

高速実験炉「常陽」における放射性腐食生成物の付着分布

(第11回定期検査時の測定と評価)

1997年12月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1998

高速実験炉「常陽」における放射性腐食生成物の付着分布 (第11回定期検査時の測定と評価)

青山卓史*、住野公造*、栢井智彦**、佐井川拓也**

要 旨

高速炉プラントの保守・補修作業時の主要な被ばく源となる放射性腐食生成物(CP)の挙動解明と解析手法の整備に資するため、高速実験炉「常陽」において、第11回定期検査中の平成7年10月～11月(積算原子炉熱出力:約14.3万MWd)に、1次冷却系の配管および主要機器を対象に、CPの付着密度と γ 線量率を測定した。

今回は、新放射線計測技術として近年実用化が進んでいるプラスチックシンチレーション光ファイバ(PSF)検出器を γ 線量率分布測定に適用し、CP挙動測定の高精度化と迅速化を図った。

本研究の主要な成果は以下のとおりである。

- (1) 1次冷却系における主要なCP核種は、 ^{54}Mn と ^{60}Co であり、これらの付着分布には以下の特徴がみられ、過去の測定結果と概ね同じ傾向であった。
 - ① 1次主冷却系配管(Aループ)のCP付着密度は、原子炉容器出口から主中間熱交換器までのホットレグ、主中間熱交換器から主循環ポンプまでのコールドレグ(1)、主循環ポンプから原子炉容器入口までのコールドレグ(2)について、それぞれ、 ^{54}Mn が約15 kBq/cm²、約33 kBq/cm²、約46 kBq/cm²であり、 ^{60}Co が約8 kBq/cm²、約5 kBq/cm²、約7 kBq/cm²であった。 ^{54}Mn の付着密度は、 ^{60}Co に比べて、ホットレグで約2倍、コールドレグで約7倍であり、 ^{54}Mn の方が γ 線量率に占める割合が大きい。
 - ② 1次主冷却系配管表面の γ 線量率は、ホットレグで約0.3 mSv/h、コールドレグ(1)で約0.2 mSv/h およびコールドレグ(2)で約0.4 mSv/h であった。
- (2) 今回の測定では、前回測定した第10回定期検査以降の原子炉運転時間が少なかったため、CPの生成量よりも減衰量が上回り、付着密度が減少した。また、原子炉停止後の冷却期間が長かったため、主に ^{54}Mn の減衰により γ 線量率も低下した。
- (3) PSFにより、10mまでの範囲で位置分解能の高い連続的な空間分布が数分間で得られた。また、狭隘で人のアクセスが容易でない保守作業エリアにおける γ 線量率分布が詳細に測定でき、空間線量率のデータを大幅に拡充できた。

* 大洗工学センター 実験炉部 技術課

** 検査開発株式会社

Measurement and Evaluation of Corrosion Products Deposition Distribution in the Experimental Fast Reactor JOYO

Takafumi AOYAMA*¹, Kozo SUMINO*¹, Tomohiko MASUI*² and Takuya SAIKAWA*²

ABSTRACT

The Corrosion Product (CP) is the major radiation source in the primary cooling system of an LMFBR plant. It is important to characterize and predict the CP behavior to reduce the personnel exposure dose due to CP deposition. The CP measurement was carried out in the Experimental Fast Reactor JOYO during the 11th annual inspection period when the accumulated reactor thermal power reached about 143GWd.

The CP deposition density was measured using a pure germanium detector. The plastic scintillation fiber (PSF) was applied for the gamma-ray dose rate distribution measurement and compared with the thermoluminescence dosimeter (TLD).

The major results obtained by the CP measurements in JOYO are the follows:

- (1) The major CP nuclides deposited in the primary cooling system are ⁵⁴Mn and ⁶⁰Co. ⁵⁴Mn is the dominant isotope and it tends to deposit in the cold leg region. On the other hand, ⁶⁰Co deposits mainly in the hot leg region. The deposition density of ⁵⁴Mn is about seven times as much as that of ⁶⁰Co in the cold leg region and twice in the hot leg region.
- (2) The deposition densities of ⁵⁴Mn and ⁶⁰Co, and the gamma-dose rate were decreased from the last data in the previous annual inspection period mainly due to the short operation time and the longer cooling time.
- (3) The continuous gamma-ray dose rate distribution up to 10m can be measured by using the PSF in a few minutes. The PSF is suitable to measure the gamma-ray dose rate distribution in the maintenance work area where it is narrow and the mixture of gamma-ray sources from primary pipings and components. The data base of detailed gamma-ray dose rate distribution was greatly extended by the PSF.

*1 Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Oarai Engineering Center, PNC

*2 Inspection Development Company

目 次

要 旨

表リスト

図リスト

1. 緒 言	1
2. 高速炉におけるCP挙動の概要	2
3. 「常陽」におけるCP測定	4
3.1 プラント構成	4
3.2 「常陽」の運転実績及びCPの測定時期	5
4. CP測定の方法および条件	13
4.1 測定時のプラント状態	13
4.2 測定に使用した機器と測定条件	13
4.3 測定位置と検出器の取付方法	14
4.4 測定値の校正および規格化の方法	15
5. 測定結果	34
5.1 CP付着分布	34
5.2 TLDによる γ 線量率測定結果	35
5.3 PSFによる γ 線量率測定結果	36
6. 評 価	60
6.1 CP付着分布の推移	60
6.2 機器・配管表面の γ 線量率の推移	61
6.3 γ 線量率分布測定へのPSFの適用性	61
7. 結 言	69
謝 辞	70
参考文献	71

付録 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率の推移

表リスト

- 表 2. 1 高速炉プラントの1次冷却系における主要線源
- 表 3. 1 Mk - I 運転実績データ
- 表 3. 2 Mk - II 運転実績データ
- 表 3. 3 「常陽」におけるCP付着分布測定履歴
- 表 4. 1 高純度Ge半導体検出器の主要仕様
- 表 4. 2 熱蛍光線量計(TLD)の主要仕様
- 表 4. 3 プラスチック・シンチレーション光ファイバ(PSF)検出器の主要仕様
- 表 4. 4 測定ポイント数
- 表 5. 1 第11回定検時 ^{54}Mn 付着密度測定結果
- 表 5. 2 第11回定検時 ^{60}Co 付着密度測定結果
- 表 5. 3 第11回定検時1次主冷却系配管(A)表面線量率分布の測定結果
- 表 5. 4 第11回定検時1次主冷却系配管(B)表面線量率分布の測定結果
- 表 5. 5 第11回定検時主中間熱交換器(A)表面線量率分布の測定結果
- 表 5. 6 第11回定検時主中間熱交換器(B)表面線量率分布の測定結果
- 表 5. 7 第11回定検時主循環ポンプ(A)表面線量率分布の測定結果
- 表 5. 8 第11回定検時オーバフローコラム(A)表面線量率分布の測定結果
- 表 6. 1 1次主冷却系配管(A)のCP付着密度の推移
- 表 6. 2 1次主冷却系配管の平均表面線量率の推移

図リスト

- 図 3. 1 「常陽」 1 次および 2 次主冷却系の概要
- 図 3. 2 「常陽」 運転履歴
- 図 4. 1 C P 測定用鉛コリメータ
- 図 4. 2 γ 線スペクトルの測定位置
- 図 4. 3 P S F 検出器と測定原理図
- 図 4. 4. 1 1 次主冷却系配管 (A) 表面線量率の測定位置
- 図 4. 4. 2 主中間熱交換器 (A) 表面線量率の測定位置
- 図 4. 4. 3 主循環ポンプ (A) 表面線量率の測定位置
- 図 4. 4. 4 オーバフローカラム (A) 表面線量率の測定位置
- 図 4. 4. 5 1 次主冷却系配管 (B) 表面線量率の測定位置
- 図 4. 4. 6 主中間熱交換器 (B) 表面線量率の測定位置
- 図 4. 5 P S F による γ 線量率分布の測定位置
- 図 4. 6 γ 線スペクトル測定値の減衰補正のフロー
- 図 4. 7 G e 半導体検出器の校正体系、方法および校正定数の算出結果
- 図 4. 8 γ 線スペクトル測定状況
- 図 4. 9 T L D による γ 線量率測定状況
- 図 4. 10 P S F による γ 線量率測定状況
- 図 5. 1 1 次主冷却系配管表面の G e 半導体検出器による γ 線スペクトル例
(ホットレグ部)
- 図 5. 2 第 11 回定検時 C P 測定位置と付着量の関係
- 図 5. 3 第 11 回定検時 1 次主冷却系配管 (A) の表面線量率分布
- 図 5. 4 第 11 回定検時主中間熱交換器 (A) の表面線量率分布
- 図 5. 5 第 11 回定検時主循環ポンプ (A) の表面線量率分布
- 図 5. 6 1 次主冷却系配管周方向の表面線量率分布
- 図 5. 7 1 次主冷却系配管エルボ部周方向の表面線量率分布
- 図 5. 8 1 次主冷却系配管エルボ部軸方向の表面線量率分布

- 図 5. 9 中間熱交換器（A）の周方向（IHX No.23）の表面線量率分布
- 図 5.10 中間熱交換器（A）の垂直方向（C方位）の表面線量率分布
- 図 5.11 中間熱交換器間の通路上（約 1 m）の空間線量率分布
- 図 5.12 1次主循環ポンプ室の通路上（約 1 m）の空間線量率分布
- 図 5.13 1次主循環ポンプ周辺の垂直方向の空間線量率分布
- 図 6.1.1 1次主冷却系配管（A）における ^{54}Mn 付着密度
- 図 6.1.2 1次主冷却系配管（A）における ^{60}Co 付着密度
- 図 6.2.1 1次主冷却系配管（A）における ^{54}Mn 付着密度の推移
- 図 6.2.2 1次主冷却系配管（A）における ^{60}Co 付着密度の推移
- 図 6.3 1次主冷却系配管（A）の平均表面線量率の推移

1. 緒 言

高速炉の1次冷却系では、炉心で放射化された燃料集合体および構造材料の成分が放射性腐食生成物（Radioactive Corrosion Product：CP）としてナトリウム中に移行する。このCPは、ナトリウムの流動により、冷却系に運ばれて機器や配管の内壁に付着するため、これが線源となって線量当量率が増加し、高速炉プラントの保守・補修作業時の主要な被ばく源となっている。

このため、炉心におけるCPの発生量と冷却系における移行・沈着挙動を把握し、CP挙動解析法を整備するため、高速実験炉「常陽」の定期検査期間を利用して、1次冷却系機器・配管に付着しているCP核種の付着密度と γ 線量率の分布を測定し、その推移を調べてきた^{(1)・(2)・(3)}。

本報告書は、高速実験炉「常陽」において、第11回定期検査中の平成7年10月～11月（積算原子炉熱出力：約14.3万MWd）にかけて実施した1次主冷却系の機器、配管廻りのCP付着分布および γ 線量率の測定結果とこれらの推移の評価、並びに今回のCP測定から導入したプラスチック・シンチレーション光ファイバによる γ 線量率分布測定についてまとめたものである。

2. 高速炉におけるCP挙動の概要⁽⁴⁾

高速炉プラントの1次冷却系における主要な線源は、表2.1に示すように、放射化ナトリウムとCPである。

CPの主な生成メカニズムは、燃料被覆管材や炉心構成材等が中性子の照射により放射化した後ナトリウム中に溶出するもの、あるいは主循環ポンプの軸受等の動的部分において接触・摺動で生じる摩擦・摩耗粉が、ナトリウムの流動によって炉心に運ばれ放射化するものである。

CPは、1次主冷却系の機器・配管廻りに沈着するだけでなく、燃料集合体・反射体等の炉心構成要素やナトリウム機器の表面に付着し、炉心構成要素や機器の交換・取出時に1次冷却系の外に持ち出され、これらの洗浄設備等の線量当量率の増加をもたらして、保守点検や補修時の作業員の被ばく源となる。

表 2.1 高速炉プラントの1次冷却系における主要線源

核種	生成核反応	半減期 (日)	γ 線エネルギー (MeV)	備考
^{54}Mn	$^{54}\text{Fe}(n, p)$	312	0.83	高速炉で最も優勢なCP、純Ni材により捕獲可能。
^{60}Co	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)$	1,924	1.17, 1.33	炉心材料中の不純物Coとコバルト基表面硬化材から発生する。
^{58}Co	$^{58}\text{Ni}(n, p)$	71	0.81	^{58}Co の中性子吸収断面積が大きく、一部が ^{59}Co に転換する。
^{51}Cr	$^{50}\text{Cr}(n, \gamma)$	28	0.32	
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{109}\text{Ag}(n, \gamma)$	253	0.658, 0.88	生成源は炉心および構造材料中の不純物Ag。可溶性。
^{124}Sb	$^{123}\text{Sb}(n, \gamma)$	60	0.60, 1.69	生成源は炉心および構造材料中の不純物Sbあるいは低融点合金シール材の混入。
^{24}Na	$^{23}\text{Na}(n, \gamma)$	0.625	1.4, 2.8, 4.2	原子炉運転中の1次冷却系における最も強い線源である。
^{22}Na	$^{23}\text{Na}(n, 2n)$	950	0.51, 1.27	^{24}Na より半減期が長く、原子炉停止後の主要線源となる。

3. 「常陽」におけるC P測定

3.1 プラント構成

「常陽」は、図3.1に示すように、原子炉容器を中心として2系統の主冷却系（AループおよびBループ）、補助冷却系、オーバフロー系および純化系から構成されている。

このうちC Pが生成し、移行する1次冷却系は、中間熱交換器（I H X）、循環ポンプ、配管および弁類等より構成されている。1次冷却系には、137.7 m³のナトリウムが充填されており、1次主循環ポンプにより1ループあたり約1,260 m³/hの定格流量で循環している。現行のMk-II炉心では、定格出力100 MW t 運転時の原子炉容器出口のナトリウム温度は約500℃、入口温度は約370℃であり、この温度差分の熱量が主I H Xを介して2次冷却系に伝達される。1次冷却系の主循環ポンプおよび主I H Xは1ループに1基ずつ設置されている。これらの機器をつないでいる1次冷却系の配管はすべて2重管構造であり、その全長は1ループあたり約85 mである。ナトリウムと接する内管の直径は、1次冷却系内の圧力損失を考慮して、原子炉容器出口から主I H X入口までが20^B（内径：489.0 mm、ホットレグ（H L））、主I H X出口から1次主循環ポンプ入口までが18^B（内径：441.4 mm、コールドレグ-1（C L(1)））、1次主循環ポンプ出口から原子炉容器入口までが12^B（内径：305.5 mm、コールドレグ-2（C L(2)））となっており、ナトリウム流速は、それぞれ約1.9 m/s、約2.3 m/sおよび約4.8 m/sである。

1次冷却材ナトリウム中の酸素、水素等の不純物は、オーバフロータンクに接続されている純化系のコールドトラップで析出・捕獲されるが、ナトリウムの純度を維持・管理するため、これに関する運転制限値あるいは自主的な管理目標値を定め、プラグギング計やサンプリング分析により監視している。このうち、酸素については保安規定でプラグギング計の運転温度制限値を200℃（アイケルバーガーの式で酸素濃度約10 ppmに相当する）に定め、また、管理目標値をプラグギング計温度で150℃（酸素濃度で約3 ppmに相当）に定めている。コールドトラップもこの温度を維持するため150℃以下で運転している。プラグギング計による連続監視に加えて、定期的なサンプリング分析でもナトリウム中の不純物濃度を測定し、純度管理を行っている。

3.2 「常陽」の運転実績およびCPの測定時期

「常陽」は、昭和52年4月増殖用炉心(Mk-I)として初臨界を達成し、翌年7月に熱出力50MWtに到達した。その後熱出力75MWtまで出力を上昇し、合計6サイクルの運転を行った。昭和57年1月から照射用炉心(Mk-II)への移行を開始して昭和58年3月に熱出力100MWtに到達し、現在まで29サイクルの定格出力運転と特殊試験のための運転を行った。これまでの主要な運転実績を図3.2に、その詳細を表3.1、3.2に示す。この間、定期検査期間を利用して表3.3に示す時期にCP付着分布と γ 線量率を測定してきた。

CP測定を開始してから初期の段階で、その増加傾向がみられたため、CP発生量の抑制を目的として、ナトリウム中酸素濃度を低減するため、昭和54年12月以降1次ナトリウム純化系のコールドトラップへのナトリウム流入部の設定温度を約150℃から約120℃に変更した。しかし、Mk-II炉心への移行時期を境にして、コールドトラップの圧力損失が年々増加する傾向を示し始め、コールドトラップの低温運転が困難になってきた。この主な原因として、コールドトラップのメッシュ部の空隙率が小さく、さらにメッシュへのナトリウム流入部が不純物によって局部閉塞を起こしやすい構造であるためと考えられた。そこで、従来のコールドトラップのメッシュより空隙率を大きくし、ナトリウム流入部で局部的な閉塞を起こしにくい構造とした新型のコールドトラップ(「もんじゅ」1次系コールドトラップと同一構造)を製作し、第6回定期検査中に交換した。機能試験の結果、新型コールドトラップは設定温度120℃でも順調に運転できることが確認された。Mk-II第16サイクル以降、130℃の設定温度で運転されてきており、コールドトラップの低温運転による冷却系機器・配管へのCP沈着量の低減を証明するデータが得られてきている。

表 3.1 Mk-I 運転実績データ

(Mk-I 初期臨界～75MW-第6サイクル運転終了まで)

- ・積算運転時間 : 12,956 [h] , 137.4日 (50MW) +282.6日 (75MW)
- ・積算熱出力 : 673,330 [MWH] , [164,850.5MW(50MW) +508,479.8(75MW)]

*原子炉運転実績表に基づくものである。

サイクル	項目	運転期間	*運転時間 [h]	BFPD [日]	*積算熱出力 [MWH]	定検
0'	低出力試験	S52. 4.20 ~ S52.11.19	360.8	0.0057	6.8	
0	50MW-出力上昇試験	S53. 4.18 ~ S53. 9.16	2312.6	47.6	57061.6	
1	50MW-第1サイクル	S53.10.27 ~ S53.12.11	1067.0	43.0	51598.3	
2	50MW-第2サイクル	S54. 1.12 ~ S54. 2.26	1077.4	43.7	52469.0	
2'	特殊試験	S54. 4.11 ~ S54. 5.26	245.1	3.1	3714.8	
0	75MW-性能試験	S54. 7. 3 ~ S54. 8.23	981.0	26.9	48468.9	第1回
1	75MW-第1サイクル	S55. 1.16 ~ S55. 3. 9	1034.0	39.3	70713.0	
1'	特殊試験	S55. 4.14 ~ S55. 4.21	39.7	0.2	291.0	
2	75MW-第2サイクル	S55. 5. 8 ~ S55. 6.24	1074.0	41.0	73732.0	
3	75MW-第3サイクル	S55. 7.14 ~ S55. 9. 4	1055.0	40.3	72465.0	
4	75MW-第4サイクル	S56. 3.12 ~ S56. 5.11	1243.7	45.4	81729.9	
4'	特殊試験	S56. 5.25 ~ S56. 5.29	145.9	3.4	6115.0	第2回
5	75MW-第5サイクル	S56. 6.19 ~ S56. 8. 9	1143.5	44.4	79980.0	
5'	特殊試験	S56. 9.11 ~ S56.10. 4	57.7	0.0033	5.9	
6	75MW-第6サイクル	S56.11. 2 ~ S56.12.23	1117.7	41.7	74979.1	
	照射用炉心 (Mk-II) 移行作業					第3回

表 3.2 Mk-II 運転実績データ (1/3)

サイクル 番号	運 転 期 間	原 子 炉 起 動 回 数 (回)	最 大 熱 出 力 (MWt)	積 算 熱 出 力*1 (MWH)	当 該 サ イ ク ル 積 算 熱 出 力*1 (MWH)	積 算 運 転 時 間 (H)	当 該 サ イ ク ル 運 転 時 間 (H)	定 格 出 力 運 転 日 数 (EFPD)	定 検	
0	S57. 11. 17~ S58. 7. 31	80	100	66746	66746	1,492.76	1,492.76	27.811	第 4 回	
1	S58. 8. 9~ S58. 9. 30	8	100	170090	103344	2,673.86	1,181.10	43.060		
2	S58. 10. 12~ S58. 12. 2	8	100	278330	108240	3,835.26	1,161.40	45.100		
3	S59. 4. 19~ S59. 6. 10	9	100	383450	105120	5,014.09	1,178.83	43.800		
4	S59. 6. 25~ S59. 8. 12	5	100	485666	102216	6,135.21	1,121.12	42.590		
5	S59. 9. 3~ S59. 10. 22	5	100	593253	107587	7,274.70	1,139.49	44.828		
6	S59. 11. 26~ S60. 1. 12	1	100	700377	107124	8,410.38	1,135.68	44.635		
7	S60. 2. 11~ S60. 3. 31	2	100	805372	104995	9,556.21	1,145.83	43.748		
7'	S60. 4. 17~ S60. 4. 19	1	100	810412	5040	9,623.04	66.83	2.100		
7''	S60. 4. 26~ S60. 4. 27	1	30	811232	820	9,658.79	35.75	0.342		
8	S60. 12. 2~ S61. 1. 21	4	100	917192	105960	10,830.12	1,171.33	44.150		第 5 回
9	S61. 2. 12~ S61. 3. 31	4	100	1019005	101813	11,936.99	1,106.87	42.422		
10	S61. 4. 25~ S61. 6. 11	2	100	1125863	106858	13,071.57	1,134.58	44.524		
11	S61. 7. 4~ S61. 8. 20	2	100	1232524	106661	14,208.15	1,136.58	44.442		
12	S61. 9. 13~ S61. 10. 29	2	100	1335237	102713	15,315.24	1,107.09	42.797		
12'	S61. 11. 13~ S61. 11. 14	2	100	1336147	910	15,351.85	36.61	0.379		
12''	S61. 11. 24~ S61. 11. 26	2	50	1337457	1310	15,413.78	61.93	0.546		
12'''	S61. 12. 3~ S61. 12. 5	2	50	1338845	1388	15,474.23	60.45	0.578		
13	S62. 8. 31~ S62. 10. 31	5	100	1468923	130078	16,890.35	1,416.12	54.199	第 6 回	
14	S62. 11. 28~ S63. 1. 30	3	100	1611701	142778	18,394.08	1,503.73	59.491		

7' サイクル (FFDL炉内試験 (I))

7'' サイクル (自然循環試験)

12' サイクル (B4M照射試験)

12'' サイクル (フィードバック反応度試験 (I))

12''' サイクル (" " (II))

*1 JOYDASオンラインデータ

表 3.2 Mk-II 運転実績データ (2/3)

サイクル番号	運転期間	原子炉起動回数(回)	最大熱出力(MWt)	積算熱出力*1(MWH)	当該サイクル積算熱出力*1(MWH)	積算運転時間(H)	当該サイクル運転時間(H)	定格出力運転日数(EFPD)	定 検
15	S 63. 2. 29~ S 63. 5. 12	2	100	1778263	166562	20,142.46	1,748.38	69.401	
15'				1778291	28	20,167.85	25.39	0.012	
15''	S 63. 6. 14~ S 63. 6. 24	4	1	1778304	13	20,183.21	15.36	0.005	
15'''				1778318	14	20,199.29	16.08	0.006	
16	S 63. 8. 2~ S 63. 9. 6	4	100	1854136	75818	21,033.77	834.48	31.591	第 7 回
17	H 1. 1. 18~ H 1. 4. 1	4	100	2018183	164047	22,774.77	1,741.00	68.353	
18	H 1. 5. 8~ H 1. 7. 19	3	100	2182235	164052	24,491.76	1,716.99	68.355	
19	H 1. 8. 15~ H 1. 10. 26	2	100	2347110	164875	26,208.82	1,717.06	68.698	
20	H 1. 11. 22~ H 2. 1. 4	2	100	2443084	95974	27,227.61	1,018.79	39.989	
20'	H 2. 1. 17~ H 2. 1. 22	2	100	2451966	8882	27,336.51	108.90	3.701	
21	H 2. 9. 6~ H 2. 11. 18	3	100	2617175	165209	29,059.05	1,722.54	68.837	第 8 回
22	H 2. 12. 22~ H 3. 3. 4	2	100	2782079	164904	30,772.87	1,713.82	68.710	
23	H 3. 4. 6~ H 3. 6. 1	2	100	2908907	126828	32,104.62	1,331.75	52.845	
23'	H 3. 6. 16~ H 3. 6. 17	1	95	2909485	578	32,128.17	23.55	0.241	
23''	H 3. 6. 29~ H 3. 7. 5	6	3	2909498	13	32,222.80	94.63	0.005	
23'''	H 3. 9. 2~ H 3. 9. 10	1	100	2926776	17278	32,425.28	202.48	7.199	
24	H 4. 3. 14~ H 4. 5. 5	9	100	3026429	99653	33,598.52	1,173.24	41.522	第 9 回
24'	H 4. 6. 16~ H 4. 6. 17	1	99	3026827	398	33,621.49	22.97	0.166	
25	H 4. 8. 14~ H 4. 10. 22	2	100	3182465	155638	35,270.37	1,648.88	64.849	
25'	H 4. 11. 25~ H 4. 11. 29	1	100	3190452	7987	35,373.04	102.67	3.328	

15' サイクル (FPD感度校正試験 (I))

15'' サイクル (" (II))

15''' サイクル (" (III))

20' サイクル (反応率測定試験)

23' サイクル (第 1 回高線出力試験)

23'' サイクル (CR値詳細測定試験)

23''' サイクル (INTA-2試験)

24' サイクル (第 2 回高線出力試験)

25' サイクル (FFDL炉内試験 (II))

* 1 JOYDASオンラインデータ

表 3.2 Mk-II 運転実績データ (3 / 3)

サイクル 番号	運転期間	原子炉 起動回数 (回)	最大 熱出力 (MWt)	積算熱出力*1 (MWH)	当該サイクル 積算熱出力*1 (MWH)	積算 運転時間 (H)	当該サイク ル運転時間 (H)	定格出力 運転日数 (EFPD)	定 検
26	H 4.12.21~ H 5. 2. 2	2	100	3285283	94831	36,402.29	1,029.25	39.513	第10回
27	H 5. 2.20~ H 5. 3.26	3	100	3357487	72204	37,187.80	785.51	30.085	
28	H 6. 3.14~ H 6. 3.26	6	100	3372185	14698	37,405.62	217.82	6.124	
29	H 6. 8.23~ H 6. 9.20	2	100	3430594	58409	38,071.35 ^{*2}	651.25	24.337	
各種 試験 (その5)	H 7. 5. 7~ H 7. 5.10	2	100	3434513	3919	38,140.93	69.58	1.633	
									第11回

* 1 JOYDASオンラインデータ

* 2 第7次取替制御棒使用前検査運転の時間を含む

表 3. 3 「常陽」におけるCP付着分布測定履歴

No.	測定実施日	γ 線スペクトル 測定	表面線量率 測定	備考
第1回	1979年9月		○	第1回定検時
第2回	1980年12月		○	第2回定検時
第3回	1982年7月	○	○	第3回定検時
第4回	1983年7月		○	
第5回	1984年1月	○	○	第4回定検時
第6回	1985年9月	○	○	第5回定検時
第7回	1987年5月	○	○	第6回定検時
第8回	1988年10月	○	○	第7回定検時
第9回	1990年4月	○	○	第8回定検時
第10回	1991年12月	○	○	第9回定検時
第11回	1993年6月	○	○	第10回定検時
第12回	1995年10月	○	○	第11回定検時

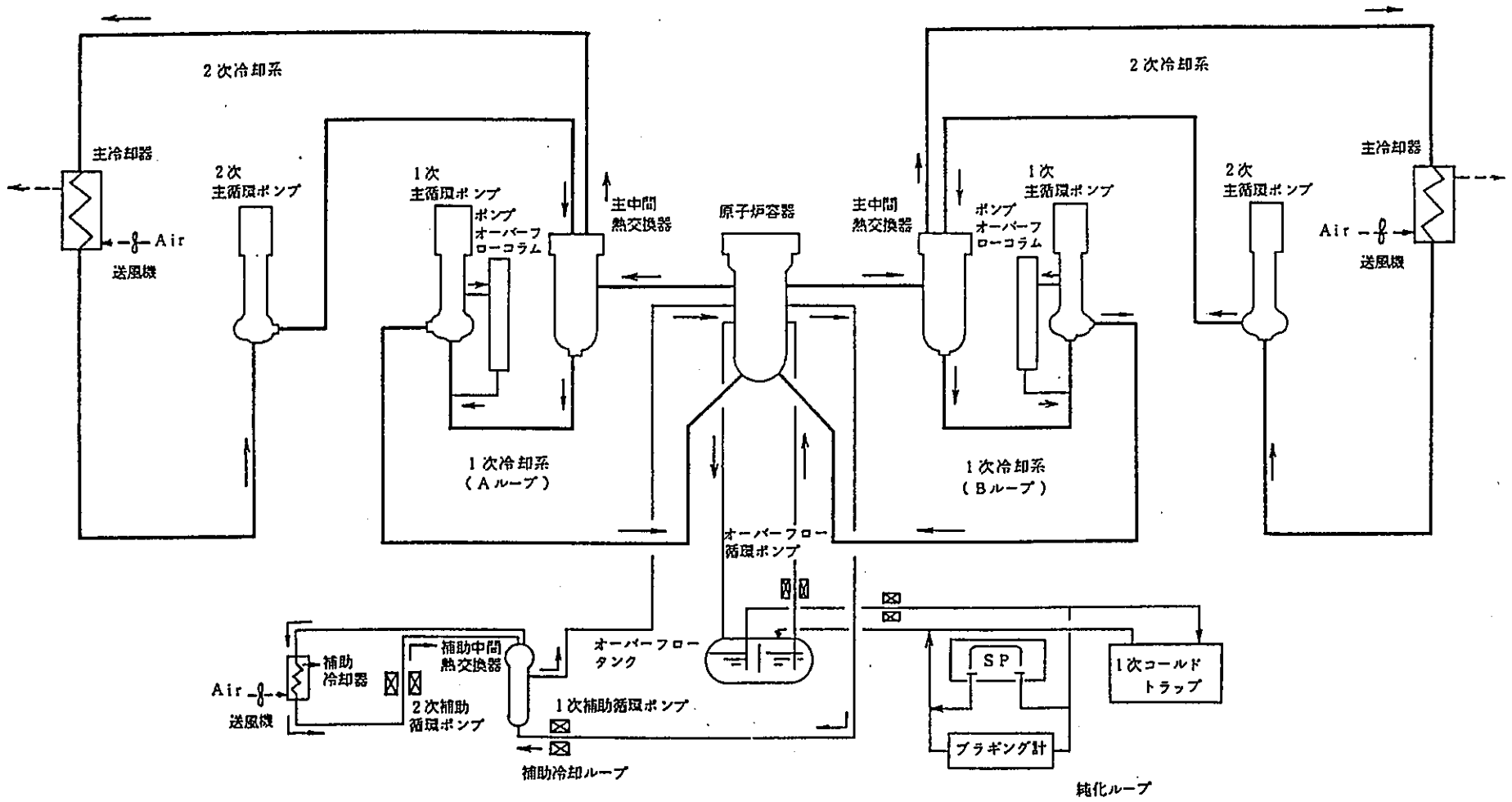


図 3.1 「常陽」 1次および2次主冷却系の概要

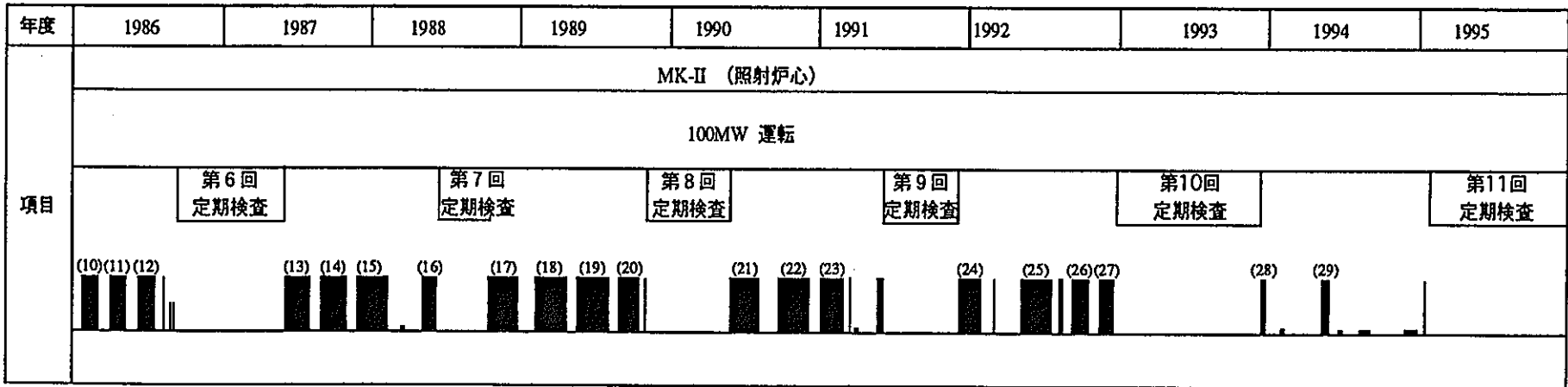
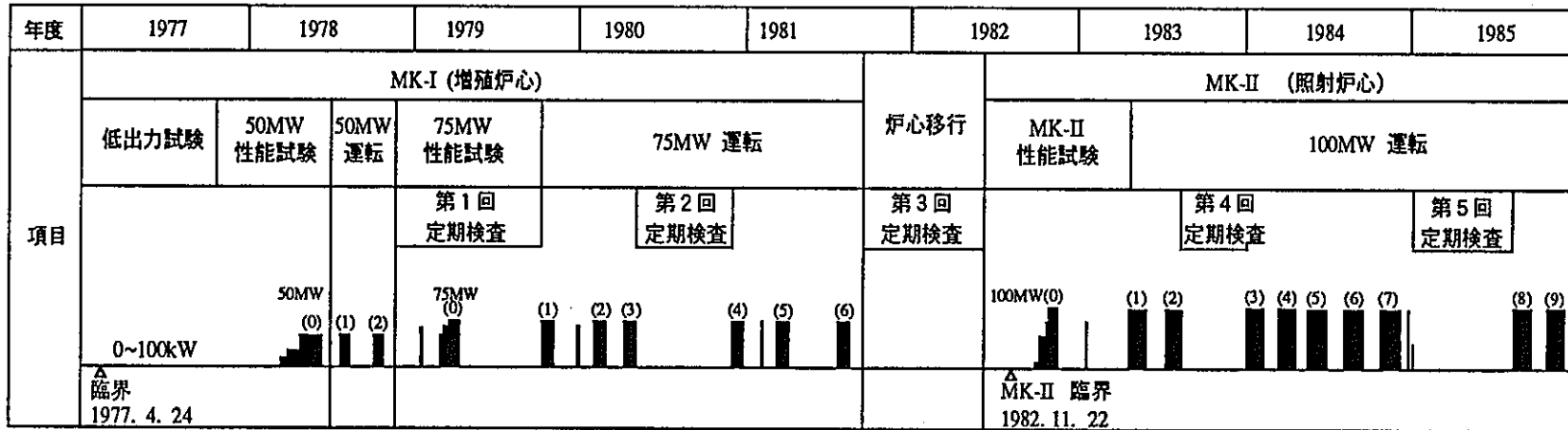


図 3.2 「常陽」運転履歴

4. CP測定の方法および条件

4.1 測定時のプラント状態

「常陽」のCP測定では、その経時変化を調べるため、初回（Mk-I炉心、第3回定検時）より測定位置および方法を統一している。第11回定検時におけるCP測定を例にして、以下に説明する。

「常陽」では、Mk-II炉心第29サイクルの運転終了後、低出力で炉物理・プラント特性の測定等のための各種試験を実施し、1995年5月10日から第11回定期検査を開始した。1次主冷却系のナトリウムは、1995年9月3日にダンプタンクにドレンされ、主冷却系はすべて室温まで降温された。そして、原子炉建家の床下各室が窒素ガス雰囲気から空気雰囲気に置換された後、1次主冷却系の機器・配管廻りのCP付着密度および γ 線量率を測定した。

測定期間：1995年10月3日*～11月4日

* 原子炉停止後（第29サイクル終了後）378日経過日 より測定開始
（1次主冷却系ナトリウムドレン後 30日経過日）

4.2 測定に使用した機器と測定条件

(1) γ 線スペクトルの測定

- (a) 検出器 : 高純度Ge半導体検出器
- (b) コリメータ : 鉛製、直径20mm ϕ
- (c) 計測時間 : 実効時間で1000秒～2000秒

高純度Ge半導体検出器の主要仕様を表4.1に示す。また γ 線の入射方向を制限し、バックグラウンド成分を遮蔽するコリメータの構造を図4.1に示す。

(2) TLDによる γ 線量率の測定

- (a) 測定器 : 熱蛍光線量計（TLD）
- (b) アニールング : 照射前400°C, 5分
- (c) 照射時間 : 約6時間
- (d) 安定化時間 : 照射後バックグラウンドの部屋で約40時間

TLDの主要仕様を表4.2に示す。

(3) プラスチック・シンチレーション光ファイバ検出器による γ 線量率の測定⁽⁵⁾

- (a) 測定器 : プラスチック・シンチレーション光ファイバ (P S F)
 (b) 照射時間 : 300 ~ 1000秒

P S Fの主要仕様を表4.3に、また、P S F検出器とその測定原理図を図4.3に示す。 γ 線の入射によりP S F中で発光したシンチレーション光は、両端の光電子増倍管 (P M T) に到達するが、その時間差は、発光位置とP M Tまでの距離の差に比例する。そこで、P S F検出器による測定法では、2つのP M Tの出力を飛行時間 (T O F) 回路で分析することにより、波高分析器のチャンネルで放射線の入射位置を、また計数率で放射線の強度を求めている。P S F検出器の詳細は、参考文献(7)を参照頂きたい。

4.3 測定位置と検出器の取付方法

C P測定では、 γ 線スペクトルおよび γ 線量率の測定位置を固定し、測定回ごとに位置がずれないようにするため、1次主冷却系の主要機器・配管 (保温材) の表面にはマークが施されている。 γ 線スペクトルの測定位置を図4.2に、T L Dによる機器・配管表面の γ 線量率の測定位置を図4.3に、P S Fによる γ 線量率の測定位置を図4.4にそれぞれ示す。また、測定対象の総ポイント数を表4.4に示す。

(1) 高純度G e半導体検出器の設置方法

γ 線スペクトル測定では、コリメータ付き高純度G e半導体検出器を機器・配管から同じ距離に位置決めできるように専用のルールを敷設している。ルール上にコリメータとG e検出器を設置した状況を図4.7に示す。

(2) T L D素子の取り付け方法

T L D素子による機器・配管表面の γ 線量率測定は、素子を粘着テープで表面に貼り付けて行った。

Aループについては、ナトリウム主配管では長手方向に約1 m間隔で周方向4箇所 (90°) に貼り付けた。また、機器表面では主I H Xの胴体部分には長手方向約20 cm間隔、1次主循環ポンプの胴体部分には長手方向10 cm間隔で、それを周方向4箇所 (90°) に貼り付けた。

一方、Bループについては、Aループより測定箇所を減らしており、主配管では

IHX 出入口近傍のナトリウム主配管を対象とし、長手方向約 1 m 間隔で周方向 4 箇所 に貼り付けた。また、機器表面は主 IHX のみとし、その胴体部分に長手方向約 18 cm 間隔で周方向 4 箇所 (90° 間隔) に貼り付けた。測定状況を図 4. 8 に示す。

また、今回から導入した P S F による γ 線量率の比較のため、2 基の主 IHX 間をつなぐ通路上約 1 m での空間分布測定について、P S F と平行に張ったロープに 1 m 間隔で T L D 素子を取り付けた。

(3) P S F の設置方法^{(6)・(7)}

P S F については、測定位置の寸法および従来の測定結果から γ 線量率を予測して測定箇所に適した P S F を選択した。測定範囲が狭く (~ 4 m)、 ~ 0.5 mSv/h の比較的低線量率である配管表面については長さ 5 m、直径 1 mm ϕ \times 10 本のを、 ~ 0.5 mSv/h の線量率であるが、広い測定範囲が必要な保守作業エリアでは長さ 10 m、直径 1 mm ϕ \times 19 本のを、さらに ~ 3 mSv/h の高線量率となる主 IHX 表面では長さ 10 m、直径 0.25 mm ϕ \times 1 本のをを用いた。P S F の設置は、粘着テープを用いて適当な間隔で固定した。測定時間は、 γ 線の強度に応じて 300 \sim 1000 秒とした。C L (1) の周方向 (No. 46) の測定状況、I H X (A) の周方向 (IHX No. 23) の測定状況および 3 箇所の保守作業エリアの測定状況をそれぞれ、図 4. 9 に示す。

4. 4 測定値の校正および規格化の方法

(1) C P 核種の同定、測定値の校正および規格化法

まず、G e 検出器で測定した γ 線スペクトルの光電ピークから C P 核種を同定した。次に、測定時の計数率を減衰補正することにより、原子炉運転停止直後の計数率を求めた。これら一連の計算フローを図 4. 5 に示す。ここで、 γ 線スペクトル解析による C P 核種の計数率の算出には、核種解析プログラム "MCAWIN"⁽⁸⁾ を用いた。

得られた計数率から配管の C P 付着密度に換算するには、測定体系に依存した校正定数 (核種の付着密度から計数率への換算係数) を求める必要がある。このため、1 次主配管の寸法・形状を模擬したモックアップ装置と 54 Mn および 60 Co の校正用標準面線源を製作し、これらの装置、面線源と実際の C P 測定で使用するコリメータ付き G e 検出器を用いて校正定数を算出した。図 4. 6 に校正定数の求め方および値を示す。

(2) TLDの線量率の規格化

TLD素子については、あらかじめ国家標準とトレーサビリティのとれた照射施設（使用線源： ^{137}Cs , ^{60}Co ）で校正照射を行ない、求めた校正曲線を用いて γ 線量率を評価した。また、実際の測定では照射前のバックグランド値があるため、あらかじめこのバックグランド値を測定しておき、照射後の γ 線量率測定値から差し引いた。

(3) PSFの測定値の校正⁽⁵⁾

PSFについてもTLDと同じ照射施設（使用線源： ^{137}Cs ）で校正照射を行い、位置毎の換算係数（ $\mu\text{Sv/h}/\text{cps/cm}$ ）を求めておき、測定結果から γ 線量率へ換算した。

PSFは検出器固有の位置分解能（5mの検出器で半値幅約30cm、10mの検出器で半値幅約60cm）を持つため、 γ 線量率が急激に変化する場合には、PSFの出力（波高分布）からそのまま γ 線量率に変換すると、線量率分布が平坦化される傾向がある。このような場合には、コリメートした γ 線照射により求めた検出器の応答関数を用いて、応答関数と線量率の積で表される行列式を逐次近似法により解くアンフォールディング法が有効であり、これにより位置分解能よりも狭い範囲で変化のある γ 線量率の空間分布がよく再現できる。

表 4. 1 高純度 Ge 半導体検出器の主要仕様

項 目	性 能
検出器メーカー 型 式	ORTEC製 Model. 1G12-13210-S Serial No. 21-P-663D
検出器形状	同軸型 直径 44.4mm 長さ 53.5mm
検出器有効体積	73.4cm ³
使用電圧	Posi 3.0kV
エネルギー分解能	⁶⁰ Coの1.332MeV δ に対し 1.8keV FWHM
Photo Peakと Compton Plateau の高さの比	Peak/Compton = 47.8
検出効率	15.0%

表 4. 2 熱蛍光線量計 (T L D) の主要仕様

項 目	性 能
型 式	UD-200S (松下電器産業製)
素子材質	CaSO ₄ : Tm
エネルギー依存性	±40% (>30keV)
測定範囲	1 μ Sv/h~200mSv/h
感度均一性	バラツキ±10%以内 再現性±5%以内
フェーディング量	8%/年以下

表 4. 3 プラスチック・シンチレーション光ファイバ
(P S F) 検出器の主要仕様

項 目	性 能
型 式	BCF-10 (BICRON製)
素 子 材 質	コア部 : ポリスチレン クラッド部 : PMMA
波 長 シ フ ト 材	ブチルPBD+BDB
測 定 範 囲	<ul style="list-style-type: none"> • 長さ 5 m 1 mmφ × 10本 (低線量用 ~数100 μSv/h) • 長さ 10m 1 mmφ × 19本 (低線量用 ~数100 μSv/h) • 長さ 10m 0.25mmφ × 10本 (高線量用 ~10mSv/h)

P S F は全てφ10数mmの遮光チューブに入っている。

表 4. 4 測定ポイント数

測定器	測定対象	測定ポイント数
Ge 検出器	1次主冷却系配管 (A)	17 (内2ポイントは機器部)
	1次主冷却系配管 (B)	3
TLD	1次主冷却系配管 (A)	89 × 4
	1次主冷却系配管 (B)	15 × 4
	主中間熱交換器 (A)	38 × 4
	主中間熱交換器 (B)	39 × 4
	主循環ポンプ (A)	35 × 4
	オーバフローコラム (A)	13 × 4
	保守作業エリア(PSFとの比較評価用)	1 × 11
PSF	1次主冷却系配管 (A) 周方向	6
	1次主冷却系配管 (A) 軸方向	1
	主中間熱交換器 (A) 周方向	1
	主中間熱交換器 (A) 軸方向	1
	保守作業エリア	3

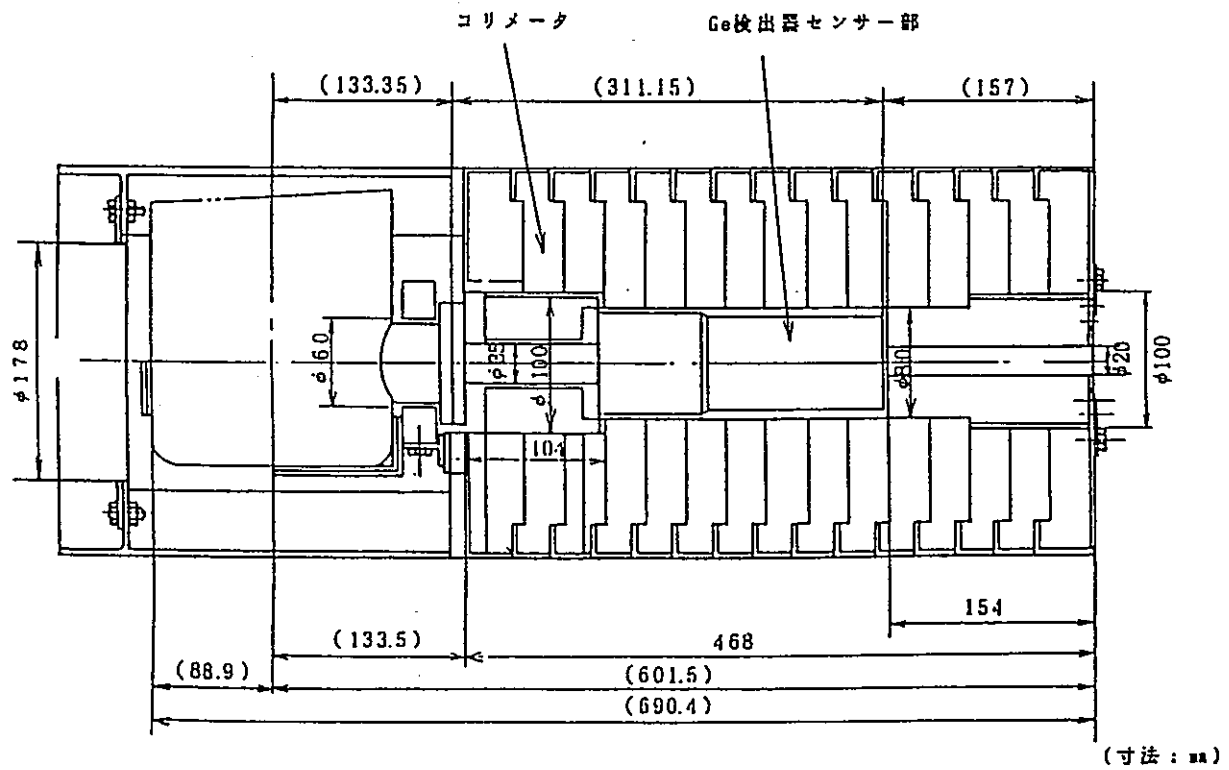
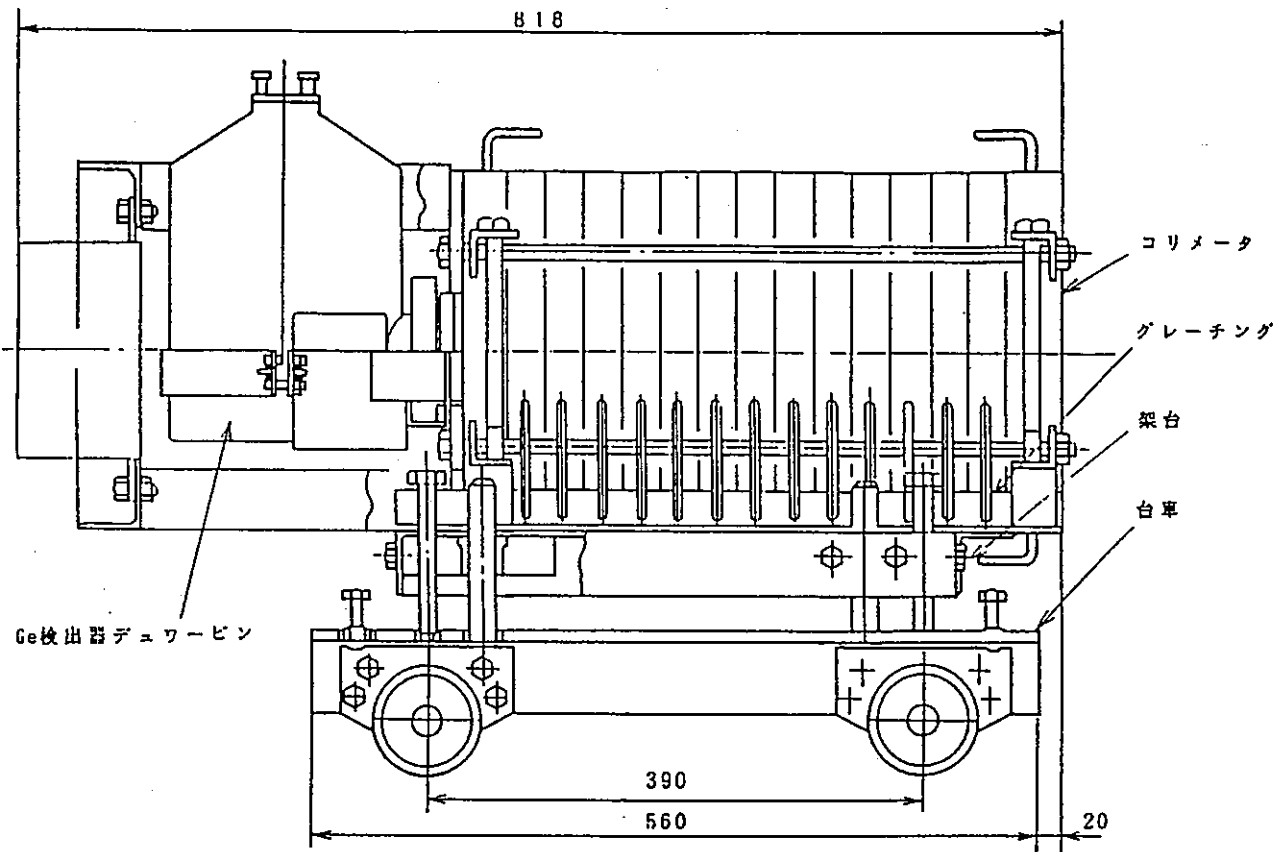
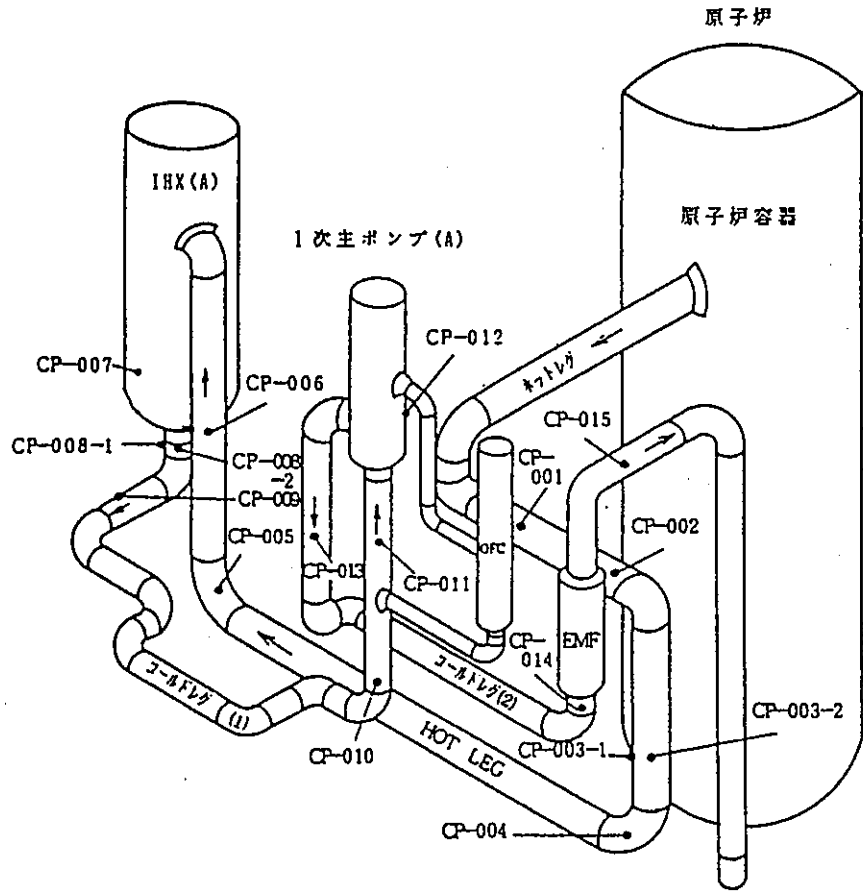
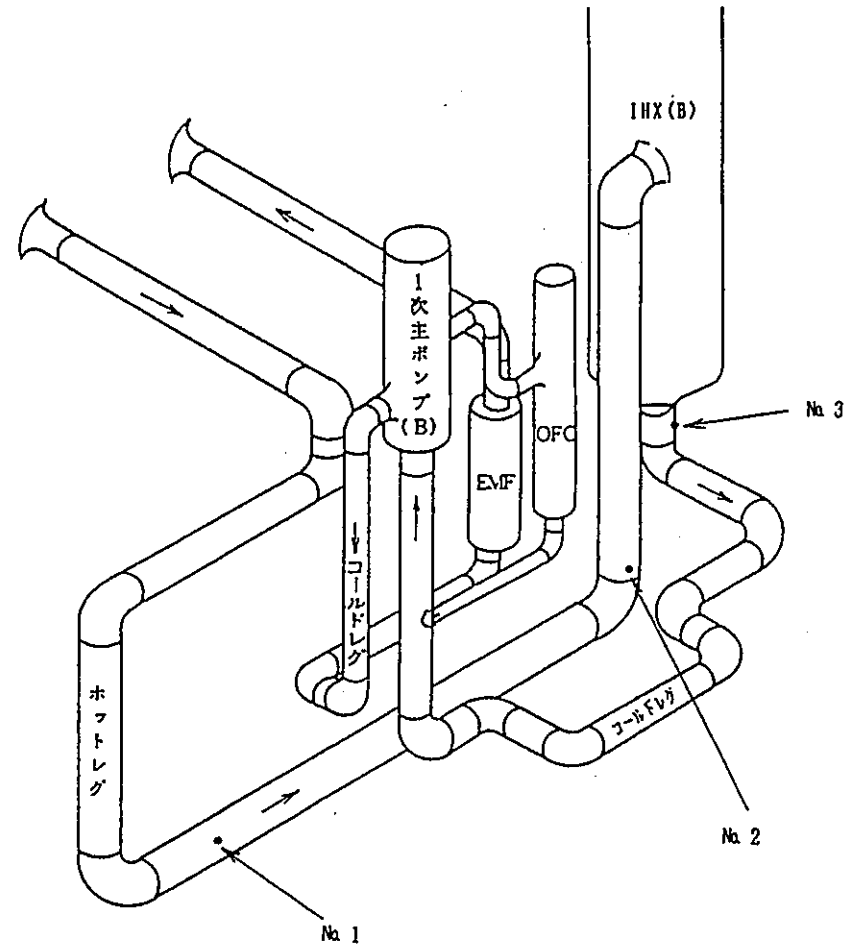


図 4.1 CP測定用鉛コリメータ

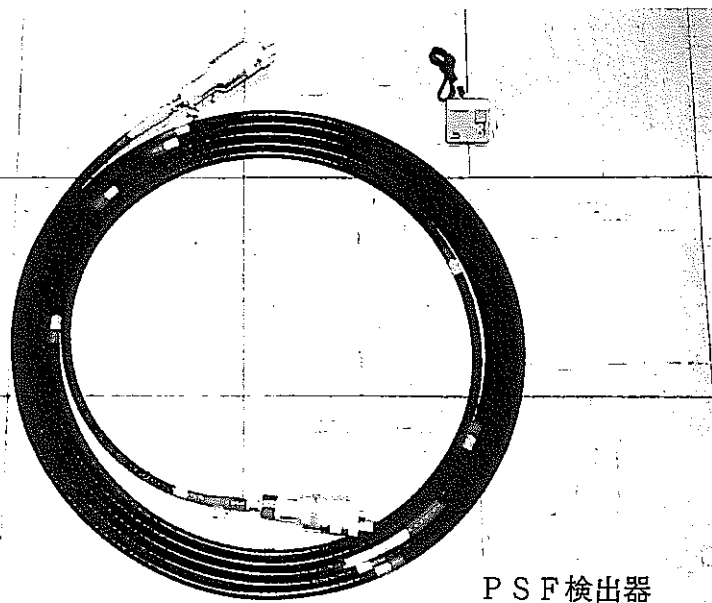


(a) A ループ



(b) B ループ

図 4.2 γ 線スペクトルの測定位置



PSF検出器

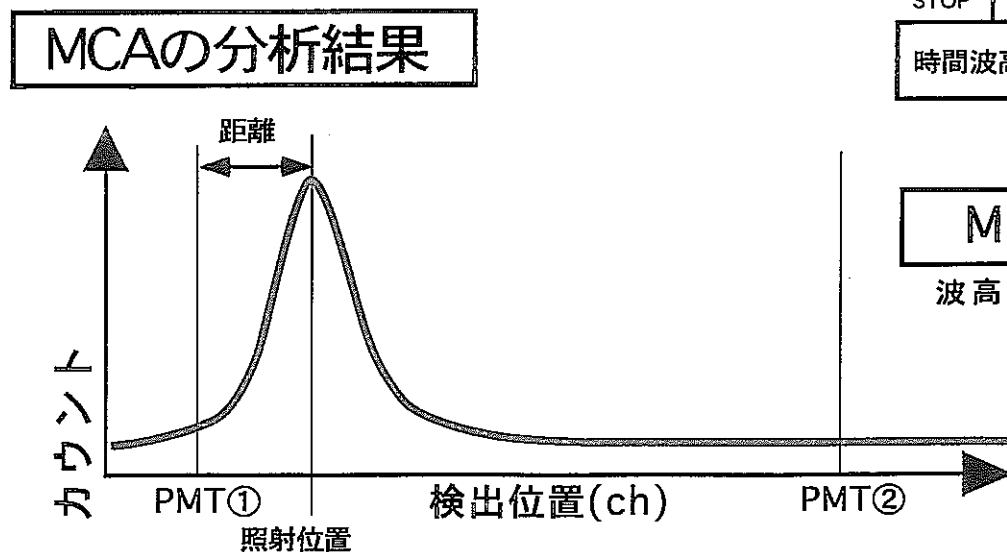
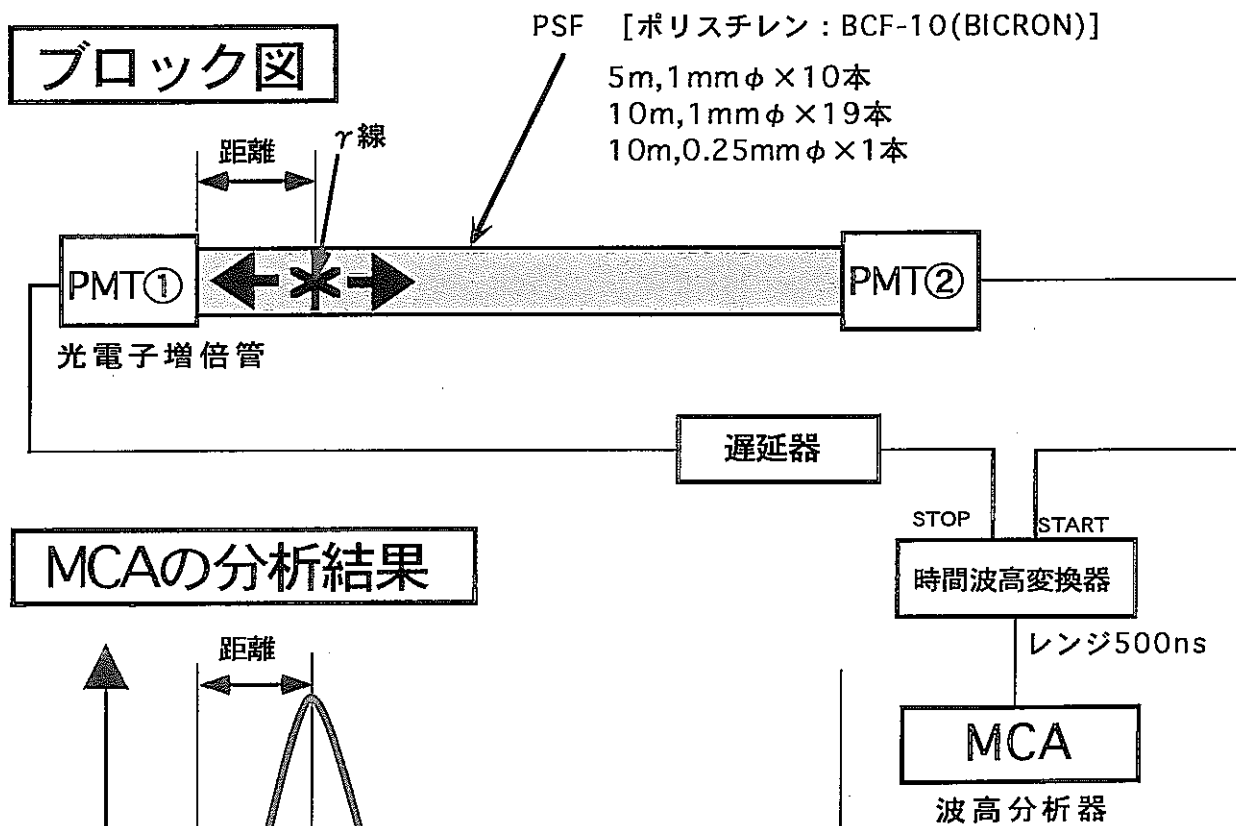
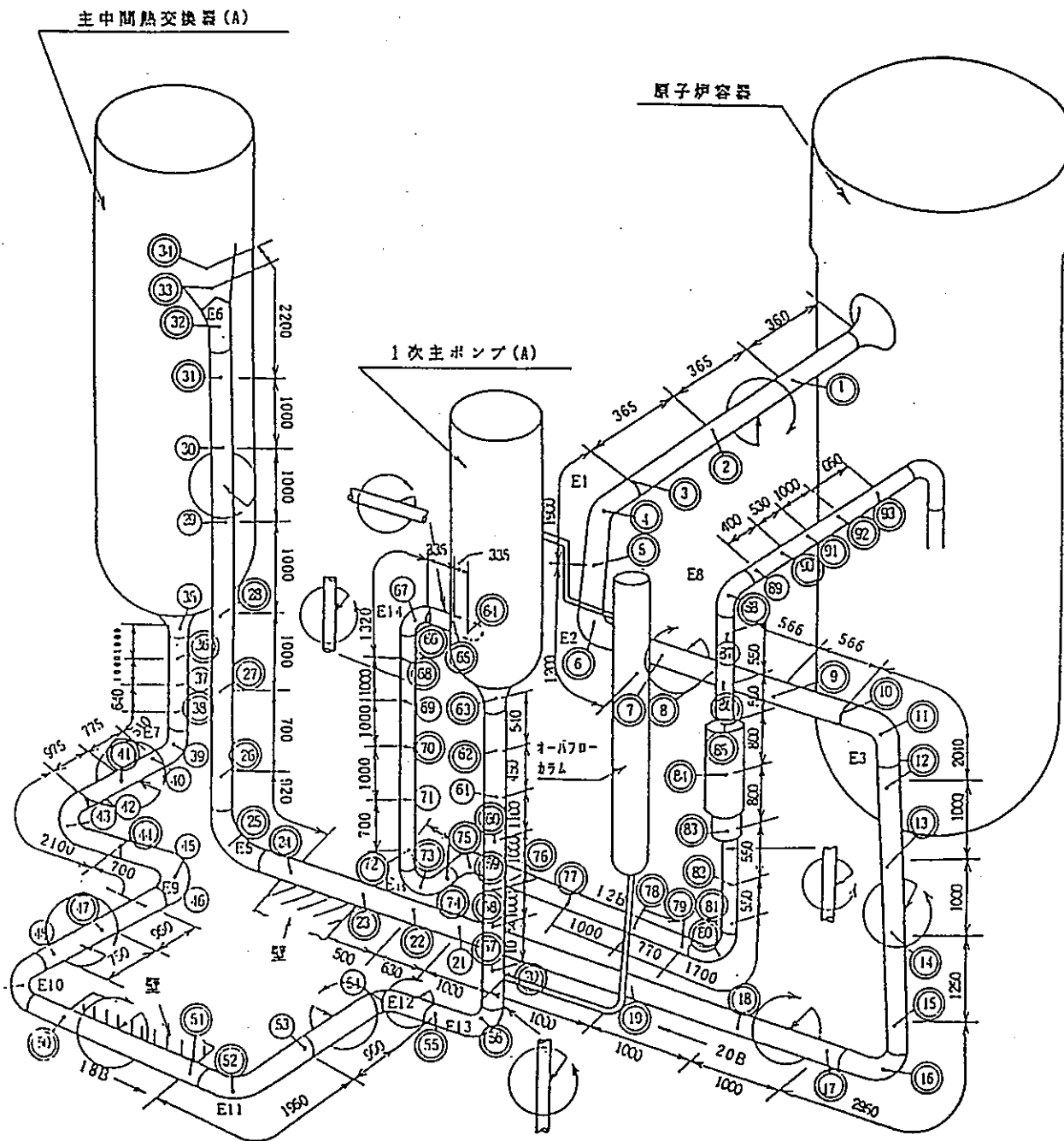


図4.3 PSF検出器と測定原理図



注記 1) ①～⑨ 測定点の位置を示す。
 なお、配管周方向の位置は下記に従う。

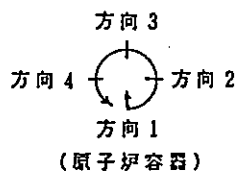


図 4. 4. 1 1次主冷却系配管 (A) 表面線量率の測定位置

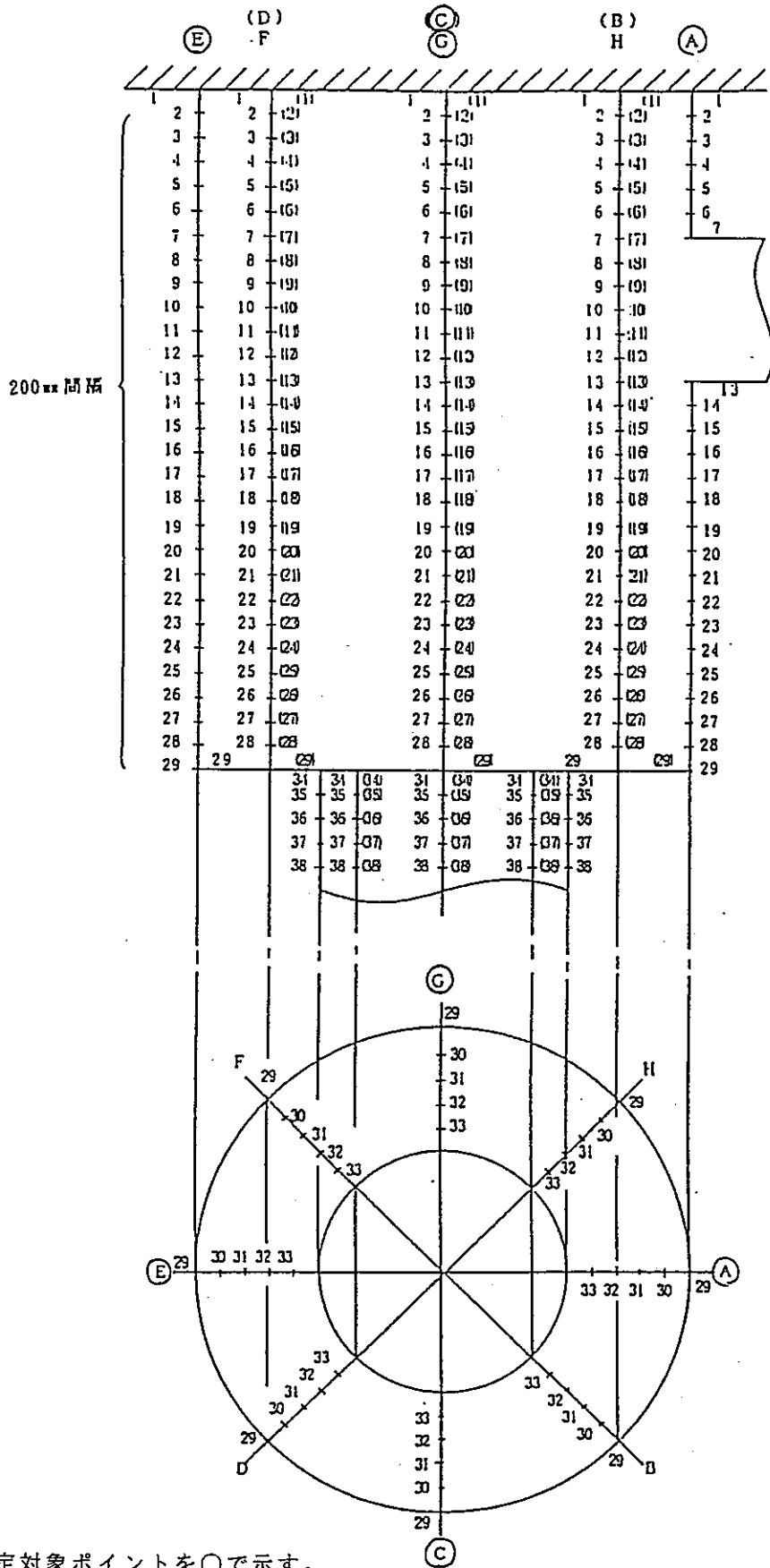


図 4.4.2 主中間熱交換器 (A) 表面線量率の測定位置

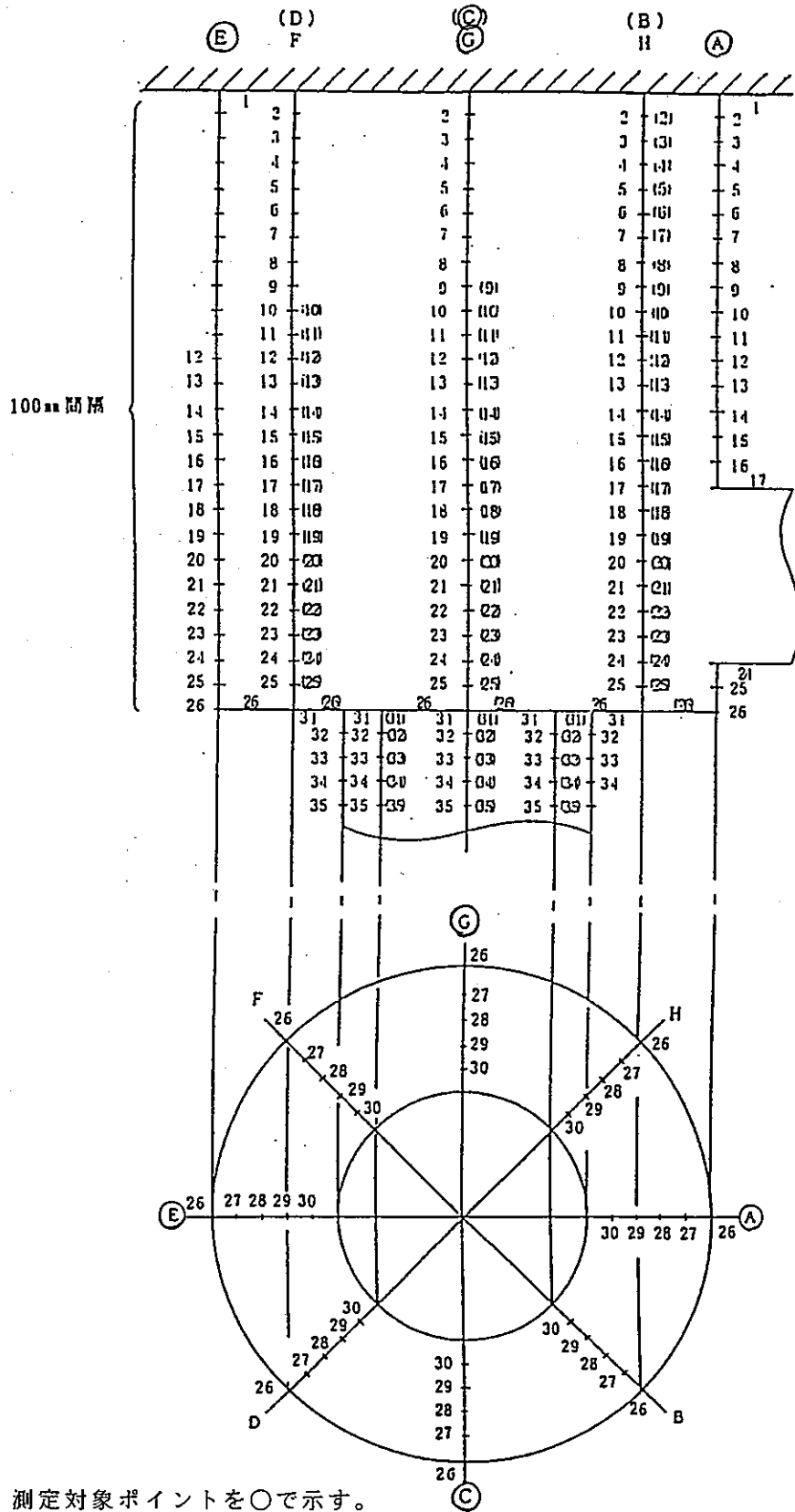


図 4. 4. 3 主循環ポンプ (A) 表面線量率の測定位置

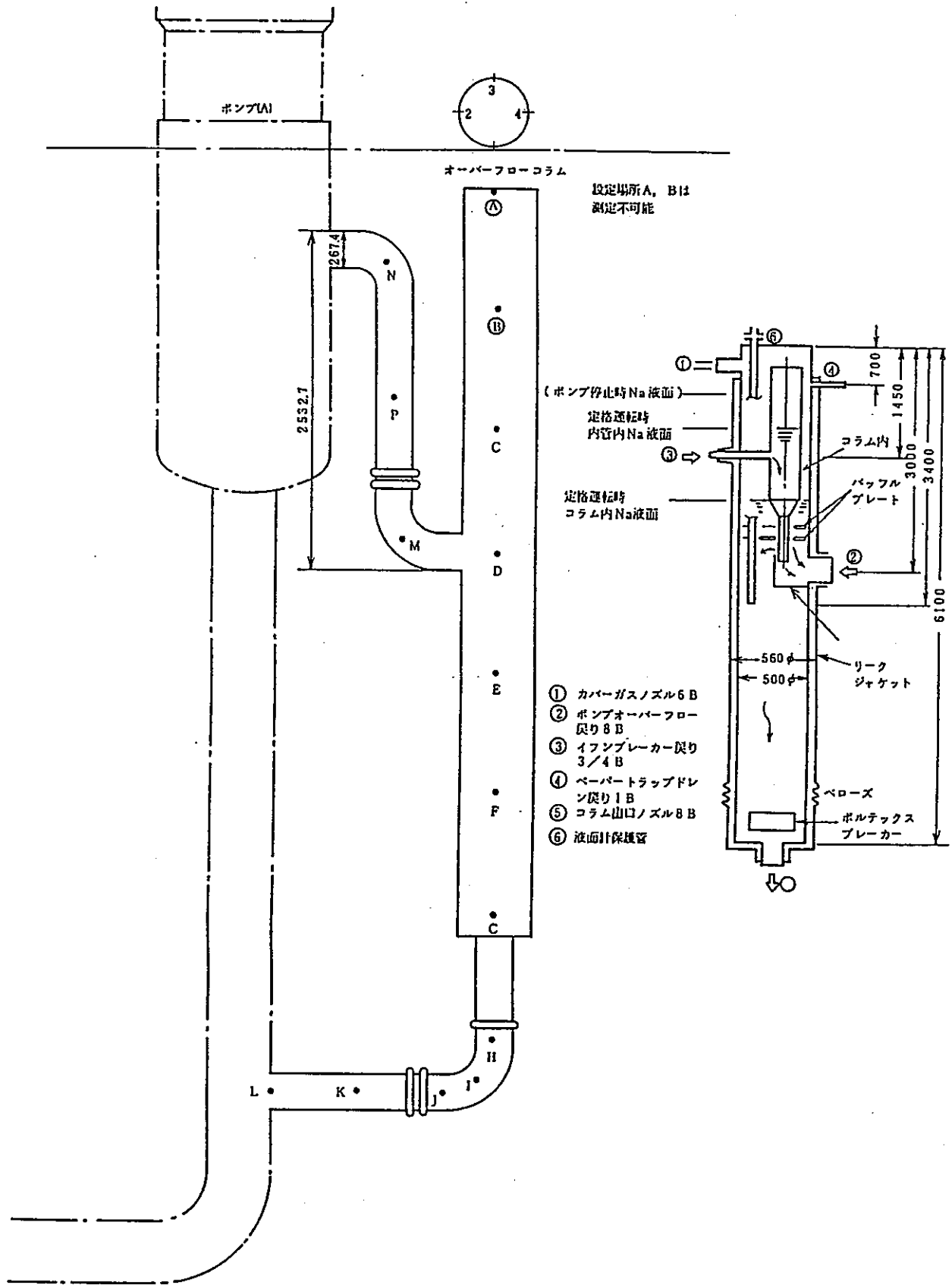


図 4. 4. 4 オーバフローコラム (A) 表面線量率の測定位置

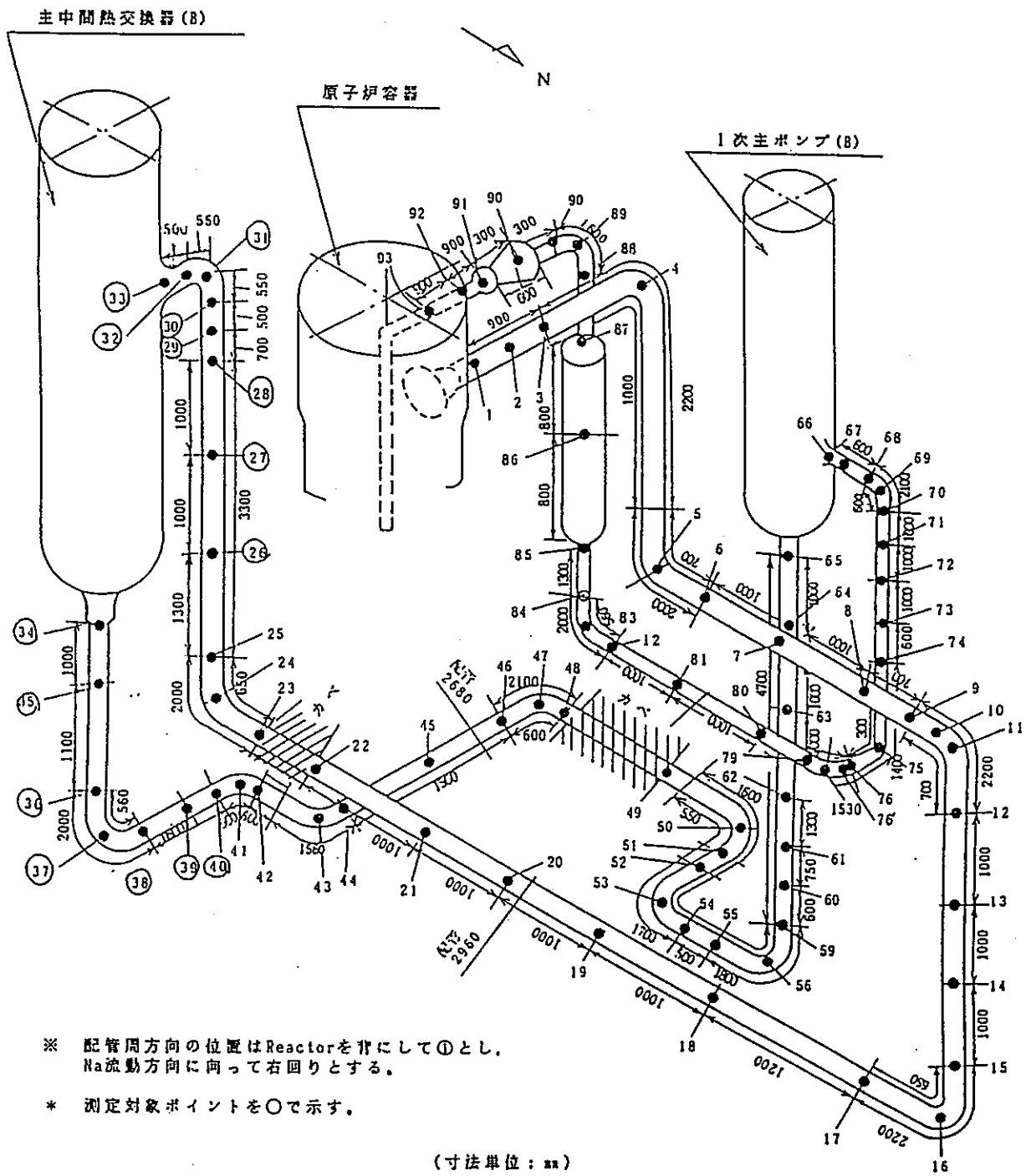


図4.4.5 1次主冷却系配管(B)表面線量率の測定位置

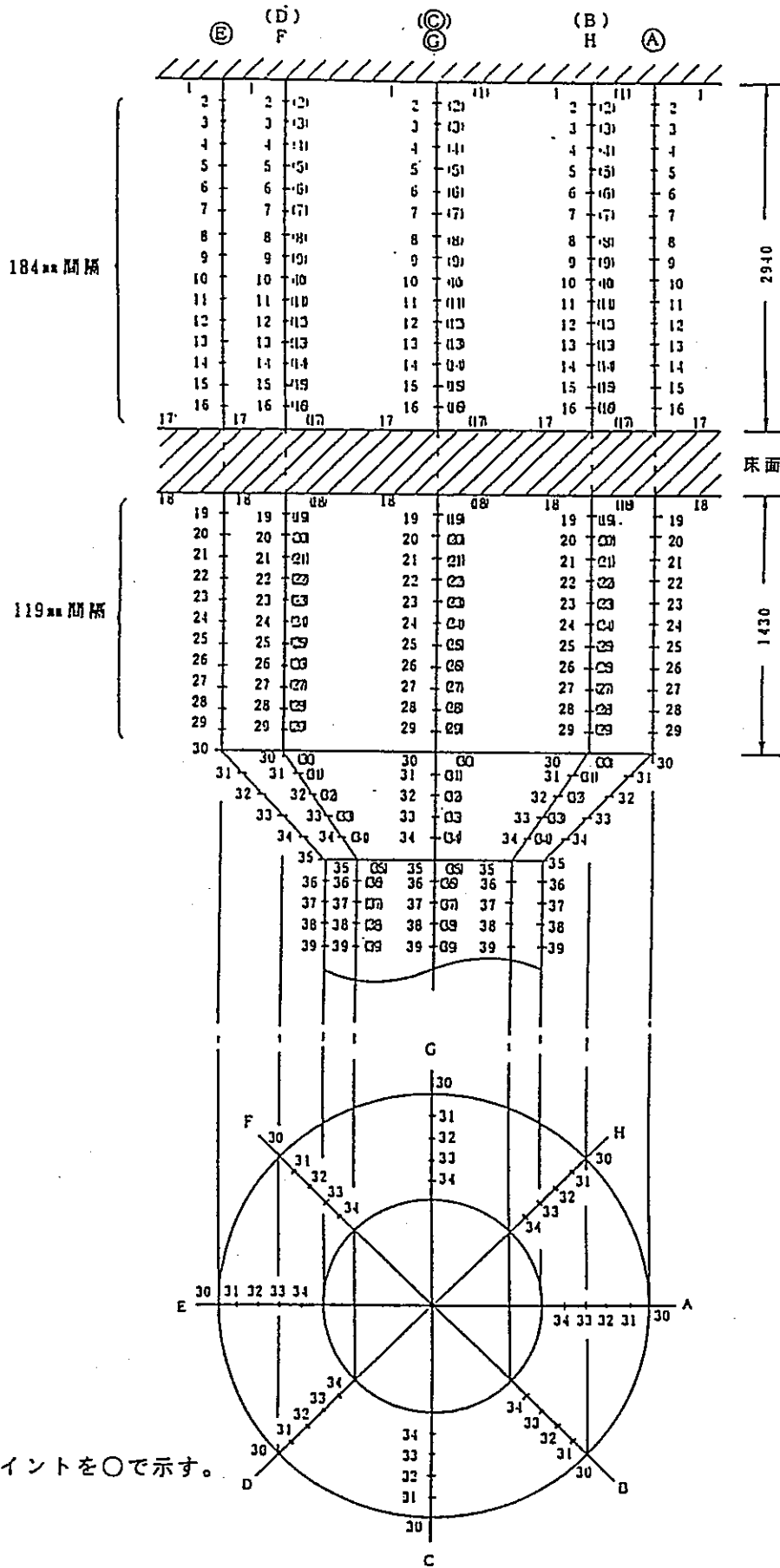


図 4.4.6 主中間熱交換器 (B) 表面線量率の測定位置

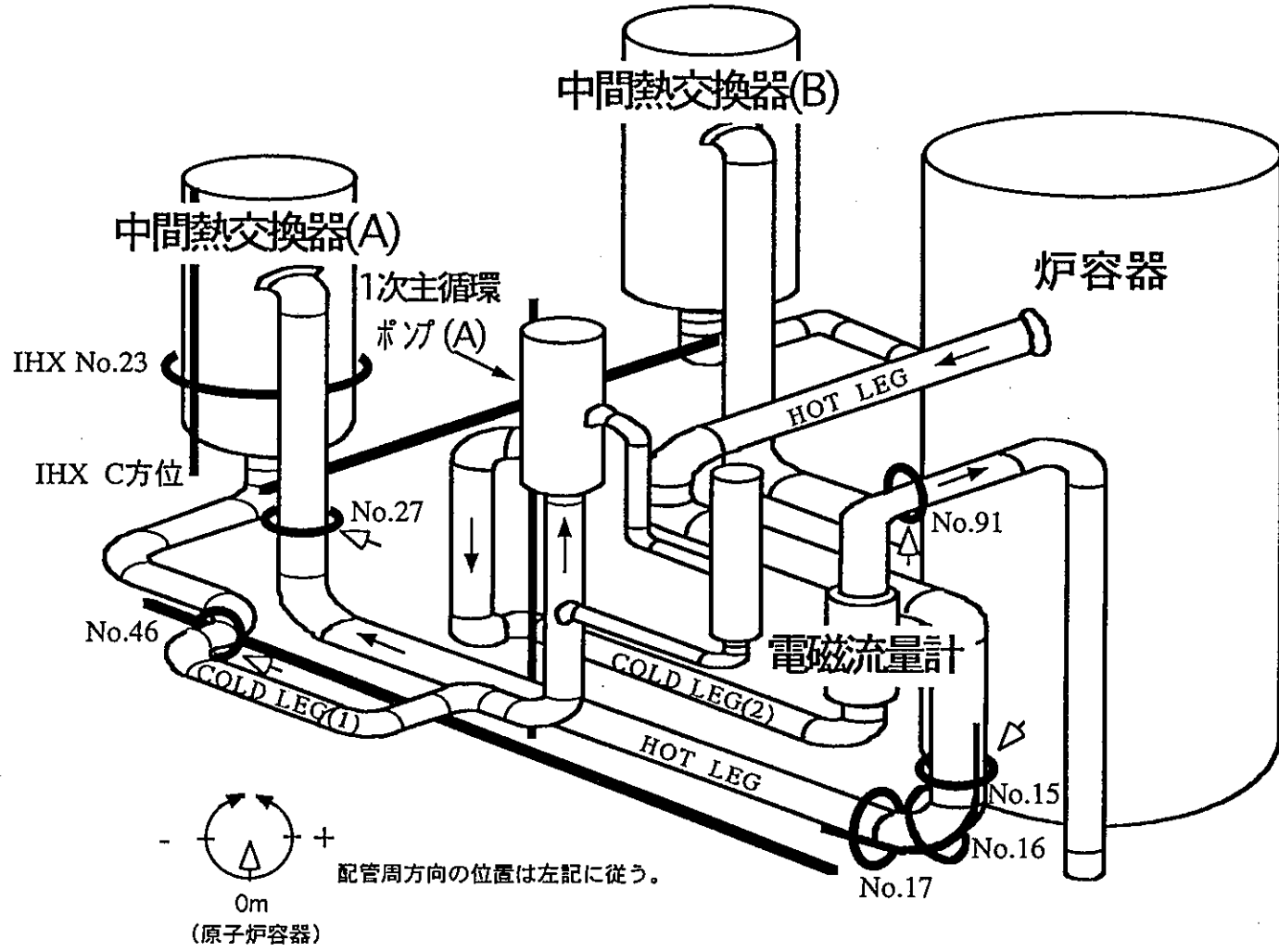


図 4.5 P S F による γ 線量率分布の測定位置

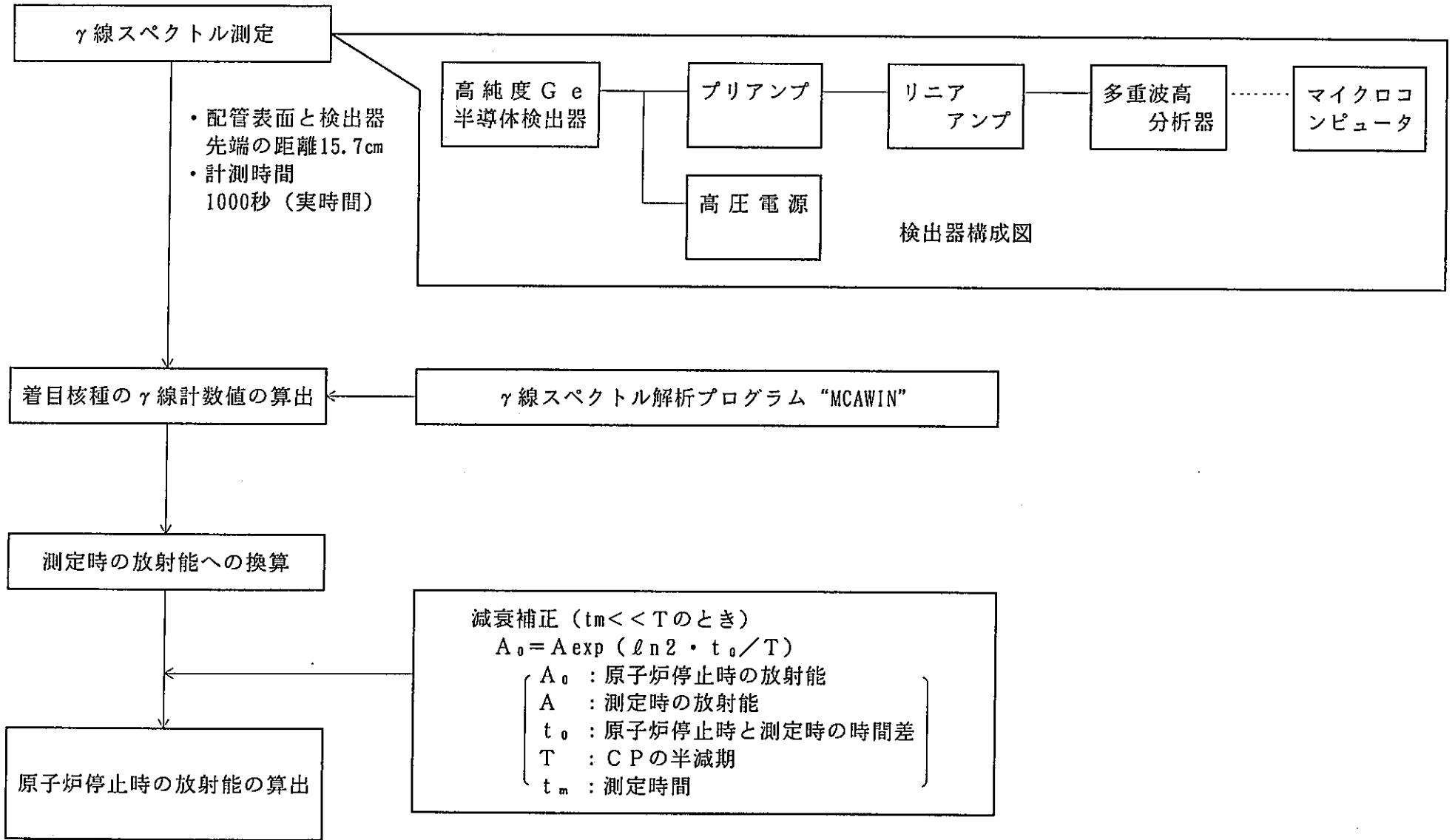


図 4. 6 γ線スペクトル測定値の減衰補正のフロー

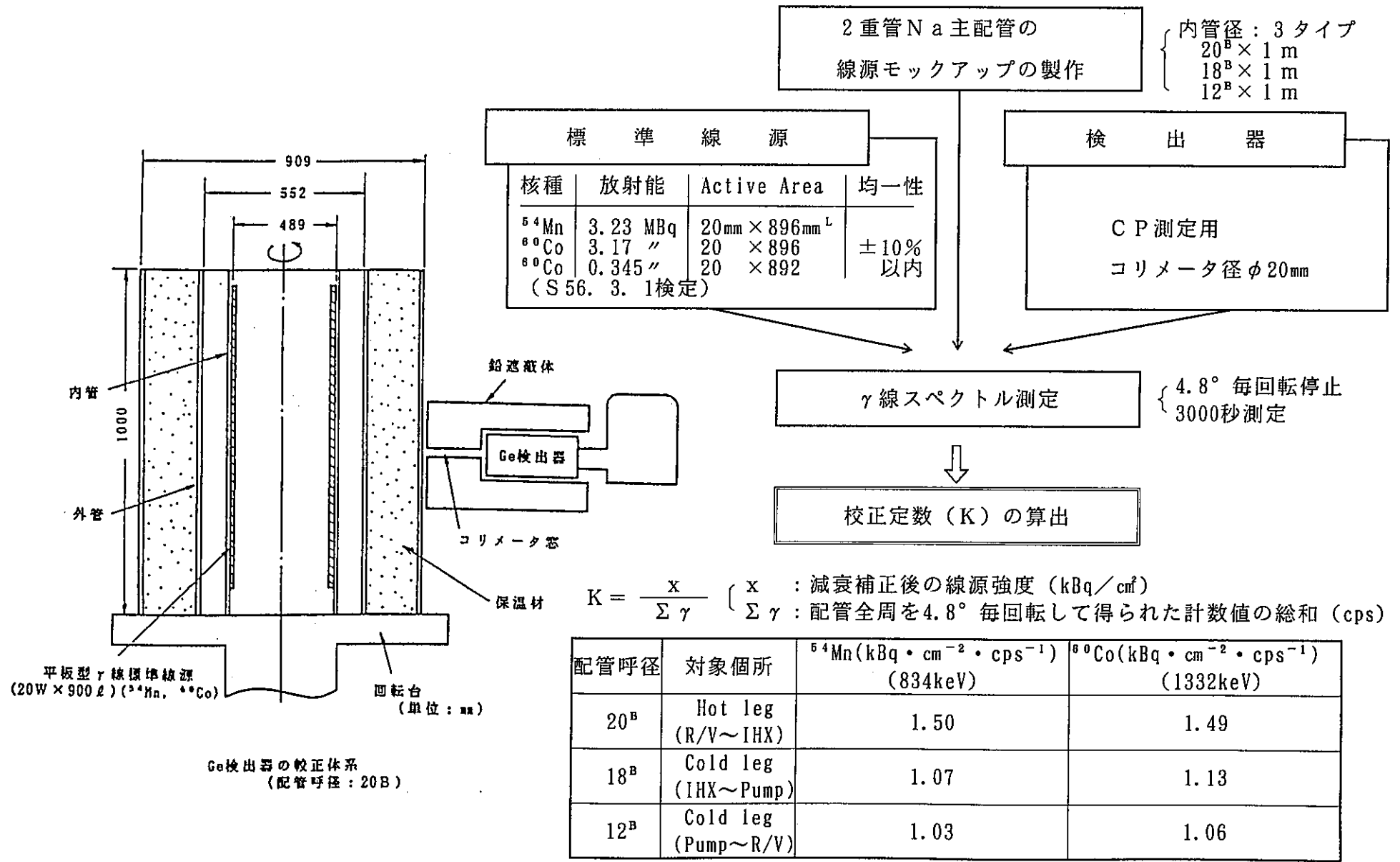


図 4. 7 Ge半導体検出器の校正体系、方法および校正定数の算出結果

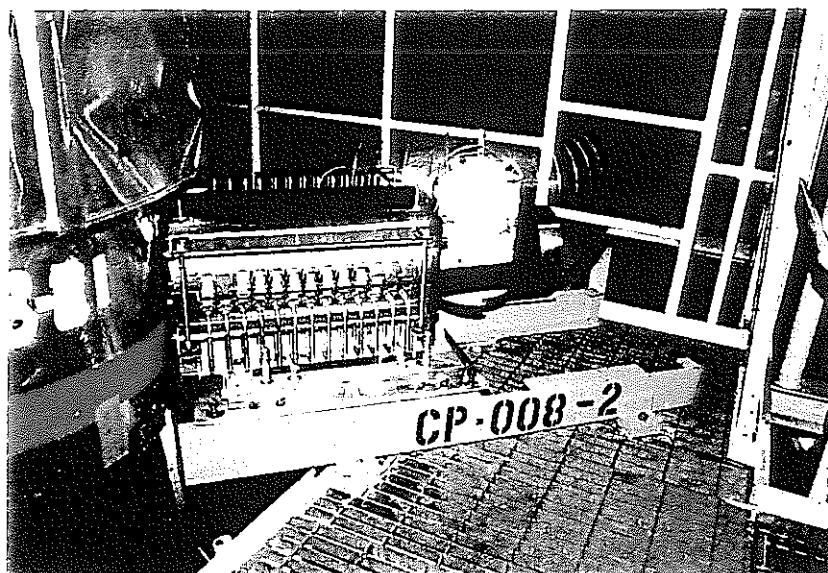


図 4.8 γ 線スペクトル測定状況

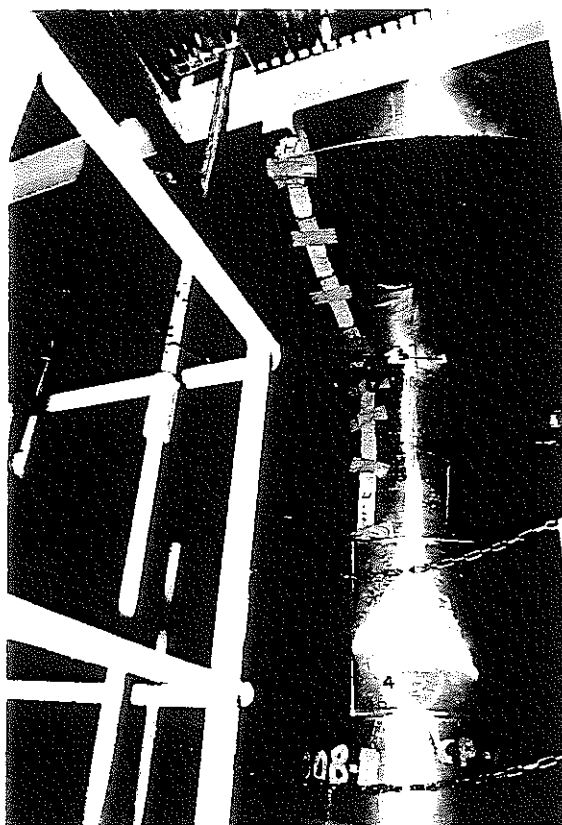


図 4.9 TLDによる γ 線量率測定状況

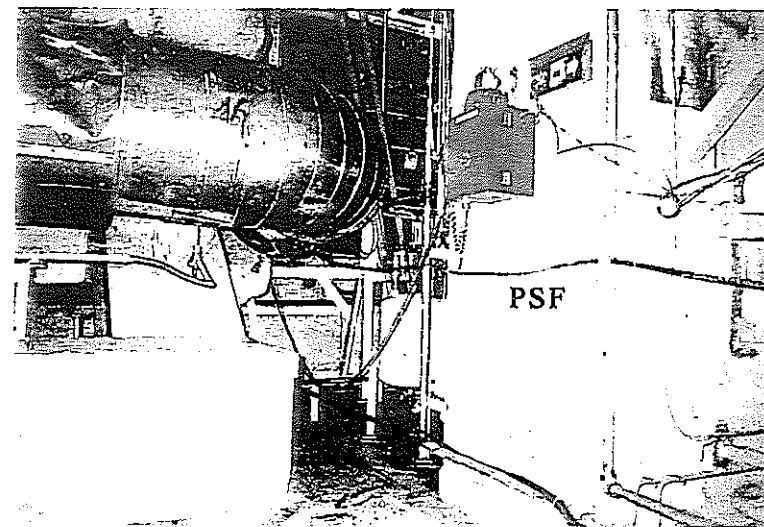
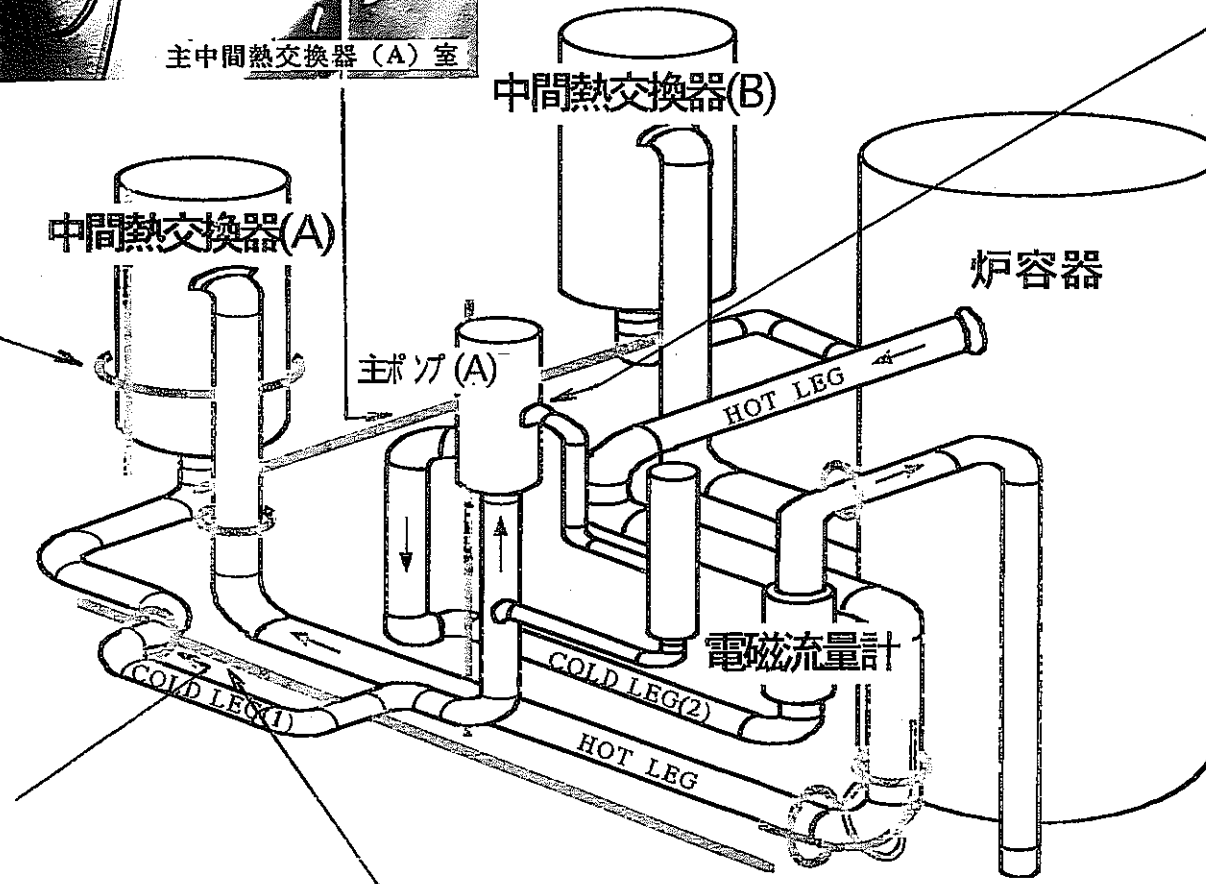
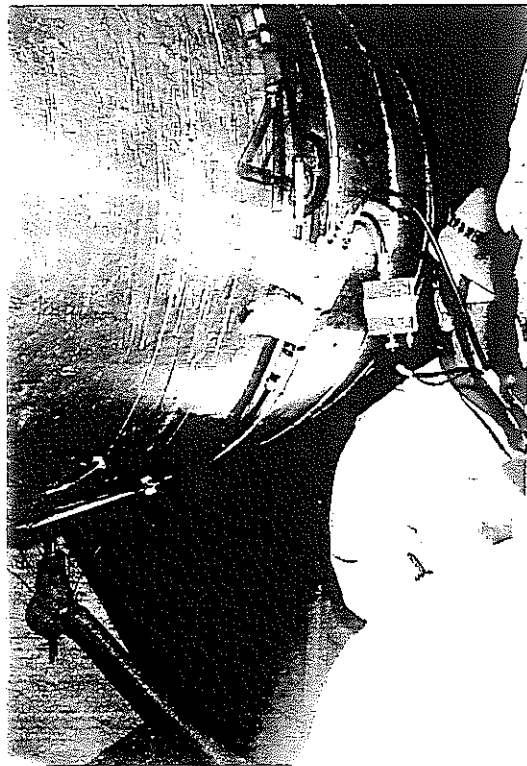
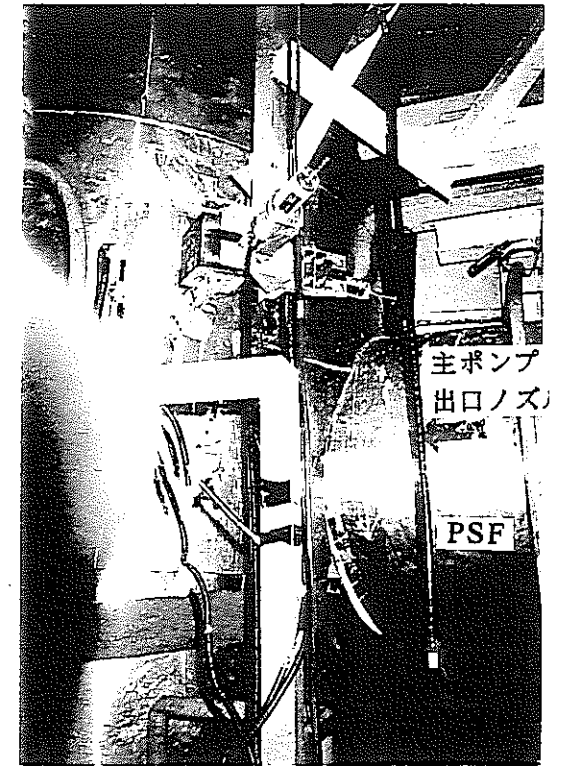
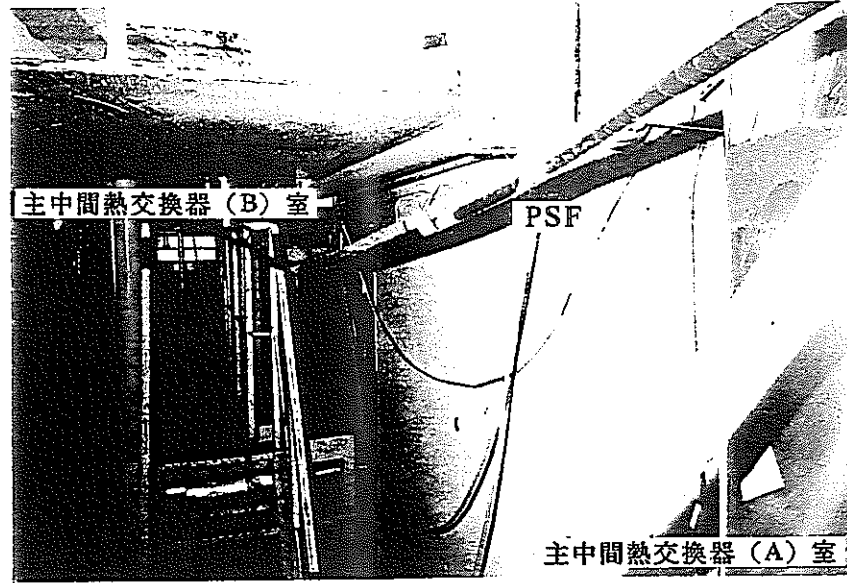


図 4.10 P S F による γ 線量率測定状況

5. 測定結果

5.1 CP付着分布

高純度Ge半導体検出器を用いて測定したCP核種の付着分布について述べる。

(1) γ 線スペクトル

Ge検出器で測定した γ 線スペクトルの一例を図5.1に示す。測定された核種は ^{54}Mn と ^{60}Co であり、短半減期の ^{58}Co は減衰しており観測されなかった。

(2) 管壁のCP付着密度

^{54}Mn と ^{60}Co の計数率から校正定数を用いて算出した管壁の付着密度を表5.1、5.2に示す。数値は、減衰補正して原子炉停止直後の付着密度に換算したものである。この中から、測定ポイント数の多いAループの配管各部について、測定位置とCPの付着密度の関係を図5.2に示す。図中、測定ポイントが周方向で2箇所あるCP-003およびCP-008については、その平均値で示した。

Aループの各測定ポイントにおけるCPの付着密度の最大値は、 ^{54}Mn がコールドレグで約70.1 kBq/cm²、 ^{60}Co がホットレグで約11.2 kBq/cm²であった。

(3) CP付着分布の特徴

Aループの主配管のうち、ホットレグ（HL：原子炉容器出口から主IHX入口まで）、コールドレグ-1（CL(1)：主IHX出口から主循環ポンプ入口まで）、コールドレグ-2（CL(2)：主循環ポンプ出口から原子炉容器入口まで）に分けた各領域でのCPの付着分布を比較すると、次のような特徴がみられた。

- ① ^{54}Mn の付着密度はCL配管に多く、高流速となるCL(2)ほど多い。

領域別の付着密度の割合は以下のとおりである。

$$\text{HL} : \text{CL}(1) : \text{CL}(2) = 1.0 : 2.3 : 3.2$$

- ② ^{60}Co の付着密度はHL配管に最も多いが、CL(2)にも多い。

領域別の付着密度の割合は以下のとおりである。

$$\text{HL} : \text{CL}(1) : \text{CL}(2) = 1.0 : 0.65 : 0.85$$

③ ^{54}Mn の付着密度に対する ^{60}Co の付着密度の比は以下のとおりであった。

HL : 0.54

CL(1) : 0.15

CL(2) : 0.15

5.2 TLDによる γ 線量率測定結果

TLDを用いて測定した1次主冷却系機器・配管表面の γ 線量率について述べる。

5.2.1 1次主配管表面の γ 線量率

1次主配管AループおよびBループ側の表面線量率測定結果を表5.3、図5.3および表5.4にそれぞれ示す。冷却系全体の γ 線量率分布を測定したAループについて、主な結果を以下に示す。

- ① 原子炉容器および1次主循環ポンプの出口配管部に局所的な高線量率のポイントがあった。
- ② 1次主配管表面の γ 線量率の最大値は、原子炉容器出口配管部（ポイント1、方向2）で 2.1mSv/h であった。

5.2.2 1次冷却系機器表面の γ 線量率

(1) 主中間熱交換器（主IHX）

主IHX（A）および主IHX（B）の表面線量率測定結果を表5.5、図5.4および表5.6にそれぞれ示す。測定結果は、主IHX（A）、主IHX（B）ともに過去のデータとほぼ同じ傾向を示した。主な結果は以下のとおりである。

- ① 主IHX（A）の胴体部分の表面線量率については、周方向分布はほぼ均一であるが、軸方向にはピークが2か所あり、シュラウドシールリング部（ポイント13前後）での表面線量率は平均値の約1.3倍、下部管板部（ポイント21前後）では約3.3倍であった。

一方、主IHX（B）では、主IHX（A）と異なり、周方向分布は不均一である。これは、後述するように、主IHX（B）の内部構造が主IHX（A）に比べて複雑であり、CPの付着が周方向に一様でないためである。軸方向分布をみると、1次主配管入口部（ポイント5～6、方向A）での表面線量率は平均値

の約4.6倍、シュラウドシールリング部（ポイント13前後）では約0.59倍、下部管板部（ポイント19前後）では約0.95倍であった。

- ② 主IHX表面の γ 線量率の最大値は、主IHX（A）では下部プレナム部（ポイント21、方向E）で約2.2mSv/h、主IHX（B）では入口配管部（ポイント6、方向A）で約12.1mSv/hであった。また、 γ 線量率の平均値は、主IHX（A）では約0.5mSv/h、主IHX（B）では約2.1mSv/hであった。

(2) 1次主循環ポンプおよびオーバフローコラム

1次主循環ポンプ（A）表面の γ 線量率測定結果を表5.7、図5.5に示す。また、Aループ側の主循環ポンプ・オーバフローコラム表面の γ 線量率測定結果を表5.8に示す。主な結果は以下のとおりである。

- ① 1次主循環ポンプ（A）の胴体部分の表面線量率分布は、局所的なピークを除き周方向分布はほぼ均一で、軸方向分布については、Na液位部（ポイント7）を境としてカバーガス部よりもNa接液部の方が γ 線量率が高い。局所的には、オーバフロー配管取付部と軸受台の位置が他よりもやや高めであった。

- ② 1次主循環ポンプ（A）表面の γ 線量率の最大値は、オーバフロー配管接続部（ポイント13、方向E）の直下で約2.2mSv/hであった。また、オーバフローコラムではポンプオーバフロー戻り配管部（ポイントP、方向4）で約1.1mSv/hであった。また、 γ 線量率の平均値は、1次主循環ポンプ（A）およびポンプオーバフローコラムともに約0.5mSv/hであった。

5.3 PSFによる γ 線量率測定結果

PSFを用いて1次主冷却系機器・配管表面の γ 線量率分布および保守作業エリアの空間線量率分布を測定し、TLDによるポイントでの測定結果と比較した。

5.3.1 配管・機器表面の γ 線量率分布

(1) 1次主配管の周方向分布

図5.6にホットレグ配管（No.27）、コールドレグ配管(1)（No.46）、コールドレグ配管(2)（No.91）表面の周方向の γ 線量率分布を示す。

P S Fの測定結果はT L Dの測定結果と良く一致しており、連続的な γ 線量率分布が詳細に把握できた。このうち、コールドレグ配管(2) (No. 91)は、原子炉容器入口近傍の水平な主配管であり、特に ^{54}Mn の付着が優先となっており、その他の測定箇所と比べて高線量率であった。また、この近傍では主配管が交差しているため、コールドレグ配管内壁の線源だけでなく、ホットレグ配管が存在する方向(約-0.7m位置)については、ホットレグ配管内壁に付着した線源からの寄与により、 γ 線量率が上昇している。

(2) 配管エルボ部の周方向および軸方向分布

図5.7に配管エルボ部 (No. 15, 16, 17)表面の周方向の γ 線量率分布を、図5.8にエルボ部外側の表面に沿った軸方向の γ 線量率分布を示す。

図5.7より、いずれの測定においてもP S Fによる測定結果はT L Dの測定結果とよく一致しており、主配管の部位の違いによる γ 線量率の差が明らかとなった。また、図5.8に示すエルボ部外側の γ 線量率の軸方向分布は、他の配管・機器からの影響が少ないため主配管内壁のC P付着分布のみに依存しており、この結果から、垂直部 (No. 15)からエルボ部外側 (No. 16)、水平配管底部 (No. 17)にかけて、主に重力沈降によりC Pが堆積しているものと考えられる。

(3) 主中間熱交換器の周方向分布

図5.9に、主I H X (A)表面の周方向 (I H X No. 23)の γ 線量率分布を示す。

P S Fによる測定結果は、T L Dの測定結果より全体的に約0.15mSv/h程度低い値となった。これは、P S Fの位置決めが不十分で、T L Dの設置位置よりも高線量率側 (I H X No. 22側)にずれていたことが原因と考えられる。

(4) 主中間熱交換器の垂直方向分布

図5.10に主I H X (A)表面の軸方向 (C方位)の γ 線量率分布を示す。図からわかるように、P S Fの測定結果 (アンフォールディング前)はT L Dの測定結果と比べ平坦化された分布になったが、アンフォールディング法を用いて線量率分布を求めた結果、2カ所のピークを精度良く再現でき、T L Dの測定結果と良く一致する結果が得られた。

5.3.2 保守作業エリアの空間線量率分布

(1) 2基の主中間熱交換器間の通路上

P S Fを用いて、2基の主I H X間をつなぐ通路上約1 mの高さで測定した空間線量率分布をT L Dの測定結果とともに図5.11に示す。

P S Fによる測定結果はT L Dの測定結果とよく一致し、作業エリアにおける γ 線量率の空間分布を詳細に把握することができた。2基の主I H Xは、その内部構造が大きく異なり、ナトリウムの流れが滞留するサブマージプレートや大型の熱応力緩衝用カバーを持つB号機に多くのC Pが付着していることが従来からの測定でも明らかとなっているが、P S Fによる連続分布測定により、C P付着量の違いによる γ 線量率分布への影響が定量的に把握でき、主I H X (A)室 (R-201)から主I H X (B)室 (R-204)に入室直後から γ 線量率が急上昇していることが確認された。また、これまで特に考慮していなかった1次補助冷却系のホットレグ配管 (ここでは定期検査期間中もナトリウムをドレンしていない) 内の ^{22}Na による γ 線量率への寄与も大きいことが本測定で明らかとなった。

(2) 1次主循環ポンプ室の通路上

図5.12に1次主循環ポンプ室 (R-206) の通路上約1 mの空間線量率分布を示す。1次主循環ポンプ室 (R-206) は、高所に1次主循環ポンプを含む多数の配管・機器があるが、その通路上は比較的低線量率 (約 $50\mu\text{Sv/h}$) であり、線量率分布にも大きな差異はなかった。しかし、主I H X (A)室 (R-201)に入室すると、P S F検出器の端がコールドレグ配管(1)の直下にくることもあり、 γ 線量率は急上昇することが確認された。また、部屋間の壁による γ 線の遮へい効果も明らかとなった。

(3) 1次主循環ポンプ周辺の垂直方向

図5.13に1次主循環ポンプ周辺 (R-206)の垂直方向の空間線量率分布を示す。

測定の結果、1次主循環ポンプ部で γ 線量率が高く、特に1次主循環ポンプの軸受け部でピークが確認された。一方、下部では線量率は低下し、(2)で述べた通路上 (P S F : 0 m位置) では 0.1mSv/h 以下となった。また、1次主循環ポンプ部では γ 線量率が急激に変化しており、アンフォールディングを行った結果、局所的な空間変化がよく再現できた。

表 5. 1 第11回定検時⁵⁴Mn付着密度測定結果

測定位置		測定日	計数率 (cps)	校正定数 (kBq/cm ² /cps)	付着密度 (kBq/cm ²)		
					測定時	原子炉停止時 (1994. 9. 20) への換算	
						計外値	平均値
A LOOP HOT LEG (R/V~IHX)	CP-001	1995. 10. 5	3. 52	1. 50	5. 27	12. 3	14. 5
	CP-002	1995. 10. 6	4. 24		6. 36	14. 8	
	CP-003-1	1995. 10. 6	1. 02		1. 53	* 3. 58	
	CP-003-2	1995. 10. 6	2. 42		3. 63	* 8. 46	
	CP-004	1995. 10. 9	4. 73		7. 10	16. 6	
	CP-005	1995. 10. 17	4. 52		6. 79	16. 2	
	CP-006	1995. 10. 24	3. 43		5. 14	12. 5	
A LOOP COLD LEG (IHX~PUMP)	CP-008-1	1995. 10. 17	8. 95	1. 07	9. 58	22. 9	32. 8
	CP-008-2	1995. 10. 17	10. 4		11. 1	26. 6	
	CP-009	1995. 10. 17	10. 7		11. 5	27. 5	
	CP-010	1995. 10. 13	2. 91		3. 11	* 7. 37	
	CP-011	1995. 10. 9	21. 6		23. 1	54. 2	
A LOOP COLD LEG (PUMP~R/V)	CP-013	1995. 10. 9	11. 7	1. 03	12. 1	28. 3	45. 7
	CP-014	1995. 10. 6	29. 2		30. 1	70. 1	
	CP-015	1995. 10. 5	16. 2		16. 7	38. 9	
B LOOP HOT LEG (R/V~IHX)	CP-No.1	1995. 10. 31	1. 79	1. 50	2. 69	6. 62	13. 3
	CP-No.2	1995. 10. 24	5. 49		8. 24	20. 0	
B LOOP COLD LEG (IHX~PUMP)	CP-No.3	1995. 10. 24	11. 6	1. 07	12. 4	30. 0	30. 0

注) *印のデータを外して平均値を算出した。

表 5. 2 第11回定検時⁶⁰Co付着密度測定結果

測定位置		測定日	計数率 (cps)	校正定数 (kBq/cm ² /cps)	付着密度 (kBq/cm ²)		
					測定時	原子炉停止時 (1994. 9. 20) への換算	
						計外値	平均値
A LOOP HOT LEG (R/V~IHx)	CP-001	1995. 10. 5	6. 57	1. 49	9. 79	11. 2	7. 86
	CP-002	1995. 10. 6	4. 20		6. 26	7. 18	
	CP-003-1	1995. 10. 6	4. 38		6. 53	7. 49	
	CP-003-2	1995. 10. 6	3. 35		4. 99	5. 72	
	CP-004	1995. 10. 9	5. 26		7. 83	8. 99	
	CP-005	1995. 10. 17	5. 91		8. 81	10. 1	
	CP-006	1995. 10. 24	2. 46		3. 67	4. 23	
A LOOP COLD LEG (IHx~PUMP)	CP-008-1	1995. 10. 17	3. 60	1. 13	4. 07	4. 69	5. 08
	CP-008-2	1995. 10. 17	4. 93		5. 57	6. 41	
	CP-009	1995. 10. 17	2. 52		2. 85	*3. 28	
	CP-010	1995. 10. 13	1. 74		1. 96	*2. 26	
	CP-011	1995. 10. 9	3. 19		3. 60	4. 14	
A LOOP COLD LEG (PUMP~R/V)	CP-013	1995. 10. 9	2. 89	1. 06	3. 07	3. 52	6. 67
	CP-014	1995. 10. 6	4. 77		5. 05	5. 80	
	CP-015	1995. 10. 5	8. 79		9. 32	10. 7	
B LOOP HOT LEG (R/V~IHx)	CP-No.1	1995. 10. 31	6. 82	1. 49	10. 2	11. 8	20. 7
	CP-No.2	1995. 10. 24	17. 3		25. 7	29. 7	
B LOOP COLD LEG (IHx~PUMP)	CP-No.3	1995. 10. 24	9. 20	1. 13	10. 4	12. 0	12. 0

注) *印のデータを外して平均値を算出した。

表 5. 4 第11回定検時 1次主冷却系配管 (B) 表面線量率分布の測定結果

単位: mSv/h

	測定ポイント	距離(m)	No.1	No.2	No.3	No.4	平均値
Hot Leg	26	24.076	1.13E-01	1.97E-01	9.70E-02	2.16E-01	1.56E-01
	27	25.076	8.45E-02	1.47E-01	8.72E-02	1.44E-01	1.16E-01
	28	26.076	7.28E-02	1.96E-01	9.43E-02	1.67E-01	1.33E-01
	29	26.776	4.51E-01	7.44E-01	1.20E-01	7.92E-02	3.49E-01
	30	27.476	3.38E-01	8.49E-01	2.49E-01	2.67E-01	4.26E-01
	31	28.251	6.78E-01	1.00E+00	5.01E-01	7.08E-01	7.22E-01
	32	29.026	1.66E+00	3.77E+00	1.32E+00	6.56E+00	3.33E+00
	33	29.926	3.57E+00	4.11E+00	2.78E+00	1.24E+01	5.72E+00
Cold Leg(1)	34	34.926	1.98E+00	2.81E+00	1.98E+00	1.77E+00	2.13E+00
	35	35.926	3.29E-01	6.71E-01	4.98E-01	2.98E-01	4.49E-01
	36	37.806	2.62E-01	3.14E-01	2.89E-01	2.03E-01	2.67E-01
	37	38.246	2.18E-01	3.20E-01	2.37E-01	1.49E-01	2.31E-01
	38	38.886	3.26E-01	3.68E-01	3.08E-01	2.74E-01	3.19E-01
	39	39.702	2.37E-01	2.85E-01	2.97E-01	2.01E-01	2.55E-01
	40	40.518	2.44E-01	2.75E-01	2.14E-01	2.38E-01	2.43E-01

表 5. 5 第11回定検時主中間熱交換器 (A) 表面線量率分布の測定結果

単位 : mSv/h

測定ポイント	距離(cm)	A方向	C方向	E方向	G方向	平均値
1	0	2.82E-02	3.53E-02	2.65E-02	2.40E-02	2.85E-02
2	20	6.18E-02	6.22E-02	4.38E-02	5.07E-02	5.46E-02
3	40	1.63E-01	1.21E-01	1.00E-01	1.03E-01	1.22E-01
4	60	2.22E-01	1.48E-01	1.48E-01	1.59E-01	1.69E-01
5	80	3.20E-01	2.26E-01	2.28E-01	2.12E-01	2.47E-01
6	100	3.45E-01	2.93E-01	2.88E-01	2.77E-01	3.01E-01
7	120	4.20E-01	3.35E-01	3.22E-01	3.60E-01	3.59E-01
8	140		3.85E-01	3.62E-01	3.80E-01	3.76E-01
9	160		3.88E-01	3.71E-01	3.84E-01	3.81E-01
10	180		4.03E-01	4.34E-01	3.82E-01	4.06E-01
11	200		4.48E-01	5.49E-01	4.56E-01	4.84E-01
12	220		4.67E-01	7.95E-01	5.20E-01	5.94E-01
13	240	6.62E-01	4.82E-01	1.05E+00	5.61E-01	6.89E-01
14	260	5.93E-01	5.17E-01	9.44E-01	5.60E-01	6.54E-01
15	280	5.16E-01	4.38E-01	8.23E-01	5.06E-01	5.71E-01
16	300	5.49E-01	4.00E-01	5.69E-01	4.45E-01	4.91E-01
17	320	6.36E-01	4.64E-01	5.46E-01	4.93E-01	5.35E-01
18	340	6.66E-01	6.35E-01	6.72E-01	6.50E-01	6.56E-01
19	360	9.91E-01	8.82E-01	1.03E+00	8.80E-01	9.46E-01
20	380	1.42E+00	1.24E+00	1.55E+00	1.24E+00	1.36E+00
21	400	1.93E+00	1.94E+00	2.19E+00	1.57E+00	1.91E+00
22	420	1.41E+00	1.64E+00	2.10E+00	1.32E+00	1.62E+00
23	440	9.44E-01	7.87E-01	9.47E-01	8.12E-01	8.73E-01
24	460	4.75E-01	3.86E-01	4.75E-01	4.83E-01	4.55E-01
25	480	4.10E-01	3.50E-01	3.63E-01	3.38E-01	3.65E-01
26	500	3.10E-01	2.73E-01	2.97E-01	3.48E-01	3.07E-01
27	520	2.50E-01	1.98E-01	2.32E-01	2.61E-01	2.35E-01
28	540	2.44E-01	1.79E-01	2.14E-01	2.32E-01	2.17E-01
29	560	2.55E-01	2.00E-01	2.26E-01	2.25E-01	2.27E-01
30	580	1.82E-01	1.81E-01	2.18E-01	2.15E-01	1.99E-01
31	600	2.86E-01	2.60E-01	3.10E-01	3.03E-01	2.90E-01
32	620	3.91E-01	3.90E-01	3.88E-01	4.23E-01	3.98E-01
33	640	4.96E-01	4.74E-01	5.14E-01	4.95E-01	4.95E-01
34	660	5.75E-01	5.76E-01	5.59E-01	6.05E-01	5.79E-01
35	680	4.49E-01	4.47E-01	4.35E-01	4.21E-01	4.38E-01
36	700	3.22E-01	3.31E-01	3.00E-01	2.92E-01	3.11E-01
37	720	2.67E-01	2.44E-01	2.47E-01	2.47E-01	2.51E-01
38	740	2.34E-01	2.24E-01	2.26E-01	2.00E-01	2.21E-01

表 5. 6 第11回定検時主中間熱交換器 (B) 表面線量率分布の測定結果

単位 : mSv/h

測定ポイント	距離(cm)	A方向	C方向	E方向	G方向	平均値
1	0.0	1.11E+00	3.09E-01	3.30E-01	5.13E-01	5.66E-01
2	18.4	1.73E+00	3.64E-01	5.18E-01	5.96E-01	8.02E-01
3	36.8	2.68E+00	4.61E-01	8.58E-01	9.88E-01	1.25E+00
4	55.2	4.08E+00	1.06E+00	1.29E+00	1.34E+00	1.94E+00
5	73.6	7.16E+00	1.53E+00	1.68E+00	1.77E+00	3.04E+00
6	92.0	1.21E+01	2.42E+00	2.16E+00	2.35E+00	4.76E+00
7	110.4		2.32E+00	1.16E+00	2.79E+00	2.09E+00
8	128.8		1.03E+00	1.13E+00	1.20E+00	1.12E+00
9	147.2		9.84E-01	1.05E+00	1.01E+00	1.01E+00
10	165.6		8.70E-01	9.48E-01	6.30E-01	8.16E-01
11	184.0	5.17E+00	6.63E-01	9.25E-01	6.51E-01	1.85E+00
12	202.4	3.09E+00	6.65E-01	9.30E-01	7.72E-01	1.36E+00
13	220.8	2.19E+00	6.25E-01	1.05E+00	7.86E-01	1.16E+00
14	239.2	1.45E+00	8.04E-01	1.36E+00	1.08E+00	1.17E+00
15	257.6	1.18E+00	1.17E+00	1.79E+00	1.62E+00	1.44E+00
16	276.0	8.39E-01	9.79E-01	9.21E-01	1.59E+00	1.08E+00
17	294.4	6.50E-01	7.17E-01	7.40E-01	7.82E-01	7.22E-01
18	391.2	1.15E+00	1.91E+00	3.68E+00	1.79E+00	2.13E+00
19	403.1	9.47E-01	2.10E+00	3.93E+00	1.55E+00	2.13E+00
20	415.0	7.93E-01	1.61E+00	3.26E+00	1.05E+00	1.68E+00
21	426.9	4.77E-01	9.08E-01	1.78E+00	6.86E-01	9.63E-01
22	438.8	3.36E-01	5.83E-01	1.48E+00	7.13E-01	7.78E-01
23	450.7	3.40E-01	5.49E-01	1.28E+00	9.52E-01	7.80E-01
24	462.6	4.05E-01	7.40E-01	1.90E+00	1.40E+00	1.11E+00
25	474.5	4.52E-01	1.28E+00	2.93E+00	1.38E+00	1.51E+00
26	486.4	4.25E-01	1.00E+00	2.15E+00	1.46E+00	1.26E+00
27	498.3	5.40E-01	6.65E-01	3.85E+00	1.64E+00	1.67E+00
28	510.2	4.98E-01	1.47E+00	4.91E+00	1.76E+00	2.16E+00
29	522.1	4.40E-01	1.68E+00	5.12E+00	1.81E+00	2.26E+00
30	534.0	5.06E-01	1.79E+00	4.63E+00	1.75E+00	2.17E+00
31	545.9	6.69E-01	2.28E+00	5.14E+00	2.27E+00	2.59E+00
32	557.8	1.03E+00	2.76E+00	6.72E+00	2.67E+00	3.30E+00
33	569.7	1.51E+00	3.28E+00	7.21E+00	3.19E+00	3.80E+00
34	581.6	2.35E+00	4.50E+00	8.67E+00	4.17E+00	4.92E+00
35	593.5	3.23E+00	4.93E+00	8.62E+00	5.05E+00	5.46E+00
36	605.4	3.47E+00	4.96E+00	7.08E+00	4.58E+00	5.02E+00
37	617.3	2.91E+00	3.82E+00	5.33E+00	3.79E+00	3.96E+00
38	629.2	2.68E+00	2.98E+00	3.68E+00	2.77E+00	3.03E+00
39	641.1	1.96E+00	2.15E+00	2.51E+00	1.75E+00	2.09E+00

表 5.7 第11回定検時主循環ポンプ（A）表面線量率分布の測定結果

単位：mSv/h

測定ポイント	距離(cm)	A方向	C方向	E方向	G方向	平均値
1	0	1.03E-01				1.03E-01
2	10	1.14E-01			2.58E-01	1.86E-01
3	20	1.35E-01			2.70E-01	2.03E-01
4	30	1.75E-01			3.12E-01	2.44E-01
5	40	2.00E-01			3.49E-01	2.75E-01
6	50	2.27E-01			3.58E-01	2.93E-01
7	60	2.74E-01			4.89E-01	3.82E-01
8	70	3.10E-01			6.17E-01	4.64E-01
9	80	3.80E-01	5.30E-01		7.55E-01	5.55E-01
10	90	4.36E-01	6.19E-01		9.45E-01	6.67E-01
11	100	5.93E-01	7.84E-01		1.11E+00	8.29E-01
12	110	6.58E-01	7.77E-01	2.18E+00	1.18E+00	1.20E+00
13	120	7.91E-01	7.42E-01	2.20E+00	1.15E+00	1.22E+00
14	130	8.42E-01	8.70E-01	1.68E+00	1.03E+00	1.11E+00
15	140	7.62E-01	7.43E-01	1.10E+00	8.62E-01	8.67E-01
16	150	8.20E-01	5.78E-01	9.00E-01	7.24E-01	7.56E-01
17	160	7.91E-01	5.12E-01	8.34E-01	6.35E-01	6.93E-01
18	170		4.53E-01	6.90E-01	5.69E-01	5.71E-01
19	180		4.93E-01	6.79E-01	5.26E-01	5.66E-01
20	190		4.12E-01	5.79E-01	5.00E-01	4.97E-01
21	200		3.87E-01	5.65E-01	4.47E-01	4.66E-01
22	210		3.44E-01	4.97E-01	4.09E-01	4.17E-01
23	220		2.92E-01	4.62E-01	3.52E-01	3.69E-01
24	230	5.23E-01	2.73E-01	4.38E-01	3.50E-01	3.96E-01
25	240	4.74E-01	2.56E-01	4.12E-01	3.36E-01	3.70E-01
26	250	4.61E-01	2.55E-01	3.60E-01	3.23E-01	3.50E-01
27	260	3.88E-01	2.66E-01	2.63E-01	3.29E-01	3.12E-01
28	270	4.25E-01	3.02E-01	2.94E-01	3.64E-01	3.46E-01
29	280	4.56E-01	3.72E-01	3.28E-01	4.62E-01	4.05E-01
30	290	4.41E-01	4.34E-01	3.60E-01	5.03E-01	4.35E-01
31	300	3.81E-01	3.79E-01	4.05E-01	4.52E-01	4.04E-01
32	310	3.27E-01	3.17E-01	4.78E-01	4.24E-01	3.87E-01
33	320	2.96E-01	3.04E-01	4.02E-01	3.85E-01	3.47E-01
34	330	2.90E-01	2.76E-01	3.57E-01	3.25E-01	3.12E-01
35	340	2.89E-01	2.63E-01	3.41E-01	2.96E-01	2.97E-01

表 5. 8 第11回定検時オーバフローコラム（A）表面線量率分布の測定結果

単位：mSv/h

測定ポイント	No.1	No.2	No.3	No.4	平均値
C	5.08E-01	4.82E-01	6.45E-01	6.34E-01	5.67E-01
D	7.25E-01	6.79E-01	7.51E-01	9.40E-01	7.74E-01
E	2.86E-01	2.96E-01	2.65E-01	2.36E-01	2.71E-01
F	1.99E-01	1.34E-01	1.60E-01	1.87E-01	1.70E-01
G	6.62E-01	8.92E-01	1.02E+00	5.31E-01	7.76E-01
H	3.50E-01	5.90E-01	2.81E-01	3.00E-01	3.80E-01
I	5.37E-01	7.66E-01	9.08E-01	3.36E-01	6.37E-01
J	4.10E-01	4.14E-01	4.71E-01	5.01E-01	4.49E-01
K	2.89E-01	3.78E-01	2.84E-01	4.28E-01	3.45E-01
L	2.48E-01	2.63E-01	2.38E-01	2.91E-01	2.60E-01
N	5.27E-01	5.95E-01	1.06E+00	5.40E-01	6.81E-01
P	8.59E-01	7.81E-01	8.74E-01	1.13E+00	9.11E-01
M	6.35E-01	5.07E-01	5.84E-01	7.58E-01	6.21E-01

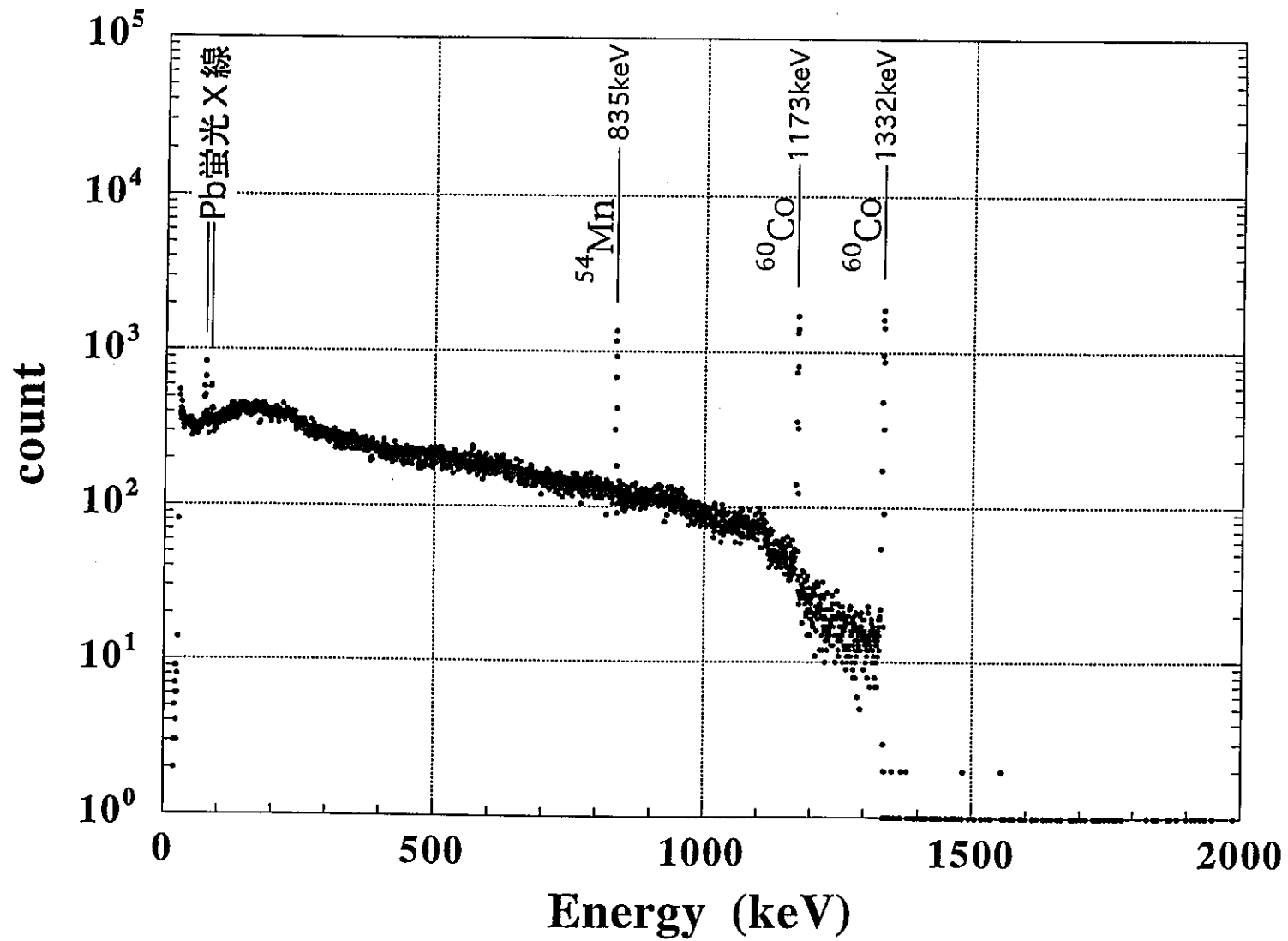


図 5. 1 1 次主冷却系配管表面の Ge 半導体検出器による γ 線スペクトル例
(ホットレグ部)

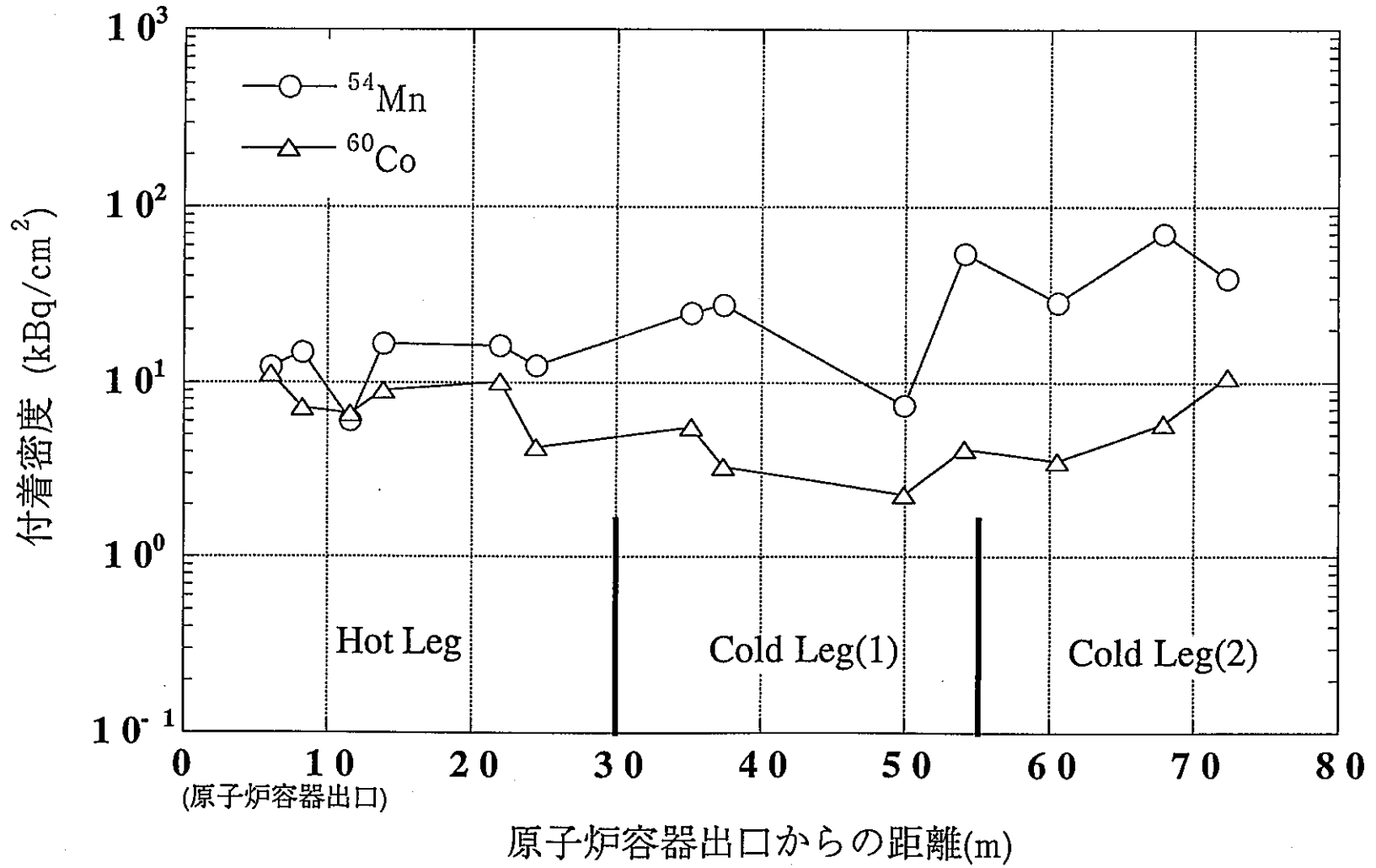


図5.2 第11回定検時C P測定位置と付着量の関係

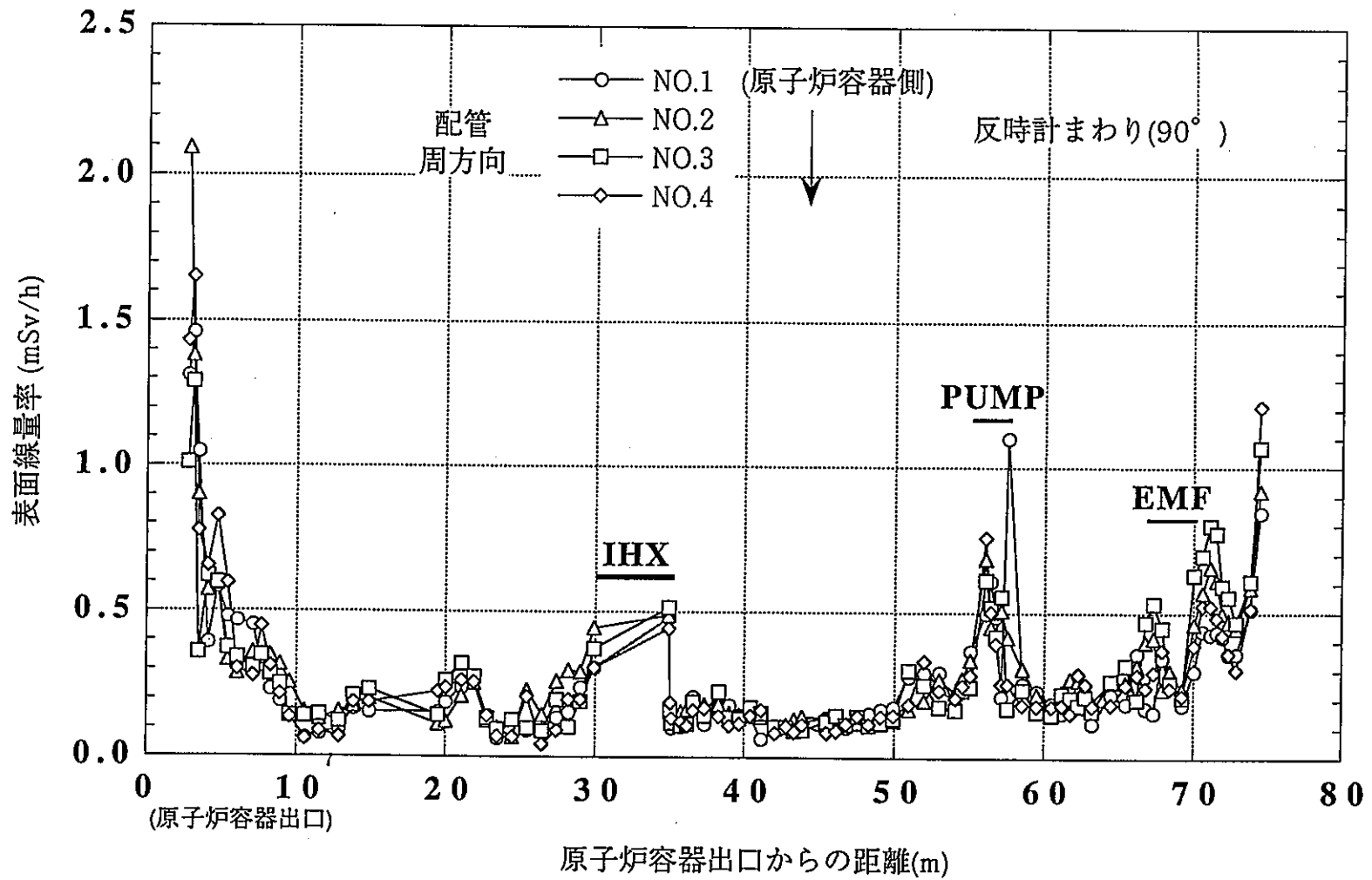


図5.3 第11回定検時1次主冷却系配管(A)の表面線量率分布

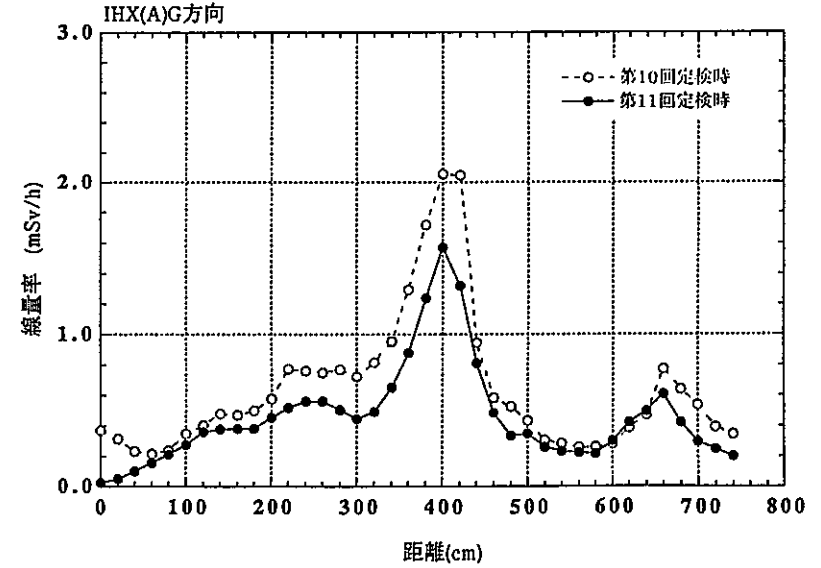
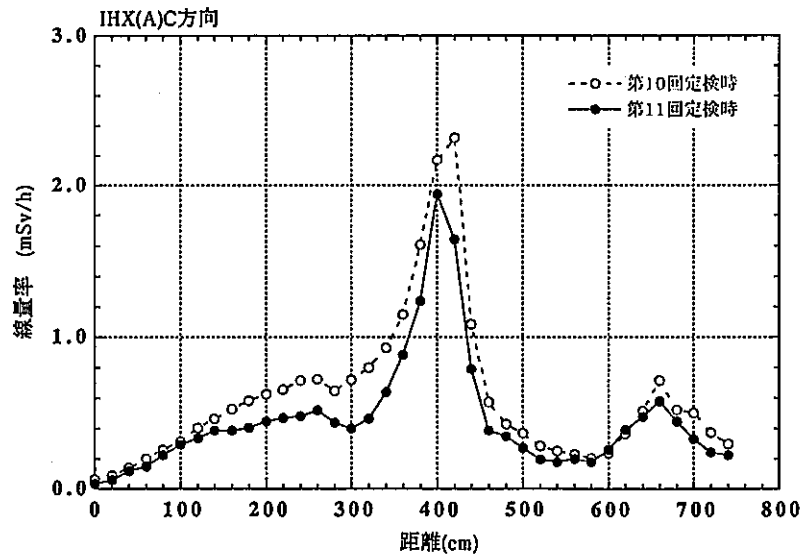
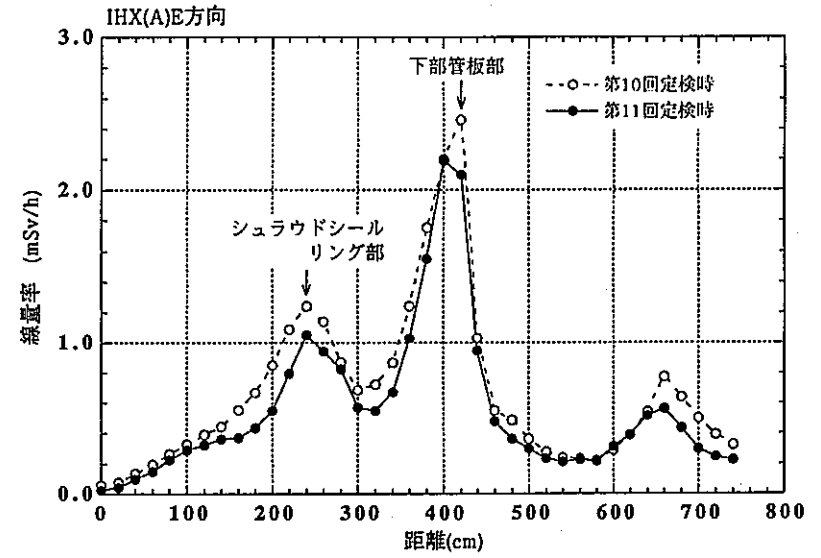
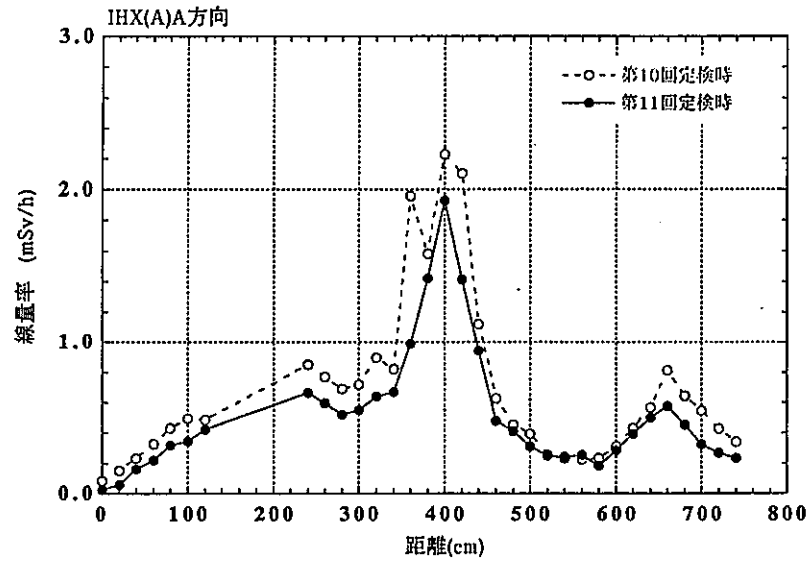


図 5. 4 第11回定検時主中間熱交換器 (A) の表面線量率分布

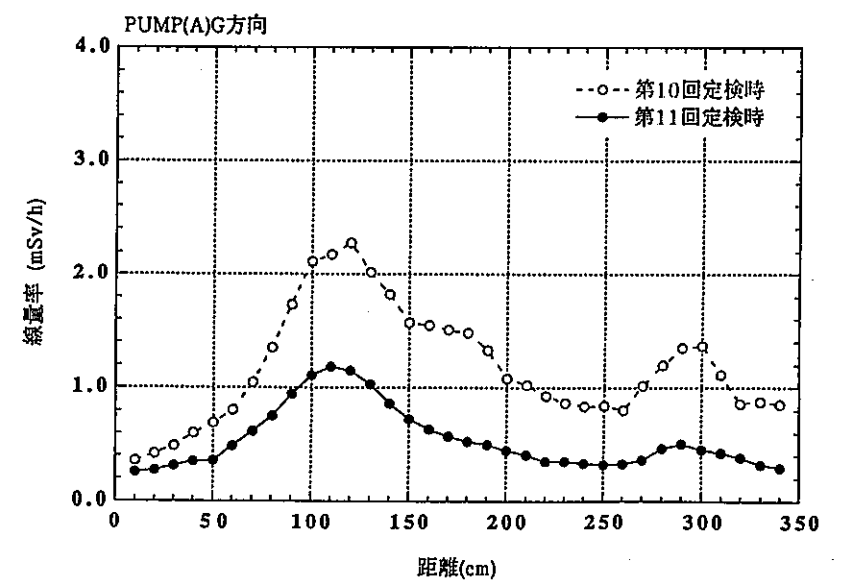
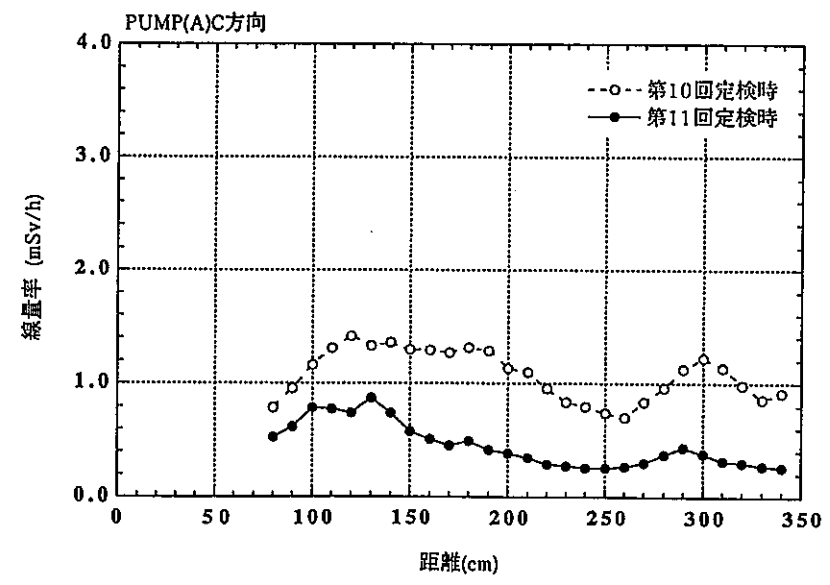
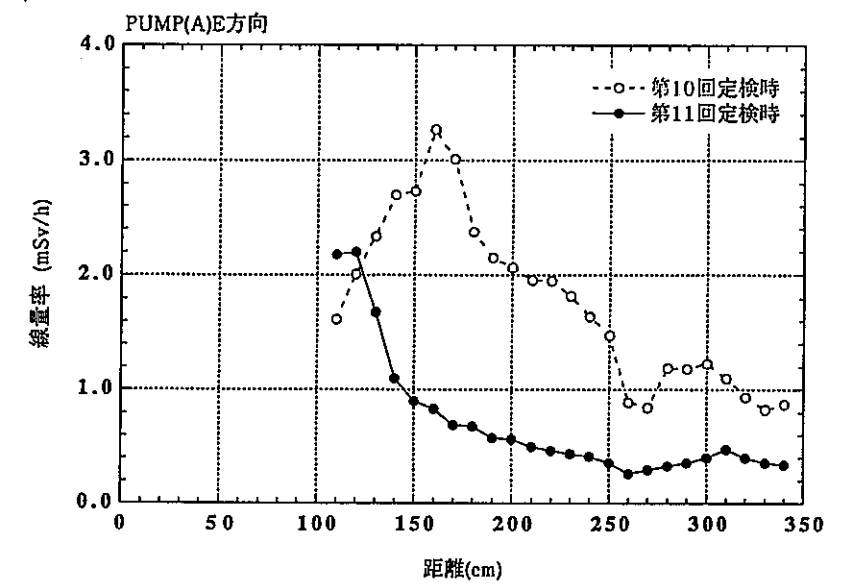
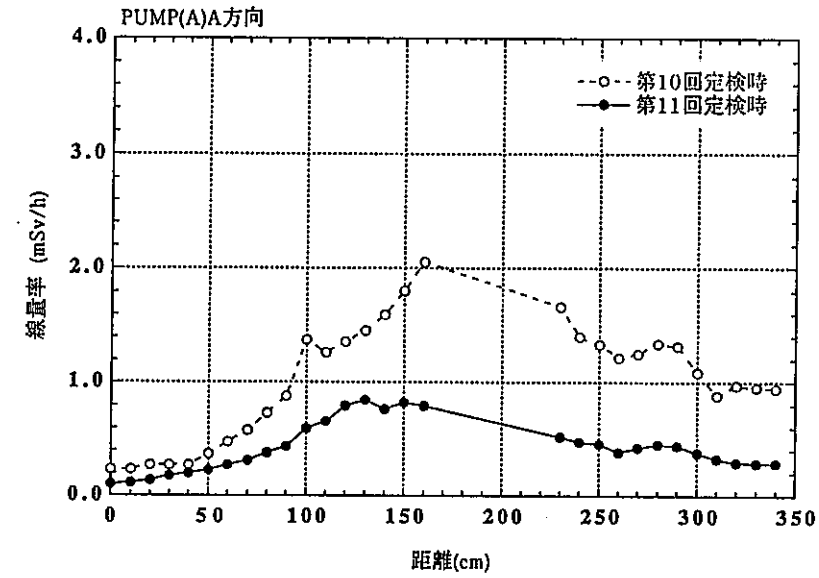


図 5.5 第11回定検時主循環ポンプ (A) の表面線量率分布

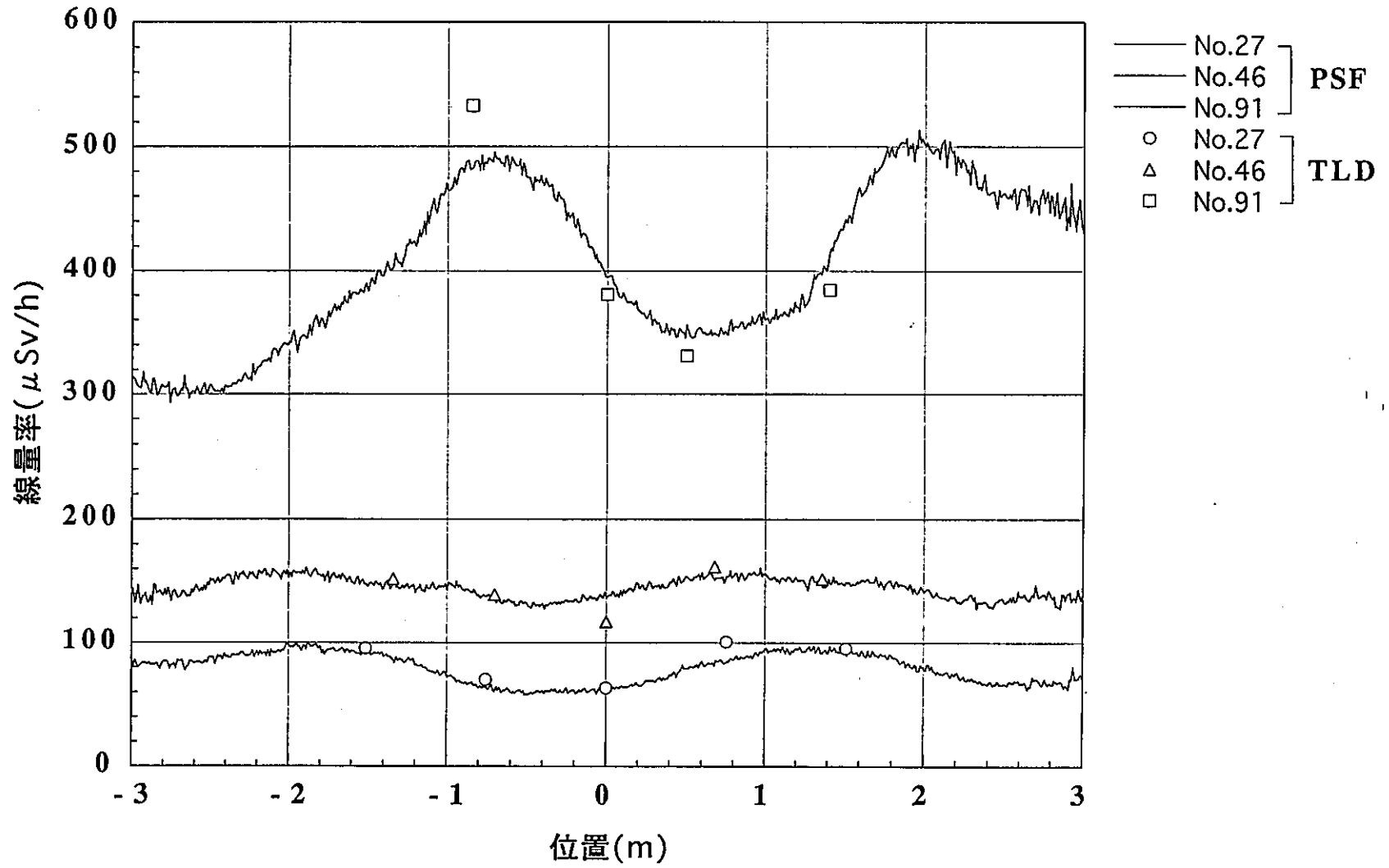


図5.6 1次主冷却系配管周方向の表面線量率分布

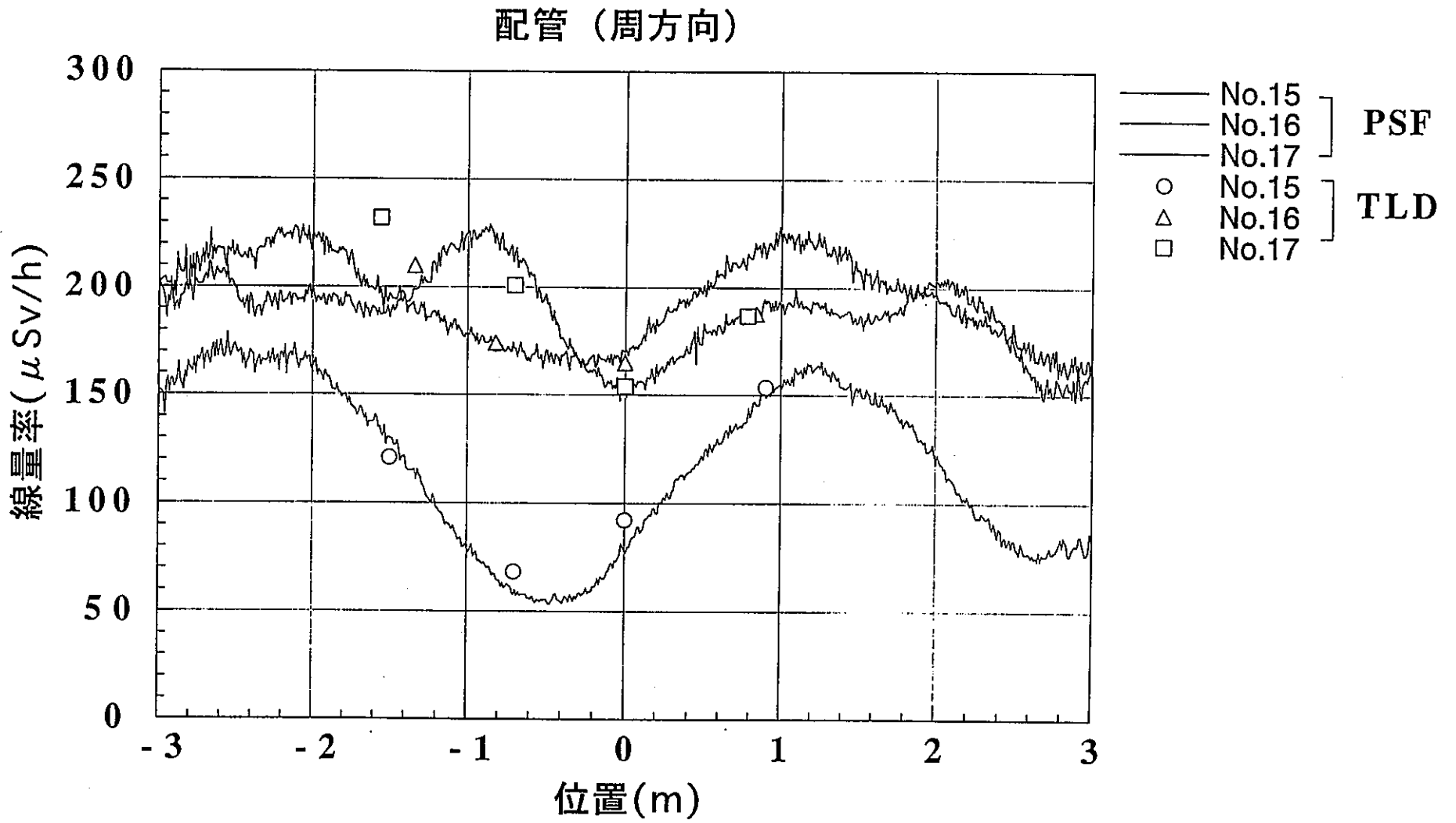


図5.7 1次主冷却系配管エルボ部周方向の表面線量率分布

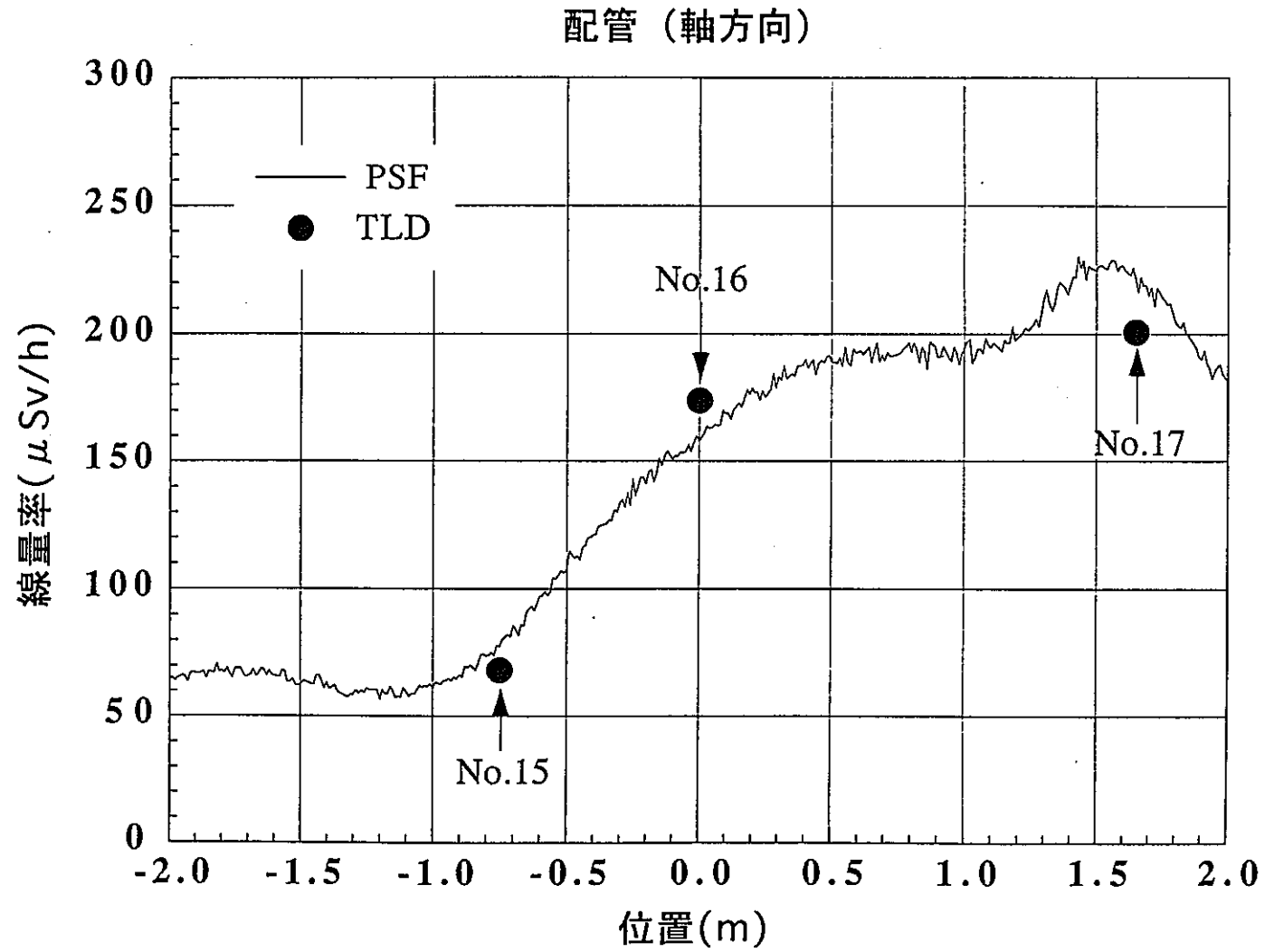


図5.8 1次主冷却系配管エルボ部軸方向の表面線量率分布

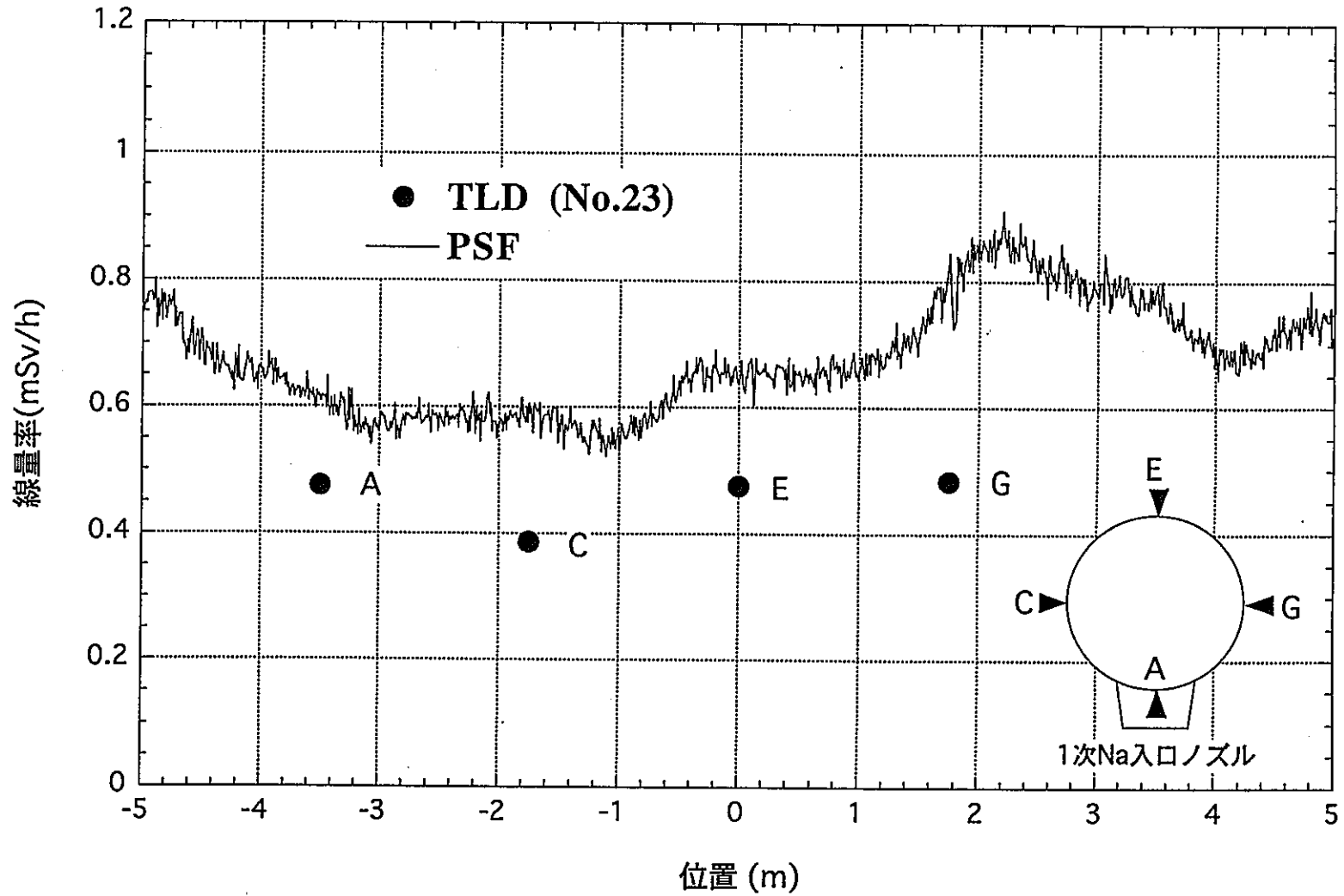


図 5.9 中間熱交換器 (A) の周方向 (IHX No. 23) の表面線量率分布

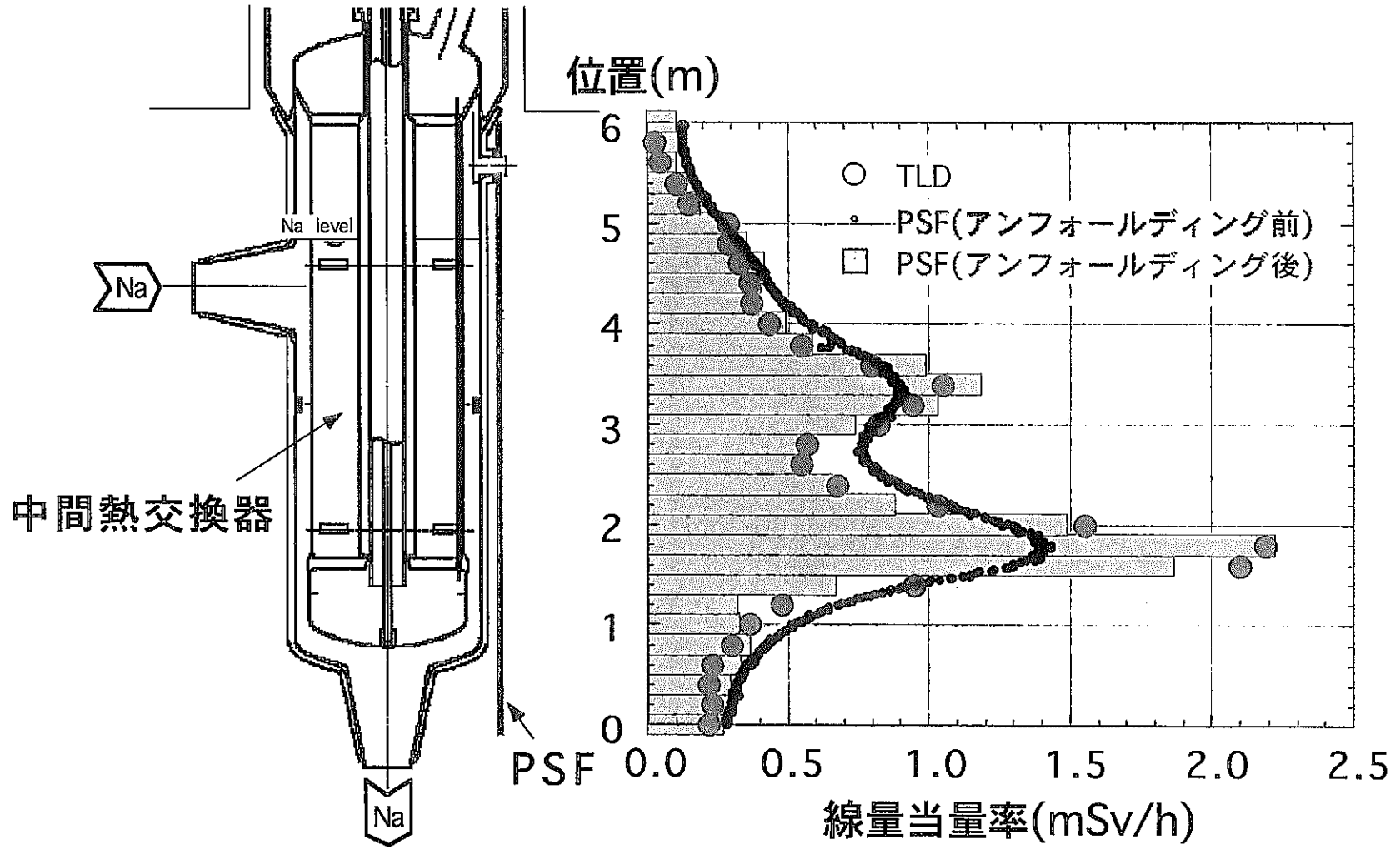


図5.10 中間熱交換器(A)の垂直方向(C方位)の表面線量率分布

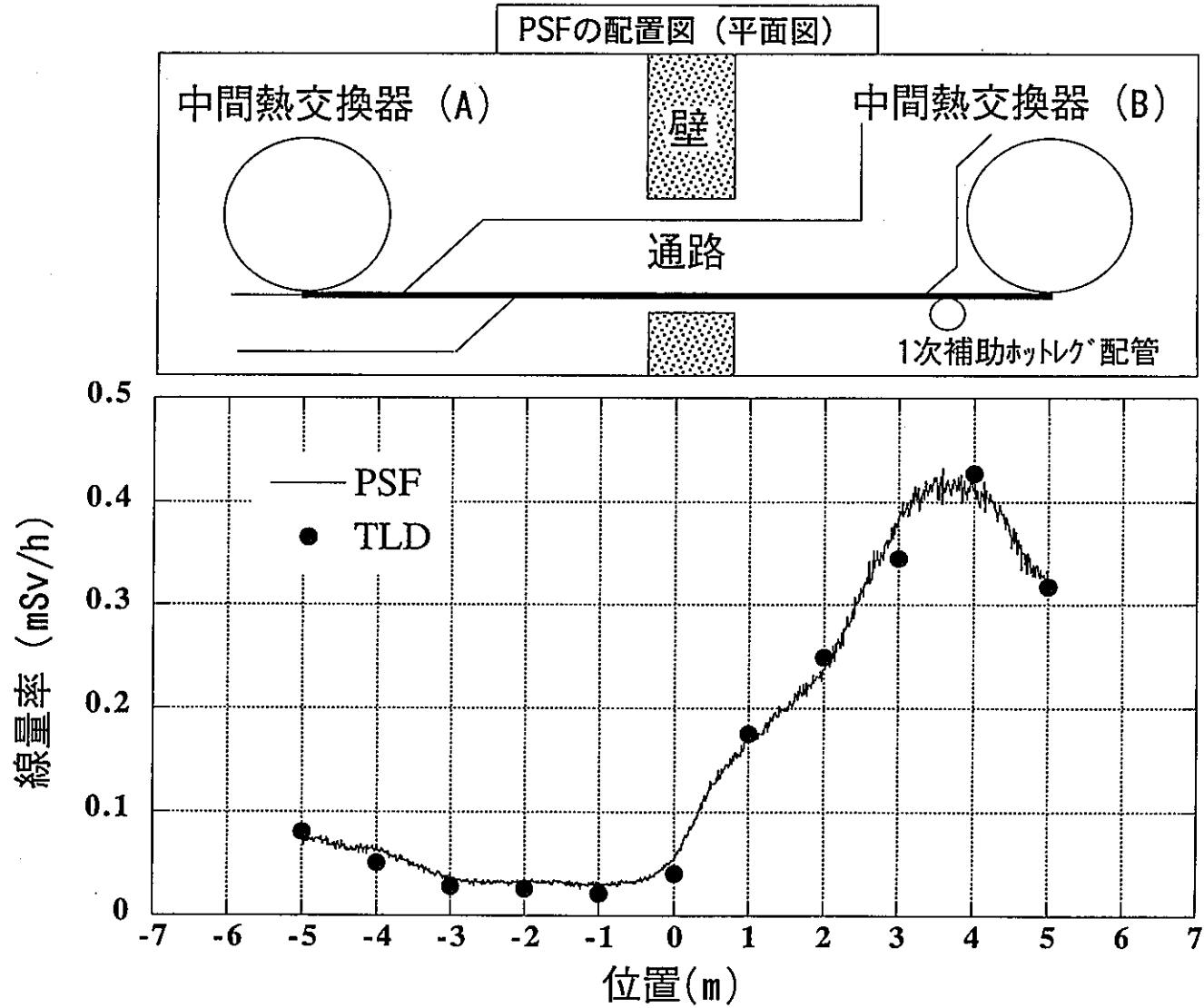


図 5.11 中間熱交換器間の通路上 (約 1 m) の空間線量率分布

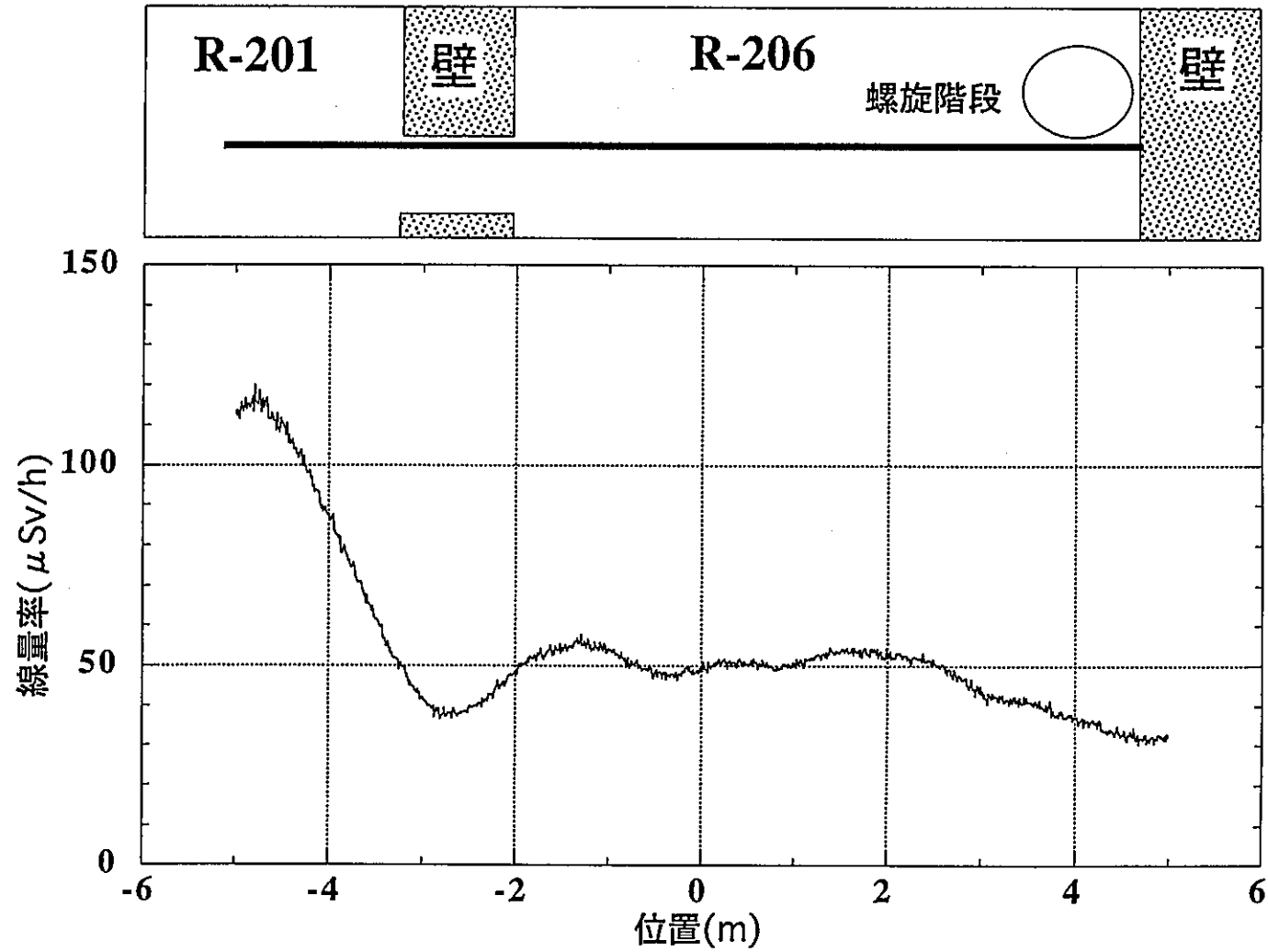


図5.12 1次主循環ポンプ室の通路上(約1 m)の空間線量率分布

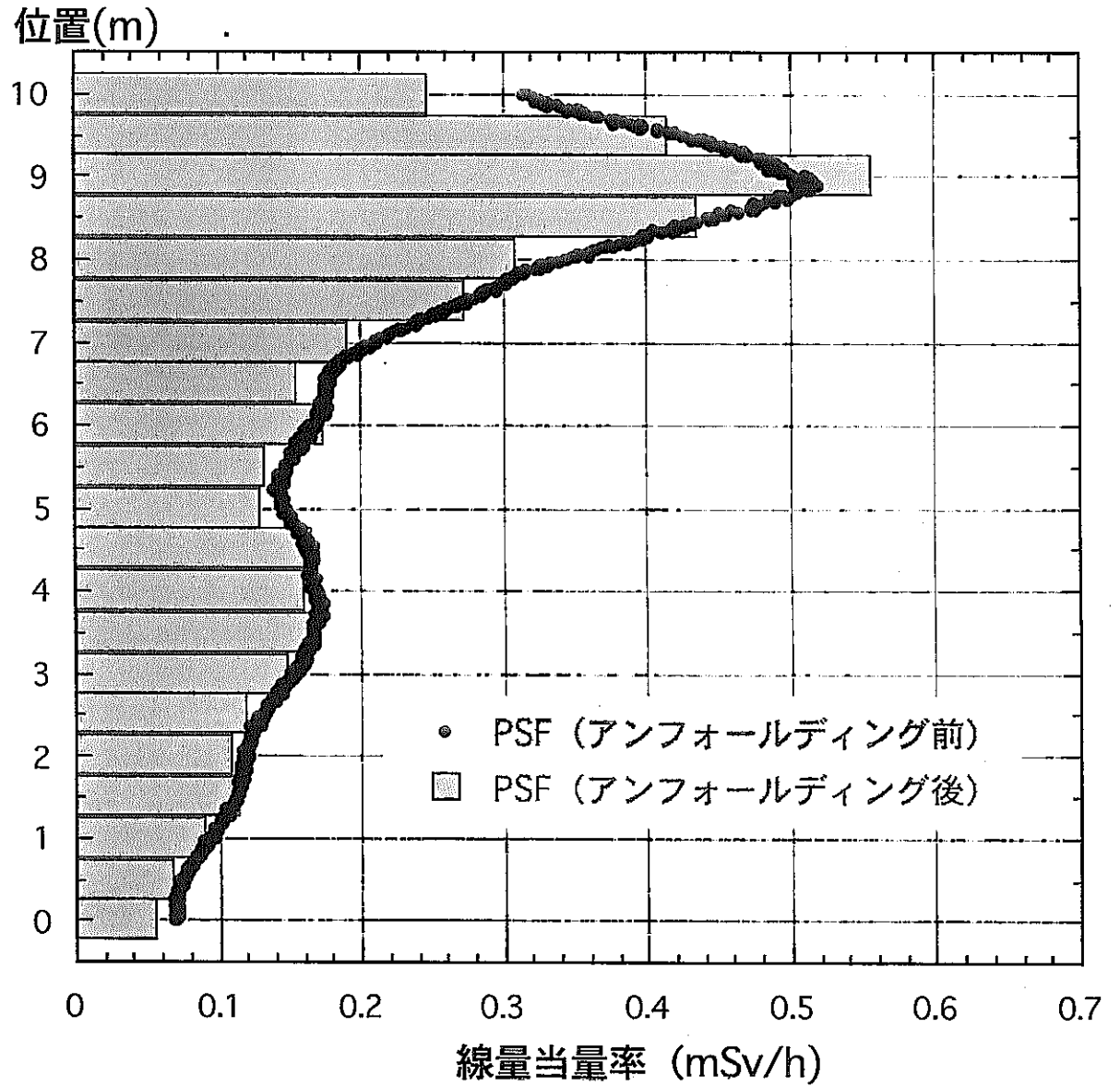
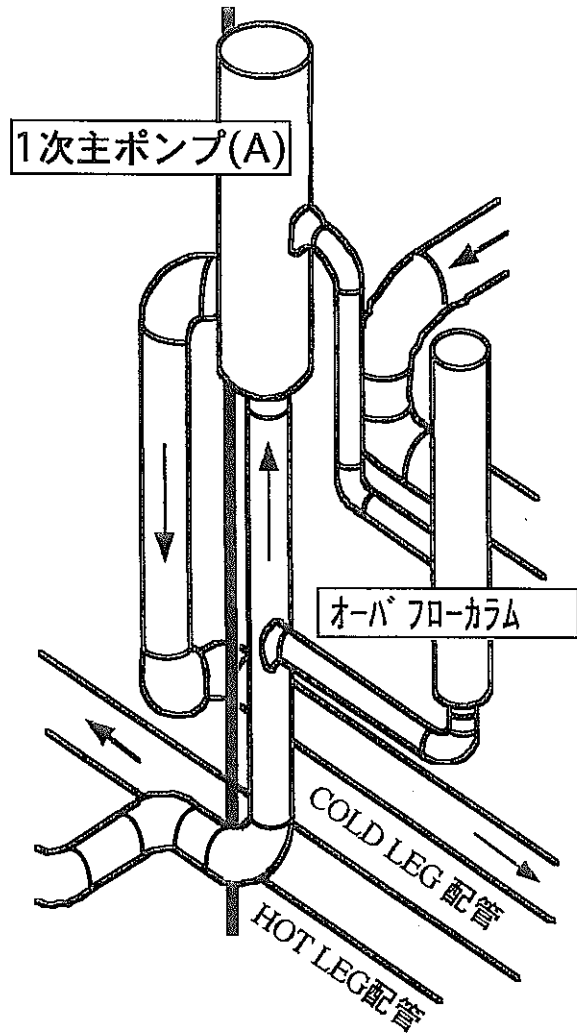


図5.13 1次主循環ポンプ周辺の垂直方向の空間線量率分布

6. 評 価

6.1 CP付着分布の推移

「常陽」1次主冷却系配管（Aループ）のCP付着分布について第3回～第11回定期検査期間中の測定データの推移を表6.1、図6.1および図6.2に示す。 ^{54}Mn の付着分布については、ホットレグ（HL）では緩やかに上昇した後飽和に達しているが、コールドレグ（CL）では最初に急激に上昇した後、4～4.5運転実効年（EFPY）を経過した第9回定期検査時で飽和レベルに達している。一方、 ^{60}Co の付着分布については、CLおよびHLともに同程度の上昇を示し、第7回定期検査時から飽和傾向を示している。

「溶解析出モデル」によりCPの移行挙動を推定すると、 ^{54}Mn は冷却系内を溶解種（Soluble Species）として移行し、HLでは管壁中拡散、CLでは管壁面上での合金粒子の形成が主な付着機構であると考えられる。また、 ^{60}Co については、全領域にわたり合金粒子の管壁表面への析出による付着が考えられており⁽¹⁾、CP挙動評価コード“PSYCHE”の解析でもこの傾向が示されている。また、 ^{54}Mn および ^{60}Co の付着密度は、ともにCL(2)の方がCL(1)より大きい、これは流速の違い（CL(1)：2.3 m/s、CL(2)：4.8 m/s）によるものと考えられる。

各領域ごとの ^{54}Mn および ^{60}Co の付着密度の平均値の推移を図6.2に示す。 ^{54}Mn の付着密度は図6.2.1に示すようにCL(2)、CL(1)、HLの順に高く、いずれの領域でも第8回定期検査時（原子炉積算出力130,221MWd（3.6 EFPY））で最大値を示した後、150,004MWd（4.1 EFPY）の第9回、167,951MWd（4.6 EFPY）の第10回定期検査と減少傾向を示した。今回測定した第11回定期検査時（171,160MWd（4.7 EFPY））では、第10回定期検査以降の原子炉運転が少なく、積算中性子フルエンスが小さかったことにより、新たなCPの生成が少なかったため、付着密度がさらに減少した。これを考慮すると、 ^{54}Mn のビルドアップは4～4.5 EFPY経過の時点で飽和に達したと考えられる。一方、 ^{60}Co の付着密度は、図6.2.2に示すようにHL、CL(2)、CL(1)の順に高く、今回の測定では上記の理由により減少しているが、 ^{54}Mn より半減期が長い、その程度はわずかであり、全体として飽和傾向がみられる。

なお、第3回と第4回定期検査期間中および第5回と第6回定期検査期間中においてCP付着密度が急激に上昇しているが、この原因は3.2で述べたように、原子炉運

転時の1次冷却材中の酸素濃度の上昇に起因するものと考えられる。すなわち、第6回定期検査期間中にコールドトラップが交換され、本格運転に入った第7回定期検査以降、1次冷却材ナトリウム中の酸素濃度約1.7ppmで運転されているのに対して、上記の定期検査間の原子炉運転時には3ppm以上で運転されていた。

6.2 機器・配管表面の γ 線量率の推移

各領域ごとの1次主配管表面の γ 線量率の平均値の推移を表6.2および図6.3に示す。これまでの測定において、原子炉停止から測定時までの冷却期間は、短い場合で40日（第7回定期検査）、長い場合で170日（第3回定期検査）であったが、今回の測定では、378日と従来以上に冷却期間が長かったため、主に ^{54}Mn の減衰により γ 線量率は大きく減少した。今回の γ 線量率レベルは、CL(2)で約0.4mSv/h、CL(1)で約0.2mSv/h、HLで約0.3mSv/hであり、 ^{60}Co の付着割合が比較的高いHLに比べて、 ^{54}Mn の付着が大部分を占めるCL(1)、CL(2)では、 γ 線量率が大きく低下している。

次に、機器表面の γ 線量率の推移については、主IHX(A)では、第8回定期検査時の測定までは増加したが、第9回定期検査期間中の測定では減少し、第10回定期検査期間中の測定では同程度であり、今回の測定では、冷却期間が長いため減少した（ナトリウム流入部：0.4mSv/h、中間部：0.6mSv/h、下部プレナム部：1.6mSv/h）。また、Aループの主循環ポンプは、第8回定期検査時の測定までは増加がみられたが、第9回～第10回定期検査時では同程度であり、コールドレグに位置することから、今回の測定ではCL配管表面と同様の理由により大きく減少した（オーバフローノズル部0.8mSv/h、軸受け部0.9mSv/h、吐出ノズル部0.5mSv/h）。以上のように、機器表面の γ 線量率レベルも、1次主配管のCP付着分布と同様の傾向を示した。

6.3 γ 線量率分布測定へのPSFの適用性⁽⁶⁾

PSFは、TLDの測定結果と良く一致し、測定時の取扱いも比較的容易であることから、今後の γ 線量率分布測定ではPSFによる測定を主体としていく予定である。検出器の分解能より狭い範囲での γ 線量率の空間変化に対しては、アンフォールディング法により入射 γ 線分布が精度良く再現でき、最大10mまでの γ 線量率の連続分布が短時間（数分間）で測定できた。また、形状が長尺・短径で、可撓性に優れている特長を活かして、狭隘で人のアクセスが容易でない保守作業エリアについても、 γ 線量率分布が詳細に測定でき、空間線量率のデータを大幅に拡充することができた。

表 6.1 1 次主冷却系配管 (A) の CP 付着密度の推移 (1 / 2)

(単位: kBq/cm²)

測定領域	測定位置	第 3 回定検 (Mk - I) (1981. 12. 23)			第 4 回定検 (Mk - II) (1983. 12. 3)			第 5 回定検 (Mk - II) (1985. 5. 1)			第 6 回定検 (Mk - II) (1986. 12. 6)			第 7 回定検 (Mk - II) (1988. 9. 7)		
		⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co
ホット レグ 配管	CP-001	19.6	1.75	—	—	—	—	27.3	5.48	—	31.3	10.2	—	27.8	11.3	0.892*
	002	14.8	0.999	—	19.9	2.68	—	28.6	3.39	—	38.2	5.77	—	26.6	5.96	1.29*
	003(1)	2.27*	2.25	—	3.77*	7.07	—	6.40*	5.74	—	9.73*	13.4	—	8.70*	10.4	2.25
	003(2)	7.59*	1.10	—	10.8*	2.89	—	17.1*	2.87	—	23.8*	5.96	—	15.0*	5.44	1.71
	004	19.7	1.75	—	22.8	4.22	—	34.0	4.14	—	41.9	10.3	—	30.6	8.70	—
	005	17.8	1.51	—	20.9	4.11	—	28.2	8.33	—	40.5	13.0	—	26.0	8.25	—
	006	13.2	0.477	—	16.5	1.81	—	25.3	2.42	—	30.7	3.35	—	27.4	3.36	1.67
領域平均 ¹⁾	17.0	1.40	—	20.1	3.80	—	28.7	4.62	—	36.5	8.84	—	27.7	7.62	1.88	
IHX	CP-007 ²⁾													18.2	3.02	—
コ ー ル ド レ 配 管 (1)	CP-008(1)	5.88	0.429	—	13.5	2.85	—	26.8	3.70	—	47.7	4.03	—	49.5	3.81	1.05*
	008(2)	6.14	0.396	—	13.2	2.23	—	26.7	3.62	—	51.1	3.77	—	55.3	3.70	1.41*
	009	7.66	0.318	—	14.4	1.23	—	30.6	2.37	—	57.2	1.34*	—	44.2	1.24*	1.47*
	010													8.47*	0.918*	—
	011	7.36	0.352	—	15.1	1.19	—	37.0	1.33	—	55.5	4.14	—	59.5	3.40	0.607*
領域平均 ¹⁾	6.76	0.374	—	14.0	1.87	—	30.2	2.76	—	52.8	3.98	—	52.1	3.64	—	
主ポンプ	CP-012 ²⁾													53.0	4.50	—
コ ー ル ド レ 配 管 (2)	CP-013	9.81	0.255	—	23.0	13.2*	—	54.1	15.2*	—	85.9	3.38	—	95.6	3.05	1.28
	014	22.4	1.59	—	33.9	4.59	—	101	5.40	—	117	9.10	—	139	6.18	0.936*
	015	9.92	1.19	—	16.1	2.98	—	55.1	5.29	—	68.2	5.77	—	74.6	6.55	0.673*
	領域平均 ¹⁾	14.0	1.01	—	24.3	3.79	—	70.1	5.35	—	90.3	6.09	—	103	5.26	1.28

1) *印の測定値を除く平均値

2) 単位はcps

(注) 原子炉停止直後に補正

表 6. 1 1 次主冷却系配管 (A) の CP 付着密度の推移 (2 / 2)

(単位: kBq/cm²)

測定領域	測定位置	第 8 回定検 (Mk - II) (1990. 1. 23)			第 9 回定検 (Mk - II) (1991. 9. 11)			第 10 回定検 (Mk - II) (1993. 3. 26)			第 11 回定検 (Mk - II) (1994. 9. 20)		
		⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co
ホット レグ 配管	CP-001	33.7	11.3	1.63 *	27.1	11.8	—	27.1	11.8	1.19 *	12.3	11.2	—
	002	40.4	7.25	2.52	31.9	7.97	0.862*	31.6	7.87	1.88	14.8	7.18	—
	003(1)	10.1 *	10.1	4.11	7.17*	8.27	0.809*	9.07*	11.2	3.13	3.58*	7.49	—
	003(2)	23.9 *	7.10	3.52	16.1 *	5.70	0.609*	13.5 *	5.67	2.79	8.46*	5.72	—
	004	44.4	10.4	1.26 *	35.3	11.4	90.5 *	32.4	9.16	1.08 *	16.6	8.99	—
	005	43.2	11.0	2.37	30.9	10.8	—	33.6	9.50	1.99	16.2	10.1	—
	006	35.3	3.81	2.66	23.4	3.16	0.145*	25.3	3.98	1.98	12.5	4.23	—
	領域平均 ¹⁾	39.4	8.72	3.03	29.7	8.44	—	30.0	8.45	2.35	14.5	7.86	—
IHX	CP-007 ²⁾	30.7	3.06	—	23.3	1.23	—	22.7	2.54	—	10.1	3.91	—
コ ー ル ド レ 配 管 (1)	CP-008(1)	88.8	3.81	1.67 *	67.1	4.67	—	70.5	1.86	1.07	22.9	4.69	—
	008(2)	97.5	3.96	2.04 *	74.3	4.66	0.941*	77.3	1.99	1.31	26.6	6.41	—
	009	98.4	2.00 *	2.37	79.1	3.28 *	1.13 *	75.5	1.48*	1.56	27.5	3.28*	—
	010	25.9 *	1.63 *	0.259*	22.0 *	2.96 *	—	26.0 *	2.39*	0.451	7.37*	2.26*	—
	011	92.1	4.00	0.888*	81.2	4.23	—	80.7	5.37	0.884	54.2	4.14	—
		領域平均 ¹⁾	94.2	3.92	2.37	75.4	4.52	—	74.4	3.07	1.31	32.8	5.08
主ポンプ	CP-012 ²⁾	—	—	—	81.3	7.68	—	55.9	7.13	—	28.8	6.70	—
コ ー ル ド レ 配 管 (2)	CP-013	150	3.33	1.81 *	140	4.53	0.695*	112	3.89	1.08 *	28.3	3.52	—
	014	225	6.99	0.331*	174	8.75	—	175	8.87	0.989*	70.1	5.80	—
	015	120	8.03	—	105	8.94	—	95.2	9.67	—	38.9	10.7	—
		領域平均 ¹⁾	165	6.12	—	139	7.40	—	127	7.47	—	45.7	6.67

1) *印の測定値を除く平均値 2) 単位はcps
 (注) 原子炉停止直後に補正

表 6.2 1次主冷却系配管の平均表面線量率の推移 (TLD)

(単位: mSv/h)

測定年月 測定位置	第1回定検 1979年9月 (Mk-I)	第2回定検 1980年12月 (Mk-I)	第3回定検 1982年7月 (Mk-I)	1) 1983年7月 (Mk-I)	第4回定検 1984年1月 (Mk-II)	第5回定検 1985年9月 (Mk-II)	第6回定検 1987年4月 (Mk-II)	第7回定検 1988年10月 (Mk-II)	第8回定検 1990年5月 (Mk-II)	第9回定検 1991年12月 (Mk-II)	第10回定検 1993年6月 (Mk-II)	第11回定検 1995年10月 (Mk-II)
A Loop Hot Leg (R/V~IHx)	0.0190 ²⁾	0.0610 ²⁾	0.0805	0.0918	0.284	0.304	0.416	0.547	0.665	0.459	0.499	0.339
A Loop Cold Leg#1 (IHx~Pump)	0.0210 ²⁾	0.0500 ²⁾	0.0696	0.0661	0.249	0.376	0.419	0.607	0.816	0.550	0.541	0.169
A Loop Cold Leg#2 (Pump~R/V)	0.0330 ²⁾	0.0940 ²⁾	0.144	0.138	0.421	0.590	0.874	1.19	1.30	1.01	1.06	0.382
B Loop Hot Leg (R/V~IHx)	—	—	0.128	—	0.535	0.633	0.914	1.08	0.800	—	—	—
B Loop Cold Leg#1 (IHx~Pump)	—	—	0.0870	—	0.312	0.544	0.531	0.789	0.744	—	—	—
B Loop Cold Leg#2 (Pump~R/V)	—	—	0.149	—	0.425	0.661	1.01	1.33	1.46	—	—	—
積算炉出力 (MWd)	8.89×10^3	1.79×10^4	2.81×10^4	3.08×10^4	3.97×10^4	6.19×10^4	8.38×10^4	1.05×10^5	1.30×10^5	1.50×10^5	1.68×10^5	1.71×10^5

1) 55 MWでの性能試験実施後に測定

$$2) \left[\begin{array}{l} \text{第1回及び第2回定検時の} \\ \text{平均線量率} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{第1回及び第2回定検時の} \\ \text{GMサベーターによる平均線量率} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{第3回定検時のTLD素子による線量率と} \\ \text{GMサベーターによる平均線量率の比} \end{array} \right]$$

表 6.3 1次主冷却系配管 (A) のCP付着密度の計算値と測定値との比 (C/E)

(単位: kBq/cm^2)

核種	領域	第3回定検 (Mk-I) (1981.12.23)			第4回定検 (Mk-II) (1983.12.3)			第5回定検 (Mk-II) (1981.5.1)			第6回定検 (Mk-II) (1986.12.6)			第7回定検 (Mk-II) (1988.9.7)			第8回定検 (Mk-II) (1990.1.23)			第9回定検 (Mk-II) (1991.9.11)			第10回定検 (Mk-II) (1993.3.26)			第11回定検 (Mk-II) (1994.9.20)		
		計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E	計算値	測定値	C/E
^{54}Mn	HL	17.5	17.0	1.03	16.9	20.1	0.84	37.7	28.7	1.32	36.2	36.5	0.99	35.7	27.7	1.29	49.6	39.4	1.26	37.7	29.7	1.26	31.0	30.0	1.03	—	14.5	—
	CL(1)	6.99	6.76	1.03	26.3	14.0	1.88	75.5	30.2	2.49	85.8	52.8	1.62	79.6	52.1	1.53	105	94.2	1.11	78.8	75.4	1.04	64.8	74.4	0.87	—	32.8	—
	CL(2)	12.1	14.0	0.86	46.6	24.3	1.92	133	70.1	1.90	152	90.3	1.68	140	103	1.36	185	165	1.12	139	139	1.00	114	127	0.90	—	45.7	—
^{60}Co	HL	1.60	1.40	1.14	1.82	3.80	0.48	5.14	4.62	1.11	8.21	8.84	0.93	8.47	7.62	1.11	9.10	8.72	1.04	8.58	8.44	1.00	8.10	8.45	0.96	—	7.86	—
	CL(1)	0.566	0.374	1.51	0.759	1.87	0.40	2.70	2.76	0.98	4.26	3.98	1.06	4.48	3.64	1.23	4.92	3.92	1.25	4.74	4.52	1.05	4.48	3.07	1.46	—	5.08	—
	CL(2)	0.921	1.01	0.91	1.27	3.79	0.34	4.66	5.35	0.87	7.44	6.09	1.23	7.84	5.26	1.49	8.58	6.12	1.41	8.21	7.40	1.11	7.81	7.47	1.04	—	6.67	—
^{64}Co	HL	0.0259	—	—	10.9	—	—	0.884	—	—	11.0	—	—	4.96	1.88	2.64	5.48	3.03	1.80	3.20	—	—	2.69	2.35	1.14	—	—	—
	CL(1)	0.0111	—	—	6.22	—	—	0.503	—	—	5.51	—	—	2.79	—	—	3.17	2.37	1.34	1.86	—	—	1.56	1.31	1.19	—	—	—
	CL(2)	0.0148	—	—	10.8	—	—	0.877	—	—	9.62	—	—	4.85	1.28	3.78	5.51	—	—	3.23	—	—	2.71	—	—	—	—	—
計算出力(GWd) MK-I + MK-II		27.90			39.50			61.67			83.85			105.3			130.4			150.6			170.1			—		

注) 測定値は原子炉停止時の値に換算した。

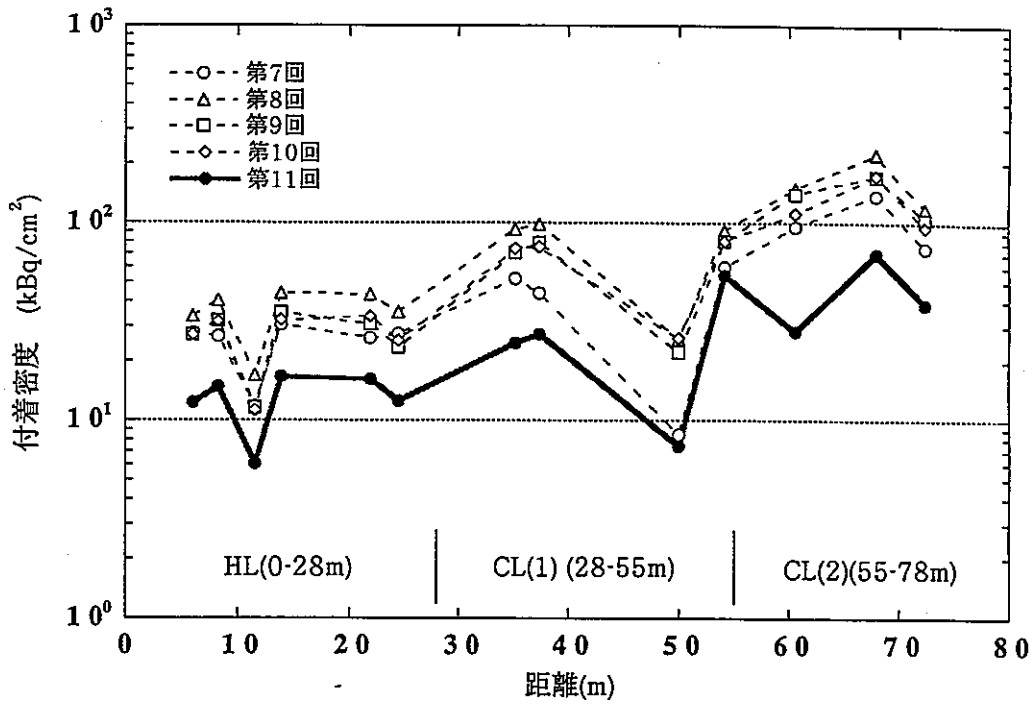


図 6. 1. 1 1次主冷却系配管 (A) における⁵⁴Mn付着密度

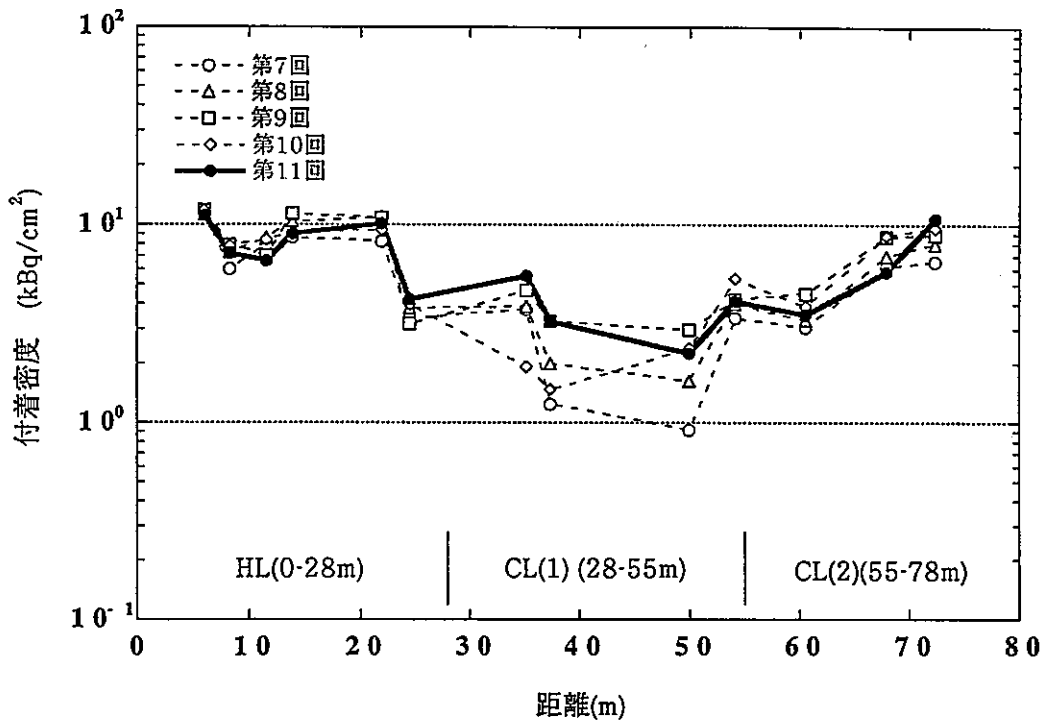


図 6. 1. 2 1次主冷却系配管 (A) における⁶⁰Co付着密度

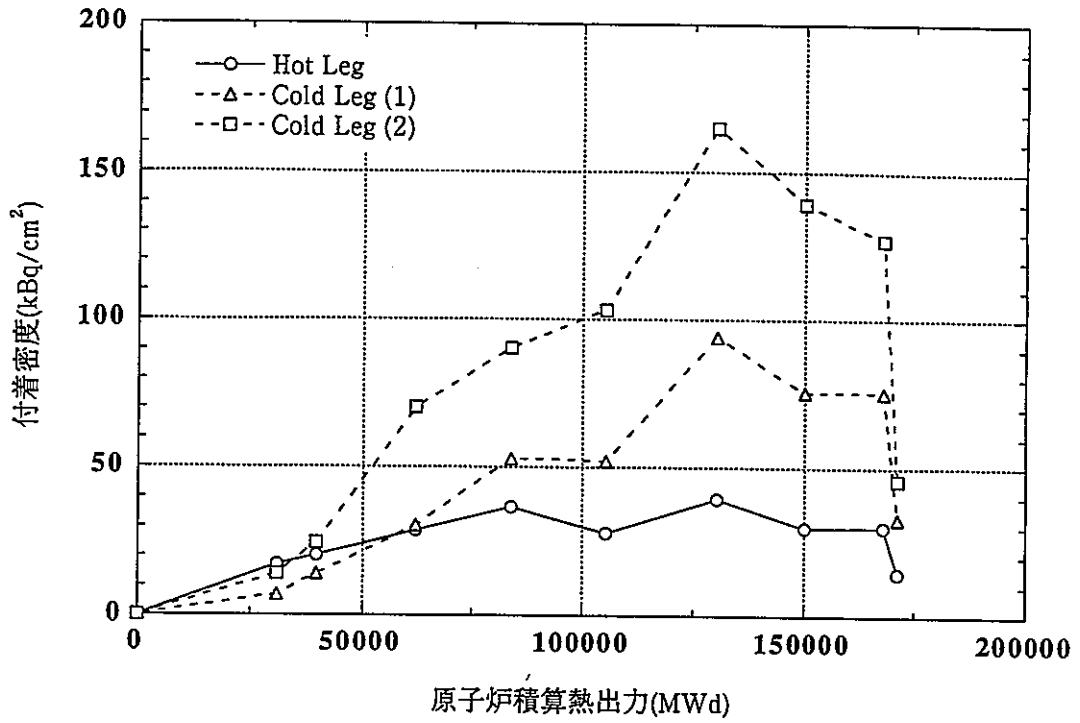


図 6. 2. 1 1次主冷却系配管 (A) における ^{54}Mn 付着密度の推移

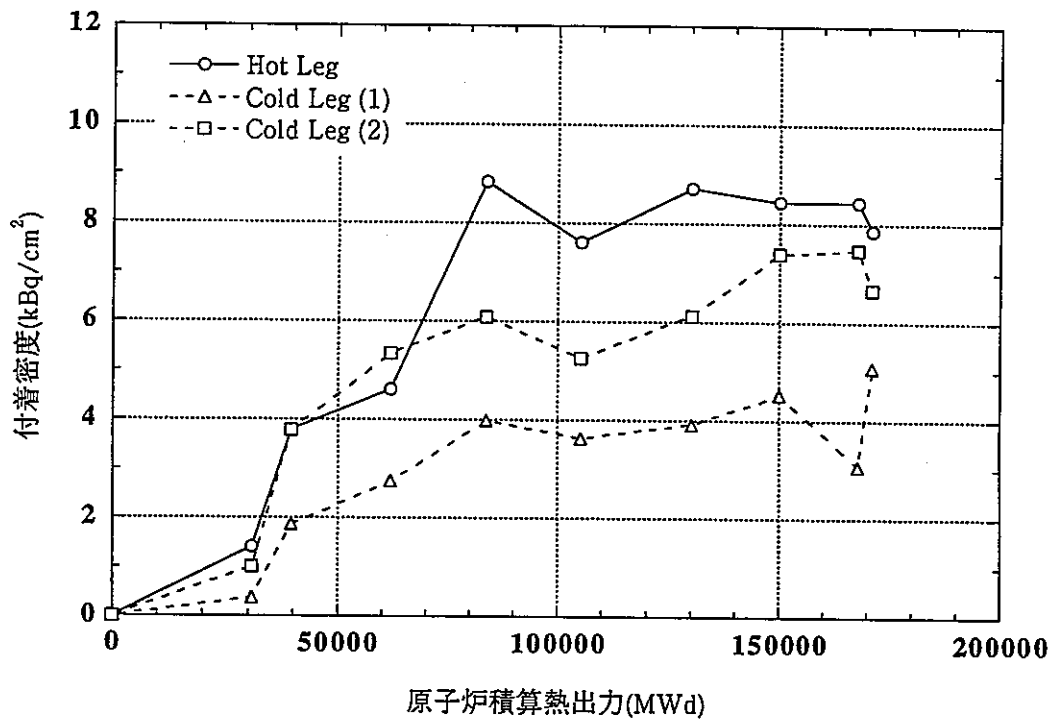


図 6. 2. 2 1次主冷却系配管 (A) における ^{60}Co 付着密度の推移

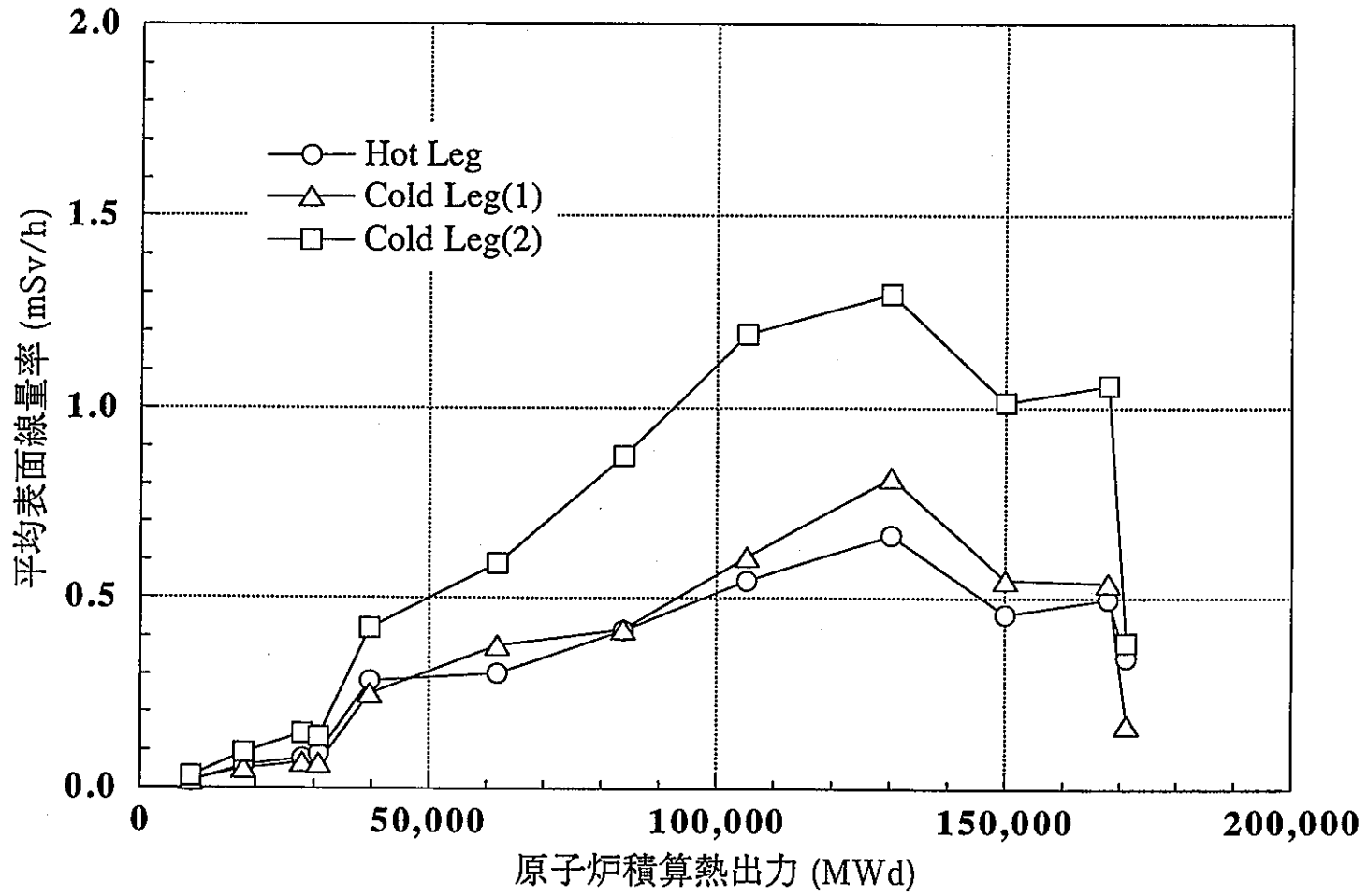


図 6.3 1次主冷却系配管 (A) の平均表面線量率の推移

7. 結 言

高速炉プラントの保守・補修作業時の主要な被ばく線源となるCPの挙動解明と解析手法の整備のため、「常陽」の第11回定期検査時に1次冷却系配管および主要機器を対象として、CPの付着密度と γ 線量率の測定を実施した。主な結果は以下のとおりである。

- (1) 1次冷却系における主要なCP核種は ^{54}Mn と ^{60}Co であり、これらの核種の付着分布には以下の特徴がみられ、過去の測定結果と概ね同じ傾向であった。
 - ① 1次主冷却系配管（Aループ）のCP付着密度は、原子炉容器出口から主中間熱交換器までのホットレグ、主中間熱交換器から主循環ポンプまでのコールドレグ(1)、主循環ポンプから原子炉容器入口までのコールドレグ(2)について、それぞれ、 ^{54}Mn が約15 kBq/cm²、約33 kBq/cm²、約46 kBq/cm²であり、 ^{60}Co が約8 kBq/cm²、約5 kBq/cm²、約7 kBq/cm²であった。 ^{54}Mn の付着密度は、 ^{60}Co に比べて、ホットレグで約2倍、コールドレグで約7倍であり、 ^{54}Mn の方が γ 線量率に占める割合が大きい。
 - ② 1次主冷却系配管表面の γ 線量率は、ホットレグで約0.3 mSv/h、コールドレグ(1)で約0.2 mSv/h およびコールドレグ(2)で約0.4 mSv/hであった。
- (2) 今回の測定では、前回測定した第10回定期検査以降の原子炉運転時間が少なかったため、CPの生成量よりも減衰量が上回り、付着密度が減少した。また、原子炉停止後の冷却期間が長かったため、主に ^{54}Mn の減衰により γ 線量率も低下した。
- (3) PSFにより、10mまでの範囲で高い位置分解能の連続的な空間分布が数分間で得られた。また、狭隘で人のアクセスが容易でない保守作業エリアにおける γ 線量率分布が詳細に測定でき、空間線量率のデータを大幅に拡充できた。

謝 辞

本研究の実施にあたり、実験炉部技術課・伊藤主税研究員にはC P測定とデータ整理を助勢して頂いた。また、安全管理部放射線管理課・江本武彦研究員および齊藤 圭研究員には、P S Fによる γ 線量率測定法の指導とともに測定作業について御協力を頂いた。

ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 動燃事業団 大洗工学センター実験炉部、「『常陽』における高速炉技術の成果と将来展望」：PNC TN1340 91-001 (1992年)
- (2) 伊藤 和寛他、「高速実験炉『常陽』における放射性腐食生成物の測定と評価」：日本原子力学会「1993年春の年会」予稿集，J 53，p. 521 (1993年)
- (3) 飯沢 克幸他、「高速炉プラントにおける放射性腐食生成物挙動解析コード (P S Y C H E)」：動燃技報，No. 58，技術資料，p. 45～64 (1986年)
- (4) 飯沢 克幸、「ナトリウム冷却材の不純物抑制と被ばく低減」：日刊工業新聞社「原子力工業」第33巻、第11号 p. 62～79 (1987年)
- (5) 江本 武彦他、「シンチレーション光ファイバーによる放射線空間分布測定」：放射線、Vol. 21, No. 3, p. 49～58 (1995年)
- (6) 住野 公造他、「高速炉プラントのCP挙動測定へのシンチレーション光ファイバの適用」：日本原子力学会「1996年春の年会」予稿集、F 9, p. 281 (1996年)
- (7) 住野 公造他、「光ファイバ検出器を用いた放射性腐食生成物挙動の高精度測定法の開発」：PNC TN9410 96-233 (1996年)
- (8) γ 線核種定性定量解析プログラム ANA (Automatic Nuclide Analysis) for Windows 取扱説明書：Ver. 1.0、(株)ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション (1995年)

付 録

1 次主冷却系配管表面の γ 線量率の推移
(第 3 回～11 回定検時測定値)

表A. 1 1次主冷却系配管(A)の表面線量率の推移

(単位: mSv/h)

Position	原子炉容器出口からの距離(m)	第3回定検		第4回定検	第5回定検	第6回定検	第7回定検	第8回定検	第9回定検	第10回定検	第11回定検
		1982. 7. 2	1983. 7. 26	1984. 1. 30	1985. 9. 3	1987. 4. 20	1988. 10. 11	1990. 5. 7	1991. 12. 2	1993. 6. 14	1994. 9. 20
1	2.724	0.242	0.305	0.706	0.591	1.14	1.77	2.79	1.70	1.41	1.46
2	3.089	0.157	0.214	0.557	0.630	0.838	1.14	2.10	1.47	1.81	1.45
3	3.454	0.130	0.146	0.399	0.529	0.702	0.882	1.34	0.800	1.03	0.771
4	4.104	0.126	0.149	0.413	0.489	0.603	1.02	1.11	0.715	0.792	0.559
5	4.754	0.133	0.172	0.459	0.568	0.715	0.864	1.18	0.875	0.798	0.649
6	5.404	0.101	0.122	0.350	0.458	0.595	0.831	0.910	0.613	0.704	0.445
7	6.054	0.094	0.123	0.422	0.408	0.529	0.705	0.793	0.514	0.625	0.347
8	7.121	0.069	0.065	0.327	0.352	0.439	0.630	0.674	0.489	0.597	0.346
9	7.687	0.072	0.085	0.342	0.357	0.455	0.654	0.720	0.465	0.594	0.360
10	8.253	0.083	0.101	0.383	0.412	0.478	0.602	0.572	0.416	0.506	0.292
11	8.903	0.082	0.100	0.301	0.324	0.462	0.464	0.461	0.327	0.453	0.243
12	9.553	0.059	0.074	0.190	0.227	0.331	0.348	0.373	0.299	0.352	0.167
13	10.553	0.044	0.059	0.162	0.147	0.256	0.279	0.333	0.183	0.292	0.104
14	11.553	0.046	0.075	0.170	0.133	0.291	0.255	0.355	0.179	0.271	0.110
15	12.853	0.042	0.066	0.165	0.125	0.269	0.261	0.250	0.164	0.235	0.109
16	13.853	0.074	0.109	0.305	0.251	0.411	0.486	0.520	0.264	0.362	0.184
17	14.903	0.056	0.067	0.284	0.188	0.298	0.435	0.378	0.271	0.253	0.193
18	15.903	0.047	0.041	0.164				0.277			
19	16.903	0.049	0.046	0.192				0.424			
20	17.903	0.050	0.044	0.199				0.359			
21	18.903	0.050	0.039	0.200	0.195	0.410	0.357	0.451	0.227	0.219	
22	19.533	0.055	0.045	0.201	0.200	0.202	0.360	0.411	0.225	0.272	0.158
23	20.033	0.054	0.041	0.205	0.175	0.195	0.356	0.389	0.252	0.283	0.202
24	21.116	0.084	0.065	0.328	0.282	0.311	0.538	0.517	0.323	0.404	0.257
25	21.946	0.103	0.090	0.289	0.321	0.370	0.559	0.557	0.351	0.382	0.264
26	22.776	0.055	0.044	0.134	0.199	0.192	0.330	0.395	0.237	0.268	0.134
27	23.476	0.027	0.028	0.086	0.098	0.121	0.188	0.236	0.148	0.177	0.0825
28	24.476	0.031	0.098	0.114	0.114	0.145	0.221	0.259	0.170	0.174	0.0990
29	25.476	0.035	0.052	0.122	0.132	0.181	0.307	0.304	0.203	0.256	0.156
30	26.476	0.040	0.117	0.117	0.117	0.155	0.207	0.884	0.150	0.181	0.0919
31	27.476	0.060	0.049	0.206	0.184	0.272	0.358	0.643	0.199	0.196	0.170
32	28.251	0.080	0.226	0.226	0.252	0.347	0.453	0.427	0.236	0.283	0.187
33	29.026	0.113	0.358	0.358	0.498	0.445	0.475	0.353	0.328	0.442	0.230
34	29.926	0.175	0.159	0.544	0.510	0.728	0.607	0.290	0.580	0.830	0.356
35	31.926	0.105	0.529	0.529	0.475	0.785	1.20	1.41	0.813	0.530	0.480
36	33.026	0.036	0.264	0.264	0.196	0.293	0.436	0.537	0.356	0.360	0.164
37	33.126	0.035	0.161	0.161	0.241	0.297	0.488	0.645	0.392	0.463	0.120
38	35.766	0.043	0.171	0.171	0.284	0.323	0.491	0.666	0.425	0.487	0.122
39	36.166	0.045	0.176	0.176	0.367	0.331	0.496	0.637	0.461	0.437	0.128
40	36.586	0.050	0.226	0.226	0.747	0.361	0.627	0.724	0.630	0.484	0.184
41	37.341	0.042	0.043	0.238	0.489	0.288	0.491	0.594	0.545	0.413	0.151
42	38.316	0.047	0.214	0.214	0.467	0.339	0.655	0.662	0.590	0.502	0.191
43	39.016	0.044	0.182	0.182	0.343	0.294	0.554	0.648	0.483	0.446	0.143
44	39.716	0.036	0.039	0.148	0.285	0.253	0.446	0.520	0.467	0.372	0.135
45	40.441	0.049	0.212	0.212	0.447	0.348	0.571	0.680	0.575	0.487	0.156
46	41.166	0.046	0.189	0.189	0.626	0.331	0.564	0.709	0.552	0.514	0.129
47	42.116	0.026	0.129	0.129	0.290	0.196	0.344	0.430	0.384	0.324	0.0953
48	42.866	0.036	0.161	0.161	0.251	0.229	0.395	0.560	0.460	0.404	0.107
49	43.404	0.042	0.158	0.158	0.245	0.286	0.489	0.606	0.452	0.407	0.101
50	43.942	0.055	0.035	0.180	0.288	0.323	0.552	0.687	0.478	0.467	0.117
51	45.559	0.054	0.039	0.199	0.277	0.311	0.503	0.642	0.533	0.470	0.121
52	46.197	0.064	0.181	0.181	0.284	0.389	0.545	0.672	0.476	0.500	0.114
53	46.835	0.053	0.174	0.174	0.252	0.309	0.480	0.611	0.472	0.463	0.112
54	47.583	0.067	0.049	0.211	0.348	0.401	0.552	0.677	0.609	0.584	0.130
55	48.335	0.063	0.189	0.189	0.303	0.329	0.394	0.513	0.487	0.407	0.121
56	49.135	0.105	0.211	0.211	0.315	0.404	0.536	0.684	0.512	0.534	0.136
57	49.935	0.110	0.325	0.294	0.531	0.531	0.531	0.651	0.485	0.555	0.145
58	50.985	0.175	0.222	0.618	0.441	0.931	0.870	1.07	0.753	0.868	0.233
59	51.985	0.161	0.443	0.430	0.838	0.838	0.942	1.20	0.746	0.953	0.268
60	52.985	0.091	0.107	0.316	0.348	0.635	0.774	1.04	0.681	0.811	0.243
61	54.085	0.090	0.258	0.419	0.472	0.472	0.752	0.869	0.554	0.645	0.195
62	54.535	0.180	0.322	0.491	0.618	0.843	0.843	1.09	0.681	0.802	0.250
63	55.075	0.144	0.461	0.737	0.785	1.07	1.07	1.30	0.888	0.994	0.309
64	56.075	0.180	0.540	0.985	1.43	2.18	2.18	2.73	1.64	2.02	0.637
65	56.410	0.146	0.433	0.792	1.17	1.79	1.79	2.36	1.55	1.75	0.520
66	56.745	0.121	0.374	0.693	0.995	1.45	1.45	1.92	1.35	1.55	0.449
67	57.138	0.095	0.312	0.592	0.864	1.12	1.12	1.51	1.02	1.09	0.383
68	57.531	0.094	0.276	0.528	0.741	1.12	1.12	1.43	1.091	0.904	0.485
69	58.531	0.078	0.267	0.457	0.628	0.863	0.863	1.23	0.791	0.794	0.245
70	59.531	0.071	0.218	0.383	0.493	0.798	0.798	1.10	0.732	0.760	0.198
71	60.531	0.077	0.049	0.232	0.388	0.518	0.754	0.974	0.728	0.774	0.171
72	61.231	0.086	0.256	0.444	0.597	0.864	0.864	1.03	0.753	0.849	0.197
73	61.781	0.088	0.258	0.408	0.543	0.830	0.830	1.05	0.729	0.774	0.202
74	62.331	0.112	0.335	0.547	0.675	1.09	1.09	1.23	0.933	0.873	0.237
75	62.806	0.088	0.260	0.501	0.574	0.844	0.844	1.04	0.834	0.811	0.223
76	63.281	0.086	0.239	0.398	0.536	0.745	0.745	0.883	0.648	0.697	0.164
77	64.489	0.117	0.315	0.488	0.677	1.25	1.25	1.05	0.857	0.904	0.233
78	65.469	0.167	0.561	0.518	0.821	1.21	1.21	1.11	0.937	1.00	0.255
79	66.239	0.217	0.645	0.619	1.09	1.19	1.19	1.37	0.955	1.06	0.292
80	66.789	0.266	0.648	0.536	1.23	1.47	1.47	1.26	0.913	1.20	0.321
81	67.339	0.329	0.993	0.654	0.654	1.93	1.21	1.18	0.890	1.57	0.350
82	67.889	0.219	0.628	0.489	0.858	1.32	0.965	1.59	0.844	1.06	0.351
83	68.439	0.152	0.426	0.392	0.718	0.858	0.753	1.11	0.817	0.882	0.266
84	69.239	0.100	0.347	0.402	0.538	0.718	0.718	0.824	0.630	0.631	0.213
85	70.039	0.159	0.409	0.716	0.857	1.23	1.23	1.33	1.03	0.780	0.445
86	70.589	0.181	0.499	0.804	1.01	1.38	1.38	1.36	1.18	1.10	0.558
87	71.139	0.182	0.510	0.695	0.967	1.06	1.40	1.38	1.05	1.23	0.603
88	71.532	0.164	0.432	0.652	0.864	0.967	1.37	1.33	1.09	1.16	0.576
89	71.925	0.137	0.390	0.680	0.864	0.864	1.33	1.23	1.09	1.20	0.484
90	72.325	0.096	0.334	0.648	0.849	0.849	1.07	1.42	1.00	1.09	0.437
91	72.855	0.085	0.111	0.325	0.567	0.776	1.26	0.824	1.08	1.13	0.395
92	73.855	0.139	0.362	0.367	0.575	0.795	1.36	1.37	1.12	1.11	0.557
93	74.505	0.347	0.767	0.767	1.23	0.812	2.21	2.15	1.48	2.02	1.01

表A. 2 1次主冷却系配管(B)の表面線量率の推移

(単位: mSv/h)

Position	原子炉容器出口からの距離(m)	第3回定検	第4回定検	第5回定検	第6回定検	第7回定検	第8回定検	第9回定検	第10回定検	第11回定検
		1982. 7. 9	1984. 2. 6	1985. 9. 9	1987. 4. 27	1988. 10. 28	1990. 5. 14	1991. 12. 7	1993. 6. 21	1994. 9. 20
1	2.724	0.329	0.871	1.29	1.40	2.33	2.30			
2	3.174	0.261	0.649	0.817	1.05	1.65	1.42			
3	3.624	0.178	0.509	0.697	0.878	1.40	1.19			
4	4.104	0.210	0.536	0.824	0.939	1.37	1.51			
5	4.754	0.136	0.421	0.535	0.855	1.15	0.888			
6	5.404	0.111	0.385	0.413	0.539	0.879	0.753			
7	6.404	0.080	0.267	0.226	0.427	0.745	0.559			
8	7.404	0.065	0.220	0.198	0.325	0.568	0.466			
9	8.104	0.059	0.233	0.182	0.296	0.454	0.370			
10	8.503	0.068	0.225	0.102	0.343	0.491	0.282			
11	8.903	0.075	0.219	0.212	0.351	0.519	0.261			
12	9.878	0.044	0.127	0.129	0.190	0.513	0.314			
13	10.878	0.033	0.170	0.099	0.179	0.271	0.263			
14	11.878	0.036	0.163	0.110	0.200	0.277	0.225			
15	12.878	0.056	0.234	0.161	0.252	0.335	0.300			
16	13.853	0.076	0.234	0.266	0.399	0.339	0.305			
17	14.833	0.090	0.277	0.385	0.382	0.375	0.468			
18	16.033	0.053	0.192	0.249	0.229	0.648	0.510			
19	17.033	0.056	0.218	0.223	0.259	0.420	0.396			
20	18.033	0.083	0.243	0.219	0.284	0.454	0.426			
21	19.033	0.085	0.280	0.305	0.322	0.487	0.456			
22	20.033	0.075	0.235	0.283	0.249	0.512	0.481			
23	21.116	0.097	0.253	0.407	0.328	0.421	0.397			
24	21.946	0.089	0.256	0.454	0.360	0.542	0.398			
25	22.776	0.055	0.182	0.268	0.349	0.514	0.468			
26	24.076	0.037	0.113	0.163	0.251	0.492	0.384			
27	25.076	0.034	0.106	0.133	0.229	0.307	0.293	0.254	0.231	0.156
28	26.076	0.040	0.137	0.131	0.264	0.251	0.261	0.255	0.183	0.116
29	26.776	0.087	0.426	0.369	0.803	0.295	0.274	0.223	0.181	0.133
30	27.476	0.107	0.428	0.486	0.715	0.487	0.547	0.506	0.455	0.349
31	28.251	0.184	0.846	0.919	1.25	4.90	0.628	0.598	0.592	0.426
32	29.026	0.565	3.63	3.60	6.47	1.70	1.36	1.05	0.818	0.722
33	29.926	0.734	4.42	5.94	8.81	5.25	7.48	4.47	4.06	3.33
34	34.926	0.229	0.963	1.45	2.20	2.94	6.07	6.07	4.71	5.72
35	35.926	0.061	0.233	0.411	0.600	1.00	2.50	2.50	2.35	2.13
36	37.806	0.058	0.186	0.399	0.421	0.714	0.912	0.743	0.720	0.449
37	38.246	0.053	0.142	0.531	0.393	0.559	0.711	0.591	0.549	0.267
38	38.886	0.059	0.244	1.77	0.492	0.712	0.502	0.693	0.450	0.231
39	39.702	0.040	0.162	1.07	0.328	0.584	0.696	0.954	0.477	0.319
40	40.518	0.054	0.191	1.04	0.387	0.627	0.485	0.760	0.361	0.255
41	41.153	0.052	0.172	0.731	0.370	0.590	0.636	0.949	0.482	0.243
42	41.788	0.045	0.170	0.710	0.448	0.536				
43	42.388	0.046	0.144	0.456	0.327	0.511				
44	43.023	0.046	0.156	0.437	0.334	0.544				
45	43.658	0.037	0.148	0.347	0.313	0.482				
46	44.408	0.037	0.161	0.262	0.285	0.344				
47	45.158	0.045	0.127	0.291	0.316	0.418				
48	45.833	0.049	0.159	0.301	0.347	0.485				
49	46.508	0.049	0.167	0.281	0.328	0.565				
50	47.591	0.052	0.196	0.279	0.340	0.491				
51	47.951	0.078	0.300	0.346	0.411	0.566				
52	48.626	0.090	0.355	0.355	0.047	0.622				
53	49.301	0.106	0.396	0.363	0.492	0.728				
54	49.601	0.114	0.488	0.440	0.504	0.713				
55	50.276	0.114	0.281	0.387	0.476	0.601				
56	50.976	0.135	0.348	0.345	0.472	0.540				
57	51.399					0.779				
58	52.074					0.899				
59	52.749	0.134	0.390	0.331	0.653	1.19				
60	53.449	0.155	0.871	0.472	0.478	1.15				
61	53.949	0.219	0.868	0.536	0.766	1.08				
62	54.449	0.129	0.403	0.432	0.791	1.07				
63	55.449	0.094	0.301	0.385	0.629	0.816				
64	56.449	0.099	0.286	0.466	0.667	0.980				
65	57.449	0.139	0.398	0.685	0.931	1.46				
66	58.449	0.215	0.803	1.32	1.83	2.70				
67	58.784	0.151	0.492	0.982	1.51	2.13				
68	59.119	0.126	0.385	0.906	1.31	1.95				
69	59.512	0.100	0.315	0.748	0.974	1.52				
70	59.905	0.101	0.306	0.573	0.936	1.38				
71	60.905	0.078	0.247	0.508	0.663	1.09				
72	61.905	0.077	0.217	0.436	0.511	0.822				
73	62.905	0.084	0.209	0.380	0.516	0.769				
74	63.905	0.079	0.233	0.442	0.602	0.935				
75	64.055	0.081	0.355	0.493	0.585	1.00				
76	64.605		0.287	0.499	0.854	0.885				
77	65.080					0.969				
78	65.555					0.815				
79	66.255	0.079	0.226	0.343	0.529	0.713				
80	67.255	0.094	0.288	0.441	0.278	0.966				
81	68.255	0.144	0.473	0.519	0.803	1.04				
82	68.805	0.177	0.598	0.581	1.10	1.18				
83	69.355	0.173	0.530	0.508	1.02	1.08				
84	69.905	0.198	0.736	0.520	1.51	1.56				
85	70.705	0.140	0.397	0.440	0.851	1.04				
86	71.505	0.104	0.272	0.378	0.610	0.815				
87	72.055	0.180	0.500	0.666	1.02	1.29				
88	72.605	0.210	0.562	0.766	1.40	1.43				
89	72.998	0.182	0.537	0.847	1.29	1.58				
90	73.391	0.152	0.458	0.652	1.06	1.52				
91	74.321	0.171	0.408	0.800	1.10	2.06				
92	75.321	0.211	0.549	0.773	1.12	1.57				
93	75.971	0.487	0.975	1.68	2.28	2.39				