上部遮へい体を貫通している。HTTR の遮へい設計においては原子炉上方向への中性子線のストリーミングに対する配慮が特に必要である⁽³⁾。

HTTR の遮へい性能検査は、設計通りの遮へい性能が確保され、設置許可書等で定められた線量当量率の制限値が満足されていることを確認する目的で、臨界特性試験、出力上昇試験等において実施した。HTTR の出力上昇試験は、1999 年 9 月から開始し、定格運転における 10MWまでの出力上昇試験(1)及び 20MWまでの出力上昇試験(2)を行い、続いて高温試験運転における 20MWまでの出力上昇試験(3)、定格出力 30MW達成のための試験として出力上昇試験(4)を実施し、2001 年 12 月 7 日に単独運転における定格出力 30MW 及び原子炉出口冷却材温度約 850°Cの達成を確認した。その後運転モードを切り替え、並列運転における定格出力 30MWの達成を確認し、2002 年 3 月 6 日に全ての試験検査を終え、定格運転での使用前検査合格証を取得した⁽⁶⁾。

HTTR の出力上昇試験を実施するに当たっては、遮へい性能に万一の異常があった場合の早期発見を心掛けた。そこで、出力上昇試験に先立ち、臨界特性試験前にスタンドパイプ内に仮設中性子源を挿入した機会を捉えてストリーミングパスを想定し、貫通部周辺の遮へい性能を確認し、さらに各出力での出力上昇試験においてデータを取得し、遮へい性能を確認した。

本報は、HTTR の出力上昇試験 (1) ~ (4) において得たデータから、定格出力 30MWまでの遮へい性能検査結果をまとめたものである。

2. 遮へい設計

2.1 遮へい設計の基本方針

HTTR の遮へい設計は、原則として「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づき、線量当量限度を定める件」(昭和 63 年 7 月、科学技術庁告示第 20 号) の規定に従って行った。遮へい設計においては、原子炉建家内を立入り頻度に応じた区画に分割し、各々の区画に対して目安となる基準線量当量(遮へい設計の基準線量当量率)を定め、線源となる機器に対する遮へいがその基準線量当量率を下回るように遮へい厚さを決定した。具体的には、放射線業務従事者等が立ち入る場所において放射線被ばくを十分安全に管理できるように、各々の部屋(エリア)の線量当量率が Table 2-1 に示す各基準線量当量率を下回るよう設計を行っている^(1,2)。Table 2-1 に示した基準線量当量率は、各部屋への立入り頻度及び滞在時間等を考慮して定めた。原子炉周りの主要エリアの基準線量当量率の概要を Figs.2-1~2-6 に示す。

2.2 原子炉周りの遮へい構造

原子炉圧力容器を格納している原子炉格納容器は、他に 1 次加圧水冷却器、補助ヘリウム冷却器、及び中間熱交換器等の放射線源を有する機器を格納している。原子炉格納容器は、炉心からの放射線の遮へい及び 1 次冷却系統に沈着する核分裂生成物からの放射線遮へいのため、1 次遮へい体を有している。1 次遮へいは、原子炉圧力容器を直接取り囲むコンクリート等による構造物で、1 次上部遮へい体、上部リング遮へい体、上部生体遮へい体、側部遮へい体により構成される。

原子炉格納容器上部の 1 次遮へいの概略図を Fig.2-7 に示す。原子炉圧力容器室の上部は、厚さ約 1m の 1 次上部遮へい体により中性子及びガンマ線を遮へいしている。1 次上部遮へい体は、炉心からの中性子線の漏れ(ストリーミング)に対してスタンドパイプ室内への遮へい性能を確保する必要がある。そのため、1 次上部遮へい体を貫通するスタンドパイプの内側には黒鉛と炭素鋼の遮へい材を詰め、さらに、スタンドパイプ外側に補償遮へい体を設置している。さらに、1 次上部遮へい体の設計にあたっては、コンクリート温度上昇による水の散逸による遮へい性能の低下を考慮するため、1 次上部遮へい体に用いたコンクリート材(グラウト)の温度と含水量との関係を確認するための試験を実施し、遮へい体設計温度 88°C 以下において遮へい評価に用いている含水量を保持することを確認した^(3,4)。また、燃料

取扱フロア上での線量当量率を抑えるため、1次側部遮へい体コーベル部、メンテナンスハッチ周りの開口部、中性子計装案内孔、スタンドパイプ貫通部の遮へいを強化している。

2.3 遮へい設計における解析方法及び解析条件

原子炉運転中の原子炉周りの遮へい評価では、炉心を線源とした2次元Sn輸送計算コードDOT3.5を用いて原子炉周りの線束分布を求め、原子炉建家内の各領域については原子炉周りの線束分布を用いた接続計算により線量当量率を求める手法をとっている。

1次上部遮へい体周りの遮へい解析は、原子炉回り遮へい解析の結果として得られた1次上部遮へい体下面における中性子束を線源条件とし、スタンドパイプ室を中心とした解析モデルにより、2次元Sn輸送計算コードDOT3.5を用いて行った。

Fig.2-8に原子炉からの中性子線及びガンマ線（中性子を捕獲する反応に伴って生成するガンマ線を含む）の経路を示す。炉心からの線束の経路は、主に、1次側部遮へい体からのものと、スタンドパイプ室周辺からのものに分けられる。一方、1次上部遮へい体周りの遮へい評価では、スタンドパイプ貫通部の効果を一度にモデル化することは困難である。このため、貫通部が存在しないと仮定した場合の「バルク成分評価」と、1本のスタンドパイプをモデル化した「ストリーミング成分評価」を行い、これらの評価結果を用いて最終的な線量当量率評価を行っている。

遮へい設計における解析方法及び解析結果の詳細については、参考文献⁽³⁾に述べられているのでそちらを参照されたい。

2.4 出力上昇試験における遮へい解析

出力上昇試験では、定格運転時よりも制御棒の挿入深度が大きい状態から試験を行う。従って、上方向の線量当量率は単純な原子炉出力比では推定できない懸念がある。すなわち、低出力時には制御棒が深く挿入されるため、その時点で測定した上方向の線量当量率に基づいて原子炉出力比で中間出力又は高出力運転時の線量当量率を推定すると、制御棒引き抜きの効果（中性子束分布が上方向へ膨らむ効果）を考慮しないことになり、過小評価してしまう危険性が高い。そこで、低出力時、中間出力時、高出力時の制御棒位置を考慮した上方向の線量当量率の評価を、原子炉出力1%、30%、50%、100%について行った。

2.4.1 評価方法

原子炉出力と制御棒位置の関係は、CITATION コードによる炉心計算で評価する。原子炉出力及び制御棒位置の違いによる上方向の中性子束分布の違いは、上部可動反射体上面のスカラーフラックスの違いで表した。線量当量率の計算は、スタンドパイプ室周り及び燃料取扱フロアについて、2 次元 Sn 輸送計算コード DOT3.5 により行った。上方向の線量当量率の評価は、1 次上部遮へい体を経由する放射線からの寄与について、バルク成分とストリーミング成分に分けて行った⁽³⁾。

(1) バルク成分の評価

スタンドパイプ室周り及び燃料取扱フロア周りの DOT3.5 の計算体系図を Figs. 2-9～2-11 に示す。Figure 2-9 の 1 次上部遮へい体下面に入射する角度線束は (2-1) 式で求めたもの要用いる。ここで、原子炉出力及び制御棒位置の変化による角度方向の分布は変わらないと仮定している。

$$\Phi_I^m = \frac{\varphi_i^{n\%}}{\varphi_i^d} \times \phi_I^m \quad (2-1)$$

ここで、 Φ_I^m : n%出力時の 1 次上部遮へい体下面に入射する境界線束。I、m は着目している空間座標で、I は径方向メッシュ、m は角度方向メッシュ、

$\varphi_i^{n\%}$: n%出力時の上部可動反射体上面における径方向メッシュ i の中性子束、

φ_i^d : 定格 (100%) 出力状態における上部可動反射体上面における径方向メッシュ i の中性子束。

ϕ_I^m : 定格 (100%) 出力状態における 1 次上部遮へい体下面の入射境界角度束

である。

(2) ストリーミング成分の評価

1 次上部遮へい体の下面に入射する角度束の角度分布は、設計計算の条件と比較して変化がないと仮定した。そのため、各スタンドパイプの周りをストリーミングする成分は、定格運転時の評価結果に補正係数を乗じる方法で評価した。補正係数は 1 次上部遮へい体下面の

高速中性子束の変化率を用い、バルク体系計算値と定格運転時の評価結果の比から算出する。

2.4.2 評価結果

CITATION コードにより求めた原子炉出力に対する上部可動反射体上面での中性子束の変化を Fig. 2-12 に示す。図中には、解析で考慮した燃料領域下面からの制御棒引き抜き長さを併せて示した。制御棒の引き抜きに伴い、上部可動反射体上面での中性子束は原子炉出力に対して線形には変化せず、上にシフトすることが分かる。

DOT3.5 による線量当量率の評価点を Fig. 2-13 に示す。この時、各評価点における線量当量率を Tables 2-2～2-10 に示す。その結果として、原子炉出力に対する原子炉格納容器周りの N-390 室及び燃料取扱フロアにおける線量当量率を、それぞれ Figs. 2-14 及び 2-15 に示す。原子炉圧力容器上方への線量当量率は、中性子束の変化と同様に、原子炉出力に対して非線形に上昇する。そのため、低出力から試験を行って行く場合に、上部の線量当量率が原子炉出力に対して線形ではない、すなわち、制御棒が引き抜かれることにより、出力分布が上にシフトする効果により、単純に外挿すると高出力の結果を過小評価する恐れがある。

以上の結果を受けて、出力上昇試験における遮へい性能検査計画を立案した。試験内容について 3 章で述べる。

Table 2-1 Design dose rate limits.

区分	立入り時間	基準線量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A	週 48 時間以内の立入り	6
B	週 10 時間以内の立入り	60
C	ごく短時間しか立入らない	500
D	通常立入不要	—

Table 2-2 Calculated dose equivalent rates (★1 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	3.6	600	604
30	150	2.9×10^4	2.9×10^4
50	320	6.3×10^4	6.3×10^4
100	1700	3.3×10^5	3.3×10^5

Table 2-3 Calculated dose equivalent rates (★2 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	2.2	36	38
30	97	1800	1900
50	210	3800	4000
100	1000	1.8×10^4	1.9×10^4

Table 2-4 Calculated dose equivalent rates (★3 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	0.2	1.5	1.7
30	9.3	74	83
50	20	160	180
100	110	790	900

Table 2-5 Calculated dose equivalent rates (★4 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	< 0.2	< 0.2	< 0.2
30	0.25	0.21	0.46
50	0.45	0.46	0.91
100	1.3	2.4	3.7

Table 2-6 Calculated dose equivalent rates (★5 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	730	< 0.2	730
30	2.4×10^4	< 0.2	2.4×10^4
50	4.3×10^4	< 0.2	4.3×10^4
100	1.4×10^5	< 0.2	1.4×10^5

Table 2-7 Calculated dose equivalent rates (★6 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	1.7	8.7	10.4
30	77	420	497
50	160	900	1100
100	790	4800	5600

Table 2-8 Calculated dose equivalent rates (★7 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	< 0.2	< 0.2	< 0.2
30	< 0.2	< 0.2	< 0.2
50	< 0.2	< 0.2	< 0.2
100	< 0.2	< 0.2	< 0.2

Table 2-9 Calculated dose equivalent rates (★8 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	< 0.2	< 0.2	< 0.2
30	< 0.2	0.49	~0.5
50	< 0.2	1.0	~1.0
100	0.21	5.6	5.8

Table 2-10 Calculated dose equivalent rates (★9 on Fig. 2-13).

原子炉出力 (%)	バルク成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	ストリーミング成分 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合計 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	< 0.2	< 0.2	< 0.2
30	< 0.2	< 0.2	< 0.2
50	< 0.2	< 0.2	< 0.2
100	< 0.2	0.9	0.9

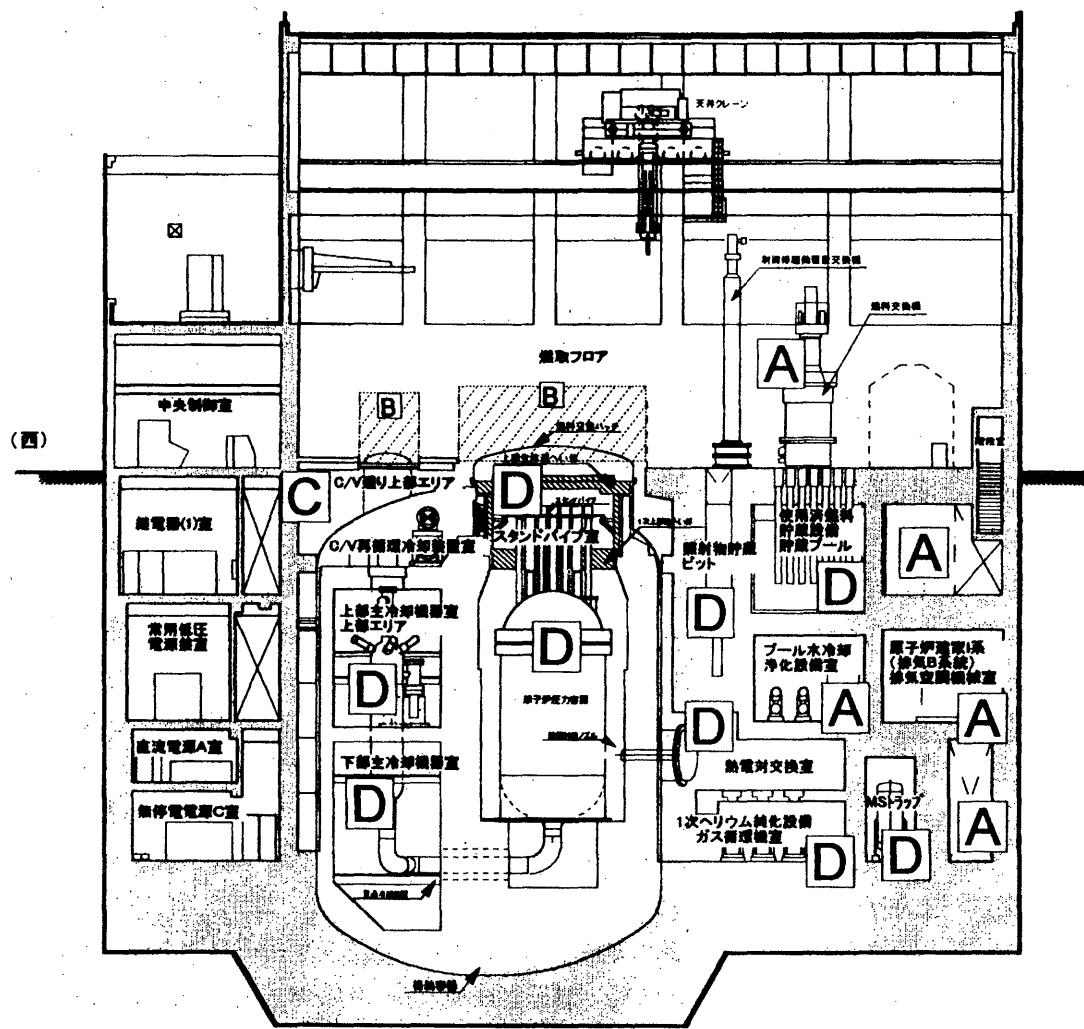
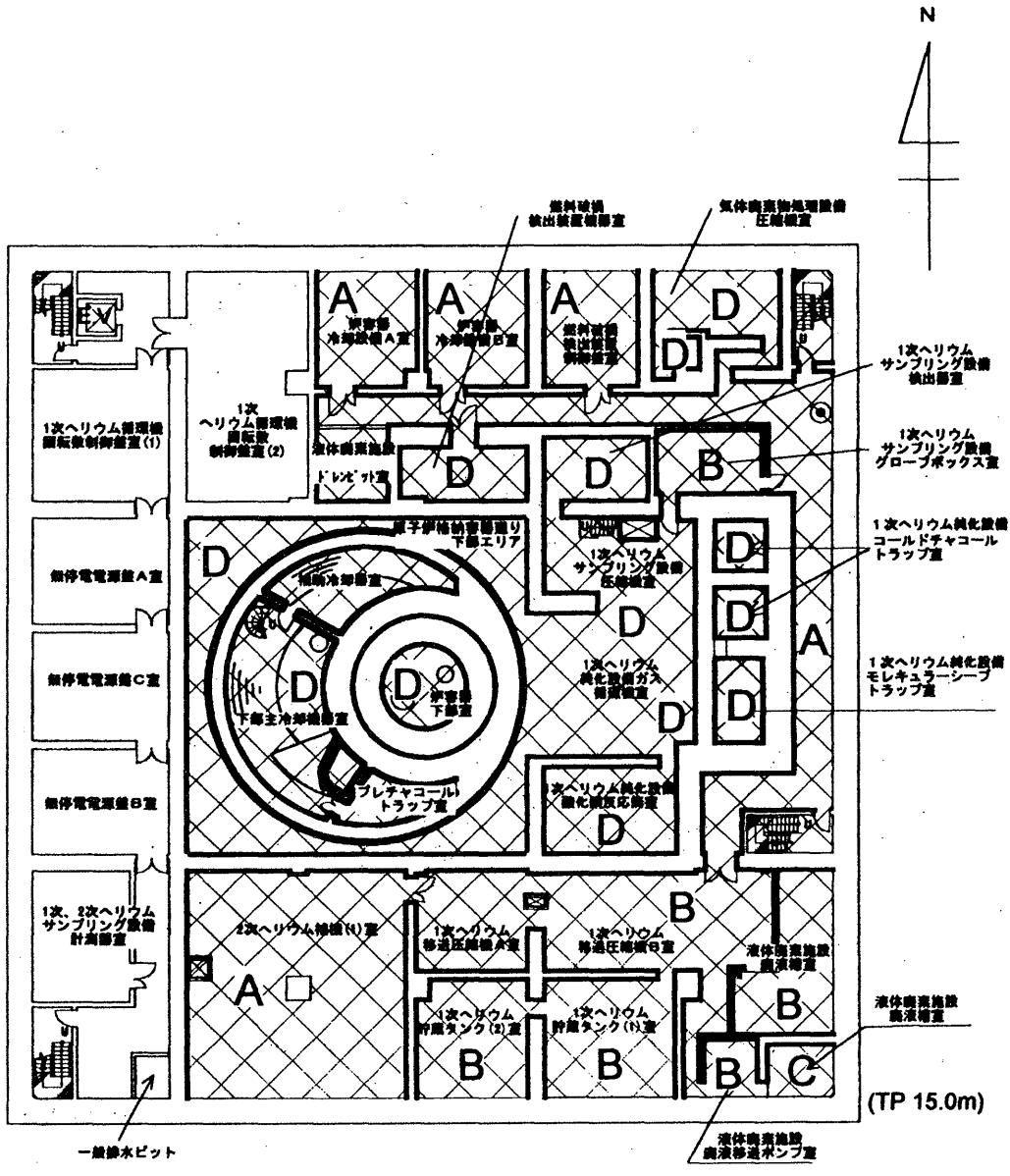


Fig. 2-1 Classification of design dose rates in the HTTR reactor building.



第1種管理区域

废弃物保管场所

Fig. 2-2 Classification of design dose rates (B3F).

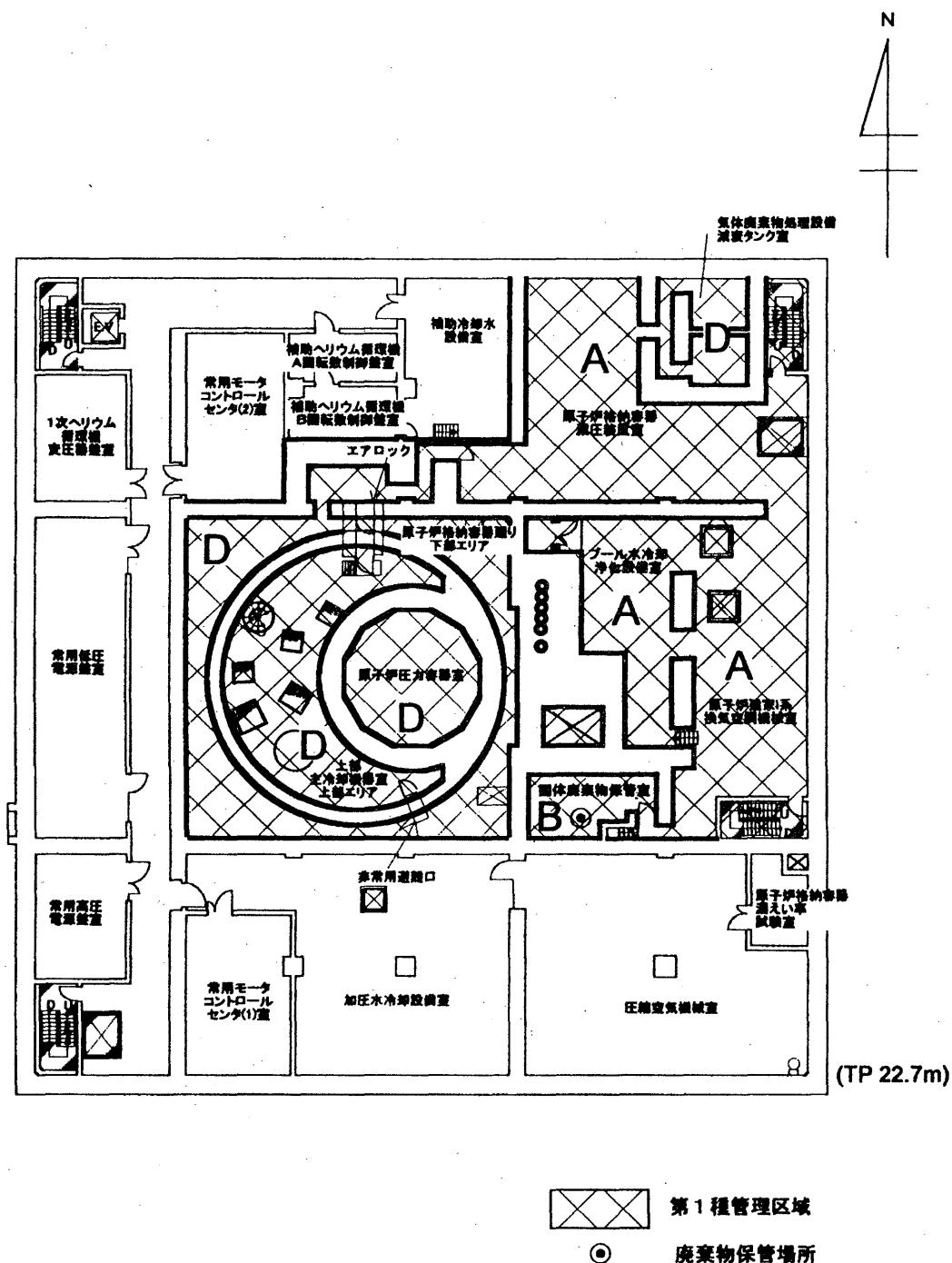


Fig. 2-3 Classification of design dose rates (B2F).

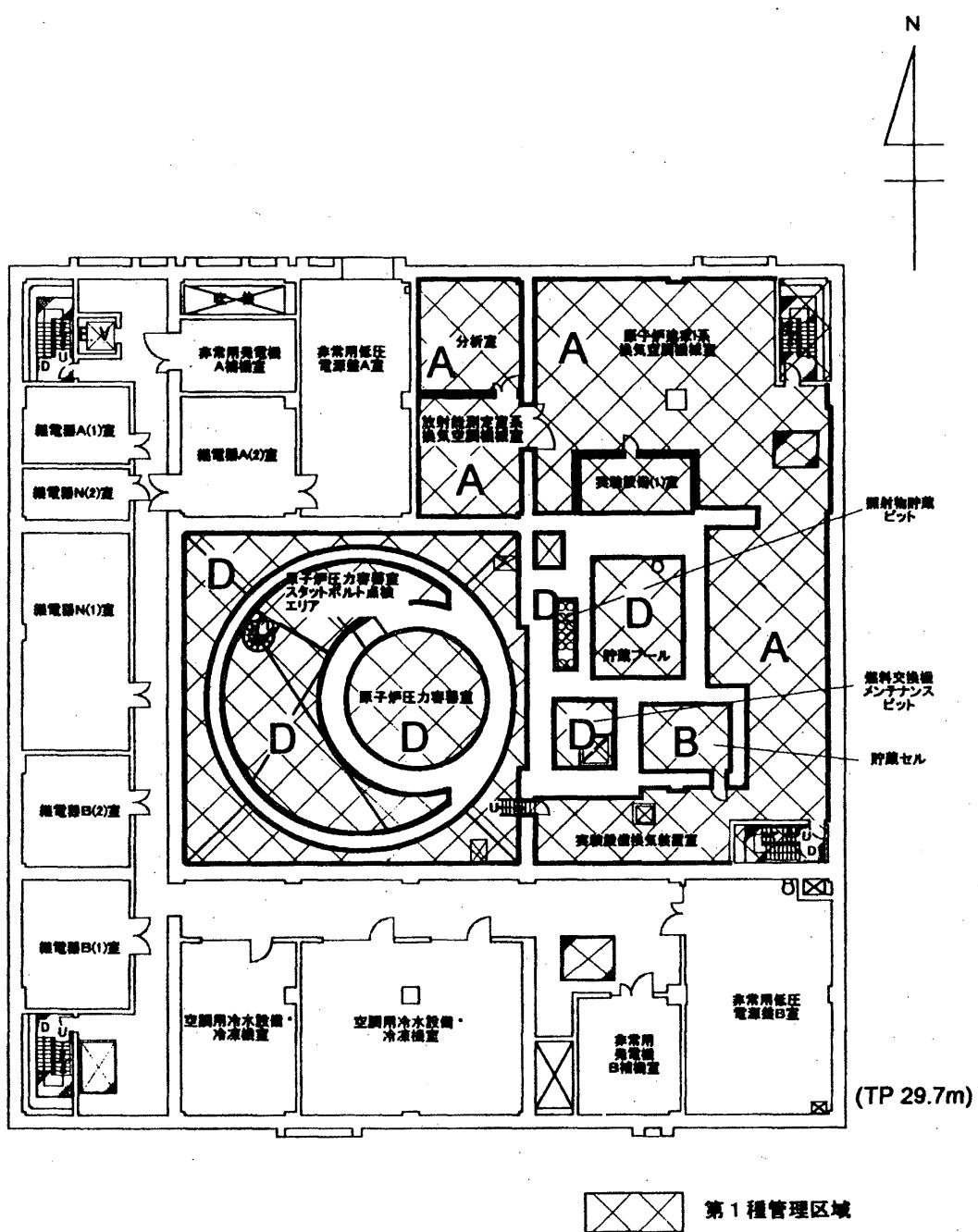


Fig. 2-4 Classification of design dose rates (B1F).

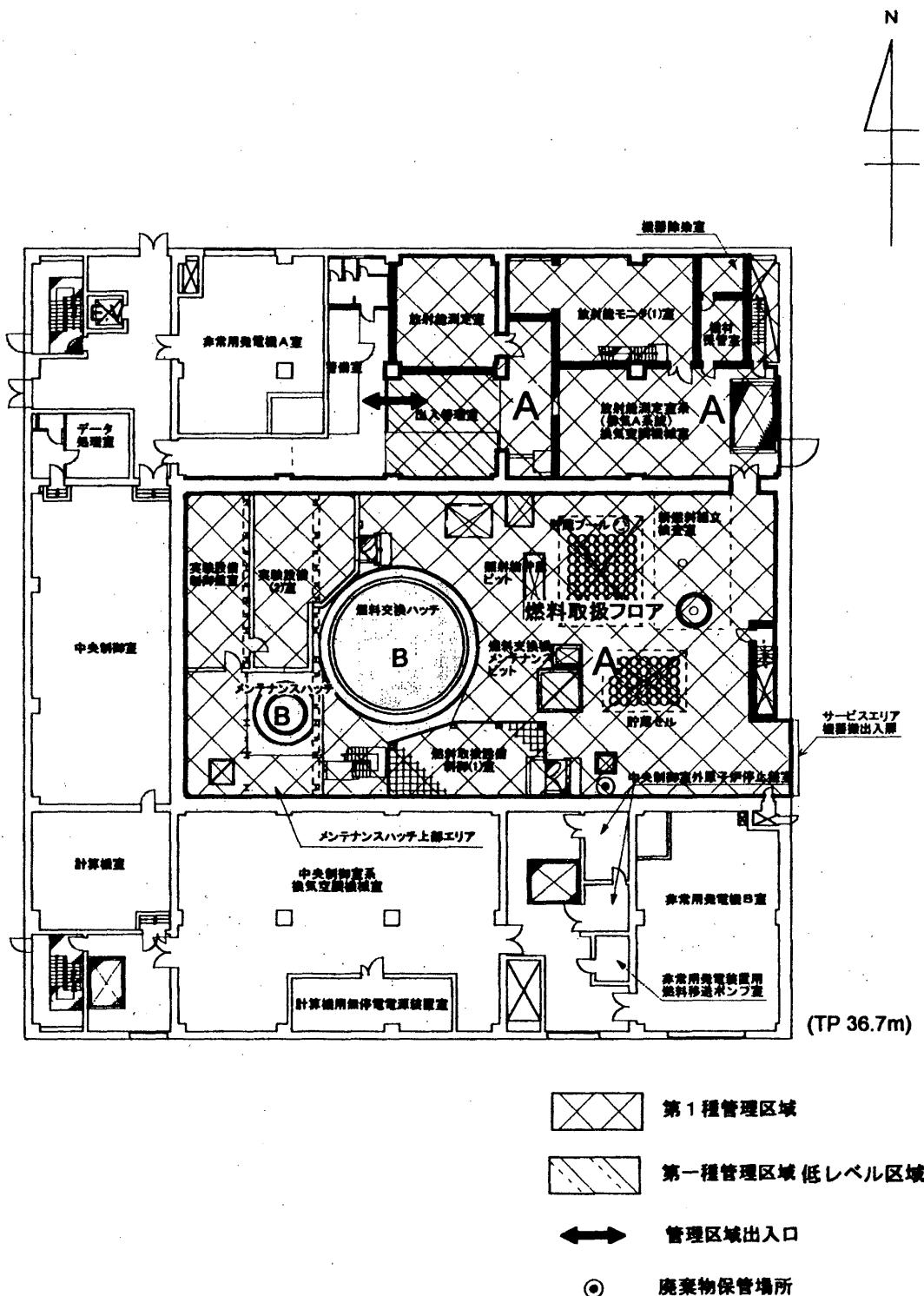


Fig. 2-5 Classification of design dose rates (1F).

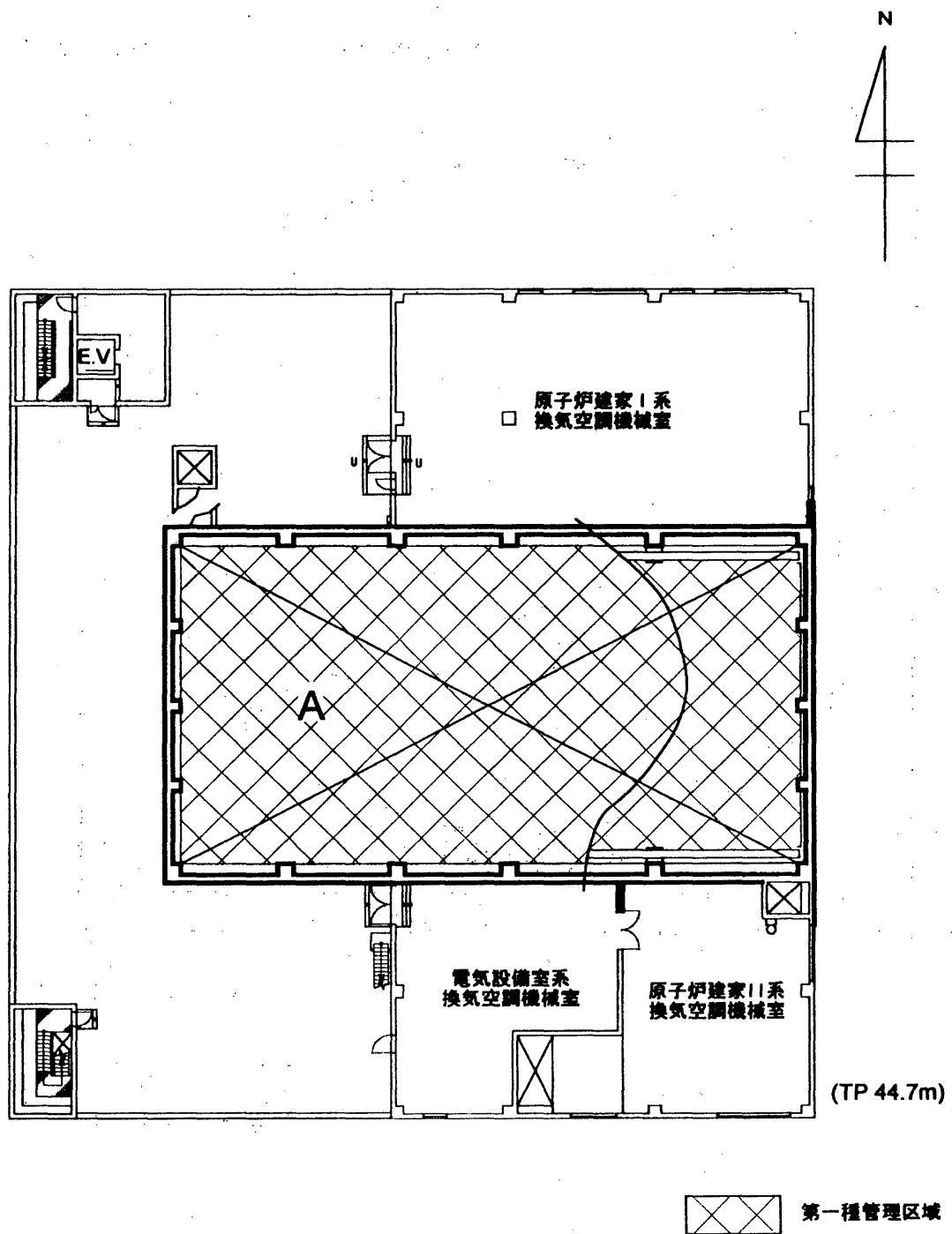


Fig. 2-6 Classification of design dose rates (2F).

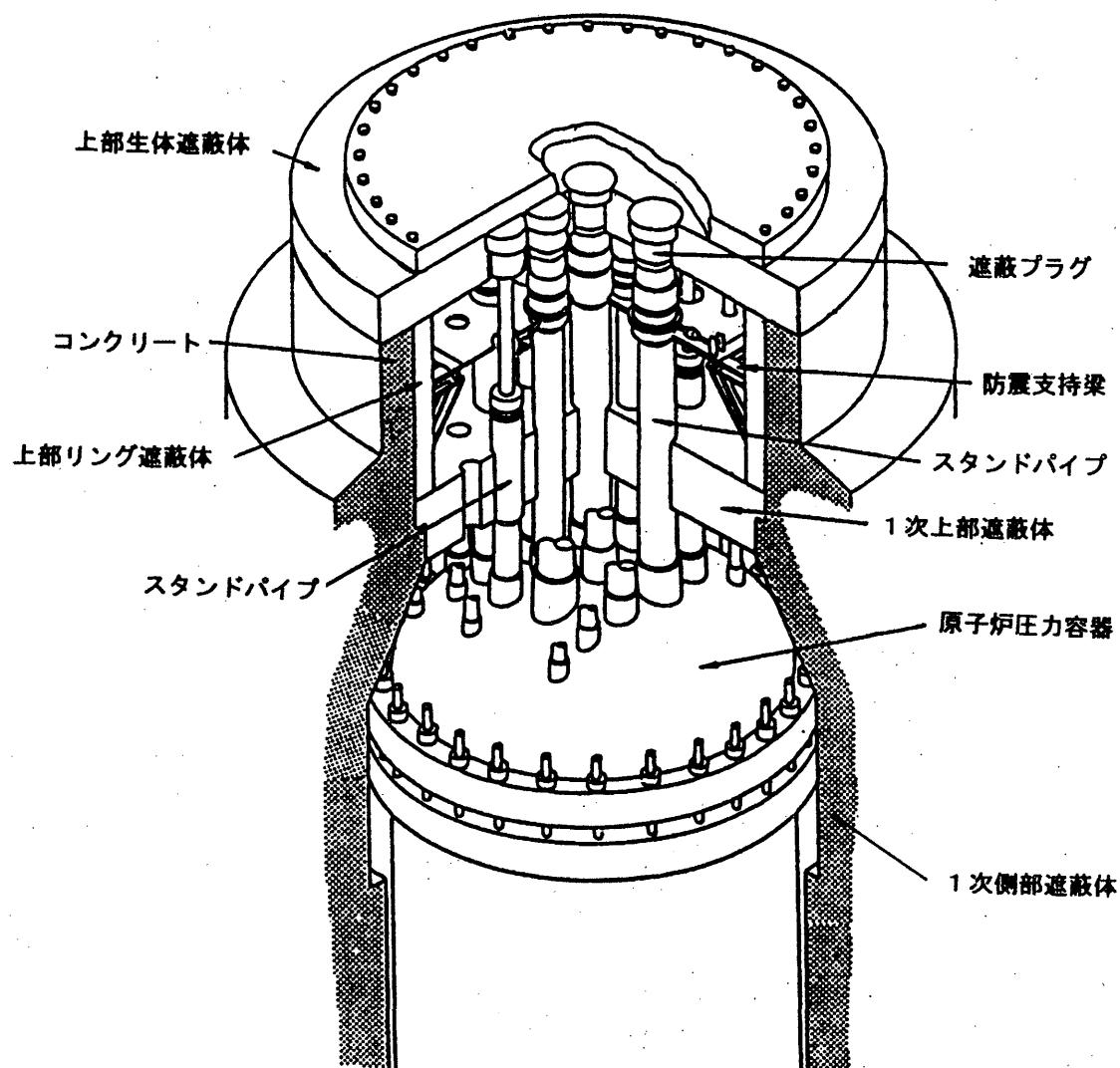


Fig. 2-7 Upper view of reactor pressure vessel.

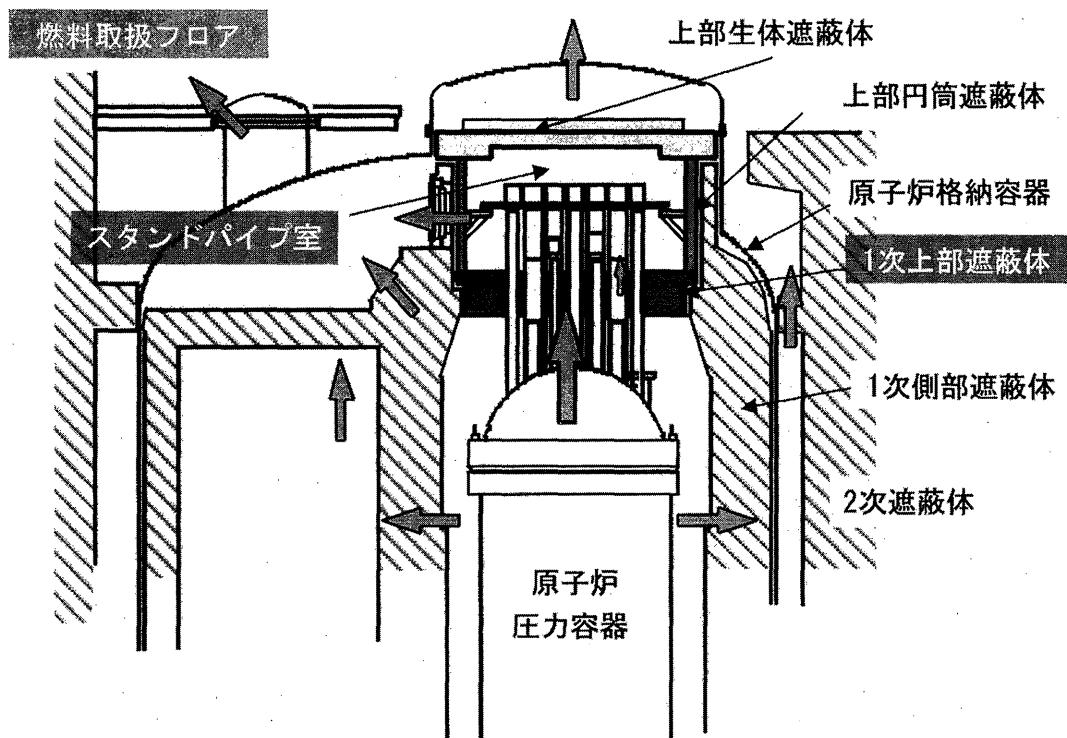


Fig. 2-8 Radiation paths toward the fuel treatment floor.

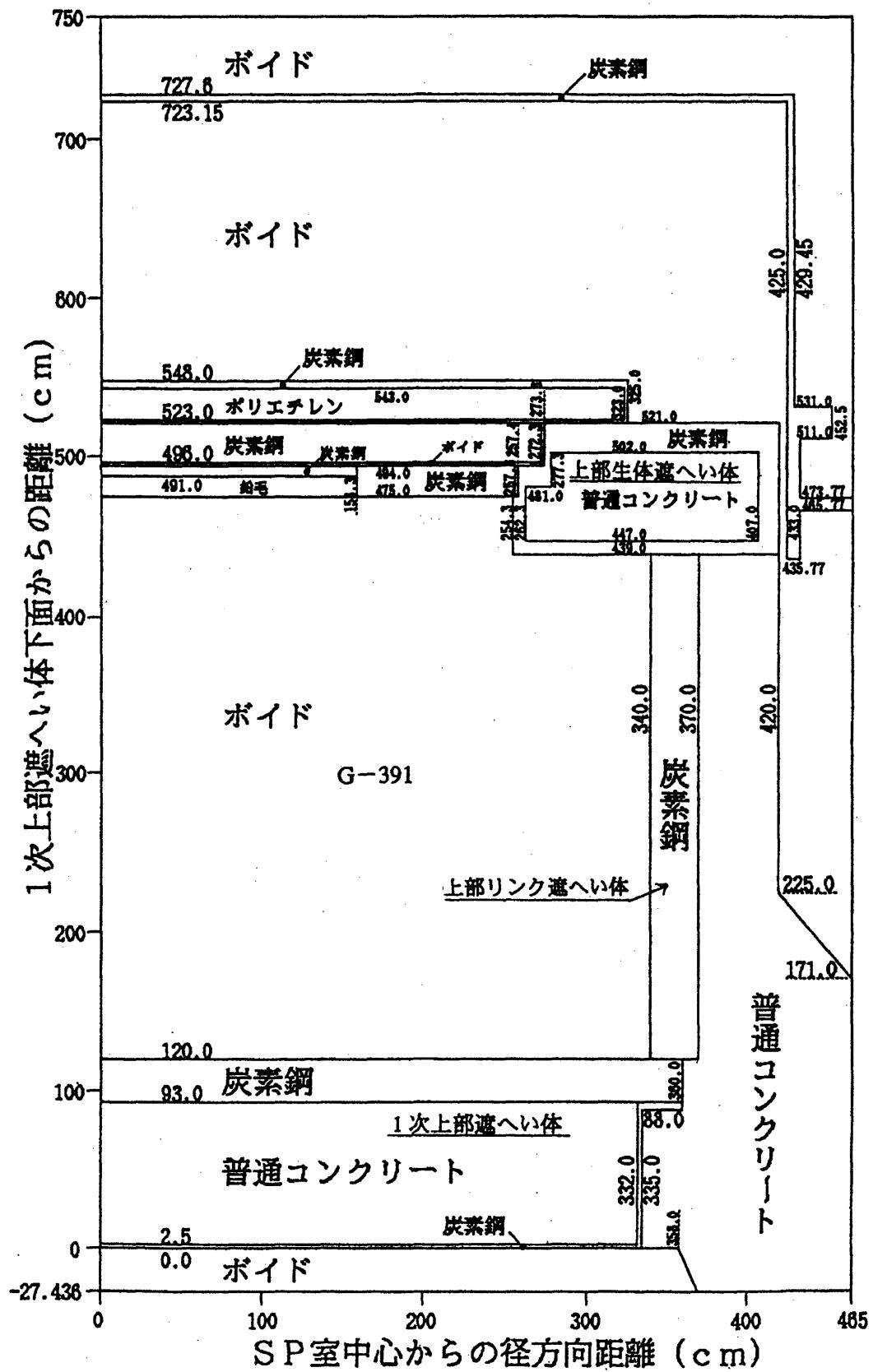


Fig. 2-9 Model for bulk calculation in stand pipe room.

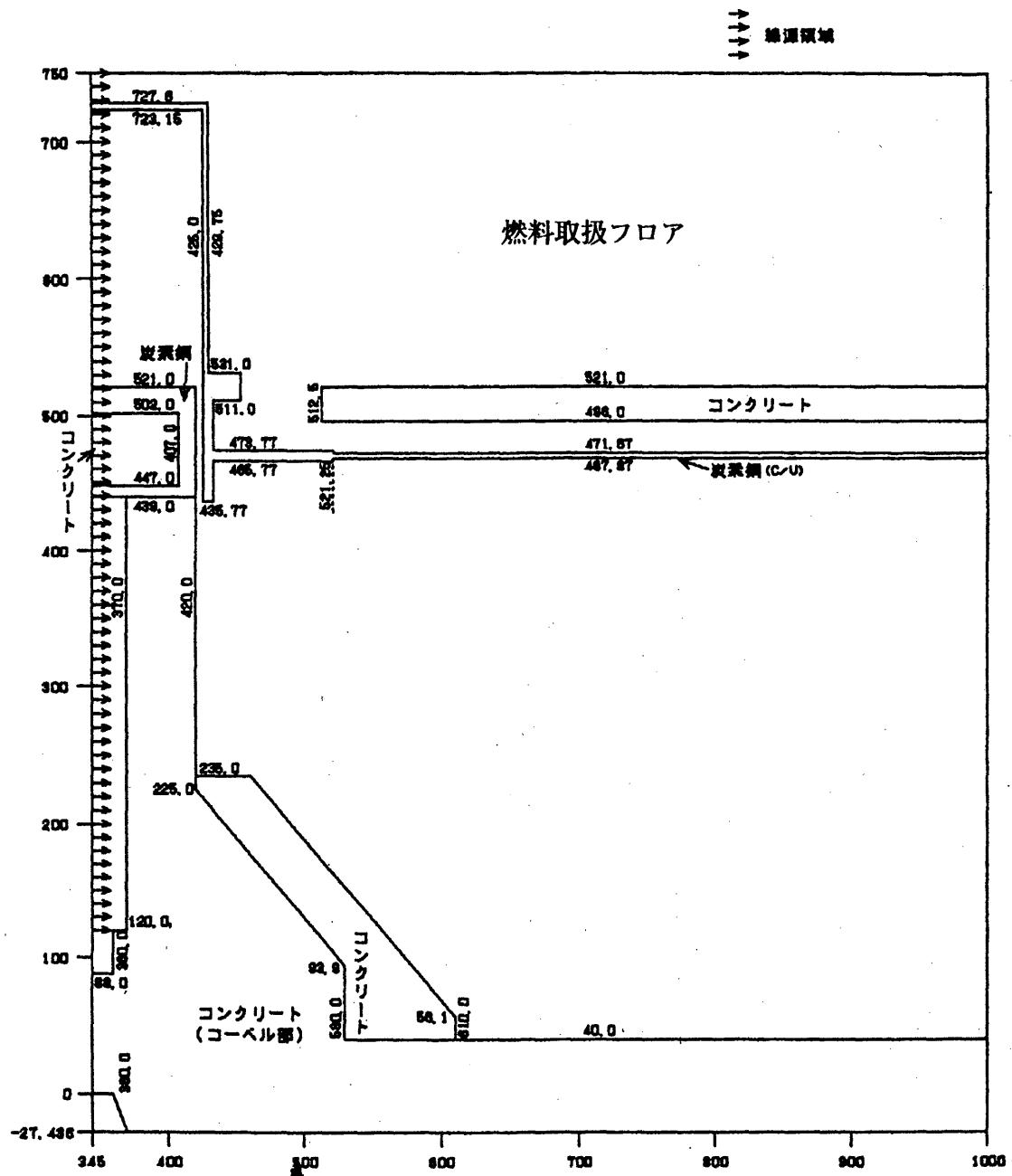


Fig. 2-10 Model for bulk calculation in stand pipe room.

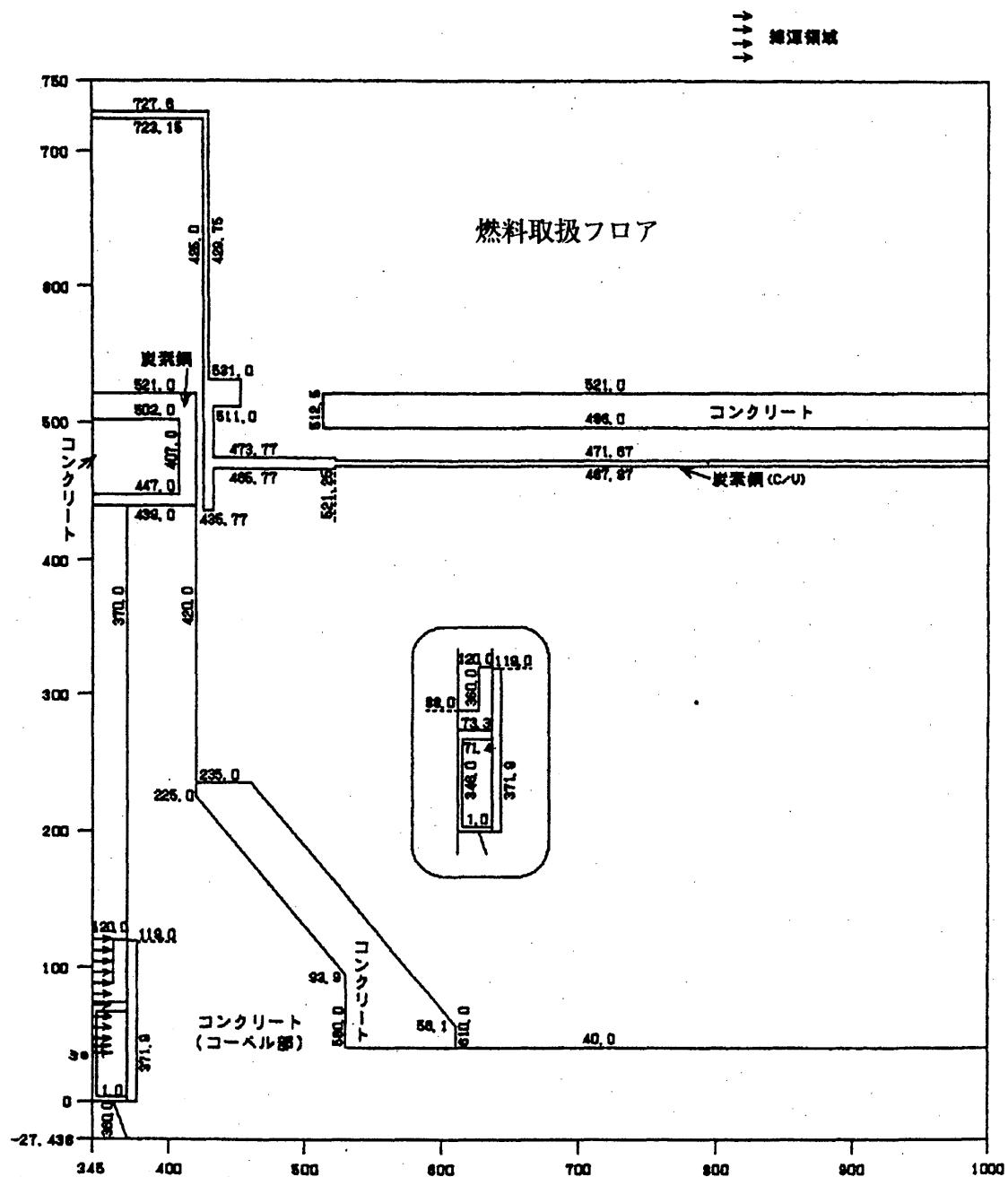


Fig. 2-11 Model for bulk calculation in cowbell part of containment vessel.

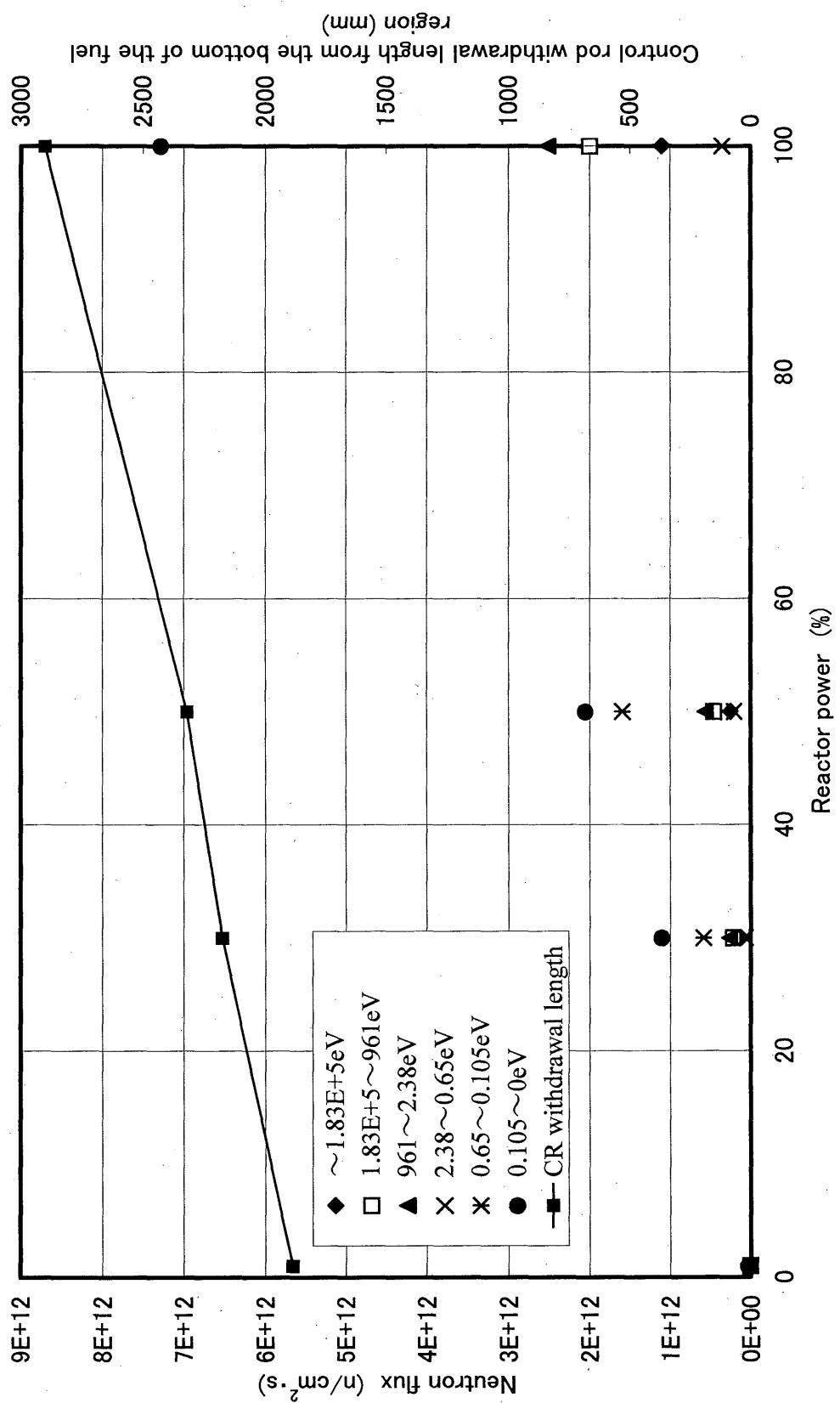
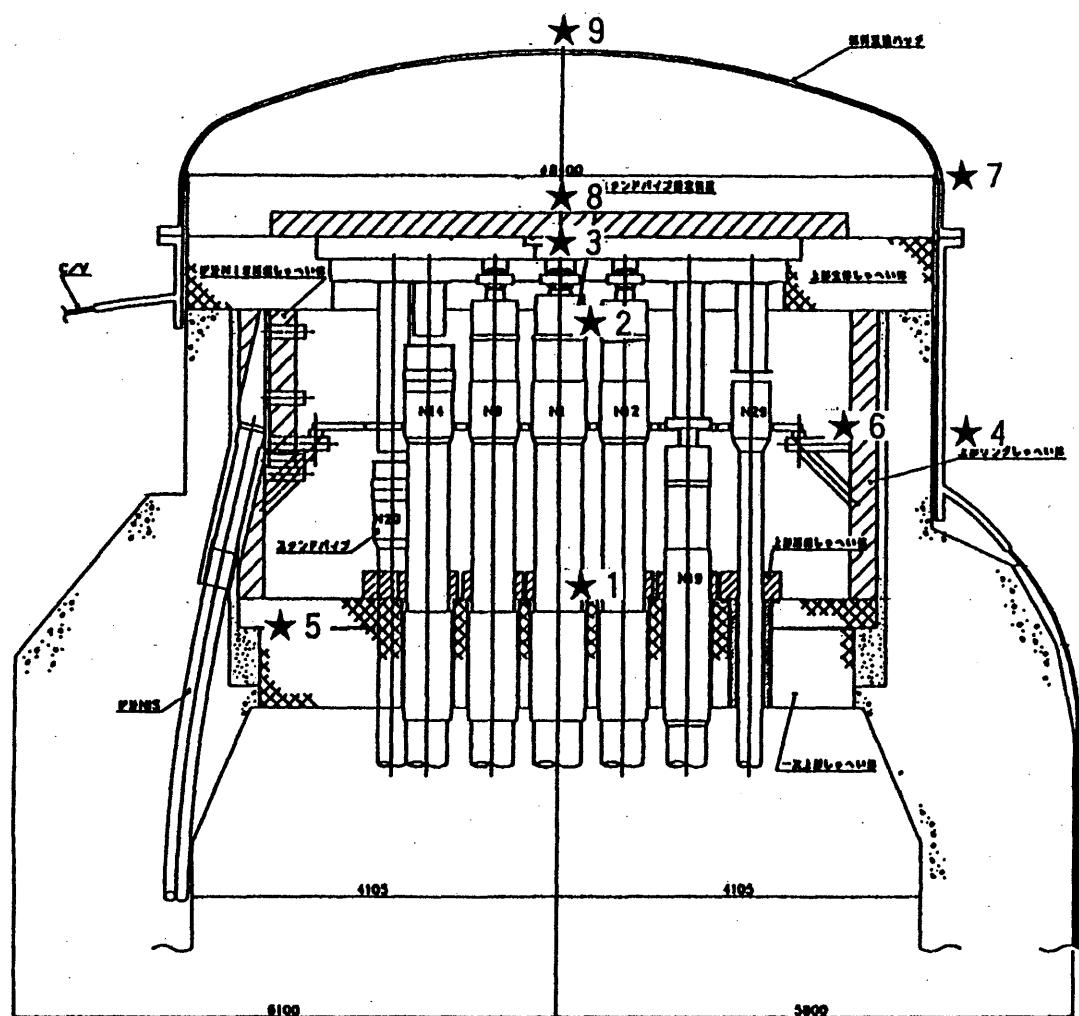


Fig. 2-12 Neutron flux at top replaceable reflector blocks as a function of reactor power.



★：評価点

Fig. 2-13 Calculation points in stand pipe room.

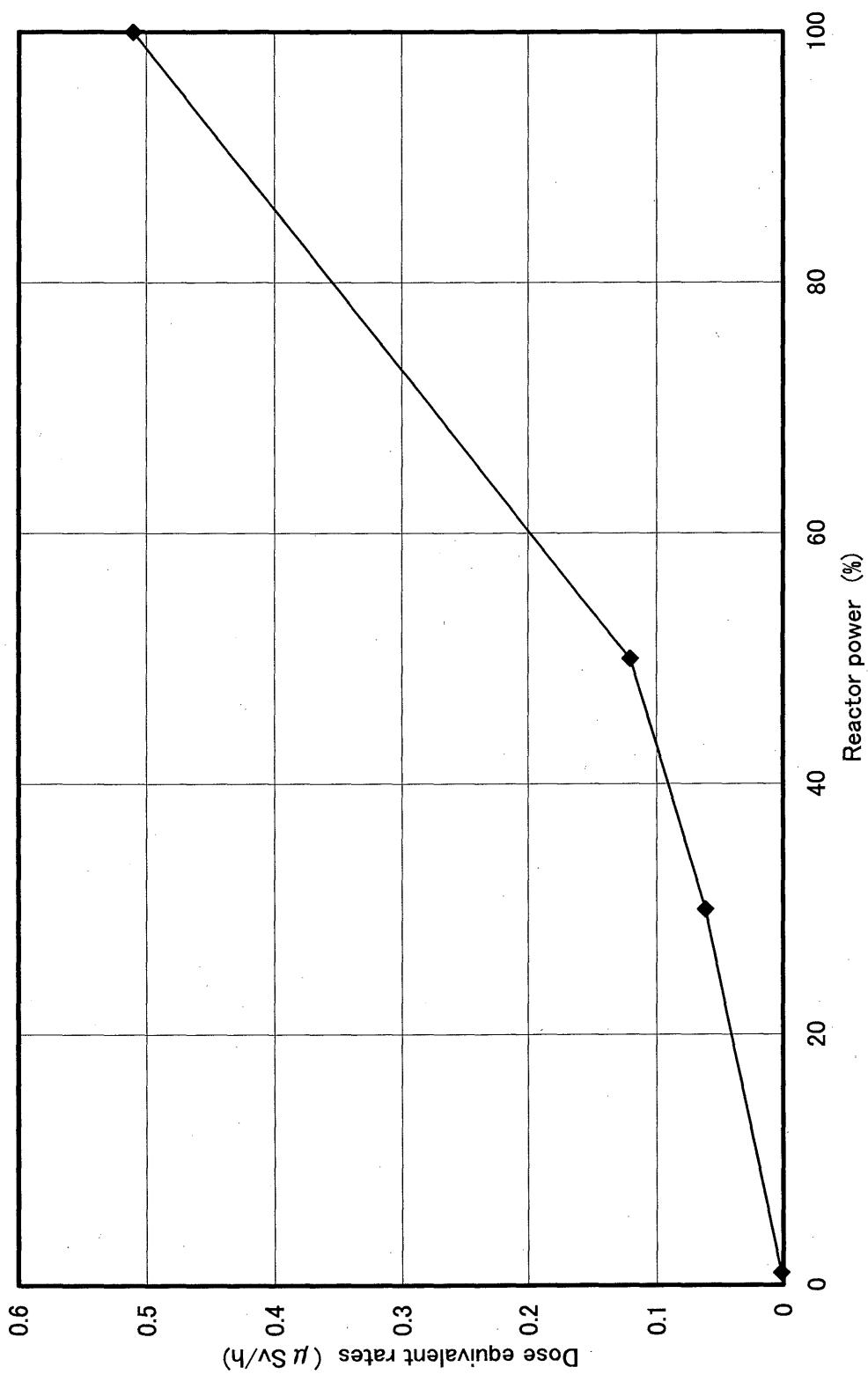


Fig. 2-14 Calculated dose equivalent rates around containment vessel as a function of reactor power (evaluated at the points toward 0° and 270°) at room N-310.

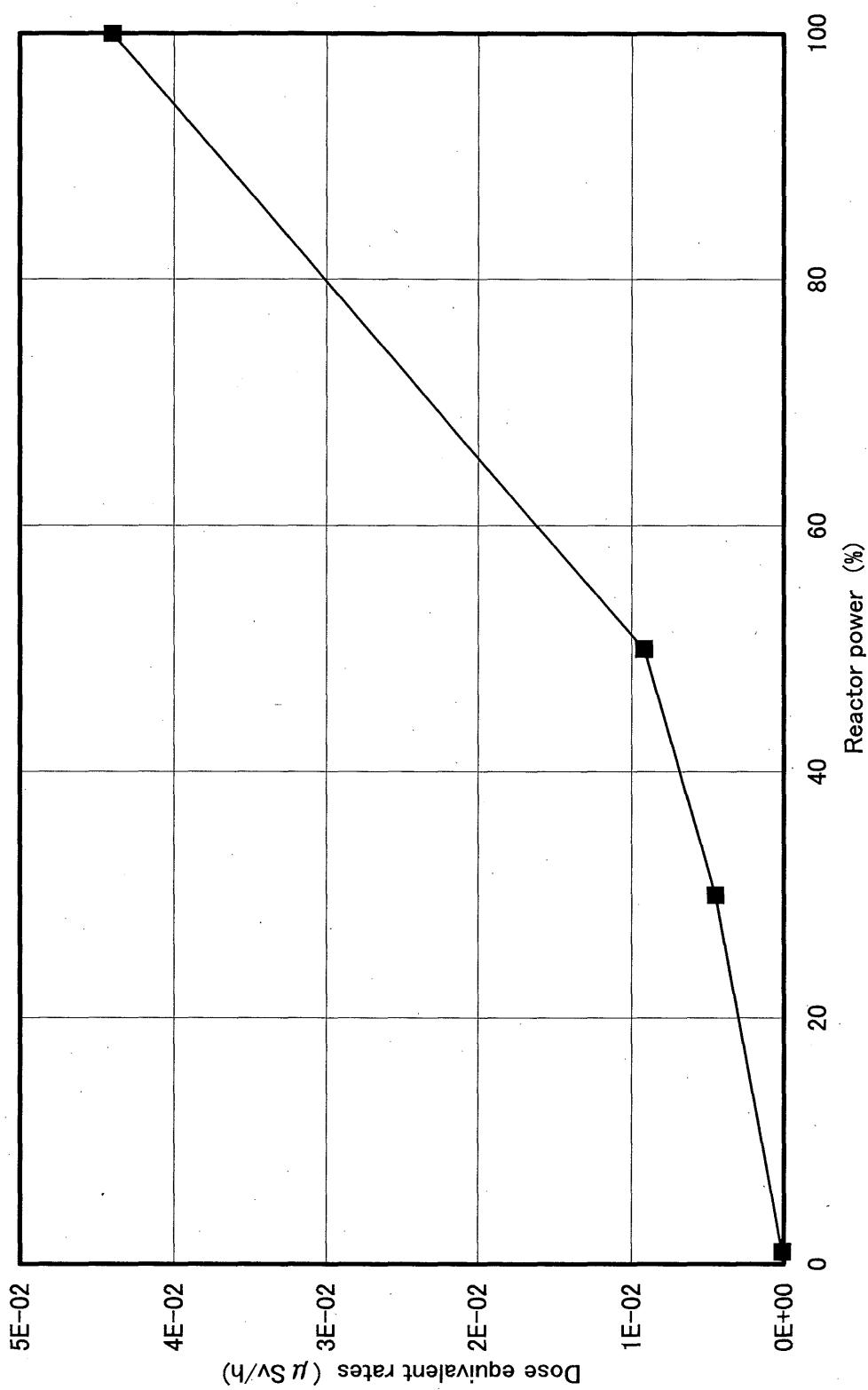


Fig. 2-15 Calculated dose equivalent rates around containment vessel as a function of reactor power (evaluated at the pointes toward 0° and 270°) at operation floor.

3. 試験内容

3.1 基本的考え方

HTTR の遮へい性能検査は、設計通りの遮へい性能が確保され、日本原子力研究所大洗研究所原子炉設置変更許可申請書等で定められた線量当量率の制限値が満足されていることを確認する目的で、臨界特性試験、出力上昇試験等において実施する。そのため、遮へい性能検査は、万一の異常を早期発見し対策を講じることができるよう、零出力の段階から各出力毎に実施することとした。具体的には、試験の目的に応じ、試験を Table 3-1 に示すように分類した。

遮へい性能検査としては、その他、燃料交換機、制御棒交換機、使用済燃料貯蔵プール等の遮へい性能の確認も適宜行うこととしている。燃料交換機及び制御棒交換機については、出力上昇試験(2)後に、HTTR 炉心内の出力分布などのデータを直接取得すること目的とした、燃料体からのガンマ線測定（出力分布測定）において線量当量率測定を実施しており、結果については高田らの文献⁽¹²⁾を参照されたい。

3.2 判定基準の考え方

低出力、中間出力、高出力遮へい試験における判定基準は、100%出力時に遮へい区分を満足することとする。各測定箇所について、出力が x% の時の判定値は、設計において予想した線量当量率に基づくものであり、各判定値を超えた場合は、設計、施工時等に何らかの問題がある可能性があるため、追加測定等の原因究明を行う。さらに、測定値に基づき 100% 出力時の線量当量率を予測し、基準線量当量率を上回るおそれがある場合は、その時点で対策を講じることとしている。

判定値は、以下の式で表す。

$$\text{判定値} = \sum_{i=1}^N \frac{x}{100} \times D_{n,i} + \sum_{j=1}^M y \times D_{\gamma,j} \quad (3-1)$$

ここで、

x : 出力上昇試験時の定格出力に対する原子炉出力 (%)、

D_{n,i} : i 番目のパスによる原子炉からの中性子及びガンマ線の線量当量率の定格運転時評価値 ($\mu \text{Sv/h}$)、

y : 出力上昇試験時の希ガス濃度の設計濃度 (1%燃料破損に相当) に対する比、

D_{n,j} : j 番目のパスによる核分裂生成物を線源とする機器からのガンマ線の

線量当量率の定格運転時評価値 ($\mu \text{Sv/h}$)

である。

3.3 測定点の選定

測定は原子炉まわりの線量当量率測定と、原子炉建家内の各部屋の線量当量率測定に大別して実施する。以下に、それぞれの測定点の選定について述べる。

(1) 原子炉まわりの測定箇所

スタンドパイプ室を含む上方向の遮へい設計評価は 2.4 項で述べたとおりである。特に 1 次上部遮へい体の上面（スタンドパイプ室内）は燃料取扱フロアの線量当量率に大きく影響し、スタンドパイプ貫通部等のある複雑な構造であるため、詳細に測定を行う必要がある。そこで、測定箇所は 1 次側部遮へい体の周囲と 1 次上部遮へい体の上面とした。スタンドパイプ室内の測定箇所を Fig. 3-1 に、原子炉側部の測定箇所を Fig. 3-2 に示す。スタンドパイプ室内の測定箇所として、スタンドパイプ周囲のストリーミングを測定するための間隙部と、貫通部の無いバルク部を数点ずつ選定した。原子炉側部の測定箇所は周方向 4 点（ほぼ東西南北）、高さ方向 3 点 (EL.33m、28m、23m 付近) の合計 12 箇所とした。

原子炉周りは人が立入って測定することが出来ないため、積算線量計として放射線熱蛍光線量計 (Thermo Luminescence Dosimeter; TLD) 及び固体飛跡線量計 (Solid state Track Dosimeter; STD) を貼付して測定した。スタンドパイプ室については上部リング遮へい体の内面に TLD 及び STD を取付けることとし、径方向に 0° 、 90° 、 210° の 3 方向、高さ方向は防振支持梁の上側と下側とし、合計 12 箇所測定することとした。この測定位置は遮へい設計および出力上昇試験事前解析での評価点にほぼ等しい位置であることから、ここでの測定値と解析値を比較することにより、他の位置での線量当量率も概ね予測することができる。

さらに出力上昇試験(3)以降は、スタンドパイプ室での原子炉出力による運転中の線量当量率の変化を調べるため、TLD 及び STD の他に、記録計（ペンレコーダ）を接続したレムカウンタとガンマ線エリアモニタを追加設置し、線量当量率の時間変化を連続測定した。また、出力上昇試験(4)では、G392 室床のケーブル貫通部出入口部に TLD と STD を設置し、貫通部の遮へい性能が損なわれていないかを確認した。

(2) 原子炉建家内の各部屋の測定箇所

原子炉建家内の管理区域のうち、原子炉運転中に人が立入ることの出来る全ての部屋及び非管理区域の一部の部屋について、原子炉出力 1%、30%、50%、67%、100% で線量当量率を測定することとした。各部屋の測定箇所は、線量当量率が最も高くなると思われる場所（原子炉側の壁表面）とし、高さ方向は出来る限り床上 1m の位置に統一した。但し、HTTR の設置に係る設計及び工事の方法の認可（以下、設工認と称す）申請書に記載される代表評価

点になっている部屋については、設工認申請書添付書類に記された場所を測定点とした。燃料取扱フロアは部屋が広いことから設計時の代表評価点、線量当量率が高くなりそうな点、及び設工認の代表評価点から、全部で 13箇所の測定点を選定した。フロア毎の線量当量率の測定箇所を Figs. 3-3～3-8 に示す。なお、原子炉出力が 1%のときには線量当量率が非常に低く、計測器の測定限界以下になることが予想されたため、測定箇所を原子炉に隣接する部屋に限定した (Figs. 3-3～3-8 中で *印の付いた測定点)。

3.4 測定方法

測定点のうち、人が立ち入れる場所及び貫通孔出口については、ガンマ線用及び中性子線用のサーベイメータを用いて線量当量率を測定することとした。人が立ち入れない場所は、連続測定のためのサーベイメータ並びに TLD 及び STD を設置することにより測定を行うこととした。

(1) サーベイメータ

ガンマ線の測定は、GM 管式サーベイメータを用いて行った。測定範囲は 0.2～300 [Sv/h] であり、バックグラウンドレベルは測定結果に基づき $0.2 \mu \text{Sv/h}$ とした。

中性子線の測定は、アロカ株式会社製 TPS-451S の可搬型レムカウンタにて行った。検出器には ^3He 比例計数管を用いており、ポリエチレン減速材、ホウ素化合物の内部吸収材を用いている。測定範囲は $0.01 \mu \text{Sv/h} \sim 10 \text{mSv/h}$ であるが、検出限界は $0.1 [\text{Sv/h}]$ とした。放射線校正は、速中性子について $^{241}\text{Am}\cdot\text{Be}$ (4.5 MeV)、熱中性子について ^{252}Cf (0.025 eV) を用いて行っている。

また、出力上昇試験(3)及び(4)では、スタンドパイプ室内に検出器を仮設し、ガンマ線、中性子線共に連続測定を行った。Fig. 3-9 に測定体系を示す。ガンマ線の測定は MAR-761B を用いて行った。また、中性子線は可搬型レムカウンタと同じ TPS-451S を用いた。

(2) 放射線熱蛍光線量計 (TLD)

原子炉出力運転時には格納容器内へ立入って測定を実施することが出来ないため、ガンマ線及びエックス線用と熱中性子用の熱蛍光線量計 (TLD) 等を用いて測定した。中性子線用の TLD では、高速中性子を直接測定することができないため、TLD をコンクリート壁の内面に取付け、高速中性子がコンクリート中で散乱することによって発生する熱中性子 (後方散乱によって TLD に跳ね返ってくるもの) を同時に測定した。

この時、TLD により測定される中性子線の全線量当量率は、以下の式により表される。

$$D_n^{total} = D_n^{fast} \times r \times k + D_n^{thermal}$$

D_n^{total} : 中性子線の全線量当量率
 D_n^{fast} : 高速中性子の線量当量率
 $D_n^{thermal}$: 熱中性子の線量当量率
 r : コンクリートによるアルベド中性子の反射係数
 k : コンクリートを人体と等価とするための換算係数

(3-2)

線量当量の測定には、松下電器産業株製 UD-802PQ 及び UD-813PQ4 を用いた。線量当量の読み取りは、熱蛍光線量計測装置 UD-706P で行った。測定線質及び範囲を Table 3-2 に示す。1 つの素子は 4 つのエレメントから成り、各エレメントは異なる蛍光体材料及びシールドから構成されている。原則としてガンマ線の測定は主に UD-802PQ で、熱中性子の測定は UD-813PQ4 で行った。UD-813PQ4 は、 ${}^6\text{Li} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + {}^1\text{n}$ の反応によって熱中性子を測定するもので、 $1 \mu\text{Sv} \sim 0.1\text{Sv}$ の範囲を測定範囲としている。シールド材である Cd のカットオフエネルギーが約 0.5eV なので、測定エネルギー範囲は 0.5eV 以下となる。

熱蛍光線量計測定装置は、赤外線加熱フォトン計数法と電流積分法を併用して線量当量を求めるもので、Table 3-3 に示すような特性を有する。感度補正は、内蔵された調整用光源により自動補正を行うことができる。

TLD の線量測定手順及び試験に先立って実施した基準照射試験結果を付録-1 に示す。

(3) 固体飛跡線量計 (Solid State Nuclear Track Detector(SSNTD)法による)

TLD による測定と合わせて、高速中性子及び熱中性子それぞれの線量当量率を詳細に測定するため、各 TLD 測定点に STD を設置した。STD では、中性子による核分裂、反跳、 (n, α) 反応などにより放出される陽子、 α 粒子、核分裂片などの荷電粒子が絶縁性の固体の中に作る飛跡数を、光学顕微鏡により計数する事により測定する。中性子の測定では、プラスチック中の水素原子と弾性衝突して反跳された粒子や α 粒子により生じた飛跡数を計数することとなる。STD は、長瀬ランダウア株製 TS-16N を使用した。測定線質及び範囲を Table 3-4 に示す。素子は、Fig. 3-10 に示すように、検出部である ADC (Allyl Diglycol Carbonate) プラスチック板と、前面の熱中性子用窒化ホウ素ラジエータ及び高速中性子用高密度ポリエチレンラジエータにより構成され、中性子の照射によってラジエータ内で生じた反跳陽子が ADC 板に作る傷の数を数えることで線量当量を測定できる。

Table 3-1 Classification of shielding performance test.

分類	目的・内容	主要計測位置
①運転前遮へい試験	臨界特性試験時に仮設中性子源を用いてスタンドパイプ貫通部からの中性子ストリーミングが無いことを確認する	スタンドパイプ室
②低出力遮へい試験	原子炉から原子炉格納容器外部へのストリーミングが無いことを確認する	燃料取扱フロア及び原子炉格納容器周囲
③中間出力遮へい試験	全出力時に各中間出力段階で制限値を超えないことを確認する	B 及び C 区分の部屋が中心、寄与が大きい場所（設工認代表点等）
④高出力遮へい試験	100%出力時に制限値を満足することを確認する	全部屋
⑤停止後遮へい試験	放射化量及び沈着核分裂生成物の核種、量を測定する	放射化や核分裂生成物沈着が問題となりうる原子炉格納容器内機器等

Table 3-2 Characteristics of the TLD.

UD-802PQ	測定線質		測定範囲	
	γ 線及び X 線 (10 keV~10 MeV)		γ 線及び X 線 (10 μ Sv~10 Sv)	
	エレメント 1	エレメント 2	エレメント 3	エレメント 4
蛍光体材料	$^{n}\text{Li}^{n}\text{B}_4\text{O}_7$ (Cu)		CaSO ₄ (Tm)	
シールド	樹脂 14 mg/cm ³	樹脂 160 mg/cm ³	鉛 厚さ 0.7 mm	

UD-813PQ4	測定線質		測定範囲	
	γ 線及び X 線 (20 keV~10 MeV) 熱中性子線 ($^{6}\text{Li}^{10}\text{B}$ の(n, α)反応)		γ 線及び X 線 100 μ Sv~10 Sv 熱中性子線 1 μ Sv~0.1 Sv	
	エレメント 1	エレメント 2	エレメント 3	エレメント 4
蛍光体材料	$^{6}\text{Li}^{10}\text{B}_4\text{O}_7$ (Cu)		$^{7}\text{Li}^{11}\text{B}_4\text{O}_7$ (Cu)	
シールド	樹脂 160 mg/cm ³		鉛 厚さ 0.7 mm	

Table 3-3 Characteristics of TLD reader.

エレメント	再現性	測定範囲
$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$	$\sigma=5\%$ 以下 (@2.5 mSv)	100 μ Sv~10 Sv
CaSO ₄	$\sigma=3\%$ 以下 (@2.5 mSv)	10 μ Sv~0.5 Sv

Table 3-4 Characteristics of the solid state track dosimeter.

測定線質	高速中性子	熱中性子
エネルギー範囲	50keV~10MeV	0.025eV~0.5eV
線量当量範囲	100 μ Sv~3.5Sv	

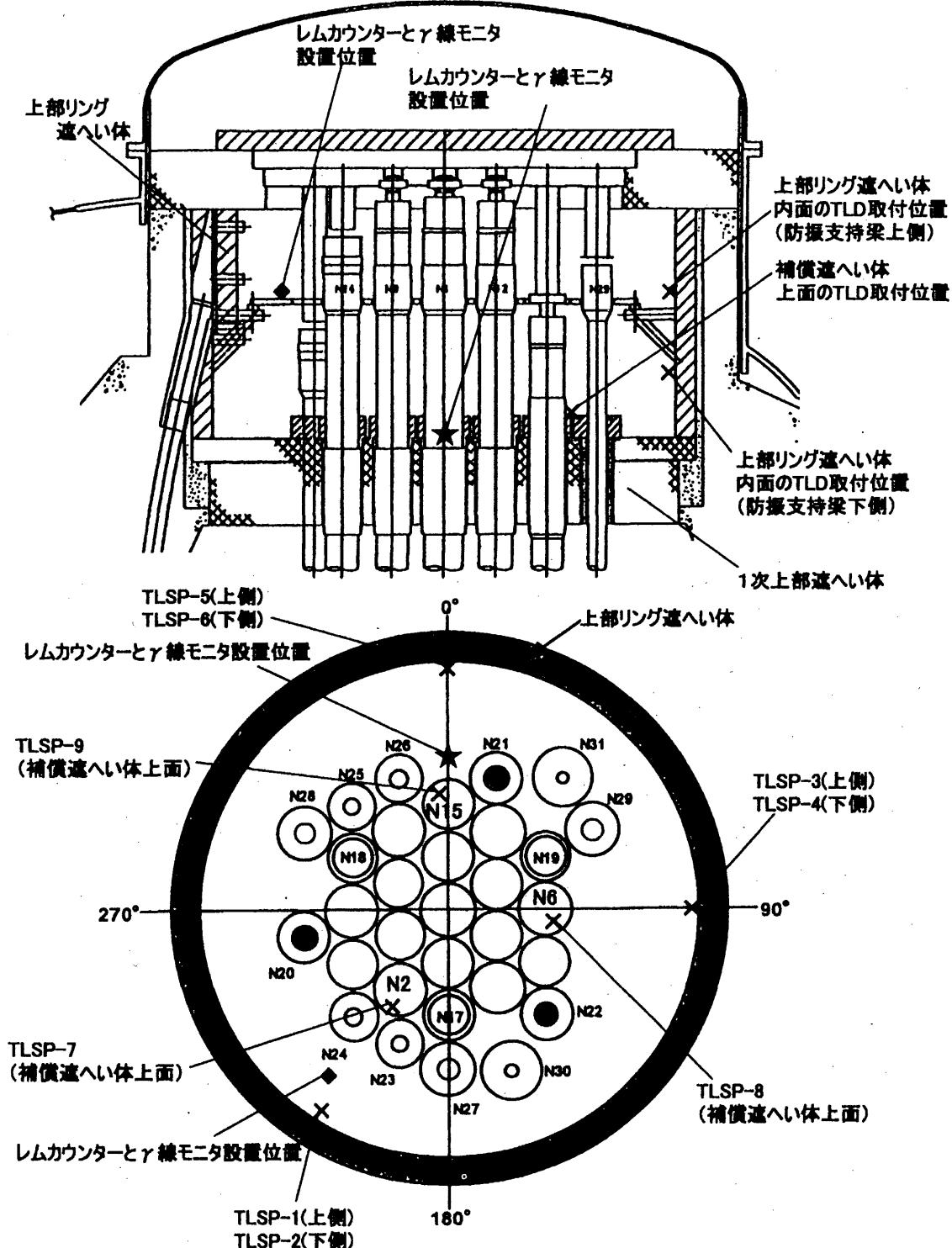


Fig. 3-1 Measuring points in stand pipe room.

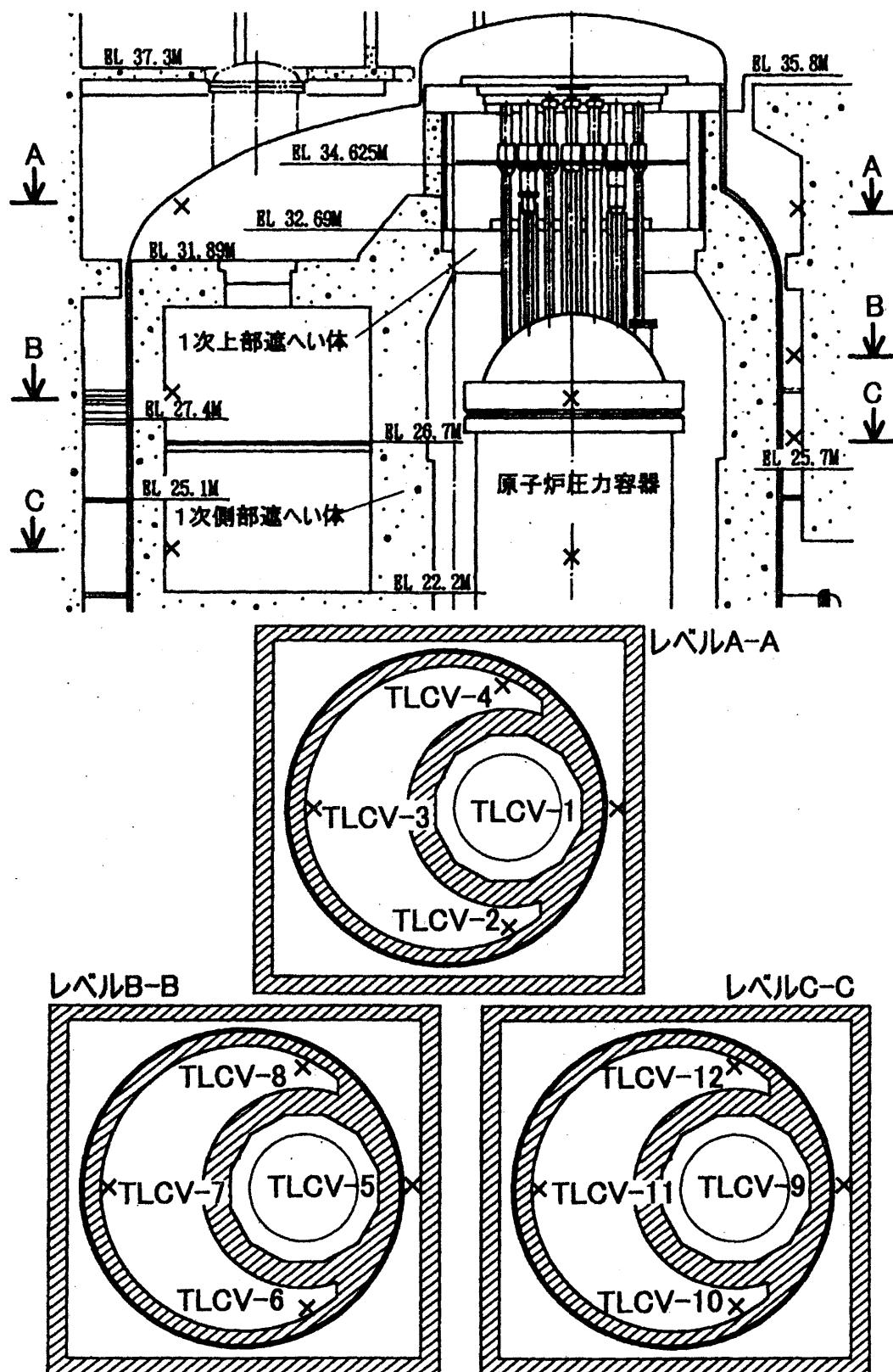


Fig. 3-2(1/2) Measuring points around the reactor.

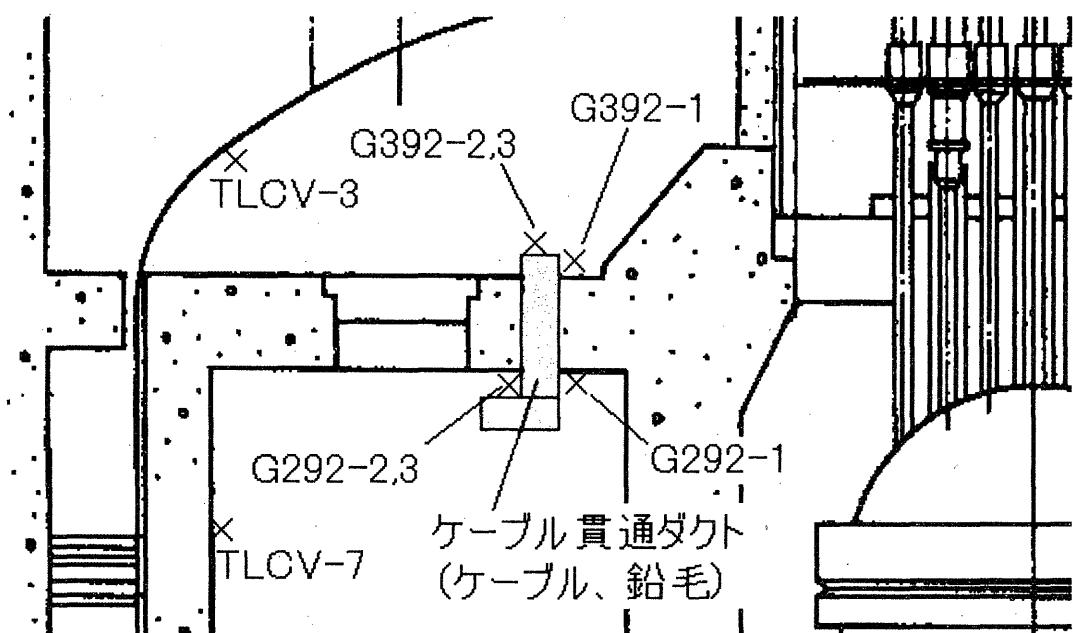


Fig. 3-2(2/2) Measuring points around the reactor.

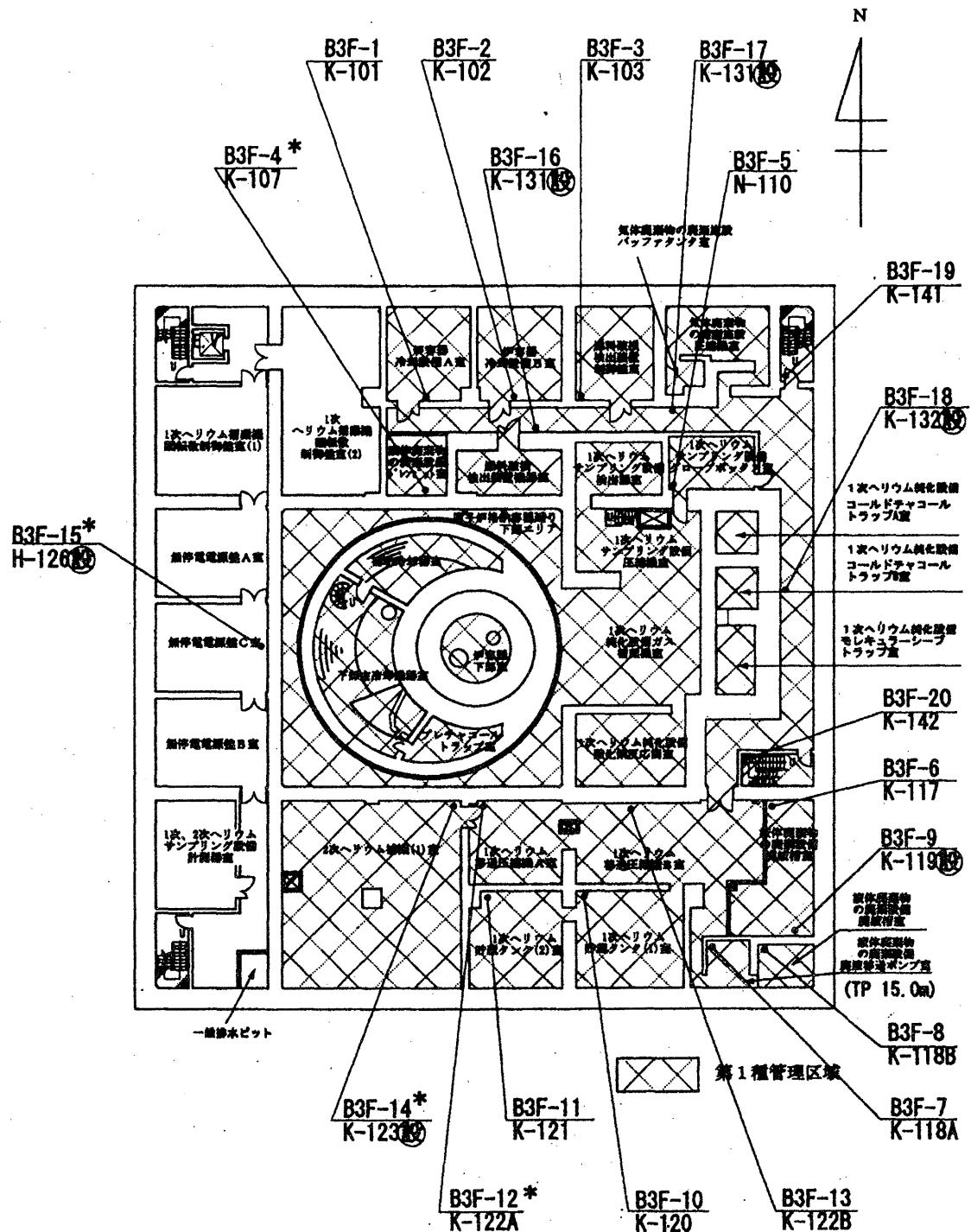


Fig. 3-3 Measurement points of dose equivalent rate at operation power in 1~100% reactor power (B3F).

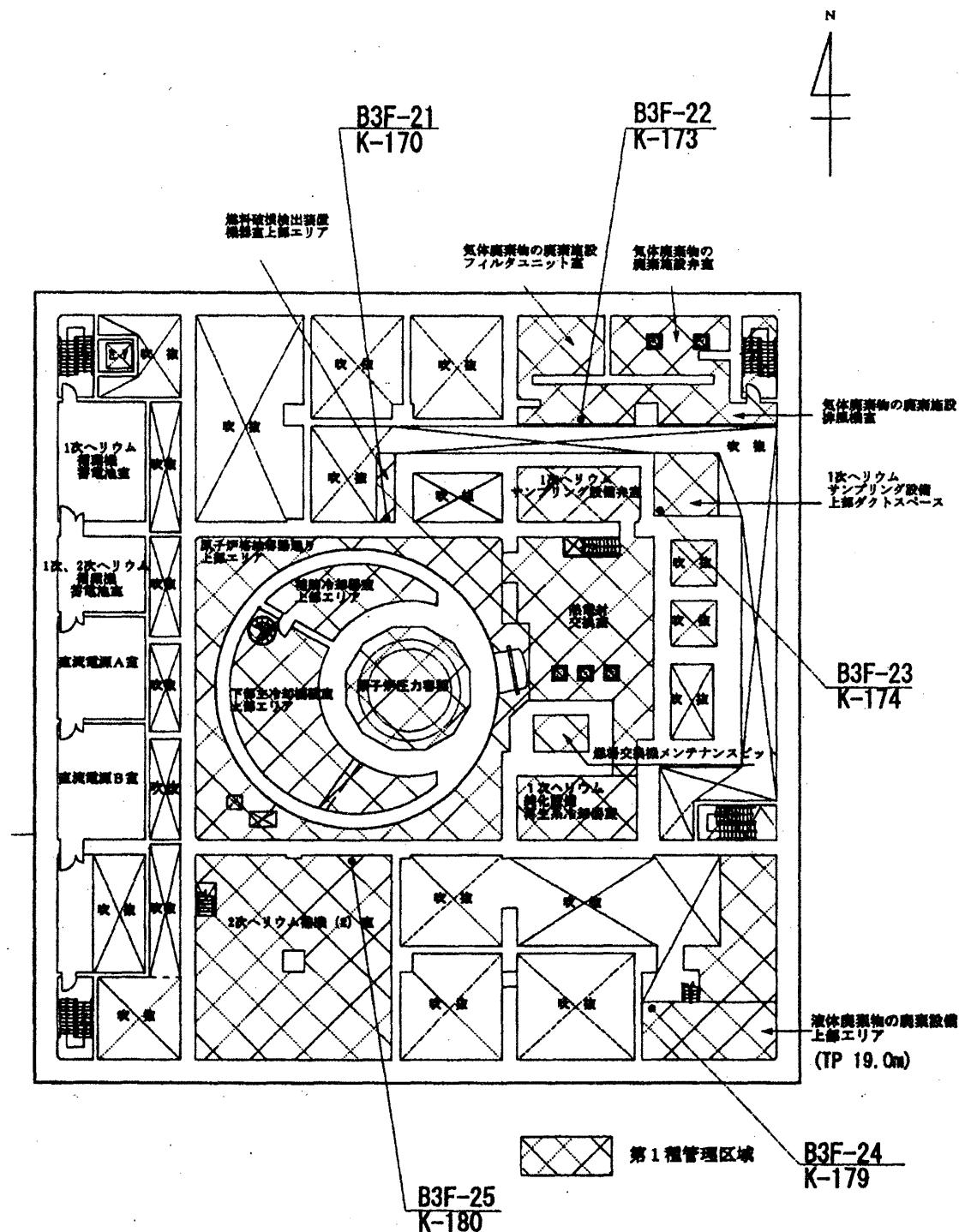


Fig. 3-4 Measurement points of dose equivalent rate at operation power in 1~100% reactor power (MB3F).

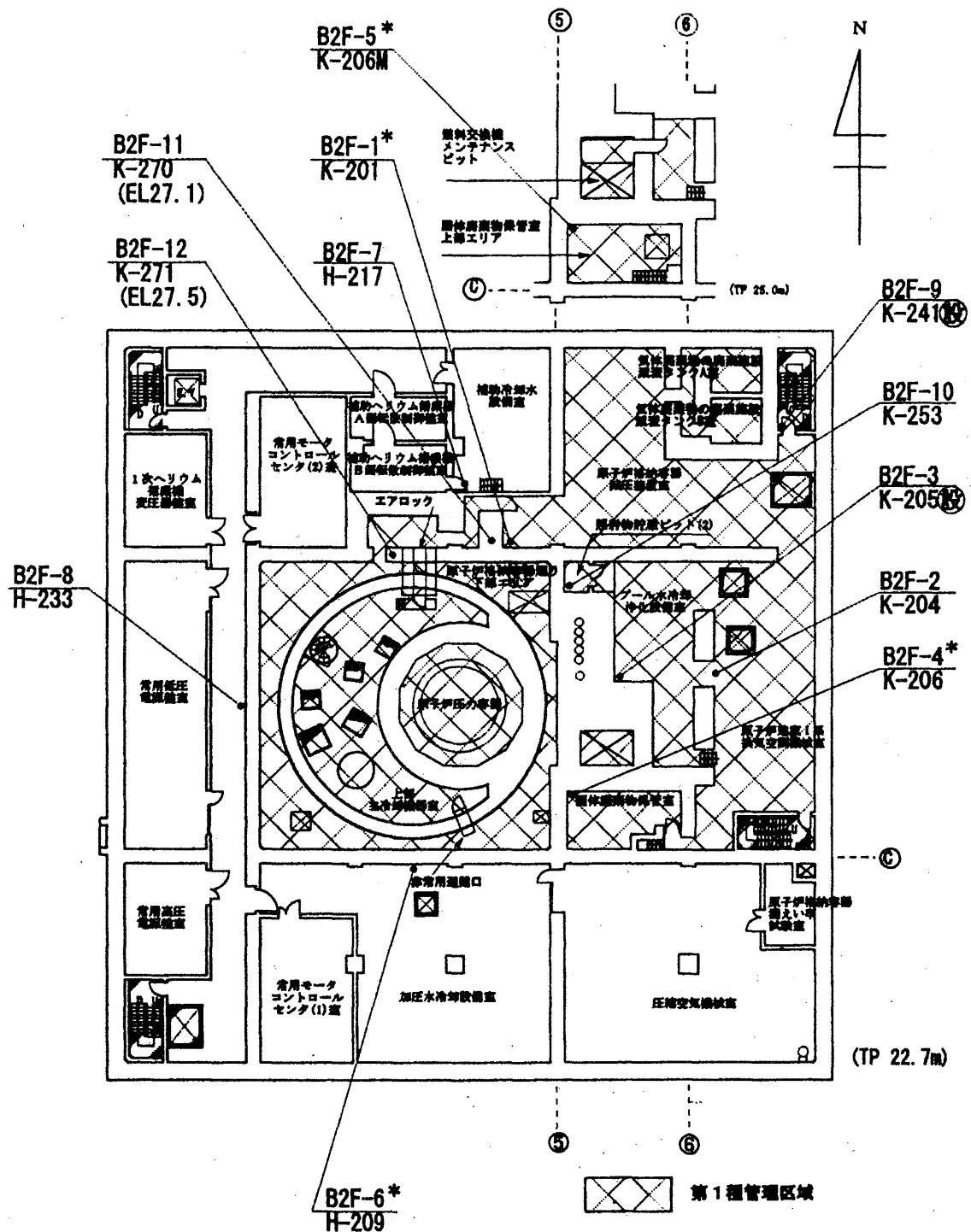


Fig. 3-5 Measurement points of dose equivalent rate at operation power in 1~100% reactor power (B2F).

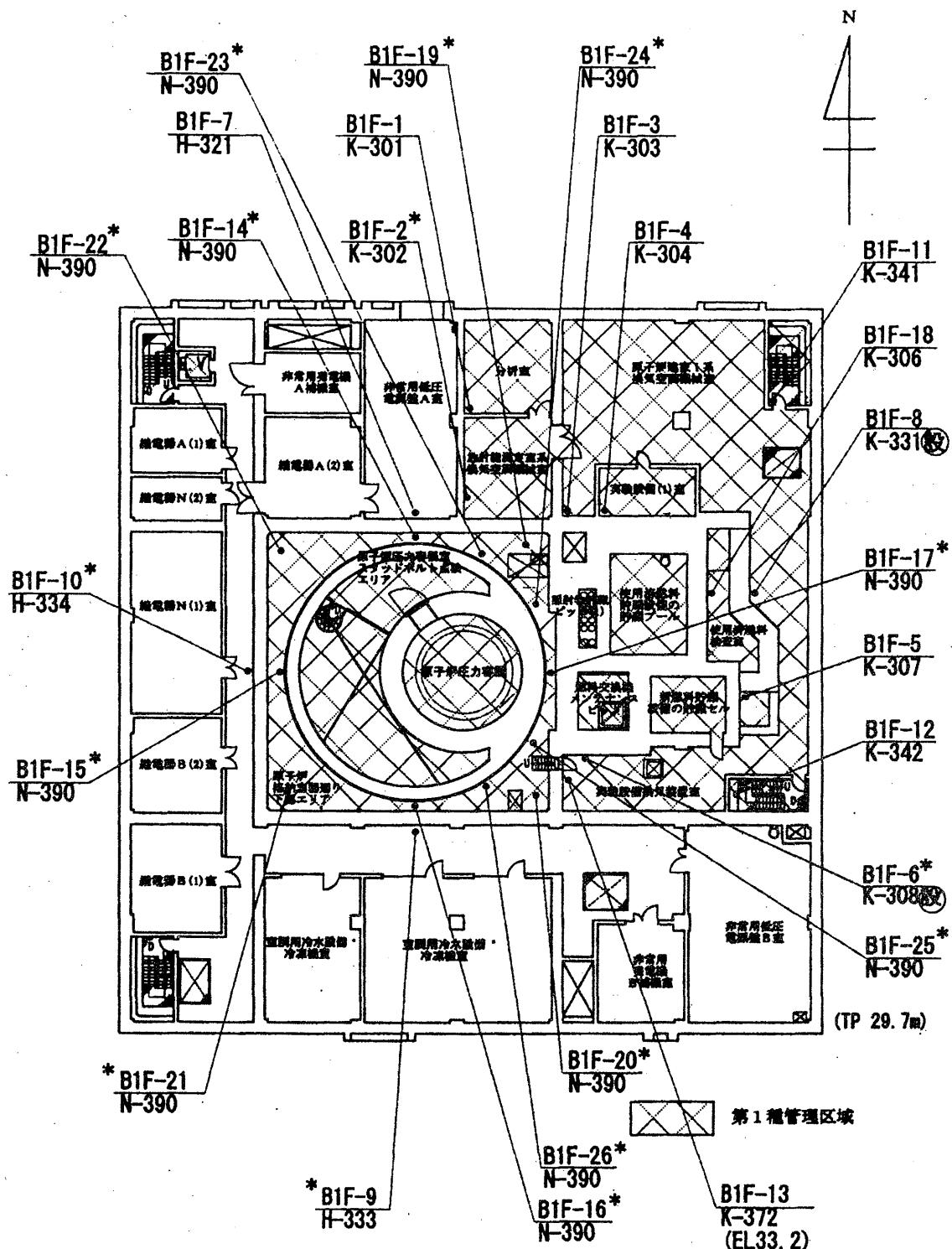


Fig. 3-6 Measurement points of dose equivalent rate at operation power in 1~100% reactor power (B1F).

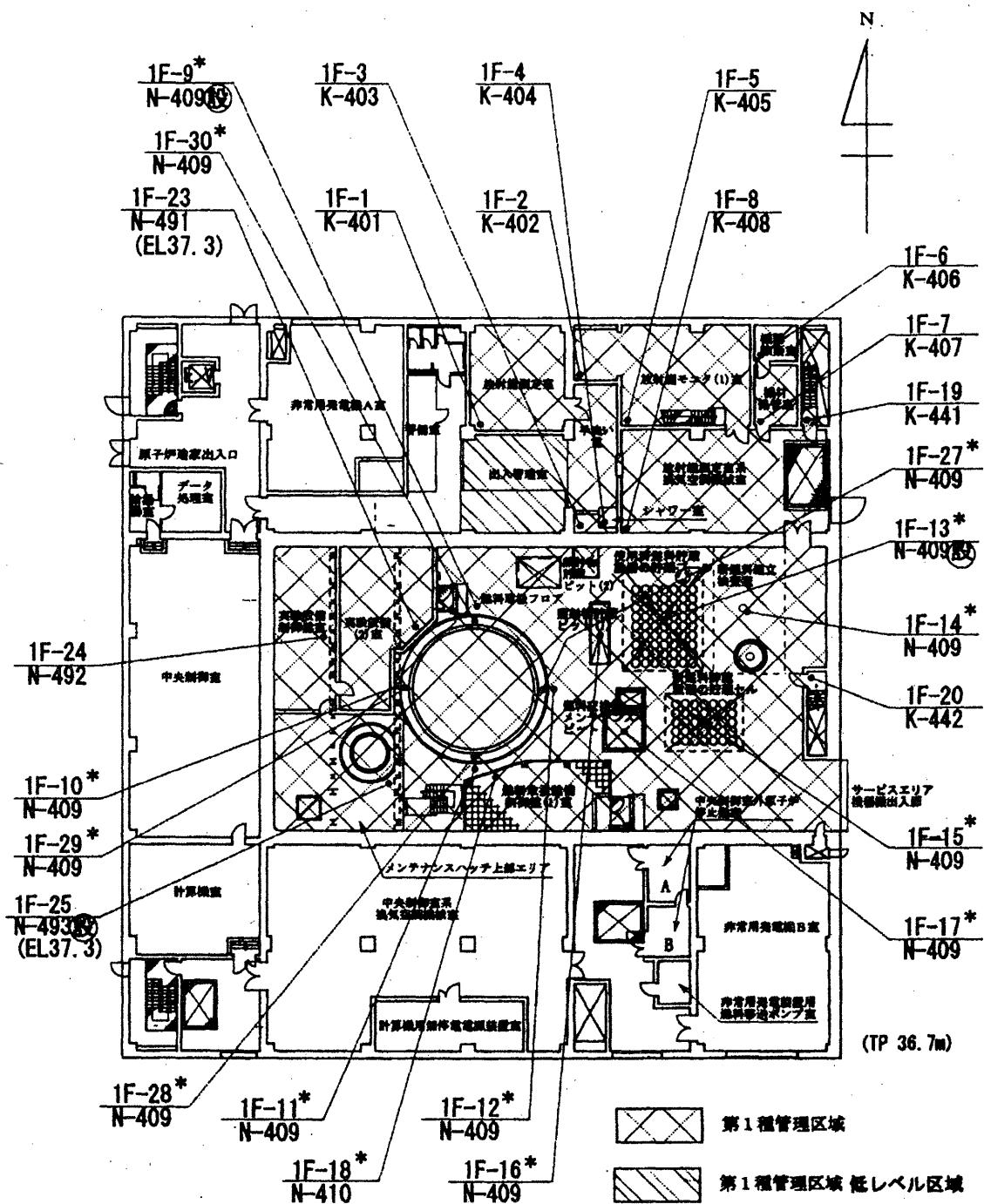


Fig. 3-7 Measurement points of dose equivalent rate at operation power in 1~100% reactor power (1F).

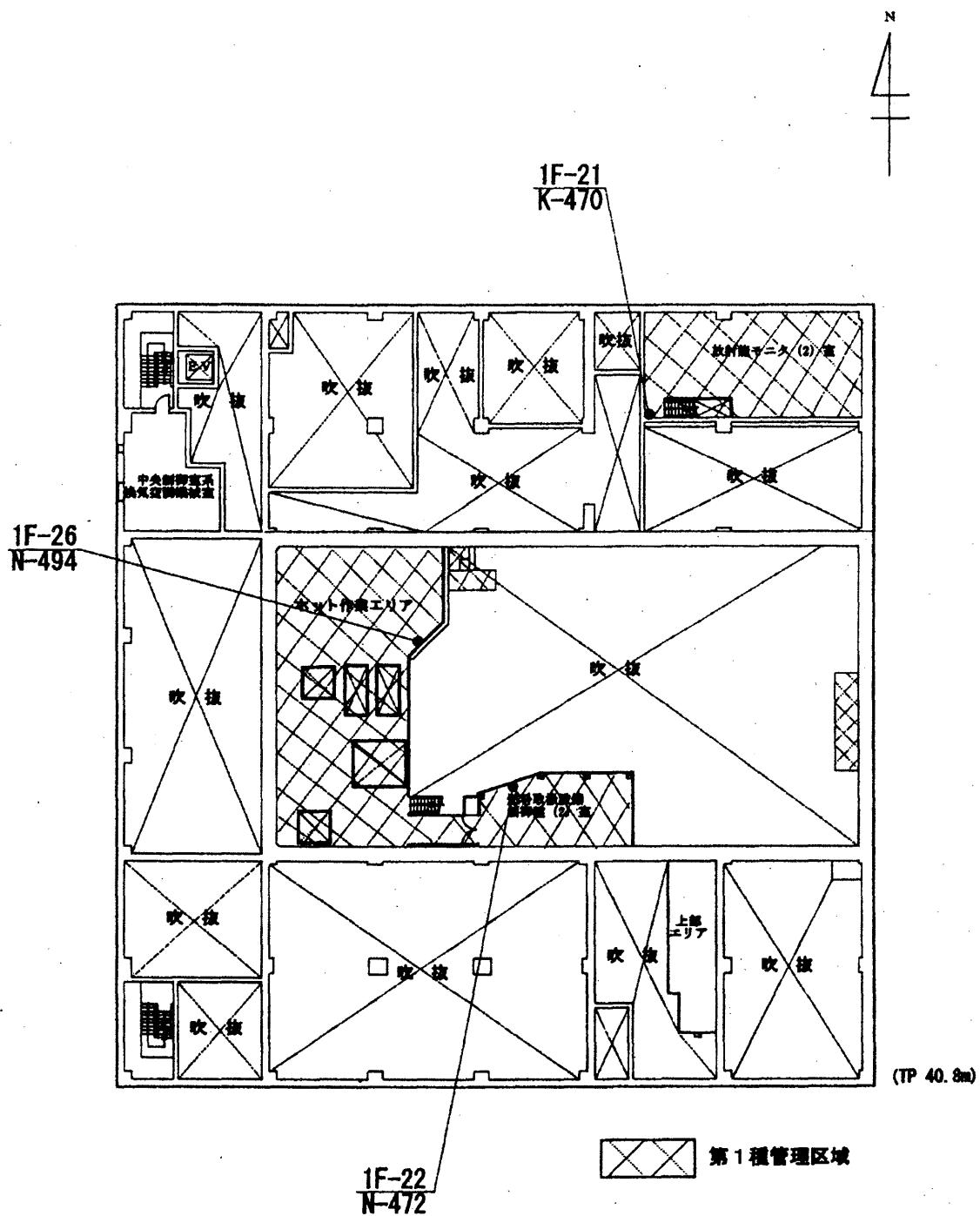


Fig. 3-8 Measurement points of dose equivalent rate at operation power in 1~100% reactor power (M2F).

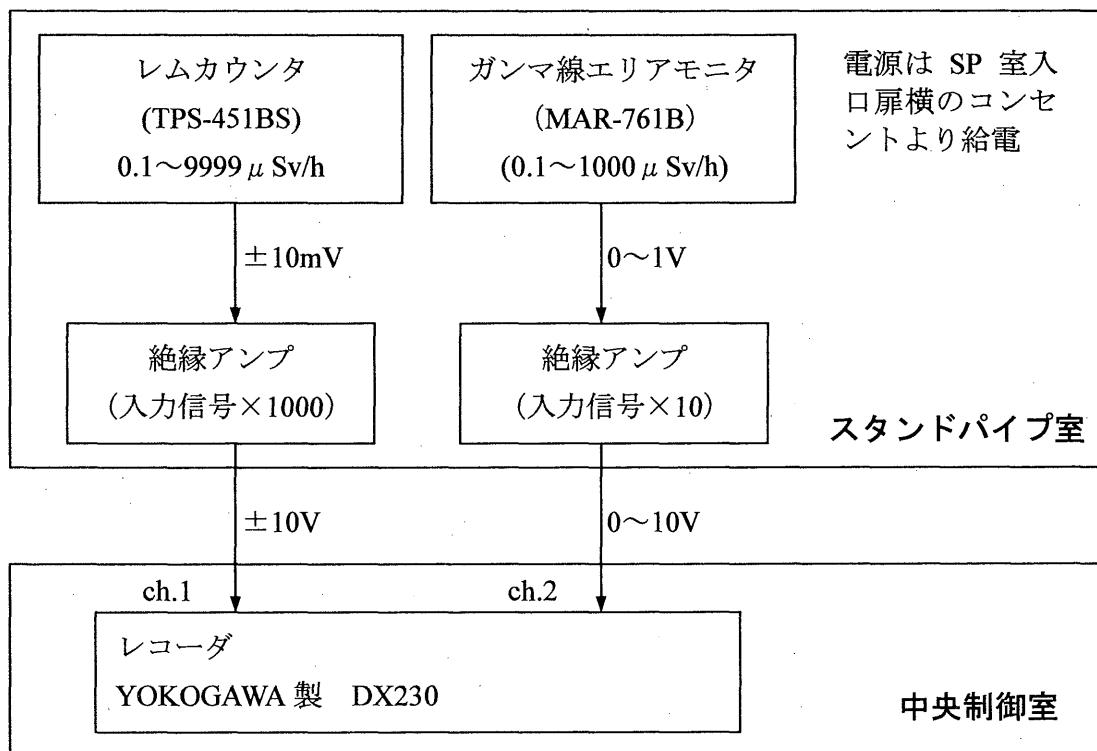


Fig. 3-9 Diagram of continuous dose equivalent rate measurement in stand pipe room.

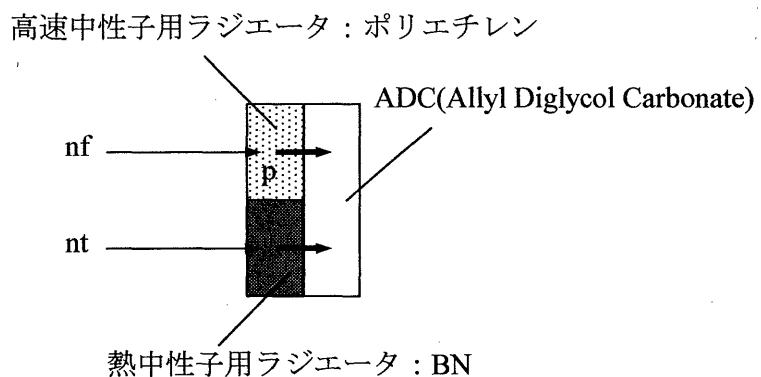


Fig. 3-10 Structure of solid state track detector.

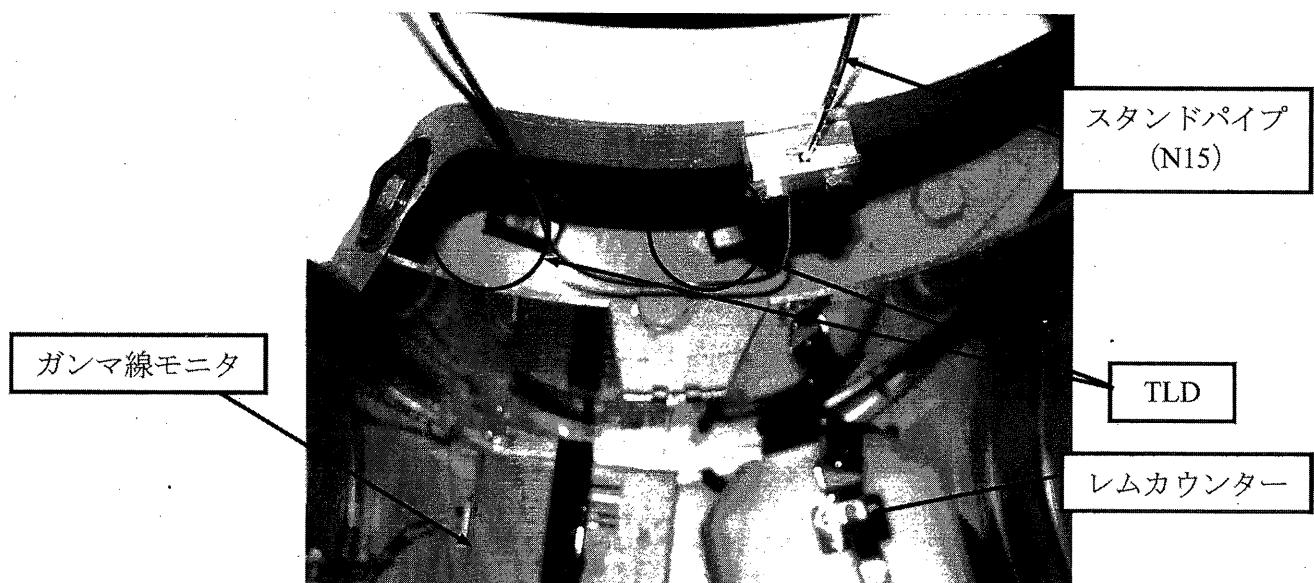


Fig. 3-11 View of dose measurement in stand pipe room.

4. 試験結果

4.1 運転前遮へい試験及び低出力遮へい試験結果⁽³⁾

4.1.1 運転前遮へい試験

運転前遮へい試験では、事前解析による線量当量率の予測と、実際の線量当量率測定を行った。事前解析では 1.0×10^7 n/s の線源強度をもつ $^{241}\text{Am-Be}$ を炉心上面まで吊り上げた状態で、スタンドパイプ室内の線量当量率を評価した結果、中性子および 2 次ガンマ線の合計で約 $0.06 \mu\text{Sv}/\text{h}$ という結果を得た。これに対し、実際の測定では $0.01 \mu\text{Sv}/\text{h}$ まで測定できる測定器によって中性子線量当量率を測定した結果は $0.01 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下であった。解析と測定の相違は、スタンドパイプ内に存在する仮設中性子源の保持装置による遮へい効果を、解析側では保守的に無視していたことが原因と考えられる。

4.1.2 低出力遮へい試験

低出力遮へい試験では、原子炉出力約 0.025% の状態において、スタンドパイプ室内と 1 次主冷却機器室の線量当量率を測定した。その結果、中性子線量当量率は検出限界 ($0.1 \mu\text{Sv}/\text{h}$) 以下、ガンマ線線量当量率はバックグラウンド ($0.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$) 相当であり、異常は確認されなかった。

4.2 出力上昇試験での結果

4.2.1 サーベイメータによる測定結果

各出力上昇試験において、Fig. 3-3～3-8 に示す原子炉建家内各部屋の中性子線及びガンマ線による線量当量率測定を実施した。この時、測定器の検出感度以下となる場所については、事前評価結果における下限値 ($0.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$) を報告値とした。その結果、全ての測定点においてガンマ線が $0.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ (バックグラウンド相当)、中性子線が $0.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下 (検出限界以下) であり、遮へい区分を満足していることが確認できた。

4.2.2 スタンドパイプ室内測定結果

出力上昇試験(1)及び出力上昇試験(2) (原子炉出力 15MWまでの試験)においては、スタンドパイプ室内へ立入り、サーベイメータによる線量当量率測定を実施した。原子炉出力 9MW の単独運転時では検出器を防振支持梁上面に設置したが、その後はよりストリーミングを検出しやすい 1 次上部遮へい体上面のスタンドパイプ近傍に検出器を設置した。その結果を Table 4-1 に示す。

また、出力上昇試験(3)以降の試験においては、スタンドパイプ室内の **Fig. 3-1** に示す位置に設置したレムカウンタとガンマ線モニタにより線量当量率を連続測定した。代表として、出力上昇試験(4)における結果を **Fig. 4-1** (定格単独モード) 及び **Fig. 4-2** (定格並列モード) に示す。また、以上の測定データに基づき、原子炉出力と線量当量率との関係に整理したものを **Fig. 4-3** 及び **Fig. 4-4** に示す。並列運転時には測定器の故障によりガンマ線の測定ができなかつたが、後に述べる積算線量計の結果からは単独運転時とほぼ同程度の線量当量率であることが確認できた。

4.2.3 TLD 及び STD による測定結果

TLD により **Table 4-2** に示す運転状態で積算線量を測定した。また、出力上昇試験(2)～(4)では、中性子線を詳細に評価するため、測定位置に STD を設置した。

(1) 積算線量から線量当量率への換算

TLD と STD は原子炉運転中に照射された積算線量を測定するものである。積算線量 (mSv) から線量当量率 (mSv/h) への換算は、線量当量率が原子炉出力に比例して大きくなると仮定し、積算線量を各運転出力の運転時間で除する方法を用いて (4-1) 式、(4-2) 式のように求めた。

$$\begin{aligned} T_{est} &= P_{total} / P_{est} \\ T_{est} &: \text{評価出力 (MW)} \text{ 換算の運転時間 (hr)} \\ P_{total} &: \text{原子炉運転中の積算出力 (MWhr)} \\ P_{est} &: \text{評価出力 (MW)} \end{aligned} \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} D_{rate} &= (D_{total} / T_{est}) \times K_i \times X_i \\ D_{rate} &: \text{評価出力での線量当量率 (mSv/hr)} \\ D_{total} &: \text{積算線量 (mSv)} \\ K_i &: TLD \text{ 素子 } i \text{ の蛍光剤濃度により決まる補正係数} \\ X_i &: \text{基礎照射結果に基づく } TLD \text{ 素子 } i \text{ の補正係数} \end{aligned} \quad (4-2)$$

なお、TLD の場合には (4.2) 式に示すように、付録-1 に示す基準照射で求めた素子固有の補正係数を用いた。

(2) 測定結果

① 運転時間

出力領域中性子計装原子炉出力より求めた評価出力換算の運転時間は、**Table 4-3** に示すとおりであった。

② 線量当量

TLDによる測定結果を **Table 4-4** に示す。また、スタンドパイプ室内の代表点における測定データについて、原子炉出力に対するガンマ線及び熱中性子の線量当量率の変化をそれぞれ **Fig. 4-5** 及び **4-6** に示す。また、出力上昇試験(2)～(4)において STD を用いた測定結果を **Table 4-5** に示す。

TLDによる測定の結果は、レムカウンタによる連続測定結果とは異なり、ガンマ線、熱中性子共に線量当量率は同じ出力での運転モードに対して有意な差はみられなかつた。また、原子炉側部 (TLCV-10 位置) の中性子線量は殆どゼロであったが、熱電対交換ハッチ表面 (TLCV-13 位置) では中性子が検出された。

一方、STD の結果から、スタンドパイプ室と熱電対交換ハッチ表面では高速中性子が支配的であり、熱中性子に対して高速中性子が 20 倍程度高いことが分かった。これより、原子炉側部ではコンクリートの遮へい効果が大きく、スタンドパイプ室や熱電対交換ハッチ表面では中性子のストリーミング成分が支配的であると考えられる。

4.2.4 1 次上部遮へい体コンクリート温度

1 次上部遮へい体の遮へい性能を維持するためには、1 次上部遮へい体コンクリートの含水量が確保される必要がある^(4,5)。原子炉出力 30MW 時の 1 次上部遮へい体最高温度は、単独運転時に原子炉入口冷却材温度 394°C に対して約 82°C、並列運転時に原子炉入口冷却材温度 394°C に対して約 83°C となり、設計値 88°C を満足した⁽⁶⁾。これにより、コンクリート中の含水量は設計条件である 78kg/m³ 以上を満足していると考えられる。

Table 4-1 Measured dose equivalent rates in stand pipe room.

原子炉出力 (MW)	線量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		測定位置 (Fig. 2-1 参照)
	ガンマ線*	中性子線	
9	30 以下	2~5	防振支持梁上面
9	30 以下	20~40	
15	30 以下	30~80	1 次上部遮へい体上面

* 本測定に使用したガンマ線モニタの最小検出限界は $30\mu\text{Sv}/\text{h}$ である。

Table 4-2 Dose equivalent rate measurement by TLD.

試験名	運転モード	原子炉出力	原子炉運転期間
出力上昇試験(1)	定格・単独	9MW	平成 12 年 4 月 23 日~5 月 26 日
	定格・並列	9MW	平成 12 年 5 月 30 日~6 月 6 日
出力上昇試験(2)	定格・単独	15MW	平成 12 年 7 月 3 日~7 月 8 日
	定格・単独	20MW	平成 13 年 1 月 29 日~2 月 12 日
	定格・並列	20MW	平成 13 年 2 月 26 日~3 月 1 日
出力上昇試験(3)	高温・単独	20MW	平成 13 年 4 月 14 日~5 月 7 日
	高温・並列	20MW	平成 13 年 5 月 11 日~6 月 8 日
出力上昇試験(4)	定格・単独	30MW	平成 13 年 10 月 23 日~12 月 14 日
	定格・並列	30MW	平成 14 年 1 月 25 日~3 月 6 日

Table 4-3 Equivalent operation period in start-up test.

試験名	運転モード	評価出力 P_{est} (MW)	積算出力 P_{total} (MWhr)	評価出力換算の 運転時間 Test (hr)
出力上昇試験(1)	定格・単独	9	3123	347
	定格・並列	9	1395	155
出力上昇試験(2)	定格・単独	15	1559	104
	定格・単独	20	5200	260
出力上昇試験(3)	定格・並列	20	4980	249
	高温・単独	20	8680	434
出力上昇試験(4)	高温・並列	20	8260	413
	定格・単独	30	31410	1047
	定格・並列	30	23580	786

Table 4-4 Measured dose equivalent rates by TLD in stand pipe room.

(単位: $\mu\text{Sv}/\text{h}$)

	ガンマ線										熱中性子線					
	定格運転					高温試験運転					定格運転					
	9MW 単 並	9MW 単	15MW 並	20MW 単	30MW 並	20MW 単	30MW 並	9MW 単	9MW 並	15MW 単	20MW 並	30MW 単	30MW 並	20MW 単	20MW 並	
TLSP-1	0.64	—	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-2	0.78	1.16	1.27	1.58	1.52	1.26	1.31	1.07	1.33	0.06	0.12	0.18	0.19	0.25	0.28	0.19
TLSP-3	0.38	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-4	0.41	1.27	1.21	1.70	1.54	1.07	1.07	1.01	1.23	0.05	0.05	0.09	0.14	0.14	0.19	0.20
TLSP-5	0.34	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-6	0.44	0.37	0.87	1.31	1.20	1.42	1.41	1.06	1.23	0.06	0.06	0.10	0.16	0.15	0.25	0.24
TLSP-7	—	1.69	2.04	3.24	3.03	9.92	6.96	5.68	4.27	—	0.11	0.23	0.39	0.40	0.67	0.68
TLSP-8	—	1.57	1.43	2.15	2.06	6.83	4.69	3.37	4.42	—	0.14	0.17	0.28	0.27	0.56	0.76
TLSP-9	—	1.50	1.21	1.71	1.78	3.13	3.14	2.22	1.84	—	0.09	0.13	0.22	0.21	0.27	0.28
TLCV-1	0.27	0.14	0.48	0.28	0.21	0.16	0.17	0.21	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.55
TLCV-2	0.25	0.15	0.39	0.40	0.27	0.29	0.31	0.29	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.44
TLCV-3	0.29	0.16	0.43	0.35	0.30	0.36	0.38	0.33	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-4	0.26	0.15	0.44	0.34	0.27	0.32	0.33	0.29	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-5	0.27	0.17	0.53	0.44	0.37	0.50	0.50	0.40	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-6	0.67	0.50	1.05	1.35	1.12	1.66	1.94	1.27	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-7	0.55	0.37	0.92	0.98	0.92	1.40	1.58	0.96	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-8	0.46	0.32	0.79	0.86	0.79	1.15	1.14	0.84	0.98	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
TLCV-9	0.58	0.46	1.11	1.41	1.36	2.15	2.11	1.44	1.55	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
TLCV-10	2.87	2.52	4.47	5.85	5.89	17.58	8.14	5.98	6.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-11	1.30	1.09	2.04	2.41	2.40	3.58	4.55	2.42	2.79	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
TLCV-12	2.28	2.32	4.05	5.13	4.58	15.84	6.64	5.63	4.93	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
TLCV-13	0.57	0.68	1.08	1.39	1.43	1.56	1.66	1.27	1.49	0.04	0.04	0.07	0.09	0.09	0.11	0.09

Table 4-5 Measured dose equivalent rates by solid state track detectors in stand pipe room.(単位: $\mu\text{Sv}/\text{h}$)

	熱中性子線						高速中性子線					
	定格運転				高温試験運転		定格運転				高温試験運転	
	20MW 単	20MW 並	30MW 単	30MW 並	20MW 単	20MW 並	20MW 単	20MW 並	30MW 単	30MW 並	20MW 単	20MW 並
TLSP-2	0.38	0.40	1.38	1.40	0.46	0.73	7.50	7.63	18.77	19.08	10.37	8.23
TLSP-4	0.38	0.40	1.24	1.27	0.69	0.61	9.42	8.23	17.72	17.75	9.33	9.32
TLSP-6	0.38	0.40	1.62	1.40	0.69	0.73	9.42	9.64	23.54	22.84	13.02	10.90
TLSP-7	1.15	1.41	7.45	10.43	3.92	7.26	25.96	29.12	118.00	164.57	80.18	124.09
TLSP-8	1.15	1.20	6.11	6.23	3.92	4.36	25.58	29.52	112.46	111.20	78.69	79.06
TLSP-9	0.77	1.00	3.68	3.94	1.96	1.69	17.69	18.27	62.23	59.80	52.53	27.36
TLCV-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
TLCV-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
TLCV-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
TLCV-6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
TLCV-7	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.06	0.05	0.00	0.01
TLCV-8	0.00	0.01	0.10	0.07	0.02	0.02	0.00	0.02	0.14	0.18	0.03	0.07
TLCV-9	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
TLCV-10	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
TLCV-11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
TLCV-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
TLCV-13	0.10	0.30	0.72	0.64	0.46	0.48	4.81	5.62	10.74	11.77	7.60	7.99
G392-1	—	—	0.00	—	—	—	—	—	0.00	—	—	—
G392-2	—	—	0.00	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—
G392-3	—	—	0.00	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—
G292-1	—	—	0.06	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—
G292-2	—	—	0.06	—	—	—	—	—	0.06	—	—	—
G292-3	—	—	0.01	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—

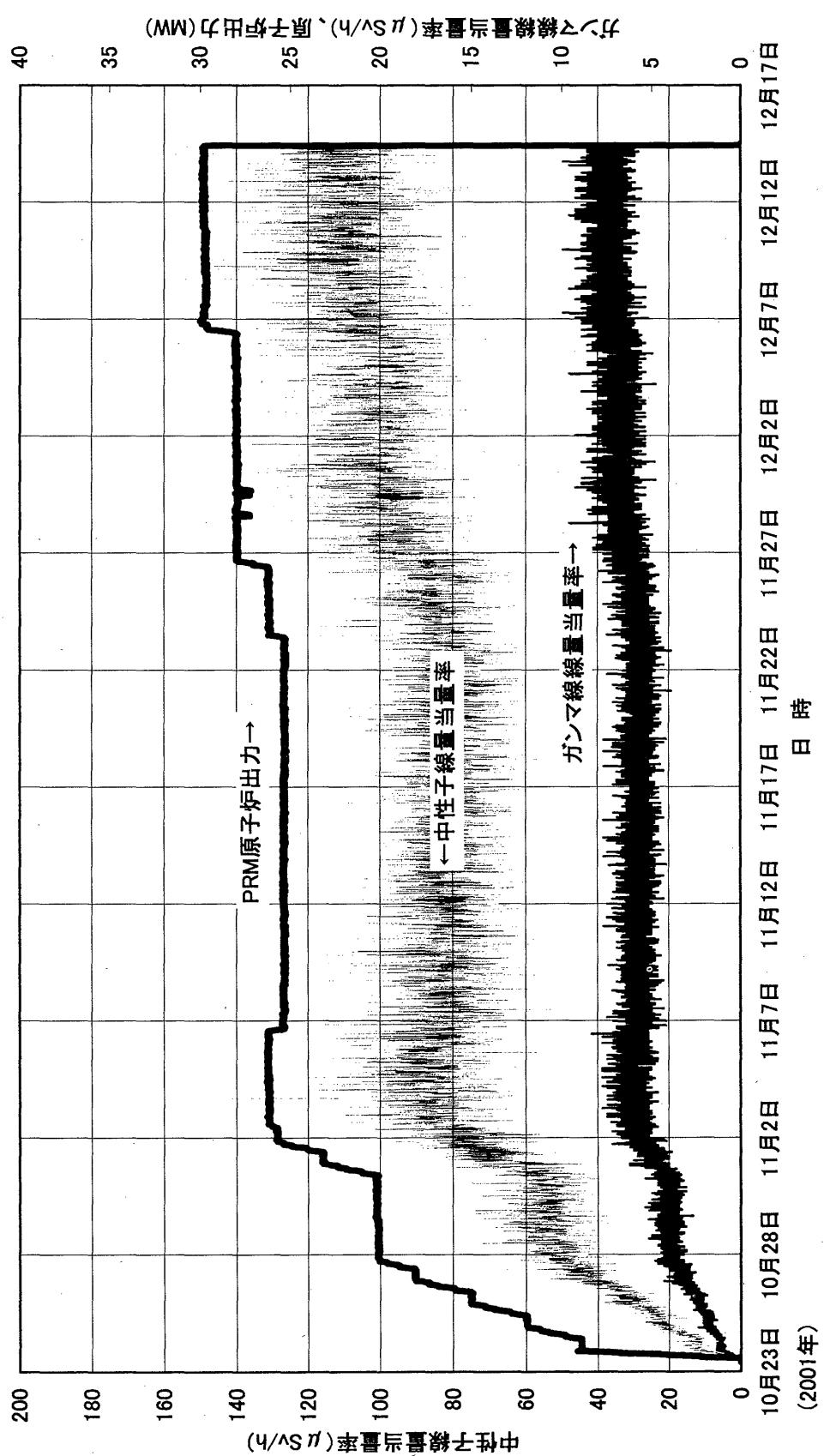


Fig. 4-1 Dose equivalent rates in the standpipe room in rise-to-power test (4) at rated single operation.

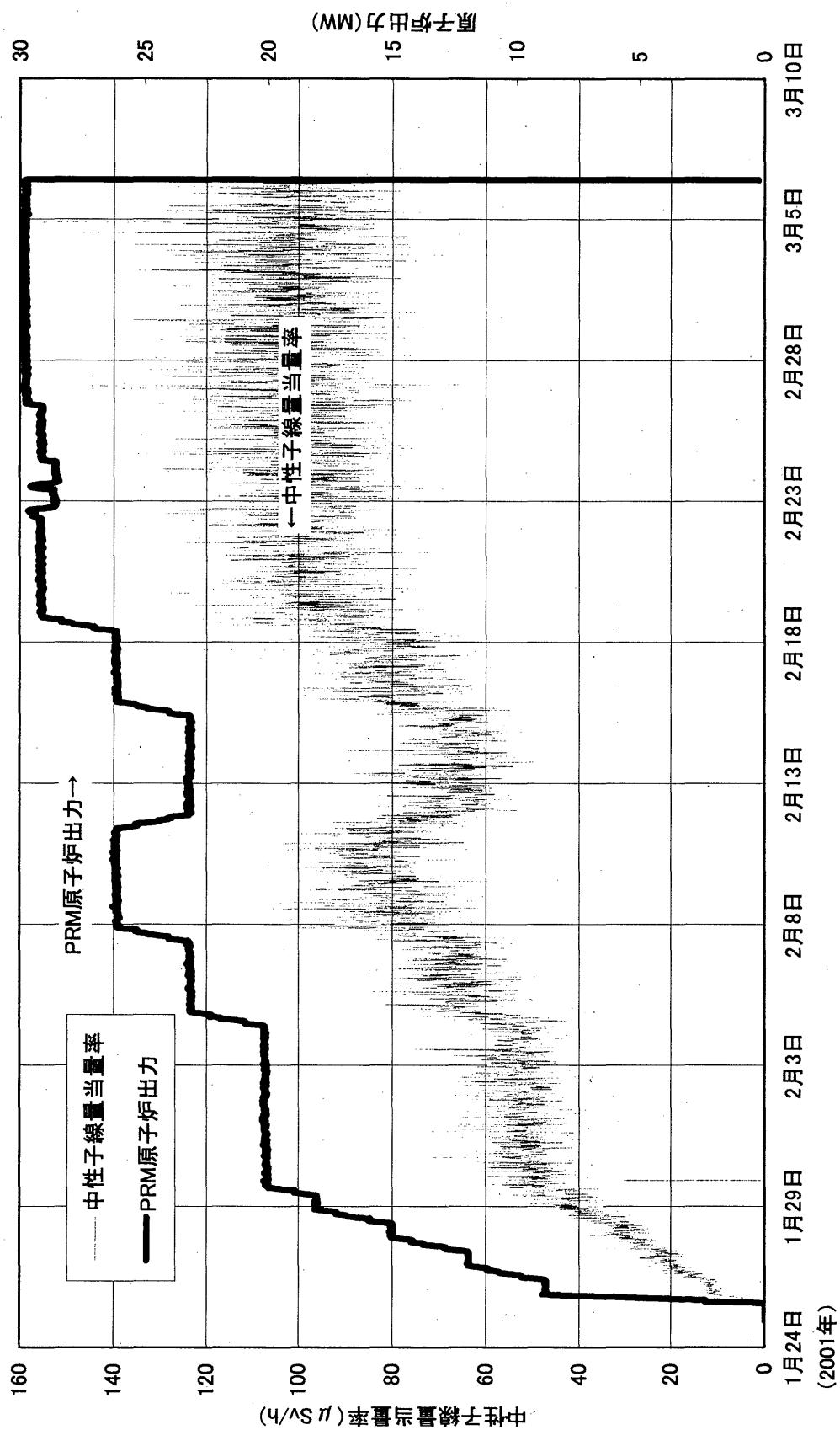


Fig. 4-2 Dose equivalent rates in the standpipe room in rise-to-power test (4) at rated parallel operation.

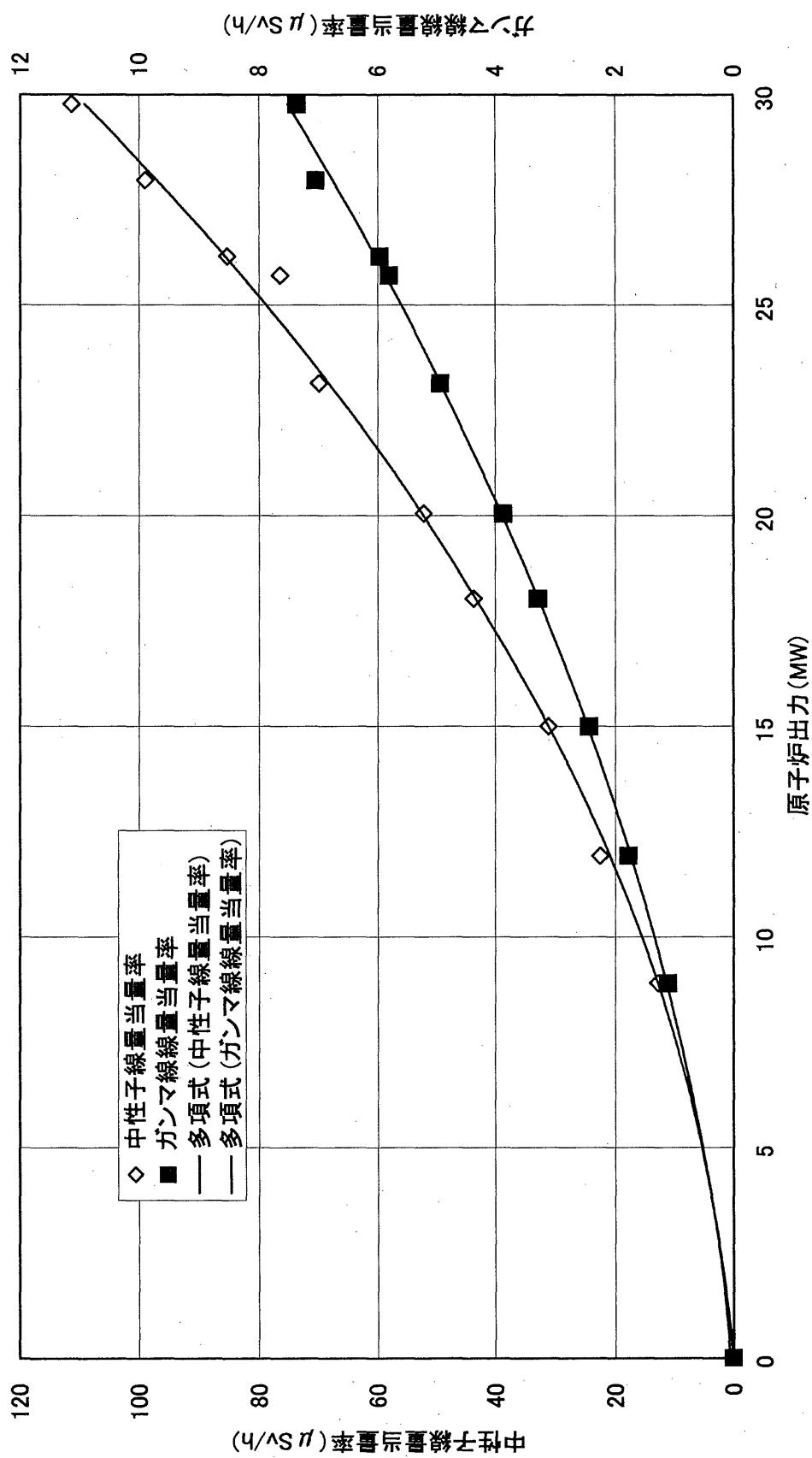


Fig. 4-3 Dose equivalent rates in the standpipe room in rise-to-power test (4) at rated single operation.

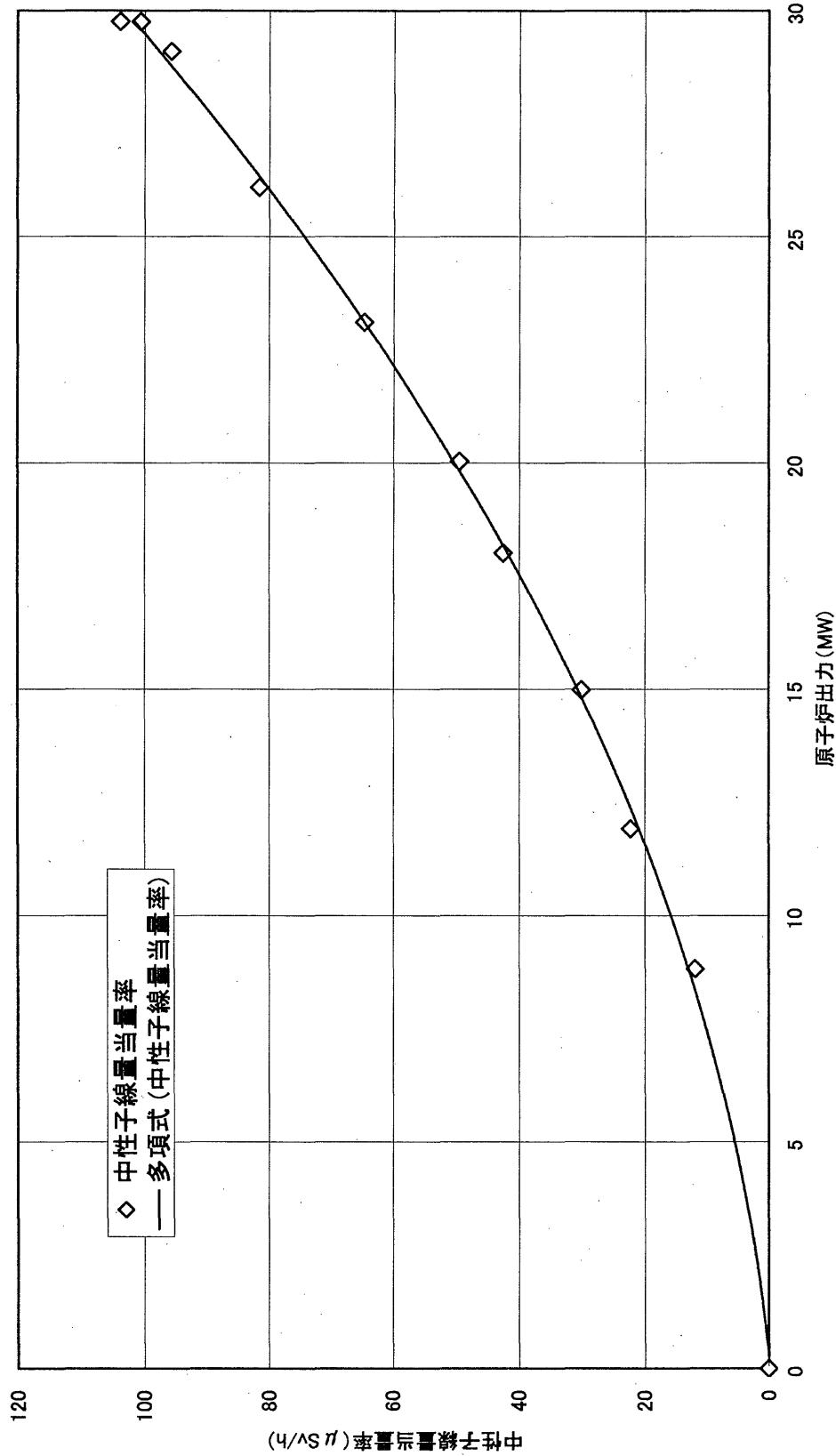


Fig. 4-4 Dose equivalent rates in the standpipe room in rise-to-power test (4) at rated parallel operation.

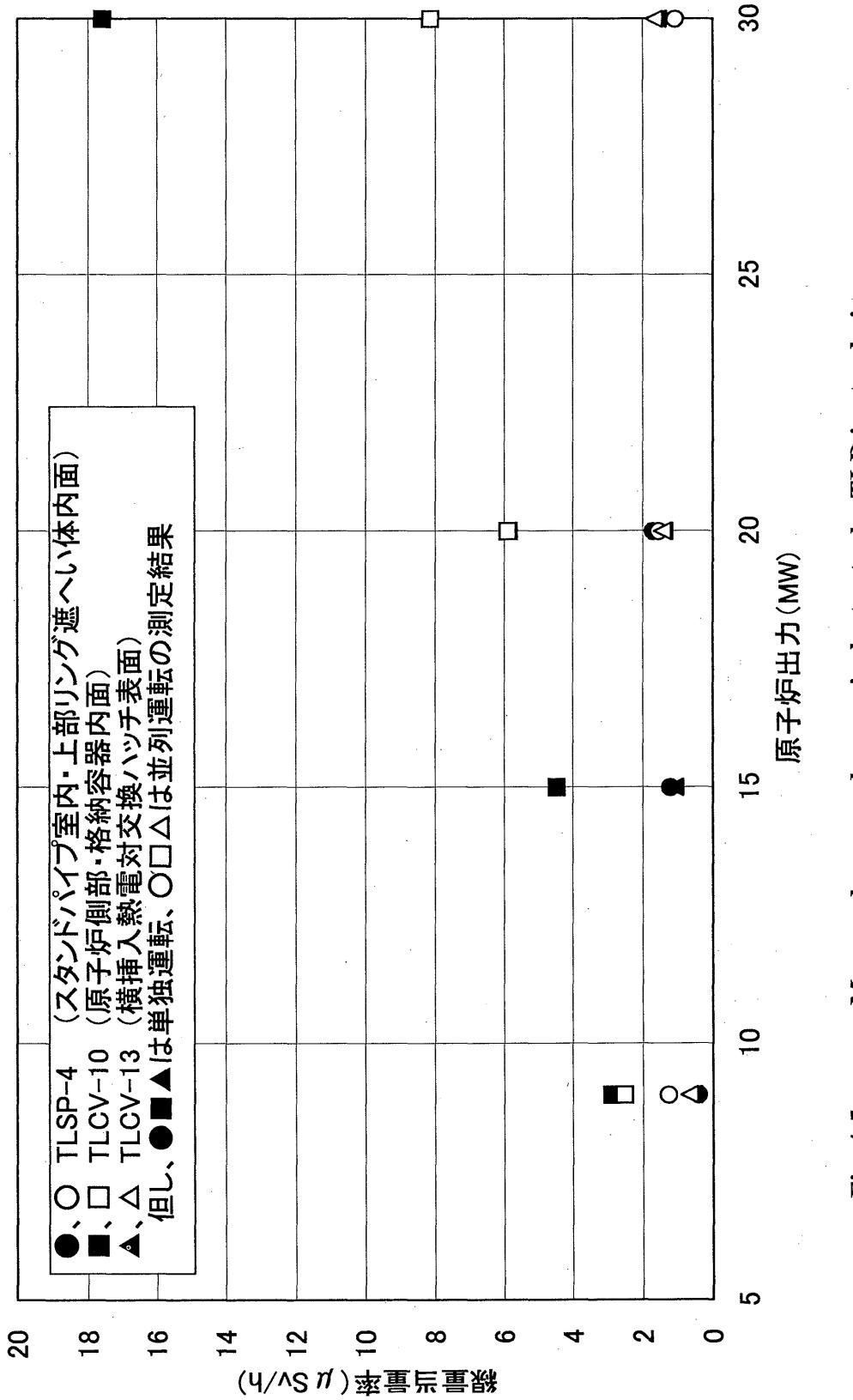
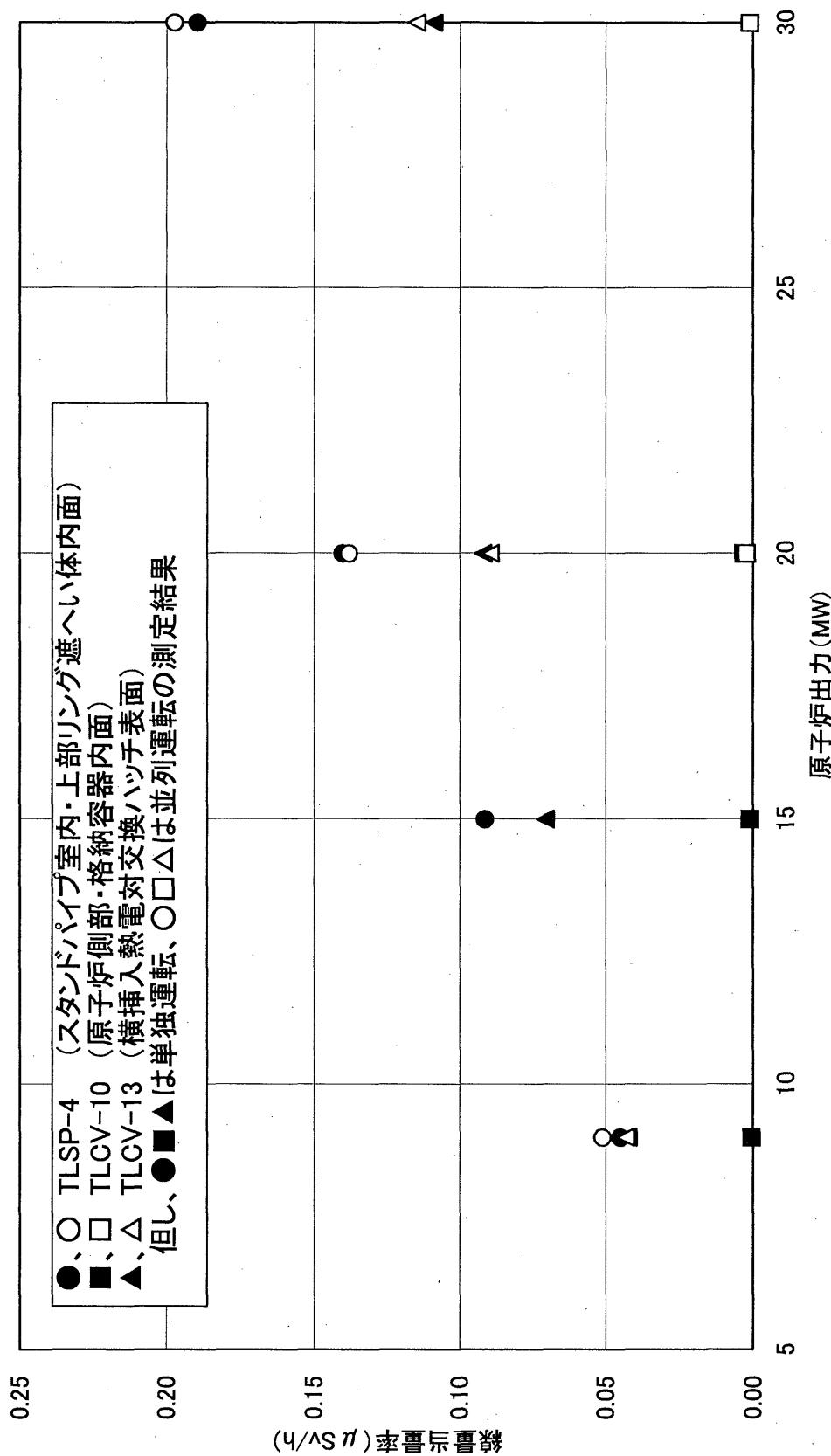


Fig. 4-5

Measured gamma dose equivalent rates by TLD in stand pipe room.



5. 考察

5.1 スタンドパイプ室内線量当量率測定

今回、中性子線の測定では、高速中性子はレムカウンタ及び STD、熱中性子は TLD 及び STD で測定した。また、ガンマ線はガンマ線エリアモニタと TLD により測定した。今回のそれぞれの測定方法について、測定結果より検討した。

(1) 高速中性子の測定

スタンドパイプ室内の高速中性子はレムカウンタ及び STD により測定した。高速中性子について両者の測定結果を比較すると、出力 30MW でのレムカウンタによる線量当量率が約 100 ~ 120 $\mu\text{Sv/h}$ に対して、STD による線量当量率は約 20 ~ 170 $\mu\text{Sv/h}$ (30MW 出力換算値) と幅があった。これは、レムカウンタはスタンドパイプ室内で散乱する中性子線についても計測しているのに対し、STD は貼付位置における局所的な線量当量率を測定しているためと考えられる。また STD については、4.2.3 節で述べたように積算線量当量を線量当量率とするため、原子炉出力に比例すると仮定した出力換算を行っており、原子炉出力に対する非線形の線量当量率変化に対して誤差を含んでいると考えられる。従って、積算線量としては STD、線量当量率としてはレムカウンタの方が正確に評価していると考えられる。また、レムカウンタは熱中性子を含めて測定しているが、STD による測定結果 (Table 4-5) から、スタンドパイプ室内部では高速中性子が支配的であり、違いとして現れていないと見られる。

(2) 熱中性子の測定

熱中性子は STD 及び TLD により、同一の測定位置で測定した。STD について、高速中性子と熱中性子による線量当量率を原子炉出力に対して Fig. 5-1 のようにプロットすると、直線的な相関が得られた。即ち、高速中性子と熱中性子のフルエンス比は、出力に依らず一定であったと言える。また、熱中性子について TLD と STD の結果を Fig. 5-2 のように対数プロットとして比較すると、0.1 $\mu\text{Sv/h}$ までの範囲ではほぼ同じ値であるのに対し、0.1 ~ 1 $\mu\text{Sv/h}$ の範囲では STD の方が TLD より 2 ~ 5 倍高く、全体的には STD による数値の方が TLD による数値より高めであった。これらの原因について、以下のように考察した。

- ① TLD 及び STD は方向特性があるが、Fig. 5-2 より異なる測定点間での相関が得られたことから、貼付角度等による方向特性の影響はなかったと考えられる。
- ② 各線量計の感度のエネルギー依存性について、TLD は、 ^{6}Li の (n, α) 反応によるため中性子のエネルギーの $1/2$ 乗に反比例する ($1/v$ 法則)^(7,8)。一方、STD は、約 1MeV までの低エネルギー中性子に対してほぼ一定の感度を持つ。⁽⁹⁾ これは、TLD は素子内部で中性子を捕獲する必要があるのに対し、STD は中性子が素子を通過するだけでエッチャピットを形成するためである。従って、STD の方が TLD よりも広いエネルギー幅に対して感度があると言える。Fig.5-1 のように高出力側では熱中性子フルエンスの拡大

により幅広いエネルギーの熱中性子が STD 測定された可能性が高い。

- ③ Fig. 5-2 に関して、STD の値が TLD の値より高めに指示する要因の一つに、TLD のフェーディング特性が挙げられる。TLD は照射雰囲気温度 40°C では照射 20 日後に約 15%、70 日以上で約 20%（プラト一値）のフェーディング特性がある⁽⁷⁾。一方、STD のそれはほとんどゼロである⁽⁹⁾。また、TLD のフェーディング特性には温度依存性があり、照射雰囲気温度が高いとフェーディングは加速される傾向にある。一方、STD の照射温度上昇による感度低下は僅かである^{(9), (10)}。出力上昇に伴う雰囲気温度上昇がフェーディング特性に与える影響は不明だが、高線量側での違いの一因である可能性がある。

(3) ガンマ線の測定

ガンマ線は、ガンマ線エリアモニタ及び TLD により測定した。出力 30MW 定格単独時での結果は、ガンマ線エリアモニタでは約 $8 \mu\text{Sv/h}$ 、TLD では約 $2 \sim 10 \mu\text{Sv/h}$ (30MW 出力換算値) と違いが見られたが、高速中性子の場合と同様、測定箇所の相違及び線量当量率換算の誤差による影響が大きいと考えられる。また、出力 30MW 定格並列時はガンマ線エリアモニタの故障により連続測定ができなかったが、TLD の結果を各運転モードで比較するとほぼ同様の結果であったことから、運転モードによる違いはほとんどなかったと考えられる。

5.2 事前評価値との比較

2.4 項で述べたように、スタンドパイプ室内の線量当量率は、バルク成分とストリーミング成分に分けて評価した。評価結果から、1 次上部遮へい体上面では中性子が支配的であり、特にストリーミング成分が大きいと予測した。

30MW 運転時の設計値は、レムカウンタの設置場所近傍（評価点 1）において約 790mSv/h となっている。一方、レムカウンタを設置した場所での安全側への裕度を除いた予測値は、30MW で約 10mSv/h と評価した（評価点 1 では約 310mSv/h ）。これらの値に対してレムカウンタによる測定値は約 $120\mu\text{Sv/h}$ であり、予測値より 2 衍低い結果であった。

設計値と予測値の差は、設計値には核データ等の不確かさを安全側に見積もるために中性子束が 1 衍減衰する毎に 30% のファクタを掛けているが、予測値はこの補正を見込んでいないことによる。一方、予測値と測定値の差は、計算モデルそのものに含まれる安全側の仮定（ギャップ幅公差最大、密度最小、含水率最小等）によるものと考えられる。そこで、以下のように過大評価の要因について検討した。

(1) バルク成分の過大評価要因

バルク成分の線量率に対しては、1 次上部遮へい体コンクリート（グラウト材）含水率が

大きく影響する。1次上部遮へい体コンクリートの遮へい評価においては、密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ 、含水率 3.71wt\% （含水量として $78\text{kg}/\text{m}^3$ ）の値を使用している。事前解析において、水分含有率の変化に伴う1次上部遮へい体上面の放射線束と線量当量率を評価している⁽³⁾。Fig. 5-3 に、水分含有率の変化に伴う1次上部遮へい体上面の放射線束と線量当量率の増加率を示す⁽³⁾。含水率 1.85wt\% 以下になるとバルク成分の線量当量率がストリーミング成分より大きくなり著しく上昇する⁽³⁾が、含水率が設計値より高い場合、線量当量率は減少する方向となる。一方、1次上部遮へい体に用いたグラウト材について、1次上部遮へい体と同じ製造条件で製作した試料を用い、温度と含水量との関係を確認するための試験を行っている⁽⁴⁾。この試験においてグラウトからの水の放出挙動を評価した。Fig. 5-4 に、乾燥温度に対する含水率の変化を示す⁽⁴⁾。

出力上昇試験での1次上部遮へい体最高温度は約 83°C であった。実際の含水量を Fig. 5-4 の 90°C での含水量相当 ($100\text{kg}/\text{m}^3$ 、含水率 4.76wt\%) と仮定すると、設計値より 3割程度大きい数値となる。この場合、Fig. 5-3 より、予測値は中性子線で $30\sim40\%$ 減、ガンマ線で約 10% 減に下方修正される。さらに、Fig. 5-4 の試験において測定されたグラウト材の密度は $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ 以上であり、実際の密度は設計値 ($2.1\text{kg}/\text{m}^3$) よりも大きいと考えられ、下方へのさらなる修正が見込まれる。

(2) ストリーミング成分の過大評価要因

ストリーミング成分については、遮へい設計においてスタンドパイプギャップ幅の最大公差を考慮して評価しているため、ギャップ幅を過大評価している可能性がある。入口線量当量率に対する出口線量当量率の減衰率 (D/D_0) のストリーミング成分に対する評価は以下の円環モデルの式を用いている。⁽¹¹⁾

$$\text{中性子線、2次ガンマ線に対して、 } D/D_0 = \frac{10}{Z^2} \left[(2R_o^2 - R_i^2) \cos^{-1} \left(\frac{R_i}{R_o} \right) - R_i \sqrt{(R_o^2 - R_i^2)} \right] \quad (5-1)$$

$$\text{直接ガンマ線に対して、 } D/D_0 = \frac{1}{\pi Z^2} \left[(2R_o^2 - R_i^2) \cos^{-1} \left(\frac{R_i}{R_o} \right) - R_i \sqrt{(R_o^2 - R_i^2)} \right] \quad (5-2)$$

ここで、 R_o はスタンドパイプ插入孔半径、 R_i はスタンドパイプ半径、 Z はダクト長さ、である。

N1 スタンドパイプを代表として、1次上部遮へい体貫通部におけるギャップ幅公差の影響を評価する。N1 スタンドパイプ半径の最大公差 R_1 は 2mm 、挿入口半径の公差 R_0 は 0mm である。この時、ギャップ幅最小とした場合での減衰率 (D/D_0) は(5-1)、(5-2)式より、中性子線、ガンマ線共に $20\sim25\%$ 程度の下方修正が見込まれる。

以上の過大評価分を考慮すると、予測値は $1/2$ 程度に下方修正されると見込まれるが、実測値に対してなお 1 枠以上の過大評価と考えられる。その他、1 次上部遮へい体下面に入射する線束 (CITATION による解析値) に含まれる安全係数等の過大評価分が含まれていると考えられる。

5.3 原子炉出力に対するスタンドパイプ室内線量当量率変化

Fig.4-3 及び **Fig. 4-4** に示した、出力上昇試験(4)におけるスタンドパイプ室内の中性子線量当量率の連続測定結果と予測値の傾向の比較を **Fig.5-5** に示す。図中に、出力上昇試験(4)における原子炉出力に対する制御棒引抜き長さを併せて示した。その結果、原子炉出力に対する非線形的な上昇の挙動は、予測値の傾向とよく一致した。これは、**Fig. 2-12** に示した制御棒引き抜きを考慮した 1 次上部遮へい体下面への入射線束の変化に対応していることから、制御棒引抜きに伴い出力分布が上方向にシフトする効果によるものであることが分かった。

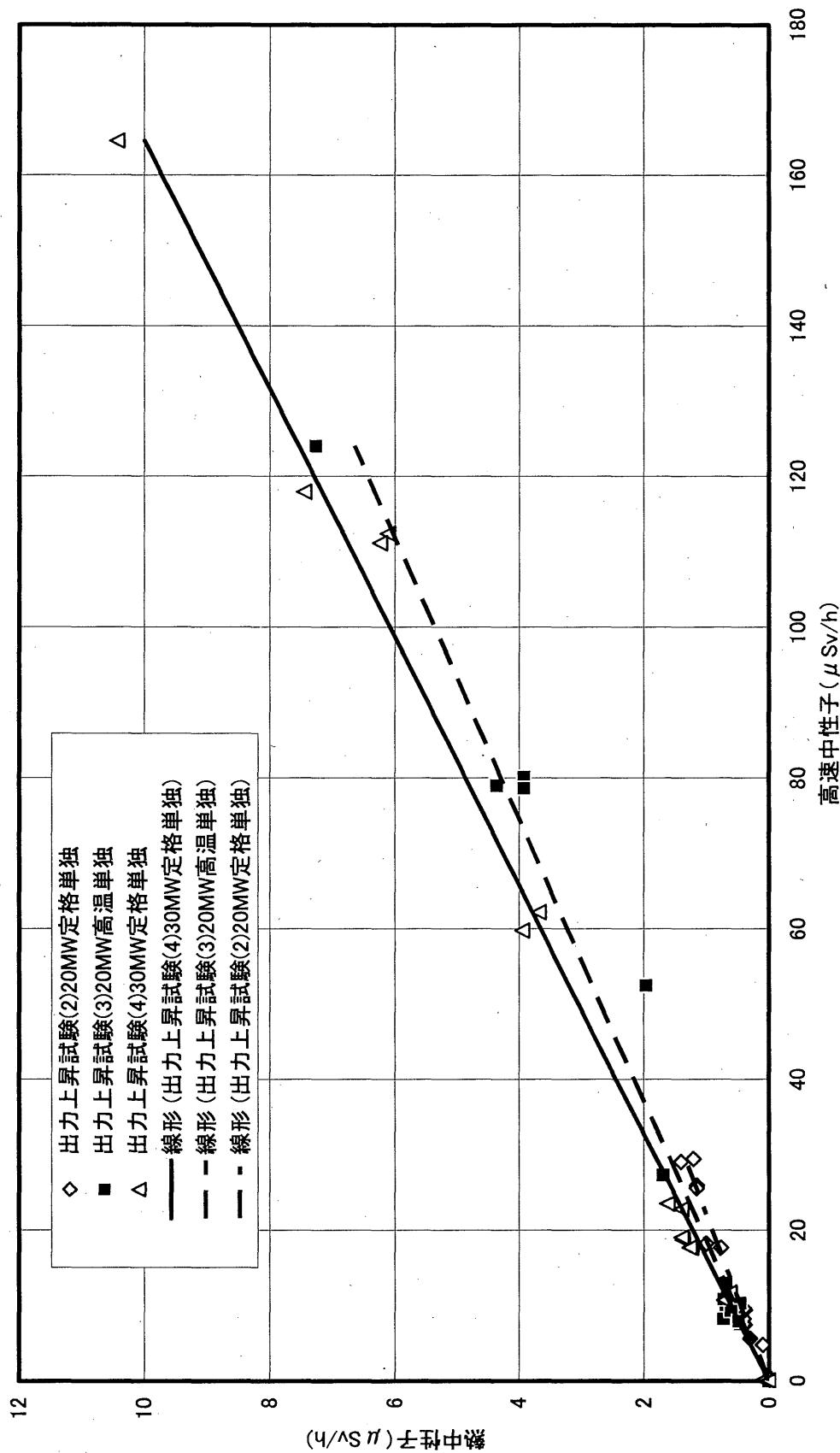


Fig. 5-1 Comparison between fast and thermal neutron dose equivalent rates by solid state track detector.

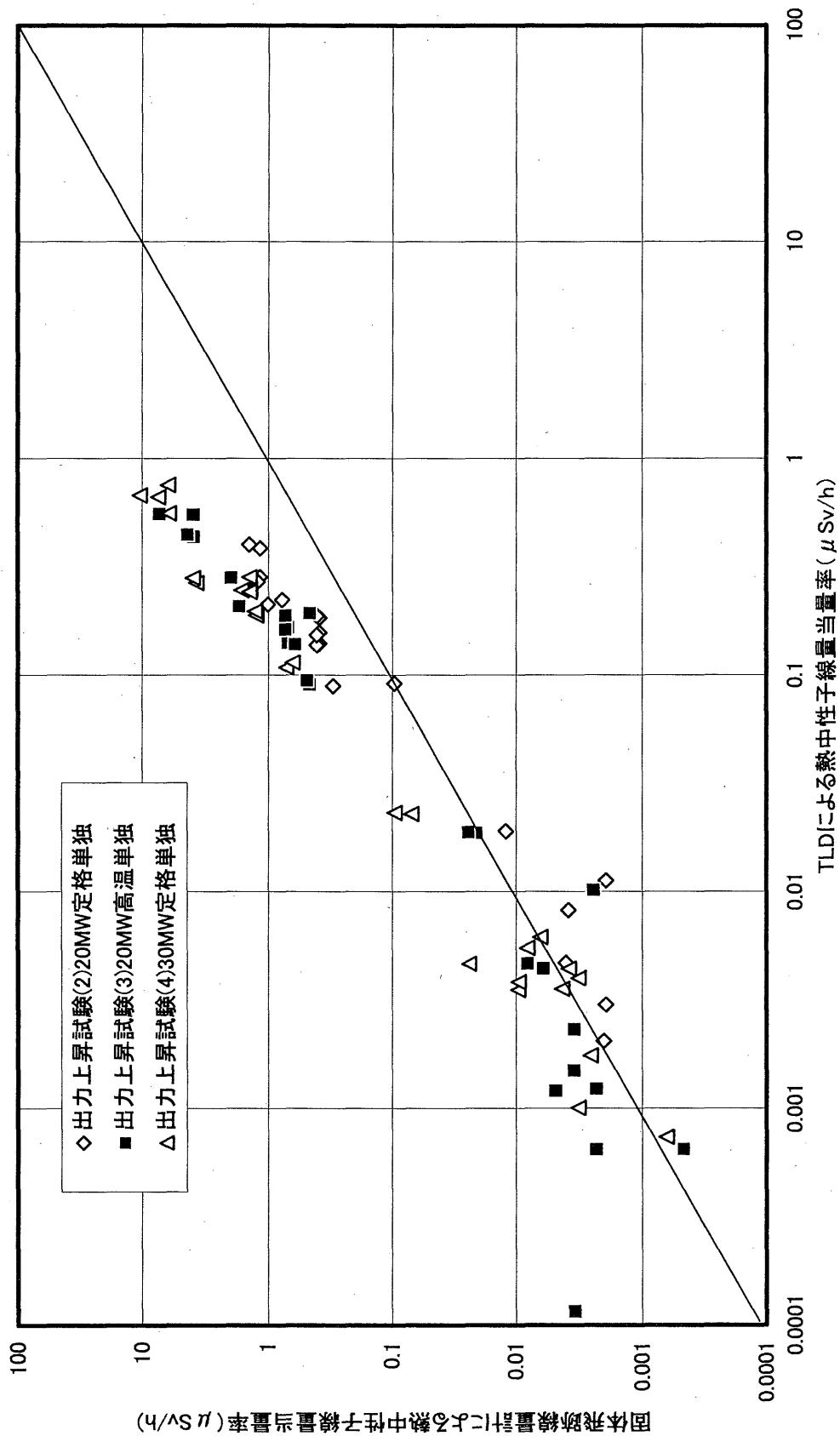


Fig. 5-2 Comparison of thermal neutron dose equivalent rates between TLD and solid state track detector.

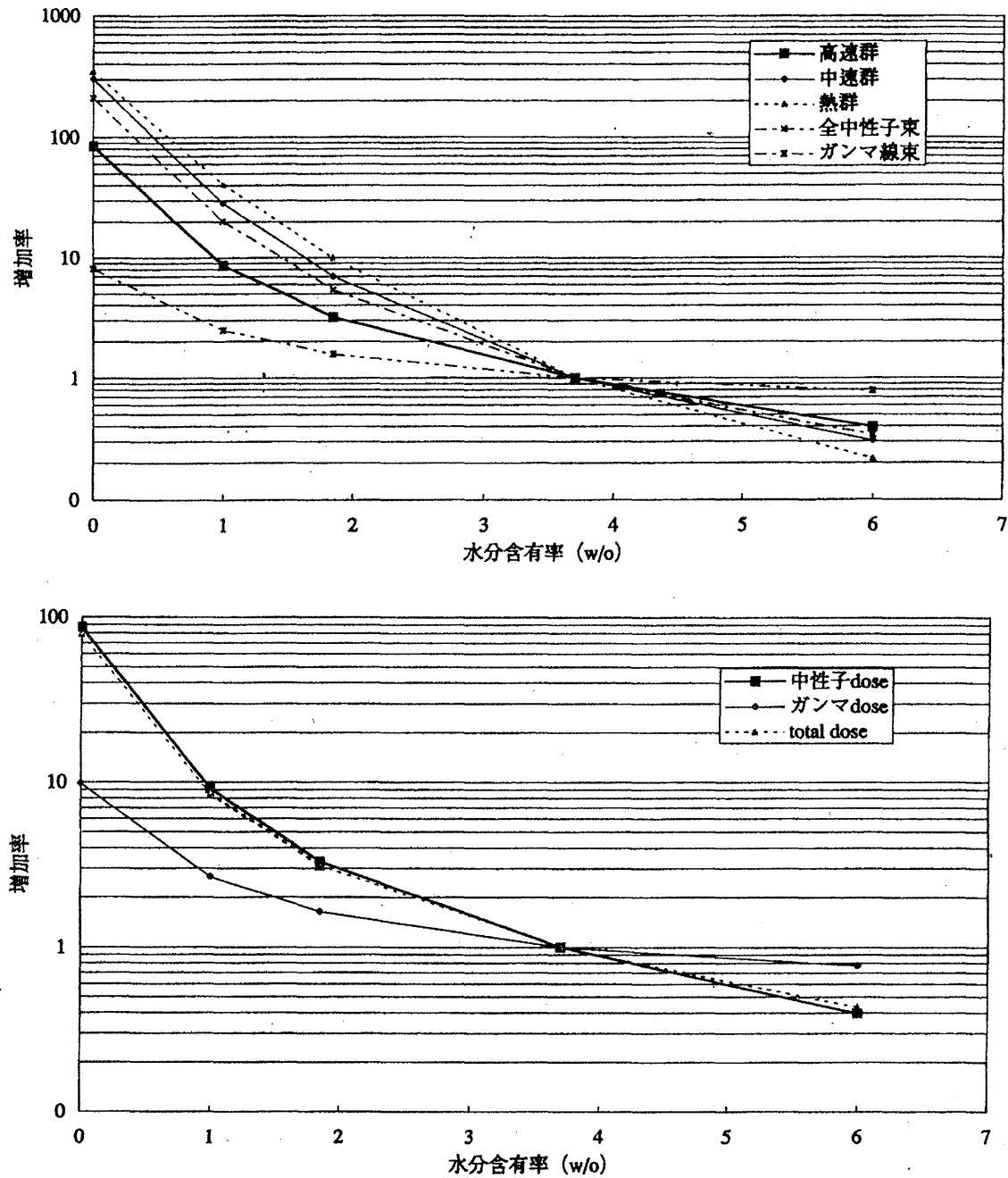


Fig. 5-3 水分含有率の変化に伴う 1 次上部遮へい体上面の放射線束と線量当量率の
増加率⁽³⁾

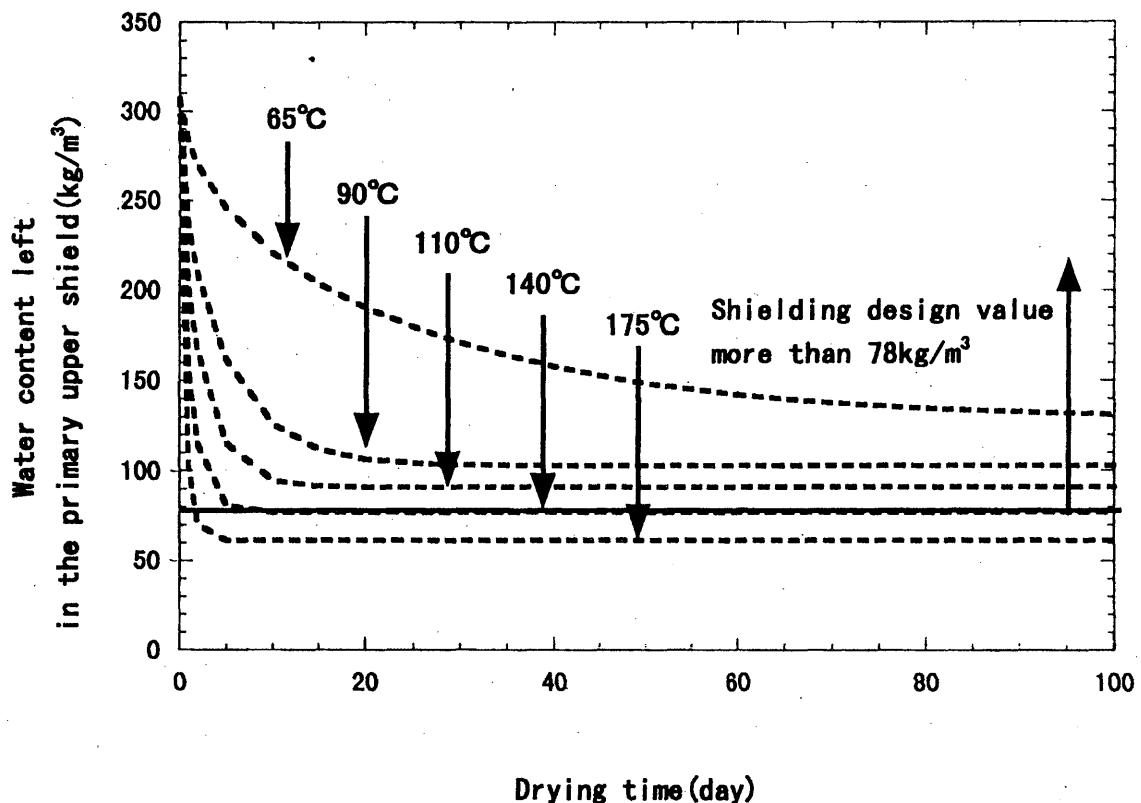


Fig. 5-4 Predicted water content in the primary upper shield of the HTTR⁽⁴⁾.

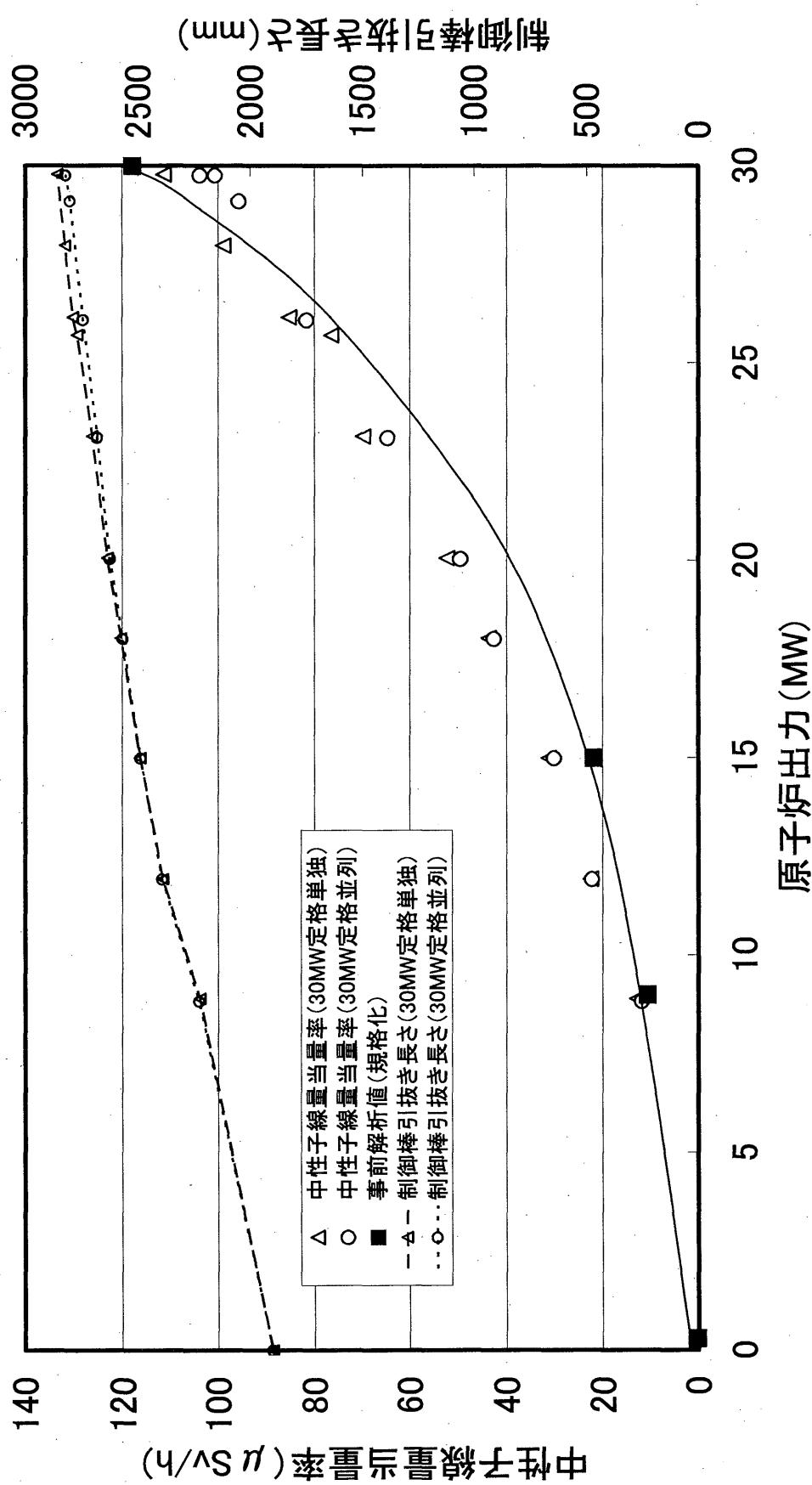


Fig. 5-5 Comparison of neutron dose equivalent rates between measured and predicted values.

6. まとめ

HTTR の出力上昇試験における遮へい性能検査における測定点選定の考え方、測定方法及び定格出力までの測定結果についてまとめた。

- ① 遮へい性能検査をその目的に応じて、運転前遮へい試験、低出力遮へい試験、中間出力遮へい試験、高出力遮へい試験、停止後遮へい試験に分類し、遮へい上問題なく出力上昇試験を完了するよう計画を立案するとともに、各出力における判定基準を定めた。
- ② 測定点の選定に当たっては、原子炉まわりの線量当量率測定と、原子炉建家内の各部屋の線量当量率測定とに大別し、特にストリーミングが無いことを確認するために、スタンドパイプ室内には TLD、STD の他に中性子レムカウンタとガンマ線モニタを設置した。
- ③ 定格出力 30MWまでの線量当量率測定を実施し、その結果、通常人の立ち入る区画の線量当量率は、中性子線が検出限界以下、ガンマ線がバックグラウンド相当であり、運転管理上問題ないことを確認した。
- ④ スタンドパイプ室内の線量当量率測定を実施し、事前評価の通り高速中性子が支配的であることが確認された。スタンドパイプ室に設置したレムカウンタの測定値は、30MW 運転時で約 $120\mu\text{Sv/h}$ であり、設計値（約 790mSv/h ）及び予測値（約 10mSv/h ）より十分低い値であった。また、設計手法の保守性について、1次上部遮へい体の含水率及びスタンドパイプギャップ幅公差について検討した。また、炉心上方向への線量当量変化について、事前予測と同様の非線形的挙動が得られた。これは、制御棒引抜きによる出力分布の上方向へのシフトによるものである。

謝　　辞

本検討を行うに当たり、御指導、御助言いただいた藤川正剛高温工学試験研究炉開発部長並びに伊与久達夫 HTTR 技術開発室長に感謝致します。また、線量当量率の予測解析で御協力頂いた新型炉技術開発株式会社多田恵子氏に感謝致します。当初の出力上昇試験より御指導、御助言いただいた国富一彦前 HTTR 技術開発室長、運転等を実施した HTTR 試験室並びに放射線管理課の皆様方に感謝致します。

参　考　文　献

1. S.SAITO, T.TANAKA, Y.SUDO, O.BABA, et. al. : Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)、JAERI-1332 (1994) .
2. I.MURATA, et. al. : Reactor Shielding Design of the High Temperature Engineering Test Reactor – Application of Radiation Streaming through the Standpipes by Monte Carlo Code MCNP –, Proc. of 8th International Conference on Radiation Shielding, Arlington, Texas, April 24-28 (1994) .
3. 高田英治、角田淳弥、沢和弘、多田恵子：高温工学試験研究炉（HTTR）の 1 次上部遮へい体遮へい性能の温度効果、JAERI-Tech 2000-020 (2000) .
4. 角田淳弥、沢和弘、茂木春義、板橋秀治、他：高温工学試験研究炉における 1 次上部遮へい体用材料中の水分量検討、JAERI-Research 99-054 (1999) .
5. J.SUMITA, K.SAWA, E.TAKADA, K.TADA : An Investigation of Water Content and Shielding Performance of the Primary Upper Shield in the High Temperature Engineering Test Reactor, Proc. of 9th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-9), Tsukuba, October 17-22, 1999 (2000) .
6. 中川繁昭他：高温工学試験研究炉の出力上昇試験—試験経過及び結果の概要—、JAERI-Tech 2002-069 (2002) .
7. 松下電器産業株式会社、TL バッジ技術資料
8. 石黒秀治、竹田伸莊、Li₂B₄O₇(Cu)素子による自動読取型個人被爆線量計の開発(II)、保健物理、17, 27-36(1982).
9. 長瀬ランダウア、ニュートラックバッジ技術案内資料、昭和 62 年 10 月
10. K. G. Harrison and R.J. Goodenough, Progress Towards an operational personal neutron dosimeter based on electro-chemical etching of CR-39, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 17, No.1-4,

146-147(1986).

11. 添付計算書、添付資料 10
12. 高田英治他：HTTR での出力分布測定時の線量当量率測定及び放射線モニタリング結果、
JAERI-Data/Code 2002-009 (2002).

付録-1 TLDによる測定

A1-1 測定方法

(a) TLD 素子のアニール

TLD 素子は、天然放射線の影響により、放置しておくだけで指示値が上がるため、使用前にアニーリングを行う。アニールは専用の読取装置で行うが、HTTR 出力上昇試験の遮へい性能検査で使用する場合、低出力時の線量当量率はバックグラウンドレベルと予想されるため、概ね指示値が $500\mu\text{Sv}$ 以下になるまで繰返して行う必要があった。

(b) TLD 素子の取付け

測定点 1箇所あたり、中性子線測定用 TLD 素子を 2 個、ガンマ線測定用 TLD を 2 個設置した。取付け状態を Fig. A1-1～1-2 に示す。取付け面の温度が万一高温になった場合の対策として、シリコン棒 2 本を取付け面（コンクリート壁等）に敷いた上に、TLD 表面（入射面）を原子炉側に向けて耐熱アルミテープで貼り付けた。また、熱電対交換ハッチ表面への貼り付けは、横方向貫通部のストリーミングを考慮して Fig. A1-3 に示すスリーブ内の案内管の位置とした。

(c) 運転履歴の記録

TLD は積算線量を測定するものであるため、原子炉運転中の出力及び運転時間を記録する。

(d) TLD 素子の読取り

TLD は照射から 1 日（24 時間）経過後に読取るように較正されている。HTTR の場合、原子炉停止の翌日に格納容器内に立ち入れるとは限らないが、出来るだけ速やかに回収し、読取りを行う。原子炉停止から読取りまでの日数がかかってしまった場合はフェーディングによる読取り値の低下を考慮して補正を行う必要がある。環境温度が 20°C の場合、読取り値の低下は 10 日で約 5% である。

TLD 素子の読取りは、専用の熱蛍光線量計測定装置で実施する。測定結果は素子番号、読取り日時、各エレメントの読取り値 (μSv 、 mSv 、 Sv) がプリント出力されるので、これを記録用紙に書き写す。

(e) データ整理

読取ったエレメント毎の線量を次の通り処理し、1cm 線量当量を算出する。

① 中性子線量当量率の算出

中性子線測定用 TLD 素子 (UD-813PQ4) には 4 つのエレメントが収納されている。エレメント 1、2 は熱中性子線とガンマ線を同時に測定し、エレメント 3、4 はガンマ線だけを測定している。従って、エレメント 1、2 からエレメント 3、4 の読み取り値を差引いたものが熱中性子線の線量となる。また、1 つの評価点に対して素子は 2 個設置するので、2 つの素子の平均値をもって評価点の線量当量とする。中性子線量の算出方法は次のとおりである。

$$D_{n,ave} = \frac{D_{n,1} + D_{n,2}}{2}$$

$$D_{n,i} = \frac{(E_{1,i} + E_{2,i}) - (E_{3,i} + E_{4,i})}{2} \times K_n$$

ここで、

- $D_{n,ave}$: 同一の測定点に設置した TLD の平均中性子線量当量 (Sv)、
 $D_{n,i}$: 素子 i の中性子線量当量 (Sv)、
 $E_{1,i} \sim E_{4,i}$: 素子 i のエレメント 1 から 4 の読み取り値 (Sv)、
 K_n : 蛍光剤の濃度により決まる換算係数 (=1/141)

である。

② ガンマ線線量当量率の算出

ガンマ線測定用 TLD 素子 (UD-802PQ) にも 4 つのエレメントが収納されている。いずれもガンマ線のみを測定するものであるが、エレメント 1 は人間の皮膚、エレメント 2 は人の目の被ばく量を測定するための蛍光体材料であり、エレメント 3、4 が人の 1cm 線量当量を測定するものである。また、1 つの評価点に対して素子は 2 個設置するので、2 つの素子の平均値をもって評価点の線量当量とする。ガンマ線線量の算出方法は次のとおりである。

$$D_{\gamma,ave} = \frac{D_{\gamma,1} + D_{\gamma,2}}{2}$$

$$D_{\gamma,i} = \frac{E_{3,i} + E_{4,i}}{2} \times K_\gamma$$

ここで、

- $D_{\gamma,ave}$: 同一の測定点に設置した TLD の平均ガンマ線線量当量 (Sv)、
 $D_{\gamma,i}$: 素子 i のガンマ線線量当量 (Sv)、
 $E_{3,i}, E_{4,i}$: 素子 i のエレメント 3 及び 4 の読み取り値 (Sv)、

K_{γ} : 蛍光剤の濃度により決まる換算係数 (=1.0)
である。

A1-2 基準照射試験

TLD の特性を把握するために、基準照射を行った。試験条件を **Table A1-1** に示す。結果を **Table A1-2**、**Fig. A1-5** (ガンマ線照射) 及び **Fig. A1-6** (中性子線照射) に示す。その結果、以下のことが分かった。

- ① 中性子も測定できる UD813PQ4 よりも UD802PQ の方が、ガンマ線に対するばらつきが小さい。
- ② ガンマ線照射量 1 Sv 近傍では、UD802PQ の測定値は 20%以内に入っているが、0.5 Sv では測定値が-20~-50%程度になっている。
- ③ 中性子照射量 0.5 mSv 近傍では、測定値は+50%以下であるが、2 mSv では測定値全てが過大になっており、最大で 2 倍以上となっている。
- ④ 中性子照射量の測定値の大小は TLD 番号により決まっており、各 TLD 毎に測定値の相関が見られる。

本基準照射結果に基づき、各出力上昇試験での測定結果に対して、各 TLD 毎に基準照射結果を直線近似し、補正係数を求めた。補正係数を **Table A1-3** に示す。

A1-3 出力上昇試験での測定データ

TLD による評価点を **Table A1-4** に示す。各出力上昇試験での測定データを **Table A1-5** に示す。線量当量率への換算方法等については、本文 4.2.3 項に詳しく述べる。

Table A1-1 Standard irradiation condition of TLD.

ケース	1	2	3	4
線源	^{60}Co (7.4 TBq)			
照射線量当量	1 mSv	10 mSv	0.5 Sv	1.0 Sv
線源	^{252}Cf (1.96 GBq)			
照射線量当量	10 μSv	0.35 mSv	0.5 mSv	2.0 mSv

Table A1-2(1/2)**Result of standard irradiation test of TLD (gamma-ray : UD802PQ).**

TLD 番号 \ ケース (照射量)	1 (1mSv)	2 (10mSv)	3 (0.5Sv)	4 (1.0Sv)
0298001	1.53	13.9	0.3735	0.9665
0298002	1.66	14.7	0.3435	1.040
0298003	1.51	12.9	0.2475	0.9325
0298004	1.56	13.9	0.2550	0.9695
0298005	1.56	14.5	0.2505	1.1
0298006	1.21	12.6		
0298007	1.22	12.7		
0298008	1.24	11.6		
0298009	1.25	11.6		
0298010	1.16	10.8		
0200011	1.16	10.9		
0200012	1.12	10.3		
0200013	1.14	10.6		
0200014	1.16	10.6		
0200015	1.21	11.3		
0200016	1.15	10.8		
0200017	1.16	10.9		
0200018	1.08	10.1		
0200019	1.14	10.6		
0200020	1.17	10.8		
0200021	1.14	10.5		
0200022	1.22	11.4		
0200023	1.15	10.7		
0200024	1.14	10.6		
0200025	1.09	10.1		
0200026	1.11	10.2		
0200027	1.24	11.6		
0200028	1.17	10.7		
0200029	1.14	10.4		
0200030	1.16	10.8		
0200031	1.19	10.9		
0200032	1.21	11.3		
0200033	1.20	11.3		
0200034	1.12	10.4		
0200035	1.16	10.7		
0200036	1.19	11.0		
0200037	1.15	10.7		
0200038	1.17	10.9		
0200039	1.06	9.99		
0200040	1.17	10.9		
1398001 (UD813PQ4)	Not irradiated		0.1915	0.7405
1398002 (UD813PQ4)			0.208	0.925
1398003 (UD813PQ4)			0.181	1.155
1398004 (UD813PQ4)			0.173	0.7865
1398005 (UD813PQ4)			0.1825	0.907

Table A1-2(2/2)**Result of standard irradiation test of TLD (neutron : UD802PQ).**

TLD 番号 \ ケース (照射量)	1 (10μSv)	2 (0.35mSv)	3 (0.5mSv)	4 (2.0mSv)
1398001	27.5	0.951	Not irradiated	
1398002	18.4	0.660		
1398003	18.2	0.606		
1398004	27.1	0.893		
1398005	18.6	0.661		
1398006	20.6	0.696		
1398007	28.4	1.02		
1398008	26.0	0.848		
1398009	16.4	0.548		
1398010	16.5	0.572		
1300011	17.0	0.579	Not irradiated	
1300012	14.2	0.483		
1300013	20.4	0.708		
1300014	17.9	0.619		
1300015	18.4	0.654		
1300016	18.3	0.626		
1300017	19.1	0.669		
1300018	22.3	0.758		
1300019	18.2	0.603		
1300020	18.4	0.611		
1300021	16.4	0.589		
1300022	23.4	0.808		
1300023	18.8	0.656		
1300024	19.5	0.667		
1300025	18.4	0.662		
1300026	20.4	0.734		
1300027	18.8	0.666		
1300028	19.3	0.654		
1300029	20.6	0.714		
1300030	13.9	0.523		
1300031	17.5	0.616		
1300032	19.7	0.673		
1300033	16.7	0.584		
1300034	19.5	0.652		
1300035	18.2	0.647		
1300036	16.2	0.537		
1300037	19.0	0.665		
1300038	20.9	0.740		
1300039	23.5	0.822		
1300040	19.4	0.664		

Table A1-3(1/2)

Evaluated correlation factors of TLDs.

TLD 番号	ガンマ線に対する 補正係数	TLD 番号	ガンマ線に対する 補正係数
0298001	0.688	0200024	0.910
0298002	0.643	0200025	0.954
0298003	0.719	0200026	0.941
0298004	0.683	0200027	0.838
0298005	0.665	0200028	0.895
0298006	0.810	0200029	0.919
0298007	0.805	0200030	0.896
0298008	0.838	0200031	0.879
0298009	0.833	0200032	0.858
0298010	0.898	0200033	0.863
0200011	0.890	0200034	0.930
0200012	0.934	0200035	0.901
0200013	0.914	0200036	0.876
0200014	0.905	0200037	0.904
0200015	0.856	0200038	0.888
0200016	0.902	0200039	0.972
0200017	0.892	0200040	0.890
0200018	0.957	1398001 (UD813PQ4)	0.688
0200019	0.914	1398002 (UD813PQ4)	0.643
0200020	0.892	1398003 (UD813PQ4)	0.719
0200021	0.915	1398004 (UD813PQ4)	0.683
0200022	0.848	1398005 (UD813PQ4)	0.665
0200023	0.904		

Table A1-3(2/2)

Evaluated correlation factors of TLDs.

TLD 番号	中性子線に対する 補正係数	TLD 番号	中性子線に対する 補正係数
1398001	0.366	1300021	0.603
1398002	0.536	1300022	0.431
1398003	0.564	1300023	0.533
1398004	0.381	1300024	0.519
1398005	0.534	1300025	0.537
1398006	0.494	1300026	0.483
1398007	0.348	1300027	0.528
1398008	0.399	1300028	0.527
1398009	0.625	1300029	0.488
1398010	0.609	1300030	0.696
1300011	0.597	1300031	0.569
1300012	0.715	1300032	0.513
1300013	0.492	1300033	0.598
1300014	0.562	1300034	0.525
1300015	0.540	1300035	0.544
1300016	0.553	1300036	0.636
1300017	0.523	1300037	0.526
1300018	0.455	1300038	0.476
1300019	0.564	1300039	0.426
1300020	0.559	1300040	0.521

Table A1-4 Evaluation points by TLD.

測定位置		評価点
SP室	210° 方向防振支持梁上側	TLSP-1
	210° 方向防振支持梁下側	TLSP-2
	90° 方向防振支持梁上側	TLSP-3
	90° 方向防振支持梁下側	TLSP-4
	0° 方向防振支持梁上側	TLSP-5
	0° 方向防振支持梁下側	TLSP-6
	N2 SP補償遮へい体上面	TLSP-7
	N6 SP補償遮へい体上面	TLSP-8
	N15 SP補償遮へい体上面	TLSP-9
原子炉側部	B1F CV東側表面	TLCV-1
	B1F CV南側内面	TLCV-2
	B1F CV西側内面	TLCV-3
	B1F CV北側内面	TLCV-4
	B2F CV東側表面	TLCV-5
	B2F CV南側内面	TLCV-6
	B2F CV西側内面	TLCV-7
	B2F CV北側内面	TLCV-8
	B3F CV東側表面	TLCV-9
	B3F CV南側内面	TLCV-10
	B3F CV西側内面	TLCV-11
	B3F CV北側内面	TLCV-12
横TC交換ハッチ	ハッチ表面	TLCV-13
ケーブル貫通部	G392室側1	G392-1
	G392室側2	G392-2
	G392室側3	G392-3
	G292室側1	G292-1
	G292室側2	G292-2
	G292室側3	G292-3

Table A1-5(1) Measured dose equivalents by TLD.

試験名	運転モード	原子炉出力		原子炉運転期間		9MW相当の運転時間	
		定格・単独	9MW	平成12年4月23日～5月26日	347hr		

測定点	元素番号	ガンマ線				中性子線			
		積算線量(mSv) ^{*1}		積算線量(mSv) ^{*1}		積算線量(mSv) ^{*2}		積算線量(mSv) ^{*3}	
		E3	E4	E3	E4	(μ Sv/h)	(μ Sv/h)	E1	E2
T LSP-1	0298001	0.332	0.302	0298002	0.376	0.226	0.64	5.37	0.254
T LSP-2	0298003	0.387	0.34	0298004	0.408	0.411	0.270	5.74	5.63
T LSP-3	0298005	0.266	0.251	0298006	0.125	0.108	0.133	0.38	0.325
T LSP-4	0290011	0.173	0.157	0290012	0.161	0.139	0.143	0.41	0.352
T LSP-5	0290013	0.118	0.1	0290014	0.201	0.163	0.119	0.34	0.313
T LSP-6	0290015	0.204	0.161	0290016	0.174	0.161	0.154	0.44	0.262
T LSP-7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T LSP-8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T LSP-9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T LGV-1	0290017	0.101	0.102	0290018	0.102	0.096	0.0926	0.27	0.129
T LGV-2	0290019	0.113	0.08	0290020	0.115	0.077	0.0869	0.25	0.199
T LGV-3	0290021	0.127	0.085	0290022	0.146	0.094	0.0994	0.29	0.194
T LGV-4	0290023	0.119	0.08	0290024	0.12	0.086	0.0919	0.26	0.179
T LGV-5	0290025	0.094	0.096	0290026	0.099	0.101	0.0923	0.27	0.163
T LGV-6	0290027	0.286	0.258	0290028	0.283	0.242	0.231	0.67	0.177
T LGV-7	0290029	0.215	0.198	0290030	0.231	0.192	0.190	0.55	0.208
T LGV-8	0290031	0.192	0.175	0290032	0.196	0.167	0.158	0.46	0.190
T LGV-9	0290033	0.226	0.234	0290034	0.215	0.228	0.202	0.58	0.208
T LGV-10	0290035	1.08	1.12	0290036	1.13	1.16	0.997	2.87	1.35
T LGV-11	0290037	0.498	0.495	0290038	0.5	0.523	0.452	1.30	1.13
T LGV-12	0290039	0.808	0.809	0290040	0.915	0.892	0.793	2.28	1.30
T LGV-13	0298007	0.219	0.254	0298008	0.216	0.272	0.197	0.57	1.31

*1 ガンマ線用TLDはエレメント3,4(E3,E4)がcm線量当量を測定するもの。

*2 各元素毎の校正定数をもちいて補正したもの。また、中性子用TLDは銀蛍光材を使用しているため、測定値を定数(14)で割ったものが線量当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント1,2(E1,E2)が熱中性子線ガンマ線の双方を測定し、エレメント3,4がガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(2) Measured dose equivalents by TLD.

試験名 出力上昇試験(1)	運転モード 定格・並列	原子炉出力		原子炉運転期間		9MW相当の運転時間	
		9MW	平成12年5月30日～6月6日	155hr			

測定点	素子番号	ガンマ線				中性子線							
		積算線量(mSv) ^{*1}		積算線量(mSv) ^{*1}		積算線量(mSv) ^{*2}		積算線量(mSv) ^{*3}		積算線量(mSv) ^{*3}		平均積算線量(mSv) ^{*3}	
		E3	E4	E3	E4	(μ Sv/h)	素子番号	E1	E2	E3	E4	(μ Sv/h)	素子番号
TLSP-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-2	0298003	0.431	0.42	0.200038	0.066	0.058	0.180	1.16	1.398003	2.57	2.53	0.187	0.156 1300038
TLSP-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-4	0200011	0.06	0.052	0.298002	0.544	0.554	0.196	1.27	1.300011	1.87	2.09	0.127	0.086 1398002
TLSP-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-6	0200015	0.073	0.063	0.298006	0.079	0.063	0.058	0.37	1.300015	2.37	2.41	0.108	0.075 1398006
TLSP-7	0298001	0.612	0.591	0.200036	0.121	0.131	0.262	1.69	1.398001	6.2	6.43	0.187	0.248 1398003
TLSP-8	0298005	0.483	0.497	0.200040	0.171	0.19	0.243	1.57	1.398005	5.84	5.8	0.393	0.331 1300040
TLSP-9	0200013	0.112	0.126	0.298004	0.531	0.515	0.233	1.50	1.300013	3.29	3.56	0.167	0.135 1398004
TLCV-1	0200017	0.025	0.024	0.200012	0.023	0.025	0.022	0.14	1.300017	0.204	0.112	0.097	0.055 1300012
TLCV-2	0200019	0.03	0.019	0.200014	0.029	0.021	0.023	0.15	1.300019	0.089	0.089	0.086	0.072 1300014
TLCV-3	0200021	0.033	0.021	0.200016	0.033	0.022	0.025	0.16	1.300021	0.155	0.094	0.072	0.055 1300016
TLCV-4	0200023	0.03	0.022	0.200018	0.034	0.016	0.024	0.15	1.300023	0.106	0.085	0.082	0.074 1300018
TLCV-5	0200025	0.028	0.028	0.200020	0.03	0.028	0.026	0.17	1.300025	0.223	0.143	0.097	0.095 1300020
TLCV-6	0200027	0.096	0.095	0.200022	0.095	0.084	0.078	0.50	1.300027	0.281	0.193	0.091	0.114 1300022
TLCV-7	0200029	0.066	0.06	0.200024	0.062	0.066	0.058	0.37	1.300029	0.264	0.222	0.141	0.126 1300024
TLCV-8	0200031	0.06	0.055	0.200026	0.054	0.05	0.050	0.32	1.300031	0.343	0.349	0.134	0.11 1300026
TLCV-9	0200033	0.083	0.083	0.200028	0.076	0.081	0.071	0.46	1.300033	0.305	0.274	0.096	0.118 1300028
TLCV-10	0200035	0.434	0.425	0.200030	0.437	0.44	0.390	2.52	1.300035	0.654	0.498	0.415	0.468 1300030
TLCV-11	0200037	0.185	0.189	0.200032	0.193	0.198	0.168	1.09	1.300037	0.41	0.316	0.211	0.198 1300032
TLCV-12	0200039	0.363	0.382	0.200034	0.375	0.380	0.350	2.32	1.300039	0.923	0.733	0.341	0.357 1300034
TLCV-13	0298007	0.111	0.129	0.298009	0.122	0.151	0.105	0.68	1.398007	3.07	2.87	0.106	0.134 1398009

*1 ガンマ線用TLDはエレメント3-E4(E3-E4)が1cm³当量を測定するもの。

*2 各素子毎の校正定数をもちいて補正したものが。また、中性子用TLDは繊維状蛍光材を使用しているため、測定値を定数(141)で割ったものが線量当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント1-E2(E1-E2)が繊維状中性子線とガンマ線の双方を測定し、エレメント3-E4がガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(3) Measured dose equivalents by TLD.

試験名 出力上昇試験(2)	運転モード		原子炉出力		原子炉運転期間		15MW相当の運転時間	
	定格・単純	15MW	平成12年7月3日～7月8日		104hr			

測定点 素子番号	ガンマ線								中性子線								
	積算線量(mSv) ^{*1}				積算線量(mSv) ^{*1}				積算線量(mSv) ^{*2}				積算線量(mSv) ^{*3}				
	E3	E4	E3	E4	E3	E4	(μSv/h)	(mSv)	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	
TLSR-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSR-2	0298001	0.196	0.179	0298002	0.218	0.204	0.132	1.27	1398001	5.44	5.19	0.201	0.218	1398002	3.63	3.58	0.307
TLSR-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSR-4	0298003	0.183	0.175	0298004	0.174	0.188	0.126	1.21	1398003	2.53	2.39	0.206	0.209	1398004	3.75	4.01	0.187
TLSR-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSR-6	0298005	0.174	0.155	0298006	0.093	0.084	0.091	0.87	1398005	3.12	3.07	0.24	0.23	1398006	3.19	3.11	0.098
TLSR-7	0290011	0.229	0.263	0290012	0.198	0.243	0.212	2.04	1390011	6.06	6.57	0.398	0.487	1390012	5.01	4.82	0.348
TLSR-8	0290013	0.16	0.182	0290014	0.141	0.169	0.148	1.43	1390013	5.49	5.99	0.239	0.228	1390014	4.37	4.11	0.213
TLSR-9	0290015	0.137	0.157	0290016	0.135	0.142	0.125	1.21	1390015	3.83	3.79	0.121	0.15	1390016	3.33	3.54	0.186
TLCV-1	0290017	0.05	0.055	0290018	0.056	0.056	0.050	0.48	1390017	0.175	0.098	0.073	0.084	1390018	0.223	0.159	0.064
TLCV-2	0290019	0.046	0.041	0290020	0.053	0.038	0.040	0.39	1390019	0.161	0.05	0.088	0.064	1390020	0.134	0.088	0.064
TLCV-3	0290021	0.054	0.042	0290022	0.063	0.046	0.045	0.43	1390021	0.161	0.105	0.079	0.067	1390022	0.164	0.108	0.069
TLCV-4	0290023	0.054	0.047	0290024	0.057	0.042	0.045	0.44	1390023	0.115	0.081	0.082	0.057	1390024	0.177	0.074	0.057
TLCV-5	0290025	0.057	0.061	0290026	0.058	0.058	0.055	0.53	1390025	0.199	0.153	0.06	0.092	1390026	0.185	0.111	0.071
TLCV-6	0290027	0.131	0.119	0290028	0.135	0.12	0.109	1.05	1390027	0.265	0.223	0.173	0.114	1390028	0.332	0.201	0.184
TLCV-7	0290029	0.106	0.098	0290030	0.115	0.102	0.096	0.92	1390029	0.305	0.22	0.097	0.091	1390030	0.156	0.103	0.126
TLCV-8	0290031	0.093	0.1	0290032	0.096	0.098	0.082	0.79	1390031	0.426	1.07	0.108	0.081	1390032	0.419	0.332	0.116
TLCV-9	0290033	0.132	0.129	0290034	0.122	0.132	0.115	1.11	1390033	0.247	0.232	0.11	0.098	1390034	0.343	0.247	0.11
TLCV-10	0290035	0.508	0.516	0290036	0.511	0.567	0.465	4.47	1390035	0.613	0.432	0.454	0.409	1390036	0.528	0.425	0.52
TLCV-11	0290037	0.231	0.235	0290038	0.236	0.243	0.212	2.04	1390037	0.385	0.297	0.188	0.231	1390038	0.37	0.326	0.214
TLCV-12	0290039	0.424	0.449	0290040	0.471	0.467	0.421	4.05	1390039	0.716	0.628	0.349	0.312	1390040	0.531	0.478	0.382
TLCV-13	0298007	0.131	0.141	0298008	0.127	0.146	0.113	1.08	1398007	3.28	3.07	0.122	0.132	1398008	2.82	2.46	0.11

*1 ガンマ線用TLDはエレメント3-E4(E3-E4)が1cm線当量を測定するもの。

*2 各素子毎の校正定数をもちいて補正したもの。また、中性子用TLDは遮蔽強光材を使用しているため、測定値を定数(14)で割ったものが線当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント1-E2(E1-E2)が熱中性子線とガンマ線の双方を測定し、エレメント3がガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(4) Measured dose equivalents by TLD.

測定点 試験名	運転モード		原子炉出力		原子炉運転期間		20MW相当の運転時間	
	出力上昇試験(2)	定格・単純	20MW	平成13年1月29日～2月12日	260hr			

測定点 試験名	ガンマ線								中性子線(熱中性子)									
	積算線量(mSv) ^{*1}				積算線量(mSv) ^{*1}				積算線量(mSv) ^{*2}				積算線量(mSv) ^{*3}					
	素子番号	E3	E4	素子番号	E3	E4	(μ Sv/h)	素子番号	E1	E2	E3	E4	(μ Sv/h)	素子番号	E1	E2	E3	E4
TLSP-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSP-2	0298001	0.574	0.533	0298002	0.71	0.669	0.412	1.58	1.398001	19.4	19.3	0.285	0.345	1398002	12.4	13	0.497	0.513
TLSP-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSP-4	0298003	0.615	0.591	0298004	0.691	0.628	0.442	1.70	1.398003	9.54	9.3	0.452	0.389	1398004	13.7	14.3	0.407	0.317
TLSP-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSP-6	0298005	0.603	0.562	0298006	0.35	0.377	0.341	1.31	1.398005	11.1	12.1	0.43	0.452	1398006	12	11.4	0.362	0.314
TLSP-7	0298011	0.813	0.939	0298012	0.893	1.05	0.843	3.24	1.398011	23.3	24.6	1.21	1.11	1398012	21.1	22.6	1.19	1.42
TLSP-8	0298013	0.666	0.745	0298014	0.485	0.568	0.558	2.15	1.398013	19.2	21.4	0.684	0.655	1398014	20.6	20.4	0.707	0.743
TLSP-9	0298015	0.487	0.525	0298016	0.483	0.528	0.444	1.71	1.398015	15.1	16.3	0.518	0.551	1398016	14.6	16.1	0.643	0.558
TLCV-1	0298017	0.081	0.083	0298018	0.077	0.072	0.072	0.28	1.398017	0.94	0.251	0.171	0.213	1398018	0.342	0.323	0.158	0.16
TLCV-2	0298019	0.115	0.079	0298020	0.131	0.135	0.104	0.40	1.398019	0.279	0.236	0.15	0.17	1398020	0.336	0.274	0.126	0.141
TLCV-3	0298021	0.127	0.071	0298022	0.136	0.083	0.092	0.35	1.398021	0.343	0.17	0.171	0.189	1398022	0.37	0.259	0.163	0.131
TLCV-4	0298023	0.118	0.071	0298024	0.114	0.084	0.088	0.34	1.398023	0.282	0.283	0.229	0.164	1398024	0.352	0.205	0.144	0.105
TLCV-5	0298025	0.117	0.125	0298026	0.112	0.123	0.115	0.44	1.398025	0.449	0.316	0.201	0.22	1398026	0.467	0.403	0.153	0.183
TLCV-6	0298027	0.406	0.429	0298028	0.396	0.357	0.357	1.35	1.398027	0.73	0.663	0.376	0.434	1398028	0.743	0.716	0.369	0.385
TLCV-7	0298029	0.299	0.265	0298030	0.299	0.282	0.255	0.98	1.398029	0.857	0.757	0.388	0.354	1398030	0.604	0.584	0.385	0.375
TLCV-8	0298031	0.248	0.256	0298032	0.262	0.265	0.224	0.86	1.398031	1.42	1.55	0.307	0.328	1398032	1.68	1.72	0.282	0.337
TLCV-9	0298033	0.424	0.437	0298034	0.365	0.418	0.368	1.41	1.398033	0.783	0.903	0.372	0.38	1398034	1.12	0.852	0.353	0.381
TLCV-10	0298035	1.7	1.69	0298036	1.67	1.79	1.521	5.85	1.398035	2.02	1.64	1.46	1.45	1398036	1.74	1.63	1.69	1.59
TLCV-11	0298037	0.699	0.698	0298038	0.691	0.709	0.627	2.41	1.398037	1.22	0.968	0.64	0.741	1398038	1.3	1.16	0.584	0.472
TLCV-12	0298039	1.36	1.4	0298040	1.5	1.48	1.334	5.13	1.398039	2.04	2.02	0.951	0.97	1398040	1.97	1.77	1.23	1.08
TLCV-13	0298047	0.414	0.473	0298048	0.404	0.467	0.361	1.39	1.398047	10.1	10	0.333	0.344	1398048	9.22	8.3	0.391	0.328

^{*1} ガンマ線用TLDはエレメント3-4(E3-E4)が1cm線量当量を測定するもの。^{*2} 各素子毎の校正定数をもちいて補正したもの。また、中性子用TLDは遮蔽蛍光材を使用しているため、測定値を定数(14)で割ったものが線量当量になる。^{*3} 中性子用TLDはエレメント1(E1-E2)が熱中性子線とガンマ線の双方を測定し、エレメント3-4がガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(5) Measured dose equivalents by TLD.

試験名 出力上昇試験②	運転モード 定格並列	原子炉出力 20MW		原子炉運転期間 平成12年2月25日～3月1日		20MW相当の運転時間 249hr	

測定点	素子番号	ガンマ線				中性子線(熱中性子)												
		相算線量(mSv) ^{*1}		積算線量(mSv) ^{*1}		相算線量(mSv) ^{*2}		積算線量(mSv) ^{*3}										
		E3	E4	素子番号	E3	E4	(μ Sv/h)	素子番号	E1	E2	E3	E4	素子番号	E1	E2	E3	E4	
TLSF-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TLSF-2	02980001	0.522	0.49	02980002	0.663	0.615	0.379	1.52	13980001	19	18.2	0.294	0.347	13980002	12.9	12.3	0.424	0.484
TLSF-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TLSF-4	02980003	0.537	0.522	02980004	0.593	0.542	0.384	1.54	13980003	8.68	9.11	0.393	0.422	13980004	13.1	13.3	0.379	0.358
TLSF-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TLSF-6	02980005	0.553	0.538	02980006	0.312	0.271	0.300	1.20	13980005	10.5	10.8	0.408	0.46	13980006	11.2	10.9	0.289	0.229
TLSF-7	02980011	0.82	0.952	02980012	0.704	0.84	0.755	3.03	1300011	27.1	29.1	1.58	1.26	1300012	17.9	18.7	1.16	1.29
TLSF-8	02980013	0.522	0.562	02980014	0.519	0.656	0.514	2.06	1300013	20.1	22.1	0.677	0.527	1300014	16.7	16.4	0.647	0.645
TLSF-9	02980015	0.537	0.575	02980016	0.438	0.447	0.443	1.78	1300015	13.7	14.5	0.47	0.464	1300016	13.4	15.1	0.53	0.537
TLCV-1	02980017	0.06	0.057	02980018	0.054	0.051	0.051	0.21	1300017	0.245	0.179	0.213	0.206	1300018	0.281	0.233	1.23	0.135
TLCV-2	02980019	0.09	0.051	02980020	0.099	0.055	0.067	0.27	1300019	0.266	0.206	0.099	0.13	1300020	0.281	0.123	0.14	0.112
TLCV-3	02980021	0.108	0.058	02980022	0.113	0.061	0.075	0.30	1300021	0.279	0.173	0.174	0.134	1300022	0.413	0.19	0.099	0.109
TLCV-4	02980023	0.097	0.055	02980024	0.095	0.051	0.068	0.27	1300023	0.27	0.178	0.099	0.138	1300024	0.301	0.195	0.095	0.115
TLCV-5	02980025	0.094	0.069	02980026	0.095	0.097	0.091	0.37	1300025	0.31	0.312	0.217	0.218	1300026	0.425	0.361	0.198	0.17
TLCV-6	02980027	0.342	0.319	02980028	0.323	0.306	0.279	1.12	1300027	0.757	0.585	0.415	0.322	1300028	0.723	0.617	0.356	0.368
TLCV-7	02980029	0.273	0.231	02980030	0.266	0.236	0.228	0.92	1300029	0.757	0.762	0.348	0.329	1300030	0.518	0.527	0.376	0.307
TLCV-8	02980031	0.224	0.213	02980032	0.25	0.221	0.197	0.79	1300031	1.22	1.61	0.252	0.271	1300032	1.69	1.49	0.262	0.26
TLCV-9	02980033	0.388	0.412	02980034	0.338	0.374	0.338	1.36	1300033	0.851	0.785	0.385	0.364	1300034	0.776	0.795	0.346	0.321
TLCV-10	02980035	1.66	1.6	02980036	1.63	1.71	1.466	5.89	1300035	1.89	1.56	1.39	1.53	1300036	1.8	1.51	1.75	1.56
TLCV-11	02980037	0.663	0.668	02980038	0.657	0.676	0.597	2.40	1300037	1.17	1.06	0.561	0.599	1300038	1.19	0.891	0.608	0.522
TLCV-12	02980039	1.21	1.16	02980040	1.33	1.21	1.141	4.58	1300039	2.22	2.12	1.23	1.12	1300040	2.11	1.59	1.3	1.23
TLCV-13	02980047	0.382	0.425	02980048	0.41	0.519	0.357	1.43	1398007	9.14	9.78	0.322	0.35	1398008	8.43	7.78	0.38	0.332

*1 ガンマ線用TLDはエレメント3,4(E3,E4)がcm線量当量を測定するもの。

*2 各素子毎の校正定数をもちて補正したものの、また、中性子用TLDは纏縞蛍光材を使用しているため、測定値を定数(14)で割ったものが線量当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント1,2(E1,E2)が熱中性子線とガンマ線の両方を測定し、エレメント3がガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(6) Measured dose equivalents by TLD.

測定点 試験名	運転モード		原子炉出力		原子炉運転期間		20MW相当の運転時間	
	出力上昇試験③	高溫・準強	20MW		平成13年4月14日～5月7日		434hr	

測定点 素子番号	ガンマ線								中性子線(熱中性子)								
	積算線量(mSv) ^{*1}				積算線量(mSv) ^{*1}				積算線量(mSv) ^{*2}				積算線量(mSv) ^{*3}				
	E3	E4	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	
TLSP-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSP-2	02980001	0.7	0.62	02980002	0.767	0.715	0.465	1.07	13980001	33.5	34.1	0.498	0.466	13980002	22.5	22.1	0.68
TLSP-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSP-4	02980003	0.638	0.591	02980004	0.684	0.566	0.439	1.01	13980003	16	15.7	0.526	0.665	13980004	23.4	23.7	0.573
TLSP-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLSP-6	02980005	0.768	0.708	02980006	0.547	0.511	0.460	1.06	13980005	19.6	20.5	0.689	0.634	13980006	21.3	20.6	0.481
TLSP-7	02980011	2.8	3.36	02980012	2.112	2.57	2.465	5.68	13980011	72.8	80	3.52	3.31	13980012	35	36.8	1.94
TLSP-8	02980013	1.98	2.18	02980014	1.02	1.24	1.464	3.37	13980013	70.7	77.9	2.21	1.93	13980014	33.8	32.7	1.13
TLSP-9	02980015	0.84	0.919	02980016	1.22	1.39	0.965	2.22	13980015	24.3	26.6	0.867	0.841	13980016	37.6	42.5	1.46
TLCV-1	02990017	0.103	0.099	02990018	0.094	0.090	0.21	0.21	13990017	0.218	0.177	0.124	0.14	13990018	0.32	0.228	0.153
TLCV-2	02990019	0.176	0.092	02990020	0.188	0.106	0.127	0.29	13990019	0.266	0.179	0.176	0.168	13990020	0.331	0.148	0.171
TLCV-3	02990021	0.198	0.104	02990022	0.223	0.117	0.141	0.33	13990021	0.241	0.224	0.222	0.201	13990022	0.303	0.31	0.137
TLCV-4	02990023	0.182	0.095	02990024	0.178	0.101	0.126	0.29	13990023	0.354	0.256	0.217	0.158	13990024	0.375	0.25	0.139
TLCV-5	02990025	0.177	0.19	02990026	0.171	0.188	0.172	0.40	13990025	0.398	0.304	0.245	0.197	13990026	0.47	0.389	0.186
TLCV-6	02990027	0.698	0.711	02990028	0.594	0.542	0.549	1.27	13990027	1.08	1.5	0.534	0.508	13990028	1.07	0.913	0.686
TLCV-7	02990029	0.473	0.438	02990030	0.487	0.416	0.435	0.96	13990029	1.26	1.18	0.422	0.431	13990030	0.817	0.826	0.574
TLCV-8	02990031	0.436	0.441	02990032	0.42	0.386	0.366	0.84	13990031	2.05	2.83	0.48	0.408	13990032	2.62	2.64	0.343
TLCV-9	02990033	0.718	0.739	02990034	0.629	0.715	0.627	1.44	13990033	1.02	1.19	0.644	0.591	13990034	1.11	1.24	0.656
TLCV-10	02990035	2.9	2.85	02990036	3.05	2.594	5.98	3.24	13990035	2.35	2.41	2.87	2.41	13990036	2.66	2.67	2.93
TLCV-11	02990037	1.15	1.17	02990038	1.15	1.22	1.051	2.42	13990037	1.45	1.46	0.99	1.01	13990038	1.91	1.43	0.883
TLCV-12	02990039	2.3	2.67	02990040	2.6	2.95	2.443	5.63	13990039	3.39	3.25	1.77	1.78	13990040	2.96	2.61	2.07
TLCV-13	02990047	0.623	0.69	02990048	0.622	0.752	0.552	1.27	13990047	17.3	16.5	0.519	0.486	13990048	15	13.3	0.636

*1 ガンマ線用TLDはエレメント3,4(E3,E4)が1cm線量当量を測定するもの。

*2 各素子毎の校正定数をもついて補正したもの。また、中性子用TLDは遮蔽蛍光材を使用しているため、測定値を定数(141)で割ったものが線量当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント1,2(E1,E2)が熱中性子線とガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(7) Measured dose equivalents by TLD.

試験名	運転モード	原子炉出力		原子炉運転期間		20MW相当の運転時間	
		高溫・並列	20MW	平成13年5月11日～6月8日		413hr	

測定点	元素番号	積算線量(mSv)*1				積算線量(mSv)*2				積算線量(mSv)*3				中性子線(熱中性子)*4				
		E3		E4		元素番号		(μ Sv/h)		E1		E2		E3		E4		
		積算線量(mSv)*1	(mSv)	E3	E4	積算線量(mSv)*1	(mSv)	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	積算線量(mSv)*3	(mSv)	
TLS-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLS-2	0298001	0.805	0.722	0288002	0.932	0.847	0.548	1.33	—	31.3	0.489	0.52	1398002	20.9	20.3	0.684	0.566	0.0780
TLS-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLS-4	0298003	0.761	0.649	0288004	0.776	0.711	0.507	1.23	—	14.6	0.616	0.525	1398004	21	22.8	0.532	0.471	0.0575
TLS-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TLS-6	0298005	0.871	0.798	0288006	0.589	0.544	0.507	1.23	1398005	18.6	19.1	0.655	0.7	1398006	19.6	19.2	0.642	0.55
TLS-7	02900011	2.21	2.6	02900012	1.33	1.64	1.763	4.27	13000011	71.3	74.2	3.21	3.11	1300012	34	35.9	1.95	2.49
TLS-8	02900013	1.87	2.1	02900014	1.82	2.23	1.824	4.42	13000013	31.1	34.1	1.11	0.891	1300014	67.5	67.5	2.18	2.62
TLS-9	02900015	0.855	0.93	02900016	0.798	0.874	0.759	1.84	13000015	22.2	22.8	0.89	0.838	1300016	22.5	24.8	0.836	0.861
TLCV-1	02900017	0.126	0.116	02900018	0.122	0.118	0.111	0.27	13000017	0.347	0.239	0.189	0.152	1300018	0.322	0.299	0.168	0.161
TLCV-2	02900019	0.183	0.12	02900020	0.19	0.119	0.138	0.33	13000019	0.294	0.256	0.343	0.263	1300020	0.319	0.285	0.214	0.0000
TLCV-3	02900021	0.222	0.144	02900022	0.238	0.144	0.165	0.40	13000021	0.367	0.317	0.236	0.223	1300022	0.407	0.333	0.189	0.211
TLCV-4	02900023	0.211	0.134	02900024	0.202	0.131	0.154	0.37	13000023	0.348	0.287	0.173	0.184	1300024	0.442	0.335	0.223	0.153
TLCV-5	02900025	0.187	0.21	02900026	0.184	0.201	0.185	0.45	13000025	0.6	0.406	0.253	0.282	1300026	0.476	0.511	0.227	0.242
TLCV-6	02900027	0.593	0.577	02900028	0.585	0.539	0.496	1.20	13000027	1.03	1.08	0.67	0.802	1300028	1	1.08	0.602	0.623
TLCV-7	02900029	0.445	0.406	02900030	0.54	0.465	0.421	1.02	13000029	1.18	1.11	0.617	0.558	1300030	0.945	0.9	0.591	0.616
TLCV-8	02900031	0.455	0.464	02900032	0.482	0.467	0.405	0.98	13000031	2.13	2.56	0.513	0.555	1300032	2.6	2.53	0.446	0.422
TLCV-9	02900033	0.714	0.746	02900034	0.67	0.73	0.640	1.55	13000033	0.971	1.13	0.7	0.574	1300034	1.27	1.23	0.647	0.666
TLCV-10	02900035	3.02	3.07	02900036	3.07	3.23	2.740	6.63	13000035	3.22	2.99	2.56	2.63	1300036	2.6	2.69	3.23	3.08
TLCV-11	02900037	1.26	1.29	02900038	1.28	1.32	1.154	2.79	13000037	1.71	1.58	1	1.15	1300038	1.83	1.61	1.06	0.91
TLCV-12	02900039	2.17	2.06	02900040	2.39	2.14	2.036	4.93	13000039	3.55	3.23	1.74	1.6	1300040	3.1	2.76	2.08	0.0042
TLCV-13	0298007	0.714	0.808	0288008	0.673	0.812	0.617	1.49	1398007	16.9	17	0.569	0.569	1398008	14.5	13.4	0.579	0.463

*1 ガンマ線用TLDはエレメント3-4(E3,E4)が^{1cm}線量当量を測定するもの。

*2 各元素毎の校正定数をもちいて補正したもの。また、中性子用TLDは黒縞巻き光材を使用しているため、測定値を定数(141)で割ったものが線量当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント1,2(E1,E2)が繊維状中性子線ヒガマ線の面方を測定し、エレメント3-4がガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(8) Measured dose equivalents by TLD.

試験名	運転モード	原子炉出力		原子炉運転期間		30MW相当の運転時間	
		定格・単純	30MW	平成13年10月23日～12月14日	1047		

測定点	素子番号	ガンマ線				中性子線(熱中性子)			
		積算線量(mSv) ^{*1}		積算線量(mSv) ^{*1}		積算線量(mSv) ^{*2}		積算線量(mSv) ^{*3}	
		E3	E4	素子番号	(μSv/h)	E1	E2	E3	E4
TLSP-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-2	0298001	2.02	1.87	0298002	2.07	1.324	1.26	1398001	107
TLSP-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-4	0298003	1.62	1.41	0298004	1.82	1.54	1.118	1.07	1398003
TLSP-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TLSP-6	0298005	2.29	2.04	0298006	2.00	1.78	1.486	1.42	1398005
TLSP-7	0200011	16.6	19.3	0200012	4.64	5.66	10.390	9.92	1300011
TLSP-8	0200013	3.32	3.69	0200014	6.62	17.9	7.148	6.83	1300013
TLSP-9	0200015	3.01	3.11	0200016	4.13	4.58	3.273	3.13	1300015
TLCV-1	0200017	0.194	0.189	0200018	0.186	0.176	0.172	0.16	1300017
TLCV-2	0200019	0.457	0.224	0200020	0.465	0.219	0.308	0.29	1300019
TLCV-3	0200021	0.545	0.256	0200022	0.603	0.307	0.376	0.36	1300021
TLCV-4	0200023	0.501	0.246	0200024	0.49	0.24	0.335	0.32	1300023
TLCV-5	0200025	0.541	0.585	0200026	0.534	0.567	0.527	0.50	1300025
TLCV-6	0200027	2.11	2.00	0200028	2.00	1.93	1.740	1.66	1300027
TLCV-7	0200029	1.63	1.49	0200030	1.74	1.61	1.468	1.40	1300029
TLCV-8	0200031	1.38	1.35	0200032	1.42	1.38	1.200	1.15	1300031
TLCV-9	0200033	2.58	2.69	0200034	2.27	2.52	2.250	2.15	1300033
TLCV-10	0200035	20.2	20	0200036	20.5	22.2	18.407	17.58	1300035
TLCV-11	0200037	4.23	4.14	0200038	4.16	4.22	3.752	3.58	1300037
TLCV-12	0200039	16.4	17.8	0200040	18.3	18.9	16.589	15.84	1300039
TLCV-13	0298007	1.85	2.13	0298008	1.80	2.19	1.637	1.56	1398007
G392-1	0298009	0.409	0.291	0298010	0.392	0.256	0.281	0.28	—
G392-2	0201041	0.271	0.165	0201042	0.265	0.186	0.222	0.21	—
G392-3	0201043	0.261	0.15	0201044	0.266	0.172	0.212	0.20	—
G392-4	0201045	0.882	0.672	0201046	0.843	0.664	0.765	0.73	—
G392-5	0201047	0.388	0.262	0202048	0.357	0.258	0.316	0.30	—
G392-6	0201049	0.423	0.261	0201050	0.398	0.278	0.340	0.32	—

*1 ガンマ線用TLDはエレメント1,2(E1,E2)が1cm線量当量を測定するもの。

*2 各素子毎の校正定数をもつて補正したものの。また、中性子用TLDは遷移光材を使用しているため、測定値を定数(141)で割ったものが線量当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント3,4(E3,E4)が熱中性子線とガンマ線のみを測定する。

Table A1-5(9) Measured dose equivalents by TLD.

試験名 出力上昇試験(4)	運転モード 定格・並列	原子炉出力		原子炉運転期間		30MW相当の運転時間	
		30MW	平成14年1月25日～3月6日	786			

測定点	元素番号	ガンマ線								中性子線(熱中性子)										
		積算線量(mSv)*1				積算線量(mSv)*2				積算線量(mSv)*3				積算線量(mSv)*4						
		E3	E4	E3	E4	(mSv)	(mSv)	(μ Sv/h)	(μ Sv/h)	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4			
TLS-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
TLS-2	0298001	1.54	1.41	0298002	1.70	1.54	1.028	1.31	—	90.1	86.8	1.16	1.08	1398002	60.3	58.0	1.53	1.47		
TLS-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
TLS-4	0298003	1.27	1.06	0298004	1.32	1.16	0.842	1.07	—	39.4	39.7	1.13	1.32	1398004	58.5	59.7	1.05	0.900		
TLS-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
TLS-6	0298005	1.69	1.58	0298006	1.43	1.34	1.105	1.41	—	50.7	53.8	1.42	1.50	1398006	56.5	54.7	1.42	1.36		
TLS-7	02900011	5.66	6.53	02900012	5.34	6.48	5.471	6.96	—	99.1	105	5.23	4.49	13900012	131	144	8.04	9.30		
TLS-8	02900013	4.96	5.62	02900014	2.51	3.08	3.605	4.69	—	165	181	5.24	4.15	13900014	158	156	5.60	5.62		
TLS-9	02900015	3.22	3.56	02900016	2.15	2.37	2.469	3.14	—	47.6	52.4	2.01	2.14	13900016	64.9	73.6	3.41	2.99		
TGCV-1	02900017	0.150	0.150	02900018	0.136	0.140	0.133	0.17	—	13900017	0.329	0.193	0.204	0.165	13900018	0.353	0.312	0.209	0.159	
TGCV-2	02900019	0.361	0.179	02900020	0.368	0.176	0.245	0.31	—	13900019	0.505	0.399	0.379	0.359	13900020	0.438	0.376	0.398	0.385	
TGCV-3	02900021	0.460	0.195	02900022	0.491	0.224	0.301	0.38	—	13900021	0.484	0.516	0.367	0.448	13900022	0.610	0.607	0.380	0.334	
TGCV-4	02900023	0.389	0.188	02900024	0.392	0.183	0.281	0.33	—	13900023	0.518	0.473	0.343	0.268	13900024	0.540	0.473	0.285	0.220	
TGCV-5	02900025	0.386	0.429	02900026	0.405	0.429	0.390	0.50	—	13900025	0.765	0.67	0.428	0.428	13900026	0.826	0.926	0.493	0.381	
TGCV-6	02900027	1.75	1.84	02900028	1.70	1.76	1.586	1.94	—	13900027	2.24	2.09	1.32	1.22	13900028	2.19	2.14	1.83	1.35	
TGCV-7	02900029	1.42	1.26	02900030	1.46	1.32	1.239	1.58	—	13900029	2.13	2.20	1.28	1.28	13900030	1.89	2.14	1.56	1.26	
TGCV-8	02900031	1.05	1.04	02900032	1.08	0.946	0.894	1.14	—	13900031	4.90	5.73	0.928	0.805	13900032	5.64	5.91	0.823	0.810	
TGCV-9	02900033	1.90	1.97	02900034	1.67	1.88	1.660	2.11	—	13900033	2.29	2.76	1.53	1.4	13900034	2.78	2.92	1.39	1.5	
TGCV-10	02900035	7.22	6.98	02900036	7.02	7.58	6.396	8.14	—	13900035	7.73	7.14	5.9	5.3	13900036	5.82	5.85	7.12	6.99	
TGCV-11	02900037	3.99	3.89	02900038	4.03	4.05	3.575	4.55	—	13900037	3.92	3.75	3.12	3.55	13900038	4.28	4.21	3.2	2.66	
TGCV-12	02900039	5.58	6.02	02900040	5.64	5.16	5.222	6.64	—	13900039	6.45	6.08	4.21	4.15	13900040	6.17	5.44	5.07	4.86	
TGCV-13	0298007	1.48	1.48	1.70	0298008	1.44	1.75	1.308	1.66	—	1398007	37.6	37.1	0.957	1.09	1398008	35.3	31.2	1.30	1.07

*1 ガンマ線用TLDはエレメント3-4(E3,E4)が1cm線量当量を測定するもの。

*2 各元素用TLDは校正定数をもちいて補正したもの。また、中性子用TLDは遮絶強光材を使用しているため、測定値を定数(14)で割ったものが線量当量になる。

*3 中性子用TLDはエレメント3-4(E3,E4)が熱中性子線とガンマ線の両方を測定し、エレメント3-4がガンマ線のみを測定する。

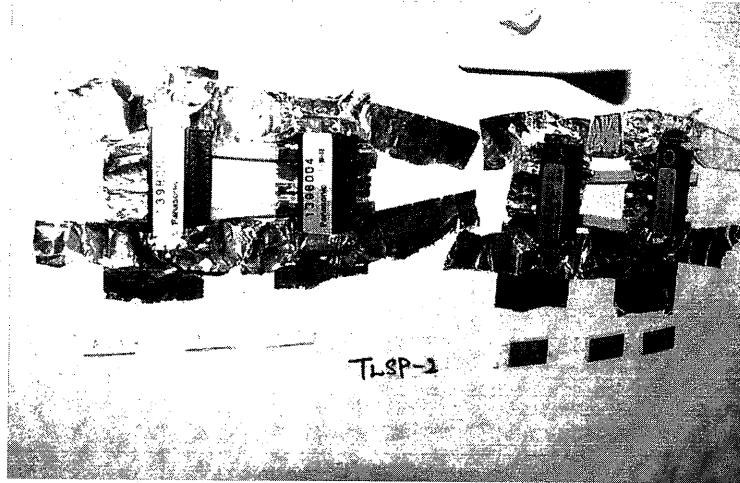


Fig. A1-1 TLD and solid state track detector pasted on inner wall of stand pipe room.

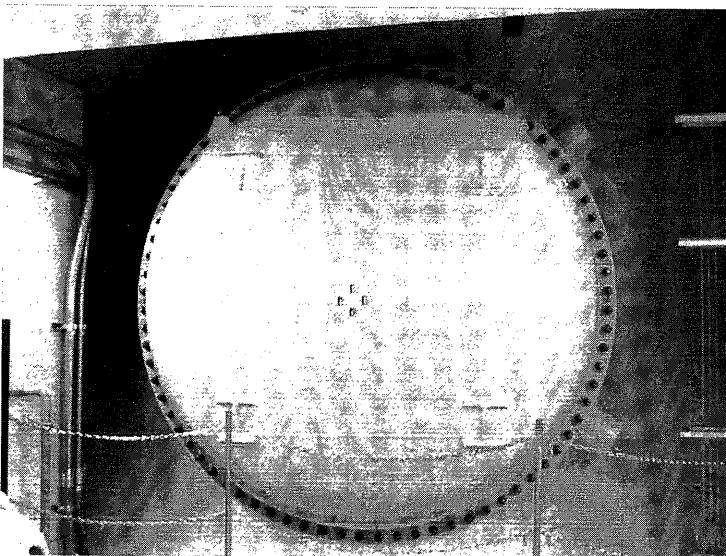
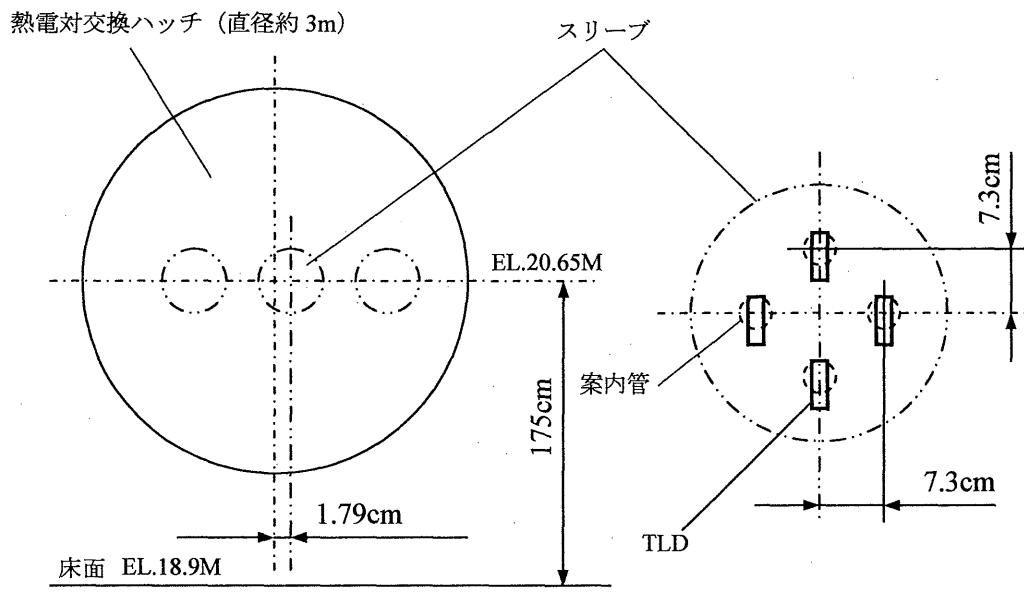


Fig. A1-2 TLD and solid state track detector pasted on thermo couple maintenance hatch.



測定点番号 : TLCV-13

Fig. A1-3 Location of TLD measurement on thermo couple maintenance hatch..

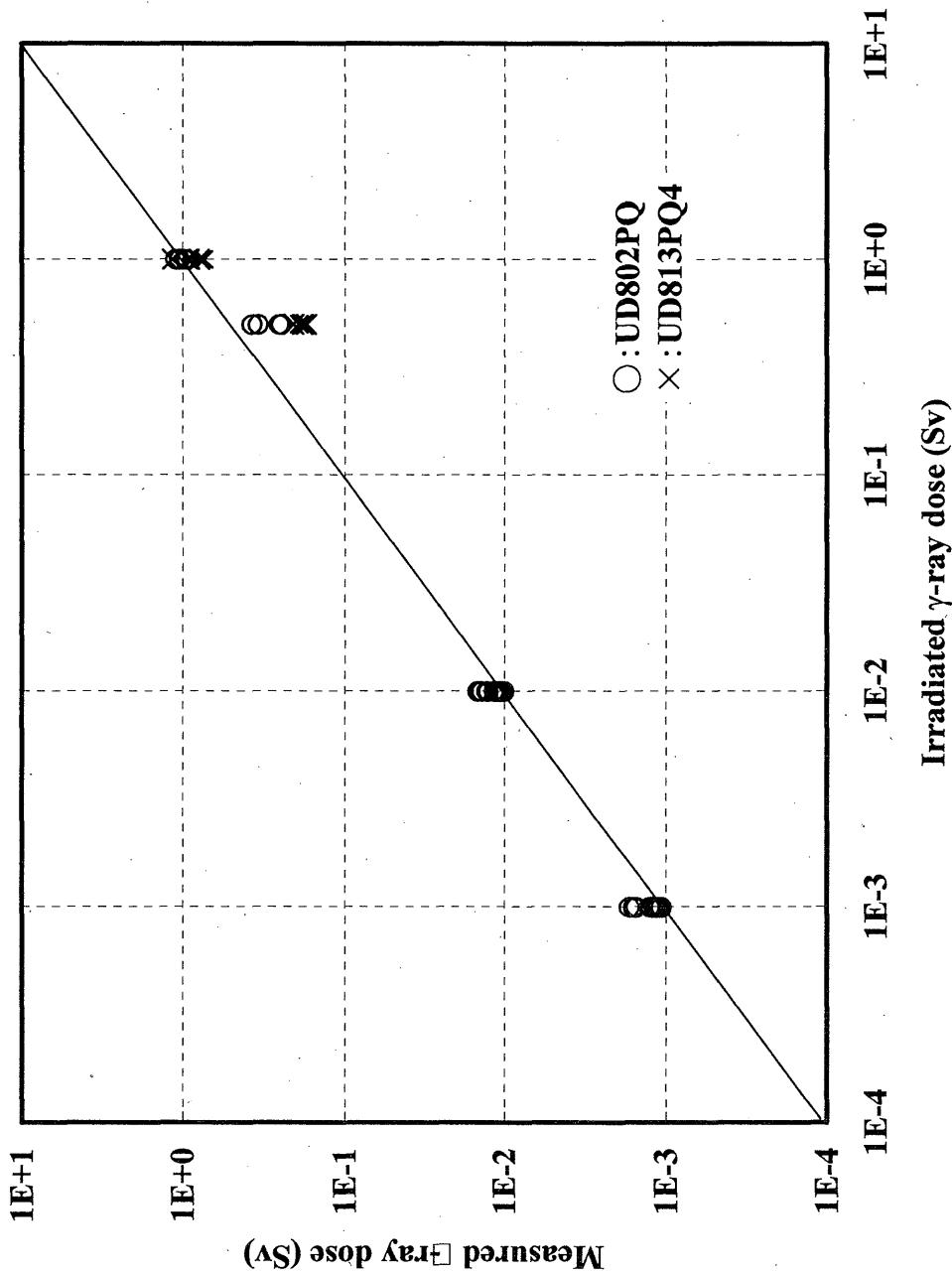


Fig. A1-5 Result of standard irradiation test of TLD (gamma-ray).

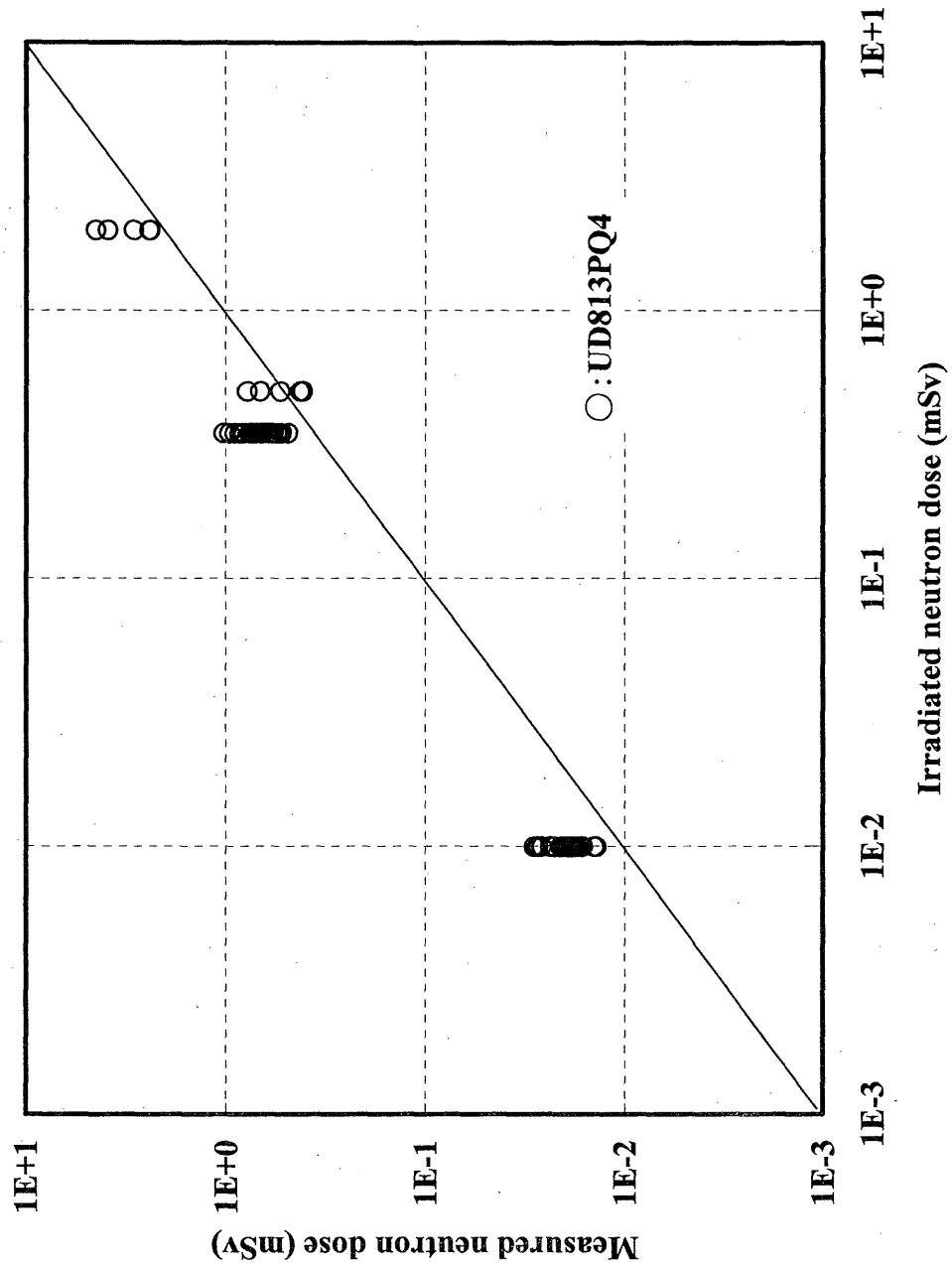


Fig. A1-6 Result of standard irradiation test of TLD (neutron-ray).

付録2 固体飛跡線量計による測定

出力上昇試験(2)～(4)での固体飛跡線量計による測定データを **Table A2-1** に示す。

Table A2-1(1/3) Measured dose equivalent rates by solid state track detectors.

定格・単独・20MW運転

評価点	元素番号	各元素の測定結果(mSv)					平均(mSv)	20MW換算線量当量率(μSv/h)	合計値
		熱中性子	高速中性子	合計	元素番号	熱中性子			
TLS-P-2	1	0.1	2.0	2.1	0.1	1.9	2	0.1	1.95
TLS-P-3	0.1	2.6	2.7	4	0.1	2.3	2.4	0.1	2.45
TLS-P-5	0.1	2.6	2.7	6	0.1	2.3	2.4	0.1	2.45
TLS-P-7	7	0.3	6.9	7.2	8	0.3	6.6	0.3	6.75
TLS-P-9	9	0.3	6.8	7.1	10	0.3	6.5	0.3	6.65
TLS-P-11	11	0.2	4.3	4.5	12	0.2	4.9	0.2	4.6
TLCV-1	13	0	0	0	14	0	0	0	0
TLCV-2	15	0	0	0	16	0	0	0	0
TLCV-3	17	0	0	0	18	0	0.01	0	0.005
TLCV-4	19	0	0	0	20	0	0	0	0
TLCV-5	21	0	0	0	22	0.001	0	0.001	0.0005
TLCV-6	23	0	0	0	24	0	0	0	0
TLCV-7	25	0	0	0	26	0	0	0	0
TLCV-8	27	0	0	0	28	0	0	0	0
TLCV-9	29	0.001	0	0.001	30	0.001	0	0.001	0.001
TLCV-10	31	0	0	0	32	0	0	0	0
TLCV-11	33	0	0	0	34	0	0.01	0.01	0.005
TLCV-12	35	0.001	0	0.001	36	0	0	0.0005	0.0005
TLCV-13	37	0.049	1.2	1.249	38	0.001	1.3	1.301	0.025

20MW出力相当の運転時間は260時間

定格・並列・20MW運転

評価点	元素番号	各元素の測定結果(mSv)					平均(mSv)	20MW換算線量当量率(μSv/h)	合計値
		熱中性子	高速中性子	合計	元素番号	熱中性子			
TLS-P-2	41	0.1	1.6	1.7	42	0.1	2.2	2.3	0.1
TLS-P-4	43	0.1	1.9	2	44	0.1	2.2	2.3	0.1
TLS-P-6	45	0.1	2.3	2.4	46	0.1	2.6	2.6	0.1
TLS-P-7	47	0.4	6.9	7.3	48	0.3	7.6	7.9	0.35
TLS-P-8	49	0.3	7.1	7.4	50	0.3	7.6	7.9	0.3
TLS-P-9	51	0.3	4.9	5.2	52	0.2	4.2	4.4	0.25
TLCV-1	53	0	0	0	54	0	0	0	0
TLCV-2	55	0	0	0	56	0	0	0	0
TLCV-3	57	0	0	0	58	0	0	0	0
TLCV-4	59	0	0	0	60	0	0	0	0
TLCV-5	61	0	0	0	62	0	0	0	0
TLCV-6	63	0	0.01	0.01	64	0	0.01	0.01	0.01
TLCV-7	65	0.001	0	0.001	66	0.001	0	0.001	0.001
TLCV-8	67	0.003	0.01	0.013	68	0.003	0.003	0.003	0.008
TLCV-9	69	0	0	0	70	0	0	0	0
TLCV-10	71	0.001	0	0.001	72	0	0	0	0.0005
TLCV-11	73	0	0	0	74	0	0	0	0
TLCV-12	75	0	0	0	76	0	0	0	0
TLCV-13	77	0.048	1.3	1.348	78	0.1	1.5	1.6	0.074

20MW出力相当の運転時間は249時間

Table A2-1(2/3) Measured dose equivalent rates by solid state track detectors.

各元素の測定結果($\mu\text{Sv}/\text{h}$)										平均($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			20MW運転率			
評価点	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計
TLSP-2	81	0.2	4.8	5	82	0.2	4.2	4.4	0.2	4.5	4.5	4.7	0.46	0.46	0.46	10.33
TLSP-4	83	0.3	4.2	4.5	84	0.3	3.9	4.2	0.3	4.05	4.35	4.7	0.69	0.69	0.69	10.02
TLSP-6	85	0.3	5.5	5.8	86	0.3	5.8	6.1	0.3	5.65	5.95	6.0	0.69	0.69	0.69	13.71
TLSP-7	87	1.2	22.6	23.8	88	2.2	47	49.2	1.7	34.8	36.5	36.5	3.92	3.92	3.92	84.10
TLSP-8	89	2.1	42.7	44.8	90	1.3	25.6	26.9	1.7	34.15	35.85	35.85	3.92	3.92	3.92	82.60
TLSP-9	91	1.2	34.7	35.9	92	0.5	10.9	11.4	0.85	22.8	23.65	23.65	1.96	1.96	1.96	54.49
TLCV-1	93	0	0	0	94	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-2	95	0.0004	0.02	0.0204	96	0	0	0	0	0.0002	0.01	0.0102	0.00	0.00	0.00	0.02
TLCV-3	97	0	0	0	98	0.002	0	0	0.002	0.001	0	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-4	99	0	0	0	100	0.002	0	0	0.002	0.001	0	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-5	101	0	0	0	102	0.003	0.01	0.013	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.00	0.00	0.00	0.01
TLCV-6	103	0	0	0	104	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-7	105	0.0002	0	0.0002	106	0.005	0	0.005	0.0035	0	0.0035	0.0035	0.01	0.00	0.00	0.01
TLCV-8	107	0.008	0	0.008	108	0.01	0.03	0.04	0.009	0.015	0.024	0.024	0.02	0.02	0.03	0.06
TLCV-9	109	0	0	0	110	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-10	111	0.003	0	0.003	112	0	0	0	0	0.0015	0	0.0015	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-11	113	0	0	0	114	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-12	115	0	0	0	116	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-13	117	0.2	3.2	3.4	118	0.2	3.4	3.6	0.2	3.3	3.5	3.5	0.46	0.46	0.46	8.06

20MW出力相当の運転時間は4.34時間

各元素の測定結果($\mu\text{Sv}/\text{h}$)										平均($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			20MW運転率			
評価点	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計	電子番号	熱中性子	高速中性子	合計
TLSP-2	121	0.3	3.3	3.6	122	0.3	3.5	3.8	0.3	3.4	3.4	3.7	0.73	0.73	0.73	8.96
TLSP-4	123	0.2	3.8	4	124	0.3	3.9	4.2	0.25	3.85	4.1	4.1	0.61	0.61	0.61	9.93
TLSP-6	125	0.3	4.7	5	126	0.3	4.3	4.6	0.3	4.5	4.8	4.8	0.73	0.73	0.73	11.62
TLSP-7	127	3.1	58.4	61.5	128	2.9	44.1	47	3	51.25	54.25	54.25	7.26	7.26	7.26	124.09
TLSP-8	129	2.6	45.6	48.2	130	1	19.7	20.7	1.8	32.65	34.45	34.45	4.36	4.36	4.36	83.41
TLSP-9	131	0.6	10.9	11.5	132	0.8	11.7	12.5	0.7	11.3	12	12	1.69	1.69	1.69	29.06
TLCV-1	133	0	0	0	134	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-2	135	0.002	0	0.002	136	0.0008	0.03	0.0308	0.0014	0.015	0.0164	0.0164	0.00	0.04	0.04	0.04
TLCV-3	137	0.002	0	0.002	138	0.002	0	0.002	0	0.002	0	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-4	139	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-5	141	0	0	0	142	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-6	143	0	0	0	144	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-7	145	0.002	0	0.002	146	0.003	0.01	0.013	0.0025	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.02
TLCV-8	147	0.01	0.01	0.02	148	0.01	0.05	0.06	0.01	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.10
TLCV-9	149	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-10	151	0.0001	0.02	0.0201	152	0	0	0	0.00005	0.01	0.01005	0.01005	0.02	0.02	0.02	0.02
TLCV-11	153	0	0	0	154	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TLCV-12	155	0	0	0	156	0.0002	0.01	0.012	0.001	0.006	0.006	0.006	0.01	0.01	0.01	0.01
TLCV-13	157	0.2	3.4	3.6	158	0.2	3.2	3.4	0.2	3.3	3.5	3.5	0.48	0.48	0.48	8.47

20MW出力相当の運転時間は4.13時間

Table A2-1(3/3) Measured dose equivalent rates by solid state track detectors.

評価点 定格・単純・30MW運転	各元素の測定結果(mSv)						平均(mSv)	30MW換算線量当量率(μSv/h)						
	元素番号	熱中性子	高速中性子	合計	元素番号	熱中性子	高速中性子	合計	熱中性子	高速中性子	合計	熱中性子	高速中性子	合計
TLSP-2	161	1.4	18	19.4	162	1.5	21.3	22.8	1.45	19.65	21.1	1.38	18.77	20.15
TLSP-4	163	1.3	18	19.3	164	1.3	19.1	20.4	1.3	18.55	19.85	1.24	17.72	18.96
TLSP-6	165	1.7	24.1	25.8	166	1.7	25.2	26.9	24.65	26.35	23.54	23.54	25.17	25.17
TLSP-7	167	5.8	100	105.8	168	9.8	147.1	156.9	7.8	123.55	131.35	7.45	118.00	125.45
TLSP-8	169	7.8	144.4	152.2	170	5	91.1	96.1	6.4	117.75	124.15	6.11	112.46	118.58
TLSP-9	171	2.7	45.5	48.2	172	5	84.8	89.8	3.85	65.15	69	3.68	62.23	65.90
TLCV-1	173	0	0	0	174	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-2	175	0	0	0	176	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-3	177	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-4	179	0	0	0	180	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-5	181	0	0	0	182	0	0	0	0.03	0	0.015	0.015	0.00	0.01
TLCV-6	183	0.006	0.03	0.036	184	0.003	0.03	0.033	0.0045	0.03	0.0345	0.00	0.03	0.03
TLCV-7	185	0.03	0.08	0.11	186	0.02	0.04	0.06	0.025	0.06	0.085	0.02	0.06	0.08
TLCV-8	187	0.1	0.2	0.3	188	0.1	0.1	0.2	0.1	0.15	0.25	0.10	0.14	0.24
TLCV-9	189	0.01	0.03	0.04	190	0.007	0	0.007	0.0085	0.015	0.0235	0.01	0.01	0.02
TLCV-10	191	0.01	0.03	0.04	192	0.002	0	0.002	0.006	0.015	0.021	0.01	0.01	0.02
TLCV-11	193	0.02	0.03	0.05	194	0	0	0	0.01	0.015	0.025	0.01	0.01	0.02
TLCV-12	195	0.001	0.03	0.031	196	0.007	0	0.007	0.004	0.015	0.019	0.00	0.01	0.02
TLCV-13	197	0.7	10.6	11.3	198	0.8	11.9	12.7	0.75	11.25	12	0.72	10.74	11.46
G322-1	199	0.002	0	0.002	200	0.002	0	0.002	0	0.002	0	0.002	0.00	0.00
G322-2	201	0	0.03	0.03	202	0	0	0	0	0.015	0.015	0.00	0.01	0.01
G322-3	203	0	0.03	0.03	204	0	0	0	0	0.015	0.015	0.00	0.01	0.01
G292-1	205	0.1	0.03	0.13	206	0.03	0	0.03	0.065	0.015	0.08	0.06	0.01	0.08
G292-2	207	0.1	0.1	0.2	208	0.03	0.03	0.06	0.065	0.065	0.13	0.06	0.06	0.12
G292-3	209	0.01	0	0.01	210	0.02	0.03	0.05	0.015	0.015	0.03	0.01	0.01	0.03

評価点 定格・並列・30MW運転	各元素の測定結果(mSv)						平均(mSv)	30MW換算線量当量率(μSv/h)						
	元素番号	熱中性子	高速中性子	合計	元素番号	熱中性子	高速中性子	合計	熱中性子	高速中性子	合計	熱中性子	高速中性子	合計
TLSP-2	211	1.1	14.1	15.2	212	1.1	15.9	17	1.1	15	16.1	1.40	19.08	20.48
TLSP-4	213	1.0	13.6	14.6	214	1.0	14.3	15.3	1	13.95	14.95	1.27	17.75	19.02
TLSP-6	215	1.1	19.0	20.1	216	1.1	16.9	18	1.1	17.95	19.05	1.40	22.84	24.24
TLSP-7	217	7.9	123.0	130.9	218	8.5	135.7	144.2	8.2	129.35	137.55	10.43	164.57	175.00
TLSP-8	219	6.2	113.6	119.8	220	3.6	61.2	64.8	4.9	87.4	92.3	6.23	111.20	117.43
TLSP-9	221	3.5	51.4	54.9	222	2.7	42.6	45.3	3.1	47	50.1	3.94	59.80	63.74
TLCV-1	223	0	0	0	224	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-2	225	0	0	0	226	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-3	227	0.001	0.09	0.091	228	0	0	0	0.0005	0.045	0.0455	0.00	0.06	0.06
TLCV-4	229	0	0	0	230	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-5	231	0.004	0	0.004	232	0	0	0	0.002	0	0.002	0.00	0.00	0.00
TLCV-6	233	0	0	0	234	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-7	235	0.005	0.05	0.055	236	0.01	0.03	0.04	0.0075	0.04	0.0475	0.01	0.05	0.06
TLCV-8	237	0.04	0.2	0.24	238	0.07	0.09	0.16	0.055	0.145	0.2	0.07	0.18	0.25
TLCV-9	239	0.01	0.03	0.04	240	0	0	0	0.005	0.015	0.02	0.01	0.02	0.03
TLCV-10	241	0.005	0	0.005	242	0	0	0	0.0025	0	0.0025	0.00	0.00	0.00
TLCV-11	243	0	0	0	244	0.005	0	0	0.0025	0	0.0025	0.00	0.00	0.00
TLCV-12	245	0	0	0	246	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TLCV-13	247	0.5	8.9	9.4	248	0.5	9.6	10.1	0.5	9.25	9.75	0.64	11.77	12.40

30MW出力相当の運転時間は786時間

This is a blank page.

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
光强度	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 ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
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
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
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 ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
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 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

1. 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。

2. 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。

3. barは、JISでは液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。

4. 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。

換算表

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	9.80665	1	0.967841	735.559	14.2233
	4.44822	0.453592	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)		
								= 4.184 J(熱化学)	= 4.1855 J(15 °C)	= 4.1868 J(国際蒸気表)
1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸				
9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹				
3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵				
4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力)			
1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s			
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W			
1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1				

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	Sv	rem
1	2.70270 × 10 ⁻¹¹	1	100	1	1	1	1	3876	1	100
3.7 × 10 ¹⁰	1		0.01	1			2.58 × 10 ⁻⁴	1	0.01	1

(86年12月26日現在)

エトナ紙上昇試験における遮げ性能検査結果

R100

古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています