



高速実験炉「常陽」における 放射性腐食生成物(CP)付着状況の測定

—MK-III改変によるCP付着分布の変化—

Measurement of Corrosion Products (CP) Deposition
in the Experimental Fast Reactor Joyo
- CP Deposition Distribution after MK-III Modifications -

伊藤 主税 伊東 秀明 石田 公一 青山 卓史
Chikara ITO, Hideaki ITO, Koichi ISHIDA and Takafumi AOYAMA

大洗研究開発センター

高速実験炉部

Experimental Fast Reactor Department
Oarai Research and Development Center

JAEA
Technology
K3010

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

高速実験炉「常陽」における放射性腐食生成物(CP)付着状況の測定 —MK-III改造による CP 付着分布の変化—

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 高速実験炉部
伊藤 主税、伊東 秀明、石田 公一^{※1}、青山 卓史

(2011年2月15日 受理)

高速実験炉「常陽」においては、運転初期より1次冷却系機器・配管内の放射性腐食生成物(Corrosion Product: 以下、CPという。)の付着状況とその推移を把握するため、 γ 線量率分布等の測定を行ってきており、第14回施設定期検査期間中の2005年7月に実施した測定で、通算14回目である。MK-II炉心第32サイクル運転終了後の第12回施設定期検査時に実施した13回目の測定以降、「常陽」では、MK-III炉心への移行(炉心出力の増大)に伴う冷却系改造工事が実施され、主中間熱交換器等の主要な1次冷却系機器が更新された。本報告の対象である第14回目の測定は、2004年5月より本格運転を開始したMK-III炉心の第2サイクル運転終了後(MK-III炉心運転時間: 118EFPD、MK-I炉心からの総運転時間: 2,158EFPD)に実施したもので、1次冷却系機器・配管表面の線量率分布測定及び代表位置での γ 線スペクトル測定を行った。測定結果の概要を以下に示す。

(1) 主中間熱交換器表面の γ 線量率

更新した主中間熱交換器の表面の軸方向 γ 線量率は、ナトリウム入口ノズルおよびバイパスシール部付近で0.7~1.0mSv/hと他の部位より若干高めの値を示したが、その他の範囲は概ね0.5mSv/h以下であった。また、A, B号機の測定結果に有意な差はなかった。

(2) 1次冷却系配管表面の γ 線量率

原子炉容器から主中間熱交換器までのホットレグ配管の範囲および1次主循環ポンプから原子炉容器までのコールドレグ配管の範囲の γ 線量率分布については、前回(1999年1月)の測定結果と有意な差はなかった。また、主中間熱交換器から1次主循環ポンプまでのコールドレグ配管の範囲については、前回の測定結果より高めの値を示した。

(3) 1次冷却系配管の γ 線スペクトル測定結果

1次冷却系配管の代表位置(ホットレグ1箇所、コールドレグ2箇所)において、Ge検出器による γ 線スペクトル測定を行った結果、CPの主要な核種である ^{54}Mn と ^{60}Co の付着密度のうち、 ^{54}Mn は、主中間熱交換器出口側配管部で前回の40%程度の値となった。他の位置での ^{54}Mn の値および ^{60}Co の値は、前回と同程度であった。

大洗研究開発センター：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

※1 技術開発協力員(現 敦賀本部高速増殖炉研究開発センタープラント保全部)

**Measurement of Corrosion Products (CP) Deposition
in the Experimental Fast Reactor Joyo
- CP Deposition Distribution after MK-III Modifications -**

Chikara ITO, Hideaki ITO, Koichi ISHIDA^{*1} and Takafumi AOYAMA

Experimental Fast Reactor Department
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received February 15, 2011)

In the experimental fast reactor Joyo, measurement for characterizing and predicting the corrosion product (CP) deposition that is the major radiation source in equipments and piping of the primary cooling system has been carried out regularly during the periodical annual inspection period. And the 14th measurement was carried out in July, 2005.

Cooling system modification work with the shift to the MK-III core was performed at the period of the 12th periodical annual inspection after the 32nd MK-II operational cycle, and the main equipments of primary cooling system such as intermediate heat exchangers were replaced.

This report describes the measured results after the 2nd duty cycle operation of the MK-III core which started rated power operation from May, 2004. (MK-III core operation time: 118 EFPD, total operation time from initial MK-I core: 2,158 EFPD)

Summary of the measurement results are as follows.

(1) Gamma dose rate of the IHX

The axial gamma dose rate distribution of the IHX surface was 0.7 – 1.0 mSv/h and was slightly higher than other parts in the vicinity of a sodium entrance nozzle and a bypass seal position. Measured value obtained at other positions was less than 0.5 mSv/h. The measured results of both cooling loop of the IHXs were almost same value.

(2) Gamma dose rate of the primary cooling system piping

The gamma dose rate distributions of hot-leg piping from reactor vessel to IHX and the cold-leg piping from primary coolant pump to reactor vessel were similar to the last measured result. Measured result of the cold-leg piping from IHX to pump was larger than that of last measured value.

(3) Gamma ray spectrum and CP deposition density of the primary cooling system piping

As a result of gamma ray spectrum measured on the primary cooling system piping at IHX outlet position by germanium detector, the deposition density of ⁵⁴Mn was around 40 % of the previous measured value. The other positions, measured value of ⁵⁴Mn and ⁶⁰Co were almost the same as the previous measured value.

Keywords: Joyo, Corrosion Product, CP, Primary Cooling System, Gamma Dose Rate

^{*1} Collaborating Engineer (presently, Plant Maintenance Engineering Department,
Fast Breeder Reactor Research and Development Center, Tsuruga Head Office)

目 次

1. はじめに -----	1
2. 「常陽」における CP 測定 -----	2
2.1 「常陽」のプラント構成 -----	2
2.2 「常陽」の運転実績と CP 測定実績 -----	2
3. 測定時のプラント状態及び測定方法 -----	4
3.1 測定時のプラント状態 -----	4
3.2 測定方法 -----	4
3.3 使用した機器及び測定条件 -----	5
3.4 各計測機器の校正 -----	6
4. 測定結果 -----	7
4.1 CP 付着分布 -----	7
4.2 配管表面の γ 線量率分布 -----	7
4.3 機器表面の γ 線量率分布 -----	8
5. 考察 -----	10
5.1 CP 付着分布の推移 -----	10
5.2 配管表面の γ 線量率分布の推移 -----	10
5.3 機器表面の γ 線量率分布 -----	11
6. おわりに -----	12
謝辞 -----	12
参考文献 -----	13
付録 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率の推移 (第 3~14 回施設定期検査時測定データ) -----	53

Contents

1. Introduction -----	1
2. Measurement of CP Distribution in the Experimental Fast Reactor Joyo -----	2
2.1 Outline of Joyo Plant -----	2
2.2 History of Joyo Operation and CP measurement -----	2
3. Measurement of CP Distribution in the Experimental Fast Reactor Joyo -----	4
3.1 Plant Condition -----	4
3.2 Method of Measurement -----	4
3.3 Condition and Devices for Measurement -----	5
3.4 Calibration -----	6
4. Result of Measurement -----	7
4.1 CP Distribution -----	7
4.2 Gamma ray Distribution of Primary Piping -----	7
4.3 Gamma ray Distribution of Primary Equipment -----	8
5. Evaluation -----	10
5.1 CP Distribution History -----	10
5.2 Primary Piping Gamma ray Distribution History -----	10
5.3 Primary Equipment Gamma ray Distribution History -----	11
6. Conclusion -----	12
Acknowledgement -----	12
References -----	13

Appendix Primary Piping Gamma ray Distribution Data (the 3rd to 14th Periodical Inspection) -----	53
--	----

表リスト

表 1 高速炉の 1 次冷却系における主要な線源	14
表 2 CP 付着分布測定時点の「常陽」運転実績データ	14
表 3 「常陽」における CP 付着分布測定の実績	15
表 4 高純度 Ge 検出器の主要仕様	16
表 5 プラスチック・シンチレーション光ファイバ (PSF) の主要仕様	16
表 6 電子ポケット線量計 (EPD) の主要仕様	16
表 7 PSF (10 芯×15m) の応答関数	17
表 8 電子ポケット線量計 (EPD) 校正照射結果	18
表 9 核種毎の付着密度測定結果	18
表 10 PSF による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果	19
表 11 EPD による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (1/3)	20
表 12 EPD による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (2/3)	20
表 13 EPD による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (3/3)	21
表 14 EPD による IHX(A)表面の γ 線量率測定結果 (1/2)	22
表 15 EPD による IHX(A)表面の γ 線量率測定結果 (2/2)	22
表 16 EPD による IHX(B)表面の γ 線量率測定結果	23
表 17 EPD による 1 次主循環ポンプ(A)表面の γ 線量率測定結果	23
表 18 1 次主冷却系 (A ループ) 配管の ^{54}Mn 付着密度の推移	24
表 19 1 次主冷却系 (A ループ) 配管の ^{60}Co 付着密度の推移	24
表 20 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率 (平均値) の推移	25

図リスト

図 1 「常陽」冷却系の概要	26
図 2 高速実験炉「常陽」の運転履歴	27
図 3 γ 線スペクトル測定位置 (Ge 検出器設置位置)	28
図 4 Ge 検出器設置状況	28
図 5 1次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定位置 (PSF 設置位置)	29
図 6 1次主冷却系 (A ループ) 配管表面の γ 線量率測定位置 (EPD 設置位置)	30
図 7 IHX(A)及び主ポンプ(A)表面の γ 線量率測定位置 (EPD 設置位置)	31
図 8 PSF 及び EPD の設置状況	32
図 9 γ 線スペクトル測定用鉛コリメータ構造	33
図 10 PSF 検出器の測定原理	34
図 11 Ge 検出器の校正方法の概要及び校正定数	35
図 12 PSF 校正照射体系	36
図 13 PSF 装置構成	37
図 14 PSF 校正照射時の計数率分布	37
図 15 PSF 校正結果 (線量率に対する計数率の関係)	38
図 16 PSF 校正結果 (チャンネルに対する計数率の関係)	38
図 17 EPD 校正照射体系	39
図 18 EPD 校正結果 (照射線量と EPD 測定値の関係)	40
図 19 1次主冷却系配管 (A ループ) の γ 線スペクトル測定結果	41
図 20 CP 核種の付着分布	41
図 21 PSF による 1次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果 (1/3)	42
図 22 PSF による 1次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果 (2/3)	43
図 23 PSF による 1次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果 (3/3)	44
図 24 PSF による 1次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果 (前回結果との比較)	45
図 25 EPD による 1次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果	45
図 26 1次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (PSF と EPD の測定結果の比較)	46
図 27 IHX(A)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果 (A 方向)	47
図 28 IHX(A)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果 (C 方向)	47
図 29 IHX(B)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果 (A 方向)	48
図 30 IHX(A),(B)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果の比較	48
図 31 1次主循環ポンプ(A)表面 γ 線量率測定結果	49
図 32 1次主冷却系配管の ^{54}Mn 付着密度 (平均値) の推移	50
図 33 1次主冷却系配管の ^{60}Co 付着密度 (平均値) の推移	50
図 34 1次主冷却系配管表面の γ 線量率 (平均値) の推移	51
図 35 IHX(A),(B)表面 γ 線量率の前回測定結果 (旧 IHX) との比較	51
図 36 新旧 IHX の 1次ナトリウム入口ノズル構造の比較	52

1. はじめに

高速炉の 1 次冷却系における主要な放射線源は、放射化ナトリウムと放射性腐食生成物 (Radioactive Corrosion Product : CP) である。表 1 に主な核種を示す。

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冷却材ナトリウム中に溶出するもの、あるいは、循環ポンプの軸受等の動的部位において接触・摺動で生じる摩擦・磨耗粉が、冷却材の流動によって炉心に運ばれ放射化するもので、系統内の機器・配管内に沈着あるいは炉心構成要素の表面やナトリウム機器内面に付着し、集合体や機器の取り出し作業時や、1 次冷却系の保守・補修作業時の被ばく源となる。

高速実験炉「常陽」においては、これまでの施設定期検査のタイミングに合わせ、1 次冷却系機器・配管表面の γ 線量率分布及び γ 線スペクトル測定を行い、CP の付着分布に関する評価を行ってきた⁽¹⁻⁴⁾。

「常陽」は、MK-II 炉心第 35 サイクル運転終了後、2000 年 6 月からの MK-III 炉心への移行に伴う冷却系改造において、中間熱交換器 (Intermediate Heat Exchanger : IHX) 等の交換を行い、2004 年 5 月より、MK-III 炉心での本格運転を開始した。

本書は、MK-III 炉心の第 2 サイクル運転終了後 (MK-III 炉心運転時間 : 118EFPD, MK-I 炉心からの総運転時間 : 2,158EFPD) の第 14 回施設定期検査期間中において、1 次冷却系機器・配管周りの γ 線量率分布及び γ 線スペクトル測定を実施した結果についてまとめたものである。

2. 「常陽」における CP 測定

2.1 「常陽」のプラント構成

高速実験炉「常陽」のプラント構成の概要を、図 1 に示す。

系統は、主冷却系 2 系統 (A, B ループ)、補助冷却系、オーバフロー系及び純化系からなり、CP の移行、蓄積のある 1 次主冷却系には、中間熱交換器 (Intermediate Heat Exchanger: 以下、IHX)、循環ポンプ等の機器を有する。

1 次主冷却系の配管は 2 重管構造で、全長は約 85m、冷却材ナトリウムの流路となる内管径は原子炉出口から IHX までのホットレグ領域が 20B (内径 : 489.0mm)、IHX から循環ポンプまでのコールドレグ(1)領域が 18B (内径 : 441.4mm)、循環ポンプから原子炉入口までのコールドレグ(2)領域が 12B (内径 : 305.5mm) である。

冷却材ナトリウムは、1 次主循環ポンプによって冷却系内を循環しており、その流量は、MK-II 炉心時の 2,200t/h から MK-III 炉心になって 2,700t/h (いずれも 2 ループ分) に增加了。

原子炉出口温度は 500°C、原子炉入口温度は MK-II 炉心において 370°C、MK-III 炉心になり 350°C と、ホットレグ／コールドレグ温度差は 20°C 増加している。

2.2 「常陽」の運転実績と CP 測定実績

「常陽」は、1977 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 サイクル運転を行った。1982 年 1 月から照射用炉心 (MK-II) への移行を開始して、1983 年 3 月に熱出力 100MWt に到達後、第 32 サイクルからの高性能照射用炉心(MK-III) への移行炉心を含む 35 サイクルの定格出力運転と特殊運転のための運転を行った。2000 年 6 月より第 13 回定期検査及び MK-III 炉心へ以降するための冷却系改造工事が開始され、機能試験、性能試験を経て、2004 年 5 月より MK-III 炉心での本格運転 (定格熱出力 140MWt) を開始した。これまでの主要な運転実績を図 2 示す。また、各運転サイクルの詳細を表 2 に示す。

「常陽」における 1 次冷却系の CP 付着分布測定は、1979 年の第 1 回定期検査時に行って以来、MK-III 炉心への移行に伴う冷却系改造工事を行った第 13 回施設定期検査時を除いて、毎定期検査時に実施してきており、本報告の第 14 回施設定期検査時の測定で 14 回目である。これまでの測定において、運転初期の段階での CP の増加傾向や、その後の運転による推移に関する知見・データの蓄積が図られた。また、定期的な測定・監視の結果を踏まえ、CP 発生量の抑制を目的としたナトリウム中酸素濃度低減のための 1 次ナトリウム純化系コールドトラップ設定温度の変更 (約 150°C から約 120°C に変更) や、コールドトラップメッシュの空隙率の変更による局部的閉塞の防止、「もんじゅ」1 次系コールドトラップと同一構造とした新型のコールドトラップへの交換等が行われた。MK-III 改造において交換した主 IHX においては、CP 付着抑制対策としてノズル部構造等の最適化が図られており、これまでの定期的な測定の結果が、効果的にプラント側へ反映されている。

これまでの CP 付着分布測定の実績を、表 3 に示す。

1次冷却系機器・配管表面の γ 線量率分布の測定には、熱蛍光線量計（TLD）、電子ポケット線量計（EPD）及びプラスチックシンチレーション光ファイバ（PSF）を使用している。また、Ge 検出器を用いた γ 線スペクトル測定を行い、CP 核種の確認と各核種の分布・推移に関するデータを取得した。

3. 測定時のプラント状態及び測定方法

3.1 測定時のプラント状態

測定は 1 次冷却系機器・配管を対象としており、それらがあるエリアは原子炉運転中に立ち入ることができないため、原子炉停止後に十分時間がとれる施設定期検査期間中に実施している。本測定期間及び測定時のプラント状態は、以下のとおりである。

測 定 期 間 : 2006 年 7 月 13 日 ~ 2006 年 7 月 21 日

(MK-III 炉心第 2' サイクル運転終了後、原子炉停止後 238 日経過)

プラント状態 : 原子炉停止中、系統ナトリウムドレン状態

「常陽」累積運転時間 : 約 2,160EFPD (内、MK-III 炉心での運転 : 約 120EFPD)

3.2 測定方法

3.2.1 CP 付着分布測定

Ge 検出器を用いて γ 線スペクトルを測定し、主要な線源の特定と付着密度を求め、測定位置と CP の付着密度の関係を把握する。

γ 線スペクトル測定は、これまで定点測定を行っており、A ループ側の測定位置は、1 次系配管の炉容器出口側 CP-001 から炉容器入口側 CP-015 までの 17 箇所 (IHX 表面、主循環ポンプ表面を含む) あり、前回（第 12 回定期検査時）測定においては、配管上にある測定位置のうち 10 箇所を選定している。今回の測定では、作業工程等の観点から、3 箇所 (炉容器出口～IHX までのホットレグ配管、IHX～主ポンプまでのコールドレグ(1)、主ポンプ～炉容器入口までのコールドレグ(2) の各領域範囲より代表 1 箇所) を選定した。また、測定は A ループ側のみとした。

- ① IHX (A) 入口側配管立上りエルボ部 (測定点 No. : CP-005)
- ② IHX (A) 出口ノズル付近 (測定点 No. : CP-008-2)
- ③ 電磁流量計下部 (上流側) (測定点 No. : CP-014)

測定位置を図 3 に示す。

Ge 検出器の設置位置は、毎測定同じ位置とするため、コリメータ（レール上に乗せる台車になっている）を設置する専用レールが測定点付近の架台に設けられており、そのレール上にコリメータを設置して測定した。上記①～③の各位置における Ge 検出器の設置状況を図 4 に示す。

3.2.2 配管・機器表面線量率分布測定

1 次主冷却系配管・機器表面の γ 線量率分布の測定は、プラスチックシンチレーション光ファイバ (PSF) 及び電子ポケット線量計 (EPD) を用いて行った。

(1) PSF による測定

PSF による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率の測定は、PSF 長さの関係から、以下の 6 領域に分けて実施した。

- ① 炉容器出口～ (ホットレグ)
- ② ~IHX(A)入口 (ホットレグ)
- ③ IHX(A)出口～ (コールドレグ(1))
- ④ ~主ポンプ(A) (コールドレグ(1))
- ⑤ 主ポンプ(A)～ (コールドレグ(2))
- ⑥ ~電磁流量計 (コールドレグ(2))

PSF の測定位置を図 5 に示す。

(2) EPD による測定

EPD による γ 線量率測定の位置は、PSF 測定範囲内の定点測定位置について、1~2 箇所おきに測定することとし、1 次主冷却系配管(A ループ)の範囲においては、図 6 に示す 59 点を測定した。1 次主冷却系機器表面については、前回の測定結果を踏まえ、以下の領域を測定した。

- ① IHX(A) 入口ノズル方位の軸方向 10 点
- ② IHX(A) 入口ノズル方位から 90 度の軸方向 10 点
- ③ IHX(A) 代表高さの周方向 8 点
- ④ 主ポンプ(A) 出口ノズル方位を挟み 90 度ずれた 2 方位の軸方向 各 10 点
- ⑤ IHX(B) 代表方位の軸方向 10 点 (比較用参考測定)

EPD の設置位置を図 7 に示す。

PSF 及び EPD の設置状況を図 8 に示す。

3.3 使用した機器及び測定条件

3.3.1 高純度 Ge 半導体検出器

γ 線スペクトル測定に用いた高純度 Ge 検出器の主要仕様を表 4 に示す。また、使用した鉛製コリメータ（開口部直径 : $\phi 20\text{mm}$ ）の構造を図 9 に示す。

計測時間は、3,000~3,500 秒とした。

3.3.2 プラスチックシンチレーション光ファイバ (PSF)

1 次主冷却系配管・機器表面の γ 線量率分布測定に用いた PSF の主要仕様を表 5 に示す。また、PSF の測定原理を図 10 に示す。

本測定で用いた光ファイバは、10 芯、15m のものである。計測時間は 300 秒 (10,000 カウント程度得られることを目安に予備測定結果を踏まえて設定) で、測定データは、事前の校正照射で求めた応答関数を用いて、逐次近似法によるアンフォールディングを行い、測定により

得られた計数率から線量率を求めた。

3.3.3 電子ポケット線量計 (EPD)

PSF と同様の範囲の γ 線量率測定に用いた EPD の主要仕様を表 6 に示す。

計測時間は 0.48~2.73 時間（測定位置の作業性により、検出器設置から撤去までの時間が異なる）である。

測定で得られた積算計数を、設置・撤去時の時刻記録から算出した計測時間で除して、計数率を求めた。

3.4 各計測機器の校正

3.4.1 Ge 検出器の校正

CP 核種の同定とその付着量に関する測定は、Ge 検出器を用いた γ 線スペクトル測定を行い、測定されたスペクトルの光電ピークから核種を特定し、計数率は原子炉停止時点から測定時点までの減衰補正を行って求めた。得られた計数率から、校正定数を用いて各核種の付着密度を算出している。算出のための校正定数は、実測定体系を模擬した配管モデルと ^{54}Mn , ^{60}Co の校正用標準線源により測定・評価した値を用いた。

図 11 に Ge 検出器の校正方法の概要と校正定数を示す。

3.4.2 PSF の校正

1 次主冷却系配管・機器表面の γ 線量率分布測定に用いる PSF は、長手方向位置による感度が必ずしも均一でないため、使用にあたっては照射施設にて校正照射（使用線源： ^{137}Cs ）を行い、検出効率、線量率直線性、位置毎の換算計数（単位：mSv/h/cps/cm）を求め、測定値を γ 線量率に換算した。

図 12 に PSF 校正照射時のセッティングを、図 13 に PSF 装置構成を示す。

校正照射を行った結果、図 14 及び図 15 に示す PSF 長手方向の計数率分布及び線量率直線性に関するデータを得た。

図 15 に示す線量率と計数率の関係より、概ね直線性があると考えられる 0.5mSv/h 以下の範囲を実測定で使用することとし、1 次主冷却系配管の γ 線量率分布測定に用いることとした。

校正に用いた PSF の位置毎の換算係数に関連する分解能を図 16 に、応答関数を表 7 に示す。

3.4.3 EPD の構成

1 次主冷却系配管・機器表面の γ 線量率分布測定に用いる EPD は、PSF と同様、照射施設にて校正照射（使用線源： ^{137}Cs ）を行い、その結果から校正定数（補正係数）を求め、実測定で得られた値を補正した。EPD の校正照射体系を図 17 に、校正照射結果を図 18 及び表 8 に示す。

4. 測定結果

4.1 CP 付着分布

1 次主冷却系配管内面の CP 核種の付着分布を確認するため、代表箇所に設置した Ge 検出器を用いて測定を行った。

各位置における測定結果を、図 19, 20 及び表 9 に示す。

本測定は、原子炉停止（MK-III 第 2' サイクル終了後）から 238 日経過後のナトリウムドレン状態において実施しており、前回の測定結果との比較においては、原子炉停止時点（2' サイクル終了時の 2004/11/17 時点）の値に換算（減衰分を補正）した。なお、IHX(A)出口ノズル付近の測定点（CP-008-2）は、MK-III 改造時に更新された新 IHX 出口側の配管ベローズの保溫・外装板領域端部と干渉したため、配管表面からの距離が他の測定点と異なる（大きい）ことから、その距離の差分の補正を行った。

測定の結果、主要な各種は図 19 に示すとおり ^{54}Mn と ^{60}Co であった。

各位置における値は、図 20 に示すように IHX(A)出口ノズル付近の測定点（測定位置②；CP-008-2）において ^{54}Mn の値が前回の 40%程度となっている。それ以外の箇所は、概ね前回の測定結果と同程度であることが確認できた。

4.2 配管表面の γ 線量率分布

4.2.1 PSF による測定結果

PSF を用いた γ 線量率分布測定結果として、測定領域①～⑥における測定位置と計数率及び γ 線量率の関係を、図 21～23 に示す。また、そのデータを表 10 に示す。

PSF 測定範囲の表面線量率は、概ね 0.5mSv/h 以下の範囲にあり、図 24 に示す第 12 回施設定期検査時の測定結果との比較では、特に IHX(A)～ポンプ(A)間のコールドレグ領域に差の大きい箇所がある。

本測定においては、事前の PSF 校正の結果から、線量と計数率の関係に直線性のある 0.5mSv/h 以下の範囲を測定対象とした。

4.2.2 EPD による測定結果

EPD による配管表面の γ 線量率測定結果を、図 25 及び表 11～13 に示す。図中には、参考として前回の測定結果（TLD による測定結果）をあわせて示した。

測定の結果、線量率は全体的に前回より若干低め側にシフトしているように見えるが、IHX(A)出口～ポンプ(A)間のコールドレグ領域（原子炉出口から 35～45m の範囲）の値は前回より大きく、その他の位置は概ね前回と同程度の値となっている。

IHX(A)出口～ポンプ(A)間のコールドレグ領域の値が大きくなっていることについては、上記 4.2.1 の PSF 測定結果にもその傾向が表れており、配管内面の CP 付着量の増加により線量率が大きくなったものと考えられる。

MK-III 炉心への移行に伴ってプラントヒートバランスが変わり、コールドレグ温度は 370°C から 350°C に低下しており、その差が CP 付着量の増加の一因であると考えられる。

4.2.3 PSF と EPD の測定結果の比較

上記 4.2.1, 4.2.2 で示した PSF 及び EPD の測定結果を比較したものを、図 26 に示す。

PSF と EPD の測定結果に大きな差はなく、特に原子炉容器出口～IHX(A)間ホットレグ領域は良好な一致を示している。比較的線量の高い 1 次主循環ポンプ付近と、ポンプ(A)～EMF～原子炉入口間のコールドレグ領域については、測定結果の差が他の位置に比べて若干大きい結果となっている。

PSF は、設置範囲の線量率分布を効率的に採取でき、測定結果も EPD と有意な差がないことから、測定系の改善やファイバ芯数等を検討してより高い線量率まで測定できるよう整備し、IHX やポンプの範囲までをカバーできれば、有効な測定手段になるものと考えられる。

4.3 機器表面の γ 線量率分布

1 次主冷却系の主要な機器である IHX 及びポンプについて、表面の γ 線量率分布を EPD により測定した。

4.3.1 IHX 表面の γ 線量率分布

IHX については、A 号機のナトリウム入口ノズル方向（A 方向）及びその 90 度方向（C 方向）と、B 号機のナトリウム入口ノズル方向（A 方向）の軸方向 γ 線量率分布を測定した。

IHX(A)の測定結果を図 27, 28 及び表 14, 15 に示す。図中には、IHX 更新前の前回（第 12 回定期検査時）の測定結果をあわせて示した。測定の結果は、全体的な傾向として前回の値より小さくなっていること、上方より 400cm 位置（ナトリウム入口バイパスシール部付近）にあったピークが解消されていることを確認した。

IHX(B)の測定結果を図 29 及び表 16 に示す。図中には、前回測定結果をあわせて示した。測定の結果、1 次ナトリウム入口ノズル近傍にあった大きなピークがなくなり、全体にわたって 0.6mSv/h 以下の低めの値となっていることを確認した。

図 30 には、IHX(A)と IHX(B)のナトリウム入口ノズル方向（A 方向）の測定結果の比較を示す。図に示すとおり、A, B 号機の測定結果（値及び分布）に有意な差がないことを確認した。

4.3.2 ポンプ表面の γ 線量率分布

1 次主循環ポンプ(A)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果を、図 31 及び表 17 に示す。図中の本測定（第 14 回施設定期検査時）及び第 12 回施設定期検査時（1999 年 1 月）の測定結果（A 及び C 方向）に対して、A 方向を挟んで 45° 異なる B, H 方向*の結果と比較すると、ピーク位置で 1.5～1.8 倍大きい値となった。また、軸方向全体でみても、前回より増加している。ピーク値は出口ノズルより少し上方となるナトリウム軸受け上部位置付近と考えられる。

* : 第 14 回定期検査時の測定においては、事前の現場調査で、出口ノズル方向（A 方向）の対称側である C-E-G 方向の作業性が悪いことを確認した。加えて、A 方向には出口ノズル等の干渉物があることから、A 方向を挟んで 45 度異なる方向の B, H 方向を測定対象とした。

1 次主循環ポンプ(A)表面の γ 線量率の方向依存性は、過去のデータより、出口ノズルの対

称方向である E 方向（オーバーフローカラム側）が上部（床コンクリート下面）より 100
～150cm の位置に大きなピークを示すが、その他の方向に有意な差がないことを確認して
いる。

5. 考 察

5.1 CP 付着分布の推移

高速実験炉「常陽」の 1 次主冷却系配管(A ループ)の CP 核種の付着分布に関して、第 5 回目の測定（第 4 回定期検査時、1984 年 1 月）～今回の第 14 回目の測定（第 14 回施設定期検査時、2005 年 7 月）における ^{54}Mn の付着密度の推移を図 32 及び表 18 に示す。また、同様に Co^{60} の付着密度の推移を図 33 及び表 19 に示す。

図 34 に示すとおり、 ^{54}Mn の付着密度は、第 7 回測定（第 6 回定期検査時、1987 年 5 月、積算熱出力 84,000MWd 付近）でホットレグ領域の値が飽和レベルに達し、コールドレグ領域は第 9 回測定（第 8 回定期検査時、1990 年 4 月、積算熱出力 130,000MWd 付近）で値が飽和レベルに到達しているような挙動を示している。第 11 回測定（第 10 回定期検査時、1993 年 6 月）と第 12 回測定（第 11 回定期検査時、1995 年 10 月）の間は運転時間が少なく、減衰により値が減少している。前回にあたる第 13 回目の測定（第 12 回施設定期検査時、1999 年 1 月、積算熱出力 192,000MWd 付近）と本測定（第 14 回施設定期検査時、2005 年 7 月）の間には、MK-III 炉心への移行に伴う冷却系の改造工事が行われており、原子炉停止期間は通常より長かったが、MK-III 炉心以降後の運転で積算熱出力は 232,000MWd 付近まで増加した。停止期間における値の減衰分を考慮しても、各領域での ^{54}Mn 付着密度は、第 13 回測定（第 12 回施設定期検査時、1999 年 1 月）より増加の傾向を示している。ただし、本測定（第 14 回施設定期検査時、2005 年 7 月）におけるコールドレグ(1)の範囲は、IHX 更新に伴い更新された配管の範囲内 1 点のみの測定であることから、 ^{54}Mn 付着密度は第 13 回測定（第 12 回施設定期検査時、1999 年 1 月）より低下しているようにみえるが、実際には MK-III 運転に伴う増分である。

^{60}Co については、図 33 に示すとおり、ホットレグ領域の値は ^{54}Mn の傾向と同様で、コールドレグの 2 領域については、第 12 回測定時点（第 11 回定期検査時、1995 年 10 月、積算熱出力 171,000MWd 付近）までにかけて、なだらかに上昇する傾向が示されている。 ^{54}Mn より半減期の長い ^{60}Co は、直近の原子炉運転による増加分より、それ以前の積算分の減衰効果の方が大きく影響する場合もあるものと考えられ、値の増減の傾向は 2 核種で若干異なっている。各領域での値は、前回より増加の傾向を示しているが、コールドレグ(2)の今回の値は、 ^{54}Mn と同様、MK-III 運転に伴う増分であると考えられる。

今回、代表測定点として選定した位置のうち、コールドレグ(2)が更新範囲であったことから、見掛け上、他の位置と異なる履歴を示した。このため、次回以降の測定においては、測定箇所を追加し、付着量の推移を評価する。

5.2 配管表面の γ 線量率分布の推移

1 次主冷却系配管(A ループ)表面の γ 線量率(平均値)の推移を、図 34 及び表 20 に示す。

各領域の前回測定時点までの結果の推移は、図 32 に示す ^{54}Mn の付着密度の傾向と同様で、 ^{54}Mn が主要な線源となっていることが分かる。ホットレグとコールドレグ(2)の各領域の γ 線量率の平均値は、第 13 回測定（第 12 回施設定期検査時、1999 年 1 月）より若干減少してい

るが、コールドレグ(1)の値は増加している。

主要な線源である⁵⁴Mnの値は、図32では更新範囲の測定位置が1点のみであるため確認できないが、それ以外の範囲において、⁵⁴Mnの付着密度が増加している可能性がある。

MK-III炉心への移行に伴ってコールドレグ温度が低下したことにより、CP付着傾向がこれまでと異なっている（コールドレグ(1)の領域により付着し易くなっている）可能性があると考えられることから、次回以降、CP付着密度の測定位置を追加して、挙動の変化を評価する。

5.3 機器表面の γ 線量率分布

主要機器として測定対象としたIHX及びポンプの外表面の γ 線量率の結果、傾向については、4章に示したとおりである。

MK-III炉心への移行に伴って更新されたIHXについては、図35に示すとおり、前回測定(IHX更新前)においてIHX A, B号機の構造が異なっていたため、表面線量率、線量率分布に差が見られたが、特に線量率が大きかったIHX(B)のナトリウム入口ノズルは、CP付着抑制の観点から図36に示すような構造の最適化が図られ、A, B号機ともに同一構造となった効果が本測定（第14回施設定期検査時、2005年7月）によって確認できた。

今後も同様にデータを採取して γ 線量率分布の推移を把握し、CP蓄積抑制の観点で見直されたノズル部の構造の妥当性を評価する。

6. おわりに

「常陽」の1次冷却系機器・配管のCP付着状況把握のための第14回目となるデータ採取を行った。今回の測定はMK-III炉心への移行に伴う冷却系改造工事後に行った最初の測定であり、プラントヒートバランス、冷却材流量等の変更による影響の有無を確認する最初のデータである。今回の結果からは、全体的なCP付着傾向はこれまでと大きく異なることはなく、更新されたIHX及び運転時の温度条件が変更になった（低下した）コールドレグ領域の一部に若干の違いが確認された。今後、MK-III炉心での運転と定期的な測定を継続して、炉心・冷却系改造による変更パラメータの影響をより詳細に評価し、CP付着特性に関する知見を蓄積していく。

謝 辞

本測定に係る作業計画の作成、測定作業及びデータ整理についてご協力いただきました検査開発株式会社の杵井智彦氏、佐井川拓也氏、及び高速実験炉部の関係者各位に対し、謝意を表します。

参考文献

- (1) Nd. Ali, et al., "Measurement and evaluation of radioactive corrosion product behaviour in primary sodium circuits of JOYO," PNC TN9410 90-114 (1990)
- (2) 飯沢克幸 他, "「常陽」における CP 付着分布の測定と評価 (II)", PNC TN9410 92-224 (1992)
- (3) 飯沢克幸 他, "高速炉における放射性腐食生成物挙動評価手法の整備－「常陽」における挙動評価と解析コードの検証－", PNC TN9410 92-345 (1992)
- (4) 茶谷恵治 他, "「常陽」における CP 付着分布の測定と評価 (III)", PNC TN9410 94-032 (1993)
- (5) 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)
- (6) 青山卓史 他, "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)", PNC TN9410 98-004 (1997)
- (7) 石田公一 他, "高速実験炉「常陽」における放射性腐食生成物(CP)測定結果－MK-III 改造による CP 付着分布－", 日本原子力学会 2006 年春の年会予稿集 I53 (2006)

表 1 高速炉の 1 次冷却系における主要な線源

核種	生成核反応	半減期 (days)	γ 線エネルギー (MeV)	備 考
^{54}Mn	$^{54}\text{Fe}(\text{n},\text{p})$	312	0.83	高速炉では最も優勢な CP。純 Ni 材により捕獲可能。
^{60}Co	$^{59}\text{Co}(\text{n}, \gamma)$	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	$^{58}\text{Ni}(\text{n},\text{p})$	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	$^{50}\text{Cr}(\text{n}, \gamma)$	28	0.32	生成源は炉心および構造材中の不純物 Cr。
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{109}\text{Ag}(\text{n}, \gamma)$	253	0.658, 0.88	生成源は炉心および構造材中の不純物 Ag。可溶性。
^{124}Sb	$^{123}\text{Sb}(\text{n}, \gamma)$	60	0.60, 1.69	生成源は炉心および構造材中の不純物 Sb あるいは低融点合金シール材の混入。
^{24}Na	$^{23}\text{Na}(\text{n}, \gamma)$	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	$^{23}\text{Na}(\text{n}, 2\text{n})$	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。

表 2 CP 付着分布測定時点の「常陽」運転実績データ

No.	測定時期		積算熱出力 (MWh)	定格運転時間 (EFPD)	炉心
1	1979 年 9 月	第 1 回定検時	213,610	111.2	MK- I
2	1980 年 12 月	第 2 回定検時	430,520	221.9	
3	1982 年 7 月	第 3 回定検時	673,330	338.5	
4	1983 年 7 月	性能試験終了後	740,192	348.5	
5	1984 年 1 月	第 4 回定検時	954,706	428.9	
6	1985 年 9 月	第 5 回定検時	1,495,639	629.2	
7	1987 年 5 月	第 6 回定検時	2,031,359	833.1	
8	1988 年 10 月	第 7 回定検時	2,554,662	1,041.7	
9	1990 年 4 月	第 8 回定検時	3,163,400	1,287.7	
10	1991 年 12 月	第 9 回定検時	3,645,999	1,483.2	
11	1993 年 6 月	第 10 回定検時	4,082,552	1,649.5	MK- II
12	1995 年 10 月	第 11 回定検時	4,159,906	1,677.6	
13	1999 年 1 月	第 12 回定検時	4,609,905	1,859.3	
14	2005 年 7 月	第 14 回定検時	5,573,888	2,158.2	MK- III

表 3 「常陽」における C P 付着分布測定の実績

		実施年月	γ 線量率分布測定	γ 線ス <small>ペ</small> クトル測定	備 考
MK-I	第 1 回	1979(S.54)年 9 月	○ (TLD)		第 1 回定検時
	第 2 回	1980(S.55)年 12 月	○ (TLD)		第 2 回定検時
	第 3 回	1982(S.57)年 7 月	○ (TLD)	○	第 3 回定検時
MK-II	第 4 回	1983(S.58)年 7 月	○ (TLD)		MK-II 性能試験終了後
	第 5 回	1984(S.59)年 1 月	○ (TLD)	○	第 4 回定検時
	第 6 回	1985(S.60)年 9 月	○ (TLD)	○	第 5 回定検時
	第 7 回	1987(S.62)年 9 月	○ (TLD)	○	第 6 回定検時
	第 8 回	1988(S.63)年 10 月	○ (TLD)	○	第 7 回定検時
	第 9 回	1990(H.2)年 4 月	○ (TLD)	○	第 8 回定検時
	第 10 回	1991(H.3)年 12 月	○ (TLD)	○	第 9 回定検時
	第 11 回	1993(H.5)年 6 月	○ (TLD)	○	第 10 回定検時
	第 12 回	1995(H.7)年 10 月	○ (TLD/PSF)	○	第 11 回定検時
	第 13 回	1999(H.11)年 1 月	○ (TLD/PSF)	○	第 12 回定検時
MK-III	第 14 回	2005(H.17)年 7 月	○ (EPD/PSF)	○	第 14 回定検時

< γ 線量率分布測定に用いた検出器 >

TLD : 熱蛍光線量計

EPD : 電子ポケット線量計

PSF : プラスチックシンチレーション光ファイバ

表 4 高純度 Ge 検出器の主要仕様

項目	仕様
型 式	メーカー : ORTEC 型式 : GEM-18180 (Serial No. : 27-P60HP)
形 状	同軸型 直径／長さ : 50mm／50.7mm 検出器有効体積 : 99.5cm ³
使用電圧	3.0kV (極性 : positive)
エネルギー分解能	1.7keV FWHM (1.332MeV - ⁶⁰ Co)
ピーク対コンプトン比	52.4
検出効率	17.0%

表 5 プラスチック・シンチレーション光ファイバ (PSF) の主要仕様

項目	仕様
型 式	メーカー : BICRON 型式 : BCF-10
素子材質	コア部 : ポリスチレン クラッド部 : ポリメチルメタクリレート (PMMA)
波長シフト材	Butyl PBD
形状寸法	直径／長さ : 1mm／15,000mm Core : 10 芯

表 6 電子ポケット線量計 (EPD) の主要仕様

項目	仕様
型 式	メーカー : ALOKA 型式 : ADM-112
種 類	シリコン半導体検出器
測定範囲	0.001～999.9mSv
エネルギー範囲	40keV～
形状寸法	52(W)×110(H)×18(D) mm

表 7 PSF (10 芯×15m) の応答関数

表 8 電子ポケット線量計 (EPD) 校正照射結果

目標照射線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	使用線源 (Bq)	線源との 距離 (m)	照射(計 測)時間 (s)	照射線量 (mSv)	測定値(mSv) *									
						①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
B.G.	—	—	—	5,460	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.36	11.1G	1.8016	100	0.010	0.008	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009	0.009
0.10	3.44	111G	1.8016	104	0.100	0.085	0.089	0.086	0.086	0.085	0.090	0.088	0.089	0.086	0.090
1.00	7.79	111G	1.1983	464	1.004	0.850	0.882	0.871	0.864	0.857	0.883	0.899	0.894	0.882	0.885
10.00	93.39	1.85T	1.1983	387	10.039	8.356	8.675	8.532	8.521	8.402	8.637	8.766	8.749	8.605	8.655
校正場所 : 安全管理棟 高レベル照射室 校正日 : 平成17年6月9日 照射線源 : Cs-137 対象機器 : アロカ製 電子ポケット線量計(ADM-112) No.①～⑩															
*:測定2回の平均値															

表 9 核種毎の付着密度測定結果

	測定位置		測定日時	核種	計数値 (counts)	測定時間 (s)	計率数 (cps)	校正定数 (kBq/cm ² /cps)	付着密度(kBq/cm ²)	
									測定時	原子炉停止時への換算 2004/11/17
今回 の 測 定 結 果	Aループ ホットレグ	CP-005	2005/7/8 11:10	Mn-54	34,673	3,000	11.56	1.16	13.41	22.51
				Co-60	10,811	3,000	3.60	1.15	4.14	4.51
	Aループ コールドレグ	CP-008-2*	2005/7/8 14:38	Mn-54	28,638	3,000	9.55	0.82	7.83	17.30
				Co-60	10,101	3,000	3.37	0.87	2.93	3.90
		CP-014	2005/7/11 10:45	Mn-54	258,864	3,500	73.96	0.79	58.43	98.74
		Co-60	10,503	3,500	3.00	0.82	2.46	2.68		

*:配管表面～外装板表面間の距離等が他の測定点より大きく、距離の差分を補正した。

	測定位置		測定日時	核種	計数値 (counts)	測定時間 (s)	計率数 (cps)	校正定数 (kBq/cm ² /cps)	付着密度(kBq/cm ²)	
									測定時	原子炉停止時への換算 1998/2/24
前回 (第1 2回 回定 検) の 測 定 結 果	Aループ ホットレグ	CP-001	1999/1/25	Mn-54	15357.0	2,000	7.68	1.16	8.91	18.77
				Co-60	10512.5	2,000	5.26	1.15	6.10	6.88
		CP-003-2	1999/1/26	Mn-54	14614.5	3,000	4.87	1.16	5.65	11.93
				Co-60	8105.3	3,000	2.70	1.15	3.11	3.51
		CP-005	1999/2/1	Mn-54	29206.3	3,000	9.74	1.16	11.29	24.17
				Co-60	13047.0	3,000	4.35	1.15	5.04	5.71
	Aループ コールドレグ (IHX～Pump)	CP-006	1999/2/2	Mn-54	37961.2	5,000	7.59	1.16	8.81	18.89
				Co-60	9027.8	5,000	1.81	1.15	2.08	2.35
		CP-007	1999/2/2	Mn-54	59656.0	6,000	9.94	—	—	—
				Co-60	6306.7	6,000	1.05	—	—	—
		CP-008-2	1999/2/1	Mn-54	73626.7	3,000	24.54	0.82	20.12	43.06
				Co-60	13958.0	3,000	4.65	0.87	3.82	4.32
		CP-009	1999/1/28	Mn-54	153110.3	6,000	25.52	0.82	20.93	44.40
				Co-60	8155.0	6,000	1.36	0.87	1.18	1.34
		CP-011	1999/1/27	Mn-54	100901.7	3,000	33.63	0.82	27.58	58.36
				Co-60	9242.7	3,000	3.08	0.87	2.53	2.85
	Pump(A)	CP-012	1999/1/28	Mn-54	40121.0	2,000	20.06	—	—	—
				Co-60	10743.0	2,000	5.37	—	—	—
		CP-013 CP-014 CP-015	1999/1/27 1999/1/26 1999/1/25	Mn-54	159643.8	3,000	53.21	0.79	42.04	89.00
				Co-60	9267.7	3,000	3.09	0.82	2.44	2.76
				Mn-54	122045.0	2,000	61.02	0.79	48.21	101.83
				Co-60	9041.7	2,000	4.52	0.82	3.71	4.19
				Mn-54	47695.3	1,500	31.80	0.79	25.12	52.92
				Co-60	10527.8	1,500	7.02	0.82	5.54	6.26

表 10 PSFによる1次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果

領域	距離(m)	計数率*(cps)	線量率(mSv/h)	領域	距離(m)	計数率*(cps)	線量率(mSv/h)	領域	距離(m)	計数率*(cps)	線量率(mSv/h)
①	5.40	822	0.323	③	35.03	382	0.146	④	50.56	626	0.229
	5.90	751	0.342		35.25	374	0.153		51.04	675	0.231
	6.40	727	0.287		35.48	449	0.173		51.51	682	0.255
	6.90	702	0.320		35.71	497	0.177		51.99	681	0.247
	7.40	608	0.274		35.94	650	0.213		52.62	626	0.268
	7.90	504	0.185		36.17	1,060	0.415		53.26	552	0.221
	8.40	397	0.161		36.88	1,140	0.469		53.90	525	0.199
	8.90	277	0.096		37.59	966	0.285		54.54	532	0.238
	10.23	174	0.055		38.30	1,070	0.421		55.08	602	0.242
	11.55	143	0.048		39.02	942	0.388	⑤	58.53	628	0.243
	11.94	151	0.049		39.37	779	0.245		59.03	590	0.262
	12.32	156	0.049		39.73	692	0.208		59.53	621	0.228
	12.70	154	0.038		40.08	642	0.167		60.28	692	0.274
	13.09	174	0.046		40.44	608	0.185		61.03	805	0.365
	13.47	245	0.081		41.03	625	0.204		61.78	832	0.305
	13.85	291	0.103		41.63	634	0.233		62.81	779	0.301
	14.38	310	0.116		42.22	552	0.184		63.28	716	0.222
	14.90	309	0.122		42.81	571	0.187		63.89	736	0.244
	19.53	445	0.141		43.40	699	0.244		64.49	840	0.337
②	20.02	439	0.168		43.94	739	0.327	⑥	64.49	915	0.296
	20.50	429	0.161		44.69	598	0.186		64.95	1,090	0.386
	20.98	375	0.110		45.45	622	0.236		65.41	1,060	0.416
	21.46	390	0.111		46.20	648	0.300		65.87	974	0.330
	21.95	515	0.203		46.20	723	0.297		66.33	1,020	0.346
	22.79	479	0.135		46.66	626	0.214		66.79	985	0.358
	23.63	314	0.076		47.12	588	0.194		67.34	982	0.348
	24.48	231	0.062		47.58	580	0.192		67.89	974	0.440
	24.81	206	0.077		48.10	548	0.173		68.43	828	0.346
	25.14	197	0.069		48.62	516	0.131		68.96	615	0.206
	25.48	204	0.070		49.14	517	0.154		69.50	516	0.202
	25.81	196	0.076		49.61	552	0.179		70.04	576	0.229
	26.14	164	0.054		50.09	579	0.225				
	26.48	130	0.044								
	26.81	162	0.068								
	27.14	230	0.101								
	27.48	270	0.130								
	28.25	328	0.135								

<領域>

- ①：原子炉容器出口～(ホットレグ)
 ②：～IHXA(A)入口 (ホットレグ)
 ③：IHXA(A)出口～ (コールドレグ(1))
 ④：～1次主循環ポンプ(A) (コールドレグ(1))
 ⑤：1次主循環ポンプ(A)～ (コールドレグ(2))
 ⑥：～電磁流量計 (コールドレグ(2))

*: 計数率は、PSFの位置分解能(FWHM=約18ch)を考慮して設定した評価幅(50cm; 12ch)分の測定値の合計値を示す。

表 11 EPD による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (1/3)

位置No.	EPD No.	測定日	開始時刻	終了時刻	照射時間 (h)	積算線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	補正後線量率* (mSv/h)	備考 (補正係数)
1	1	7/13	10:26	10:59	0.550	0.431	0.784	0.939	1.20
2	2	7/13	10:26	10:59	0.550	0.469	0.853	0.979	1.15
4	7	7/13	10:27	11:00	0.550	0.218	0.396	0.461	1.16
5	8	7/13	10:27	11:00	0.550	0.245	0.445	0.501	1.12
6	3	7/13	10:27	11:00	0.550	0.205	0.373	0.442	1.19
8	4	7/13	10:28	11:00	0.533	0.164	0.308	0.366	1.19
11	9	7/13	10:28	11:00	0.533	0.066	0.124	0.144	1.16
14	10	7/13	10:29	11:00	0.517	0.018	0.035	0.040	1.15
16	5	7/13	10:29	11:01	0.533	0.044	0.083	0.100	1.21
17	6	7/13	10:29	11:01	0.533	0.054	0.101	0.120	1.18
22	10	7/14	10:22	11:07	0.750	0.087	0.116	0.133	1.15
22	1	7/20	14:48	15:36	0.800	0.090	0.113	0.136	1.21
23	2	7/20	14:50	15:36	0.767	0.090	0.117	0.135	1.15
24	3	7/20	14:52	15:37	0.750	0.089	0.119	0.142	1.19
25	5	7/14	10:23	11:07	0.733	0.261	0.356	0.427	1.20
25	4	7/20	14:54	15:38	0.733	0.127	0.173	0.207	1.19
28	8	7/14	10:24	11:06	0.700	0.034	0.049	0.054	1.11
29	1	7/21	11:26	14:10	2.733	0.168	0.061	0.074	1.20
30	2	7/21	11:27	14:11	2.733	0.133	0.049	0.056	1.15
31	2	7/14	10:28	11:01	0.550	0.048	0.087	0.101	1.15
32	7	7/14	10:27	11:01	0.567	0.087	0.154	0.181	1.18
34	4	7/14	10:27	11:01	0.567	0.284	0.501	0.594	1.19
35	1	7/20	15:49	16:57	1.133	0.171	0.151	0.182	1.20

*: 実測値を、Ge検出器による測定結果をもとにCP核種(Co, Mn)の比率を仮定して、原子炉停止時(2004/11/17)の値に換算した参考値。

表 12 EPD による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (2/3)

位置No.	EPD No.	測定日	開始時刻	終了時刻	照射時間 (h)	積算線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	補正後線量率* (mSv/h)	備考 (補正係数)
36	1	7/14	13:42	14:18	0.600	0.117	0.195	0.235	1.21
36	2	7/20	15:49	16:57	1.133	0.201	0.177	0.204	1.15
37	7	7/20	15:50	16:57	1.117	0.208	0.186	0.217	1.16
38	8	7/20	15:51	16:57	1.100	0.165	0.150	0.168	1.12
39	2	7/14	13:42	14:18	0.600	0.158	0.263	0.303	1.15
39	9	7/20	15:52	16:57	1.083	0.179	0.165	0.192	1.16
40	10	7/20	15:52	16:57	1.083	0.292	0.270	0.309	1.15
41	5	7/20	15:53	16:58	1.083	0.515	0.475	0.567	1.19
42	6	7/20	15:53	16:58	1.083	0.511	0.472	0.546	1.16
43	3	7/14	13:43	14:18	0.583	0.198	0.339	0.403	1.19
43	3	7/20	15:53	16:58	1.083	0.356	0.329	0.388	1.18
44	4	7/20	15:54	16:58	1.067	0.237	0.222	0.264	1.19
45	4	7/14	13:43	14:19	0.600	0.128	0.213	0.254	1.19
49	5	7/14	13:44	14:19	0.583	0.141	0.242	0.291	1.20
50	10	7/13	14:49	15:33	0.733	0.258	0.352	0.403	1.15
50	7	7/14	13:44	14:19	0.583	0.200	0.343	0.399	1.16
51	9	7/20	15:06	15:42	0.600	0.183	0.305	0.354	1.16
52	9	7/13	14:49	15:33	0.733	0.201	0.274	0.318	1.16
52	10	7/14	13:45	14:19	0.567	0.162	0.286	0.328	1.15
54	5	7/13	14:50	15:33	0.717	0.135	0.188	0.227	1.20
56	4	7/13	14:51	15:33	0.700	0.126	0.180	0.215	1.19
59	3	7/13	14:53	15:32	0.650	0.180	0.277	0.329	1.19
62	7	7/13	14:54	15:32	0.633	0.194	0.306	0.357	1.16

*: 実測値を、Ge検出器による測定結果をもとにCP核種(Co, Mn)の比率を仮定して、原子炉停止時(2004/11/17)の値に換算した参考値。

表 13 EPD による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (3/3)

位置No.	EPD No.	測定日	開始時刻	終了時刻	照射時間 (h)	積算線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	補正後線量率* (mSv/h)	備 考 (補正係数)
63	8	7/13	14:54	15:32	0.633	0.257	0.406	0.456	1.12
64	1	7/14	14:31	15:02	0.517	0.356	0.689	0.826	1.20
67	3	7/14	14:32	15:02	0.500	0.314	0.628	0.742	1.18
69	2	7/14	14:32	15:02	0.500	0.192	0.384	0.441	1.15
70	7	7/14	14:33	15:02	0.483	0.161	0.333	0.389	1.17
73	5	7/14	14:33	15:03	0.500	0.224	0.448	0.537	1.20
75	4	7/14	14:34	15:03	0.483	0.164	0.339	0.404	1.19
76	10	7/20	15:10	15:41	0.517	0.170	0.329	0.377	1.15
77	9	7/13	14:01	14:32	0.517	0.190	0.368	0.427	1.16
77	10	7/14	14:34	15:03	0.483	0.169	0.350	0.401	1.15
78	6	7/20	14:58	15:40	0.700	0.244	0.349	0.406	1.17
79	5	7/20	14:58	15:39	0.683	0.218	0.319	0.383	1.20
80	8	7/13	14:00	14:31	0.517	0.169	0.327	0.367	1.12
82	7	7/13	13:59	14:30	0.517	0.170	0.329	0.384	1.17
83	7	7/20	15:02	15:40	0.633	0.183	0.289	0.337	1.17
84	8	7/20	15:03	15:40	0.617	0.156	0.253	0.284	1.12
85	5	7/13	13:58	14:30	0.533	0.130	0.244	0.293	1.20
86	4	7/13	13:57	14:29	0.533	0.205	0.384	0.457	1.19
88	3	7/13	13:56	14:29	0.550	0.219	0.398	0.472	1.19
90	2	7/13	13:55	14:28	0.550	0.274	0.498	0.572	1.15
93	1	7/13	13:54	14:28	0.567	0.478	0.844	1.010	1.20

*: 実測値を、Ge検出器による測定結果をもとにCP核種(Co, Mn)の比率を仮定して、原子炉停止時(2004/11/17)の値に換算した参考値。

表 14 EPD による IHX(A)表面の γ 線量率測定結果 (1/2)

位置No.	EPD No	測定日	開始時刻	終了時刻	照射時間 (h)	積算線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	補正後線量率* (mSv/h)	備考 (補正係数)
A方向									
1	1	7/15	13:34	14:44	1.167	0.044	0.038	0.046	1.21
2	2	7/15	13:34	14:44	1.167	0.282	0.242	0.278	1.15
3	3	7/15	13:34	14:44	1.167	0.654	0.561	0.659	1.18
4	5	7/15	13:35	14:45	1.167	0.342	0.293	0.351	1.20
5	6	7/15	13:35	14:45	1.167	0.486	0.417	0.483	1.16
6	7	7/15	13:35	14:45	1.167	0.427	0.366	0.422	1.15
7	8	7/15	13:35	14:45	1.167	0.195	0.167	0.188	1.12
8	9	7/15	13:35	14:45	1.167	0.105	0.090	0.105	1.16
9	4	7/15	13:35	14:42	1.117	0.155	0.139	0.165	1.19
10	10	7/15	13:35	14:42	1.117	0.186	0.167	0.191	1.15
C方向									
1	1	7/15	10:13	11:01	0.800	0.025	0.031	0.038	1.21
2	2	7/15	10:13	11:01	0.800	0.106	0.133	0.152	1.15
3	3	7/15	10:13	11:01	0.800	0.266	0.333	0.394	1.18
4	4	7/15	10:13	11:01	0.800	0.249	0.311	0.369	1.19
5	5	7/15	10:13	11:01	0.800	0.172	0.215	0.258	1.20
6	6	7/15	10:13	11:01	0.800	0.352	0.440	0.511	1.16
7	7	7/15	10:13	11:01	0.800	0.452	0.565	0.651	1.15
8	8	7/15	10:13	11:01	0.800	0.168	0.210	0.236	1.12
9	9	7/15	10:13	11:01	0.800	0.075	0.094	0.109	1.16
10	10	7/15	10:13	11:00	0.783	0.117	0.149	0.171	1.15

*: 実測値を、Ge検出器による測定結果をもとにCP核種(Co, Mn)の比率を仮定して、原子炉停止時(2004/11/17)の値に換算した参考値。

表 15 EPD による IHX(A)表面の γ 線量率測定結果 (2/2)

位置No.	EPD No	測定日	開始時刻	終了時刻	照射時間 (h)	積算線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	補正後線量率* (mSv/h)	備考 (補正係数)
位置No.7(周方向)									
A方向	4	7/21	11:37	14:12	2.583	1.280	0.495	0.581	1.17
B方向	5	7/21	11:37	14:13	2.600	2.340	0.900	1.064	1.18
C方向	3	7/21	11:38	14:13	2.583	1.466	0.567	0.663	1.17
D方向	10	7/21	11:48	14:18	2.500	1.115	0.446	0.510	1.14
E方向	6	7/21	11:47	14:17	2.500	3.008	1.203	1.372	1.14
F方向	9	7/21	11:45	14:14	2.483	2.632	1.060	1.224	1.15
G方向	7	7/21	11:40	14:14	2.567	2.334	0.909	1.028	1.13
H方向	8	7/21	11:42	14:13	2.517	3.938	1.565	1.781	1.14

*: 実測値を、Ge検出器による測定結果をもとにCP核種(Co, Mn)の比率を仮定して、原子炉停止時(2004/11/17)の値に換算した参考値。

表 16 EPD による IHX(B)表面の γ 線量率測定結果

位置No.	EPD No	測定日	開始時刻	終了時刻	照射時間 (h)	積算線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	補正後線量率* (mSv/h)	備 考 (補正係数)
A方向									
1	6	7/21	14:52	16:28	1.600	0.063	0.039	0.046	1.18
2	8	7/21	14:52	16:28	1.600	0.374	0.234	0.263	1.13
3	7	7/21	14:52	16:28	1.600	0.813	0.508	0.582	1.14
4	10	7/21	15:07	16:33	1.433	0.391	0.273	0.312	1.15
5	9	7/21	15:07	16:39	1.533	0.349	0.228	0.264	1.16
6	1	7/21	15:07	16:39	1.533	0.542	0.353	0.423	1.20
7	2	7/21	15:07	16:38	1.517	0.464	0.306	0.351	1.15
8	3	7/21	15:07	16:38	1.517	0.253	0.167	0.198	1.18
9	4	7/21	15:07	16:38	1.517	0.121	0.080	0.095	1.19
10	5	7/21	15:10	16:24	1.233	0.191	0.155	0.186	1.20

*: 実測値を、Ge検出器による測定結果をもとにCP核種(Co, Mn)の比率を仮定して、原子炉停止時(2004/11/17)の値に換算した参考値。

表 17 EPD による 1 次主循環ポンプ(A)表面の γ 線量率測定結果

位置No.	EPD No	測定日	開始時刻	終了時刻	照射時間 (h)	積算線量 (mSv)	線量率 (mSv/h)	補正後線量率* (mSv/h)	備 考 (補正係数)
B方向									
1	1	7/19	13:35	14:42	1.117	0.061	0.055	0.066	1.21
2	2	7/19	13:35	14:42	1.117	0.163	0.146	0.168	1.15
3	3	7/19	13:35	14:42	1.117	0.565	0.506	0.595	1.18
4	4	7/19	13:35	14:42	1.117	1.391	1.246	1.459	1.17
5	5	7/19	13:35	14:42	1.117	0.777	0.696	0.828	1.19
6	6	7/19	13:35	14:42	1.117	0.395	0.354	0.410	1.16
7	7	7/19	13:35	14:42	1.117	0.511	0.458	0.527	1.15
8	8	7/19	13:35	14:42	1.117	0.370	0.331	0.373	1.13
H方向									
1	10	7/19	13:34	14:42	1.133	0.132	0.116	0.134	1.15
2	2	7/19	10:12	11:17	1.083	0.207	0.191	0.220	1.15
3	3	7/19	10:12	11:17	1.083	0.587	0.542	0.637	1.18
4	4	7/19	10:12	11:17	1.083	1.028	0.949	1.114	1.17
5	5	7/19	10:12	11:17	1.083	0.885	0.817	0.972	1.19
6	6	7/19	10:12	11:17	1.083	0.483	0.446	0.516	1.16
7	7	7/19	10:15	11:18	1.050	0.545	0.519	0.597	1.15
8	8	7/19	10:15	11:18	1.050	0.384	0.366	0.412	1.13

*: 実測値を、Ge検出器による測定結果をもとにCP核種(Co, Mn)の比率を仮定して、原子炉停止時(2004/11/17)の値に換算した参考値。

表 18 1次主冷却系(A ループ)配管の ⁵⁴Mn 付着密度の推移(単位 : kBq/cm²)

測定領域	測定位置	⑤ 1984/1	⑥ 1985/9	⑦ 1987/9	⑧ 1988/10	⑨ 1990/4	⑩ 1991/12	⑪ 1993/6	⑫ 1995/10	⑬ 1999/1	⑭ 2005/7
ホットレグ (R/V～IHX)	CP-001		27.30	31.30	27.80	33.70	27.10	27.10	12.30	18.80	
	CP-002	19.90 *	28.60 *	38.20 *	26.60 *	40.40 *	31.90 *	31.60 *	14.80 *		
	CP-003-1	3.77 *	6.40 *	9.73 *	8.70 *	10.10 *	7.17 *	9.07 *	3.58 *		
	CP-003-2	10.80 *	17.10 *	23.80 *	15.00 *	23.90 *	16.10 *	13.50 *	8.46 *	11.90 *	
	CP-004	22.80 *	34.00 *	41.90 *	30.60 *	44.40 *	35.30 *	32.40 *	16.60 *		
	CP-005	20.90	28.20	40.50	26.00	43.20	30.90	33.60	16.20	24.20	22.51
	CP-006	16.50	25.30	30.70	27.40	35.30	23.40	25.30	12.50	18.90	
領域平均		18.70	26.93	34.17	27.07	37.40	27.13	28.67	13.67	20.63	22.51
コールドレグ(1) (IHX～Pump)	CP-008-1	13.50 *	26.80 *	47.70 *	49.50 *	88.80 *	67.10 *	70.50 *	22.90 *		
	CP-008-2	13.20	26.70	51.10	55.30	97.50	74.30	77.30	26.60	43.10	17.30
	CP-009	14.40	30.60	57.20	44.20	98.40	79.10	75.50	27.50	44.40	
	CP-010				8.47 *	25.90 *	22.00 *	26.00 *	7.37 *		
	CP-011	15.10	37.00	55.50	59.50	92.10	81.20	80.70	54.20	58.40	
	領域平均	14.23	31.43	54.60	53.00	96.00	78.20	77.83	36.10	48.63	17.30
コールドレグ(2) (Pump～R/V)	CP-013	23.00	54.10	85.90	95.60	150.00	140.00	112.00	28.30	89.00	
	CP-014	33.90	101.00	117.00	139.00	225.00	174.00	175.00	70.10	101.80	98.74
	CP-015	16.10	55.10	68.20	74.60	120.00	105.00	95.20	38.90	52.90	
	領域平均	24.33	70.07	90.37	103.07	165.00	139.67	127.40	45.77	81.23	98.74

*:領域平均値の算出において除外した。

表中の値は、実測値を原子炉停止時の値に補正したものである。

表 19 1次主冷却系(A ループ)配管の ⁶⁰Co 付着密度の推移(単位 : kBq/cm²)

測定領域	測定位置	⑤ 1984/1	⑥ 1985/9	⑦ 1987/9	⑧ 1988/10	⑨ 1990/4	⑩ 1991/12	⑪ 1993/6	⑫ 1995/10	⑬ 1999/1	⑭ 2005/7
ホットレグ (R/V～IHX)	CP-001		5.48	10.20	11.30	11.30	11.80	11.80	11.20	6.82	
	CP-002	2.68 *	3.39 *	5.77 *	5.96 *	7.25 *	7.97 *	7.87 *	7.18 *		
	CP-003-1	7.07 *	5.74 *	13.40 *	10.40 *	10.10 *	8.27 *	11.20 *	7.49 *		
	CP-003-2	2.89	2.87	5.96	5.44	7.10	5.70	5.67	5.72	3.51	
	CP-004	4.22 *	4.14 *	10.30 *	8.70 *	10.40 *	11.40 *	9.16 *	8.99 *		
	CP-005	4.11	8.33	13.00	8.25	11.00	10.80	9.50	10.10	5.66	4.51
	CP-006	1.81	2.42	3.35	3.36	3.81	3.16	3.98	4.23	2.35	
領域平均		2.94	4.78	8.13	7.09	8.30	7.87	7.74	7.81	4.59	4.51
コールドレグ(1) (IHX～Pump)	CP-008-1	2.85 *	3.70 *	4.03 *	3.81 *	3.81 *	4.67 *	1.86 *	4.69 *		
	CP-008-2	2.23	3.62	3.77	3.70	3.96	4.66	1.99	6.41	4.58	3.90
	CP-009	1.23 *	2.37 *	1.34 *	1.24 *	2.00 *	3.28 *	1.48 *	3.28 *	1.34 *	
	CP-010				0.92 *	1.63 *	2.96 *	2.39 *	2.26 *		
	CP-011	1.19	1.33	4.14	3.40	4.00	4.23	5.37	4.14	3.03	
	領域平均	1.71	2.48	3.96	3.55	3.98	4.45	3.68	5.28	3.81	3.90
コールドレグ(2) (Pump～R/V)	CP-013	13.20 *	15.20 *	3.38	3.05	3.33	4.53	3.89	3.52	2.86	
	CP-014	4.59	5.40	9.10	6.18	6.99	8.75	8.87	5.80	4.19	2.68
	CP-015	2.98	5.29	5.77	6.55	8.03	8.94	9.67	10.70	6.49	
	領域平均	3.79	5.35	6.08	5.26	6.12	7.41	7.48	6.67	4.51	2.68

*:領域平均値の算出において除外した。

表中の値は、実測値を原子炉停止時の値に補正したものである。

表 20 1次主冷却系配管表面の γ 線量率(平均値)の推移

No.	実施年月	積算熱出力 (MWd)	γ 線量率平均値 (mSv/h)			備考
			ホットレグ領域	コールドレグ領域(1)	コールドレグ領域(2)	
1	1979年9月	8,888	0.019	0.021	0.033	MK-I炉心
2	1980年12月	17,938	0.061	0.050	0.094	
3	1982年7月	28,055	0.081	0.070	0.144	
4	1983年7月	30,837	0.092	0.066	0.138	
5	1984年1月	39,653	0.284	0.249	0.421	
6	1985年9月	61,857	0.304	0.376	0.590	
7	1987年9月	83,841	0.416	0.419	0.874	
8	1988年10月	105,311	0.547	0.607	1.190	
9	1990年4月	130,221	0.665	0.816	1.300	
10	1991年12月	150,004	0.459	0.550	1.010	
11	1993年6月	167,951	0.499	0.541	1.060	
12	1995年10月	171,160	0.344	0.169	0.385	
13	1999年1月	192,079	0.289	0.250	0.525	
14	2005年7月	232,200	0.238	0.270	0.424	MK-III炉心

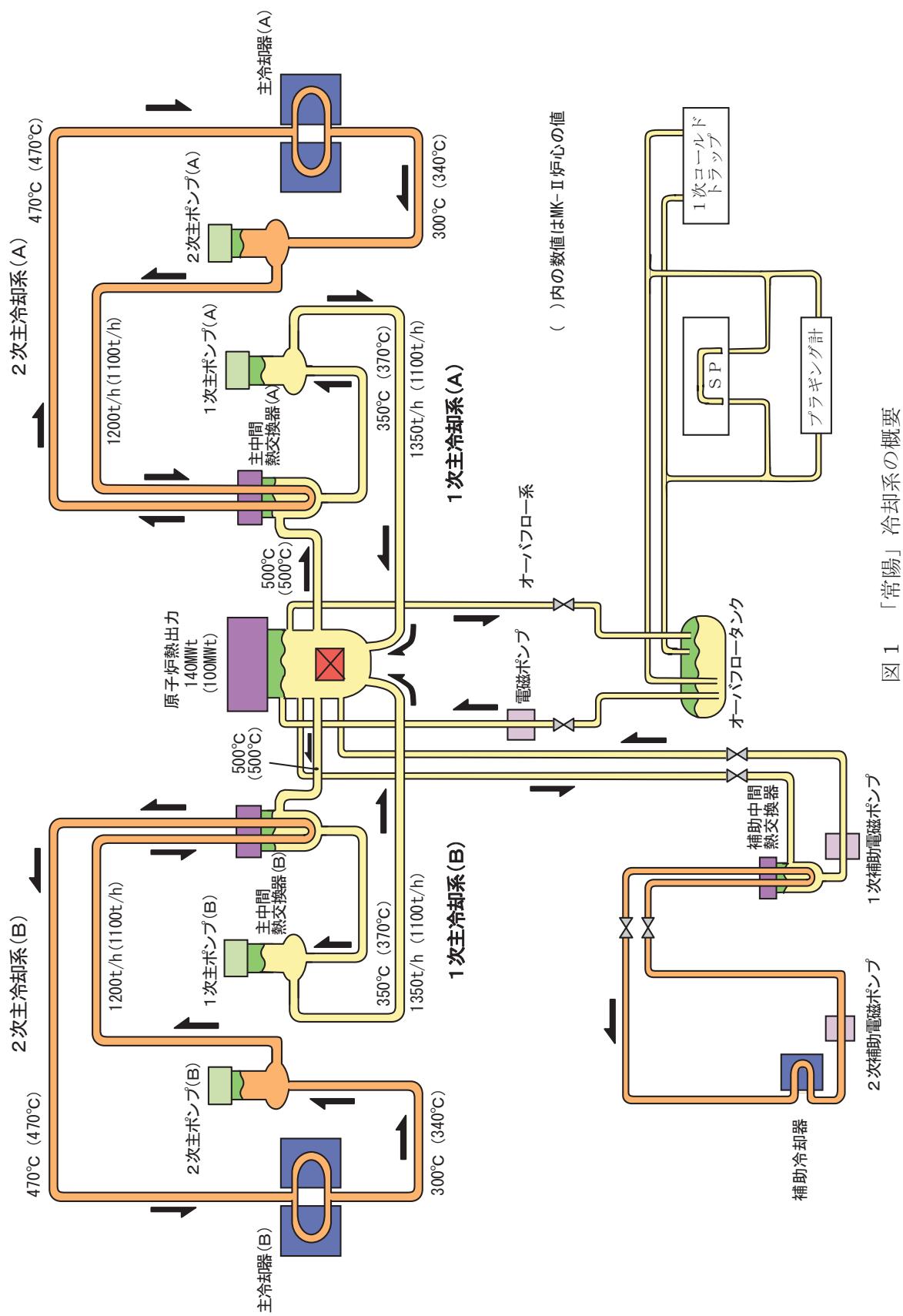


図 1 「常陽」冷却系の概要

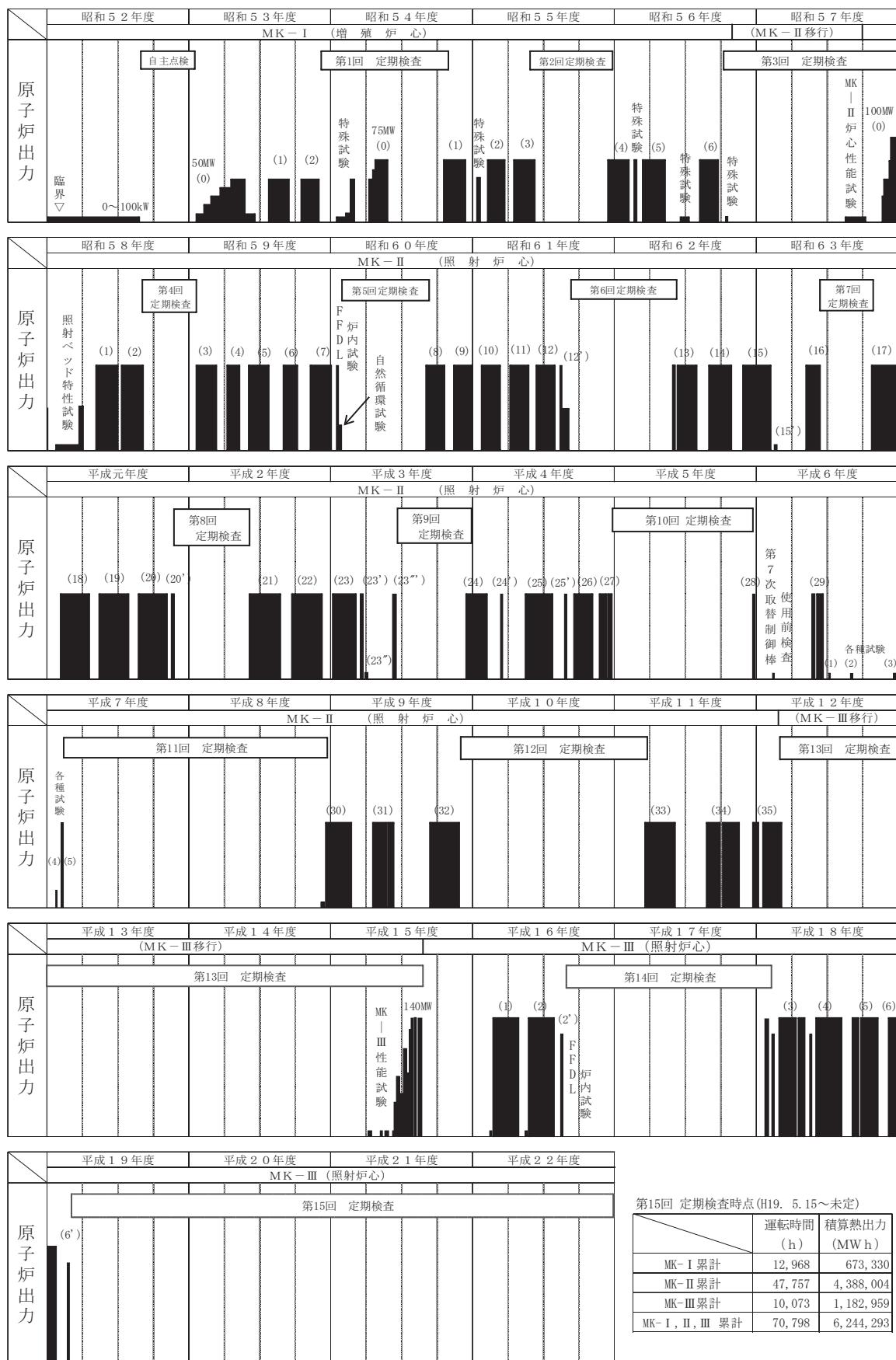


図 2 高速実験炉「常陽」の運転履歴

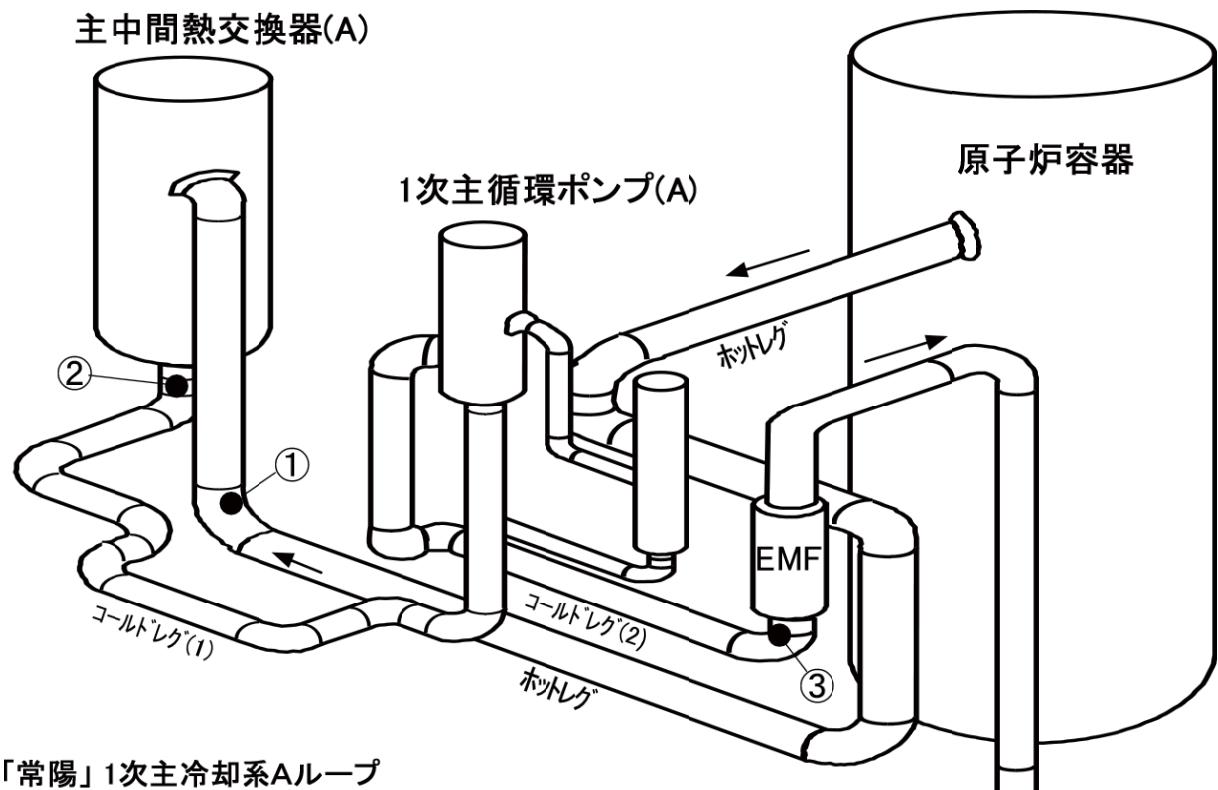


図 3 γ 線スペクトル測定位置 (Ge 検出器設置位置)

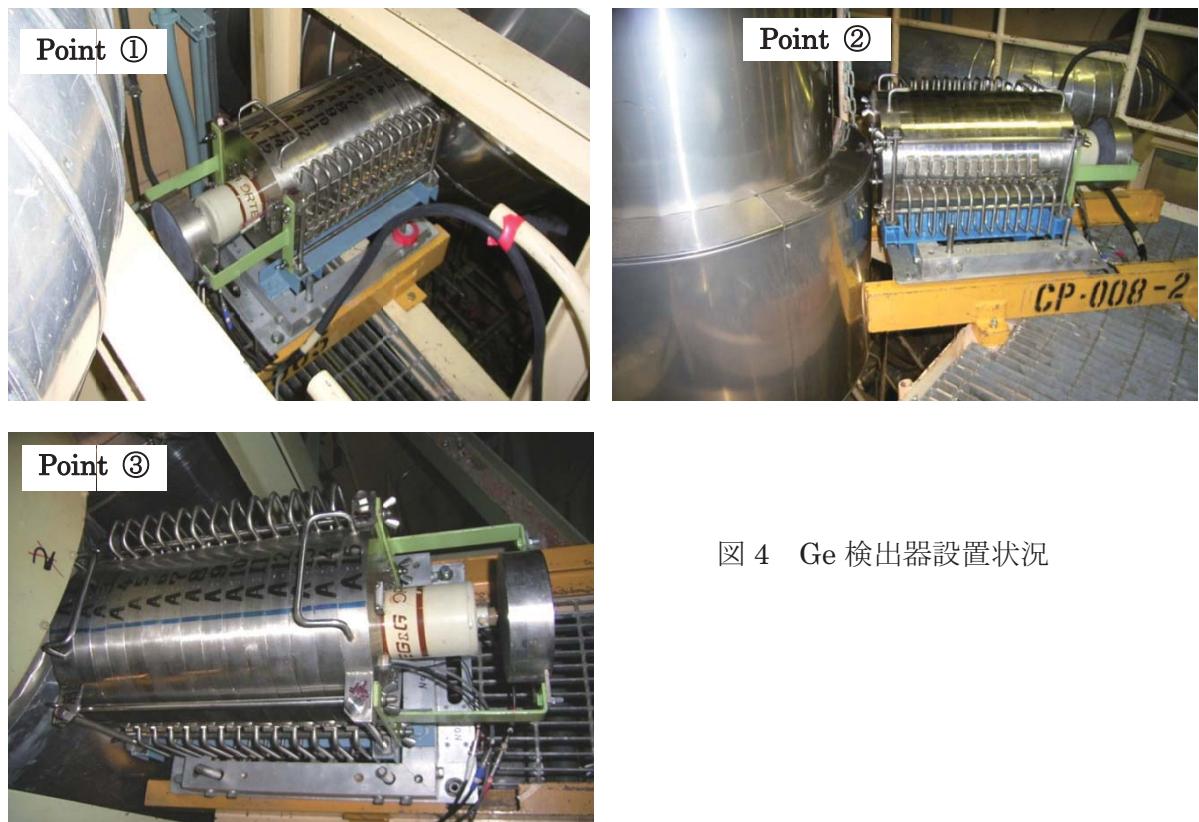


図 4 Ge 検出器設置状況

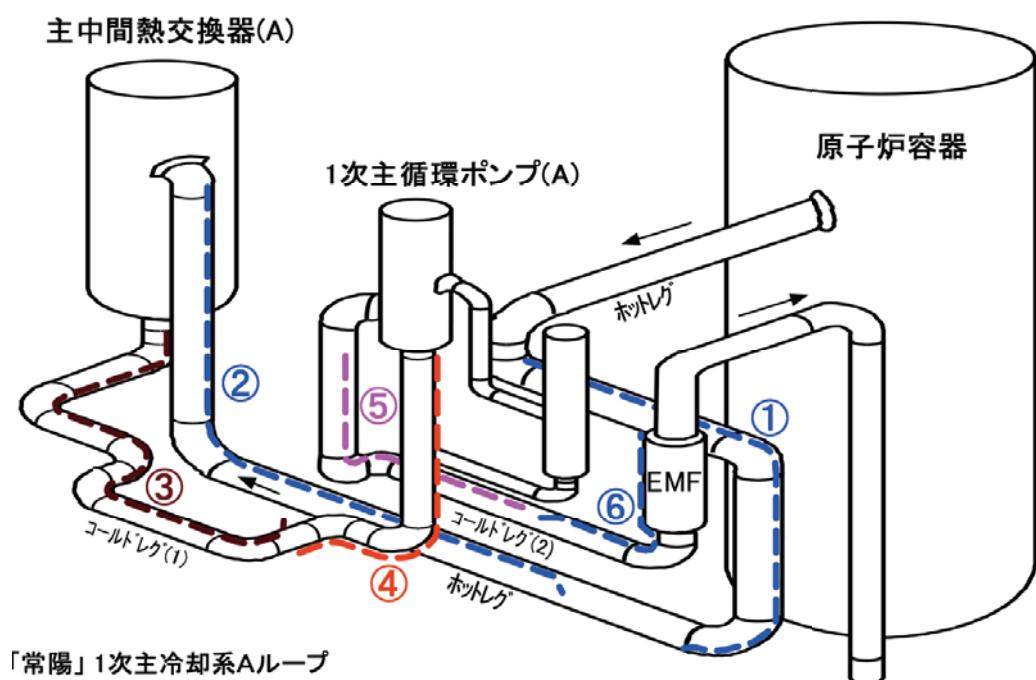
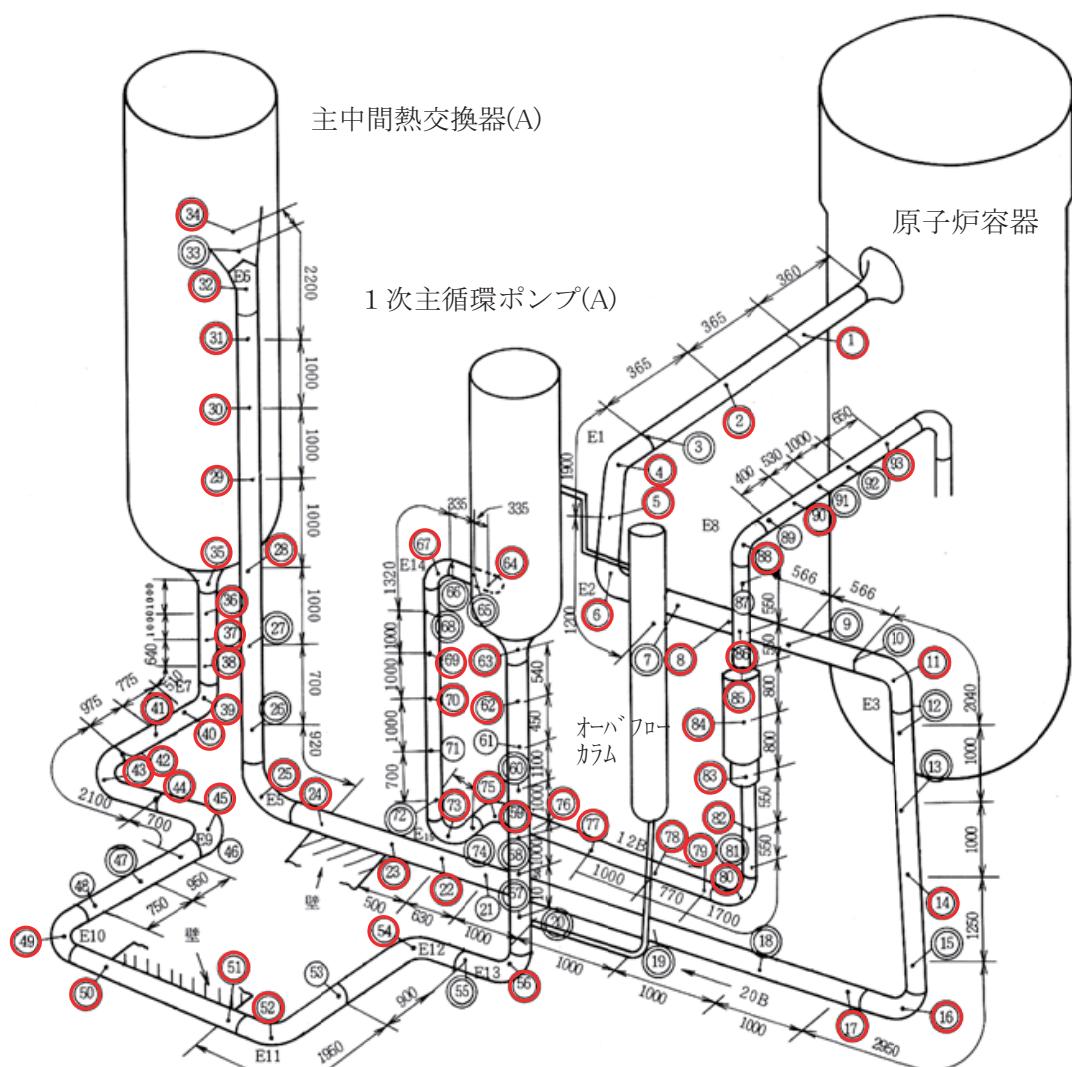


図 5 1次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定位置 (PSF 設置位置)



注記 1) 1~93 の測定点の位置を示す。 ○ : 今回の測定点

図 6 1 次主冷却系 (A ループ) 配管表面の γ 線量率測定位置 (EPD 設置位置)

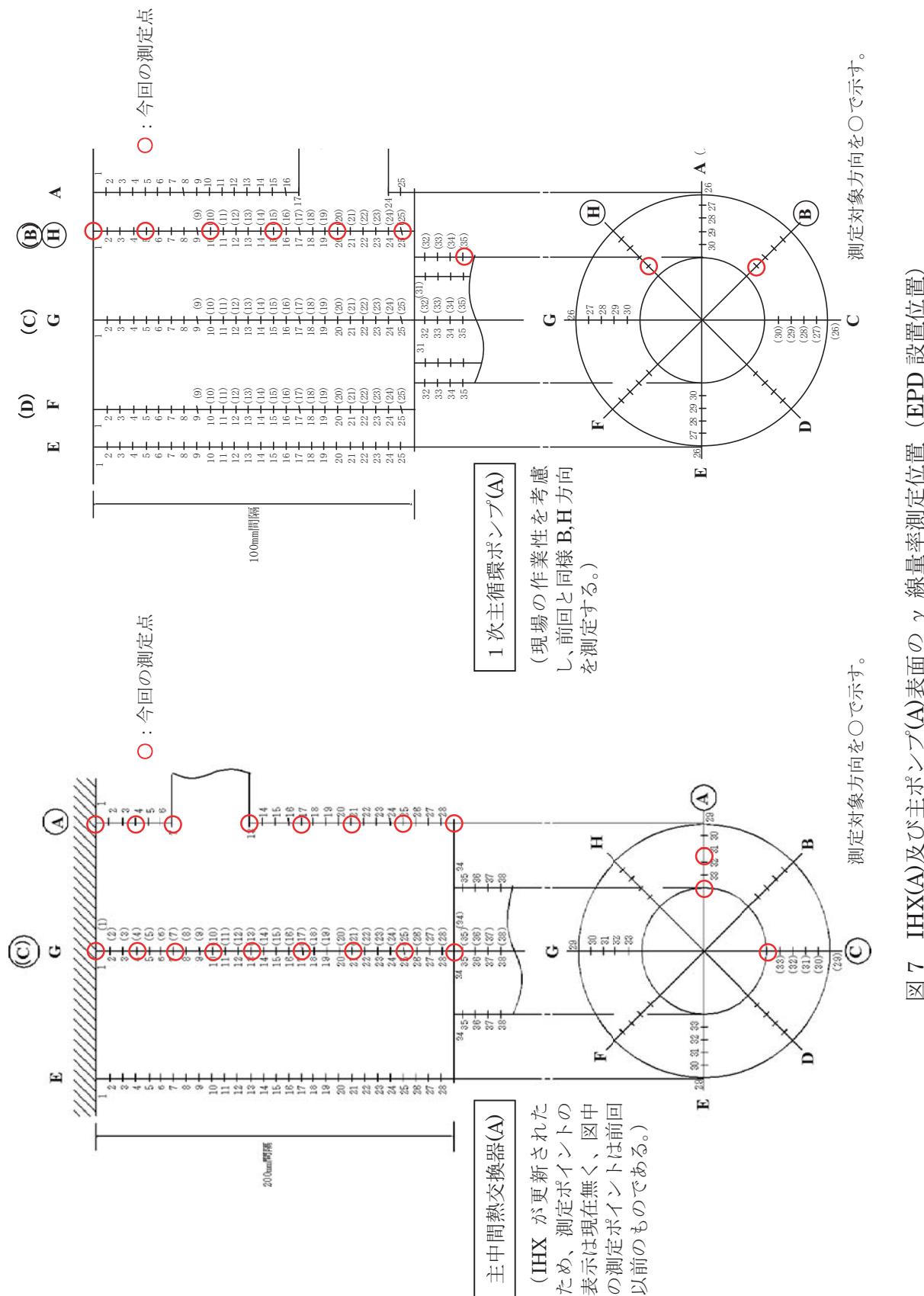


図 7 IHX(A)及び主ポンプ(A)表面の γ 線量率測定位置 (EPD 設置位置)

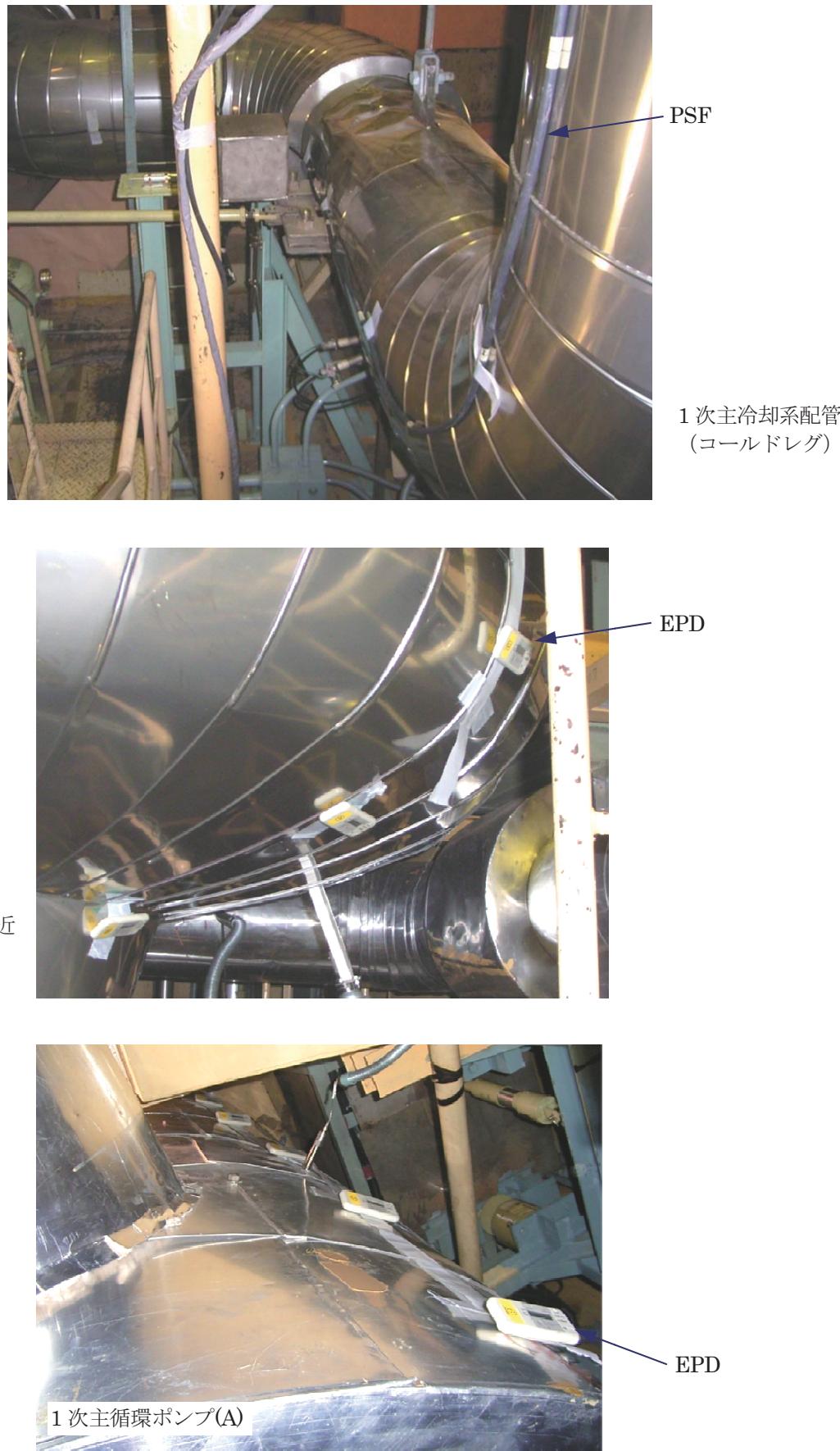
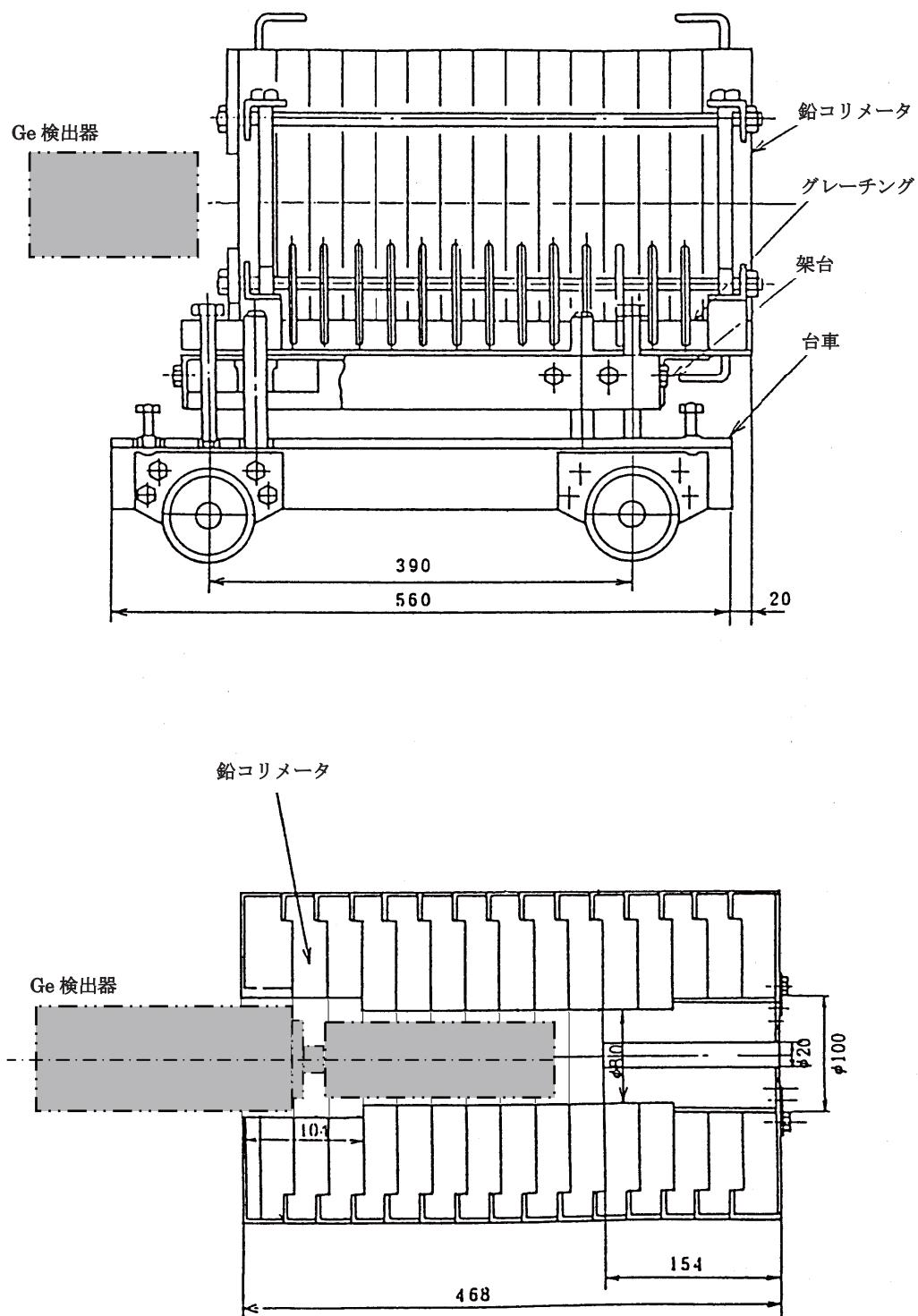
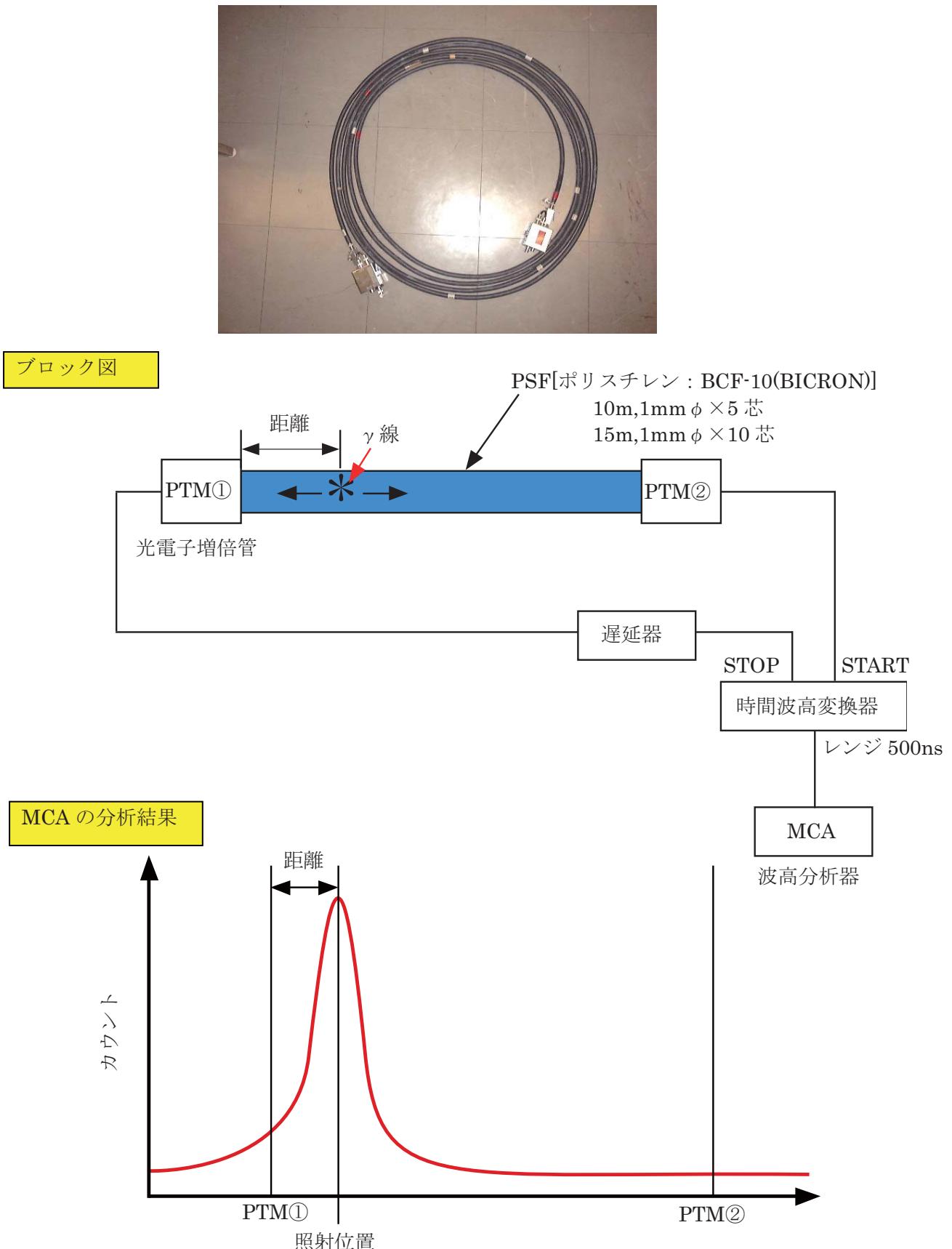


図 8 PSF 及び EPD の設置状況

図 9 γ 線スペクトル測定用鉛コリメータ構造



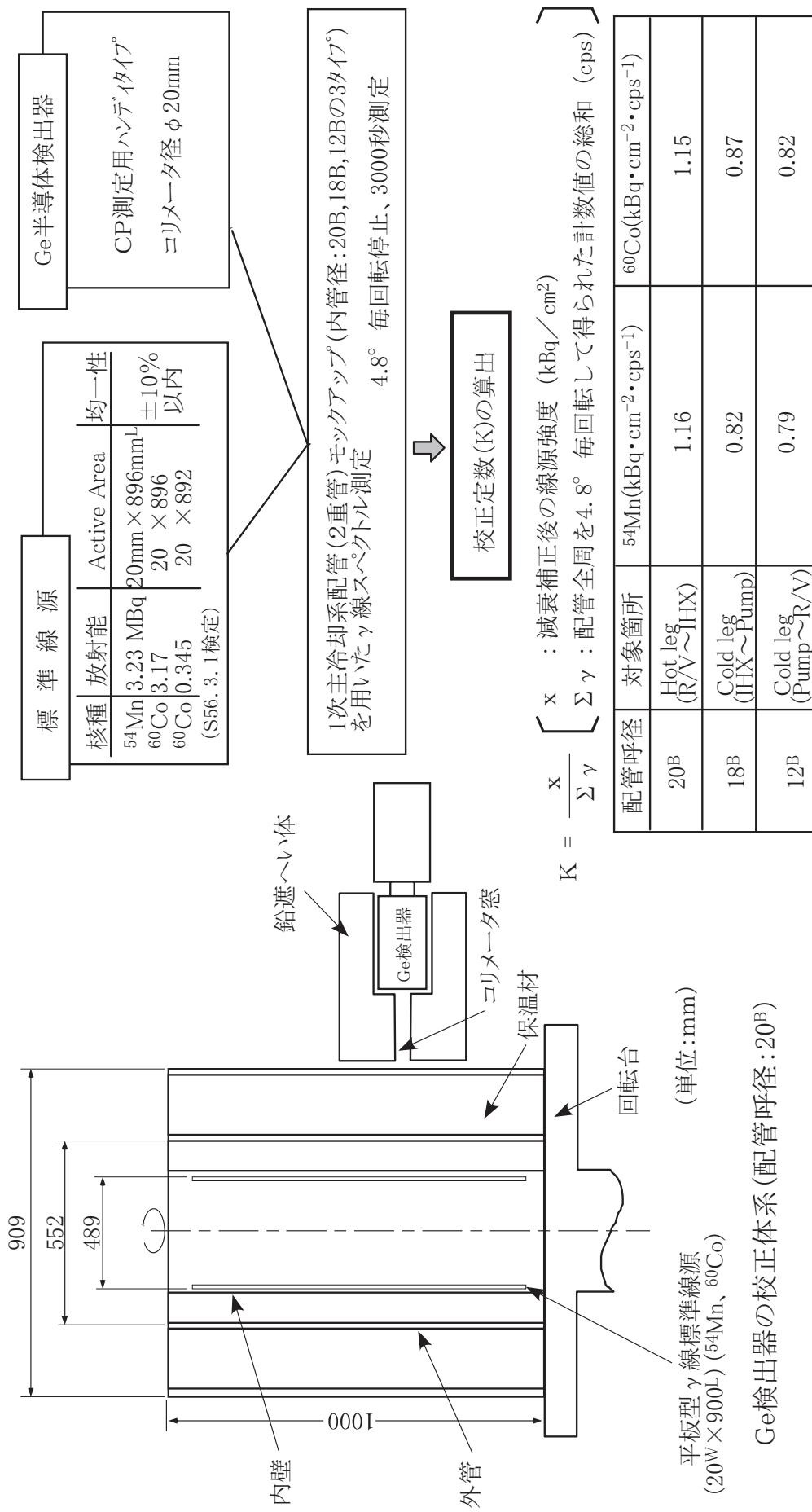


図 11 Ge 検出器の校正方法の概要及び校正定数

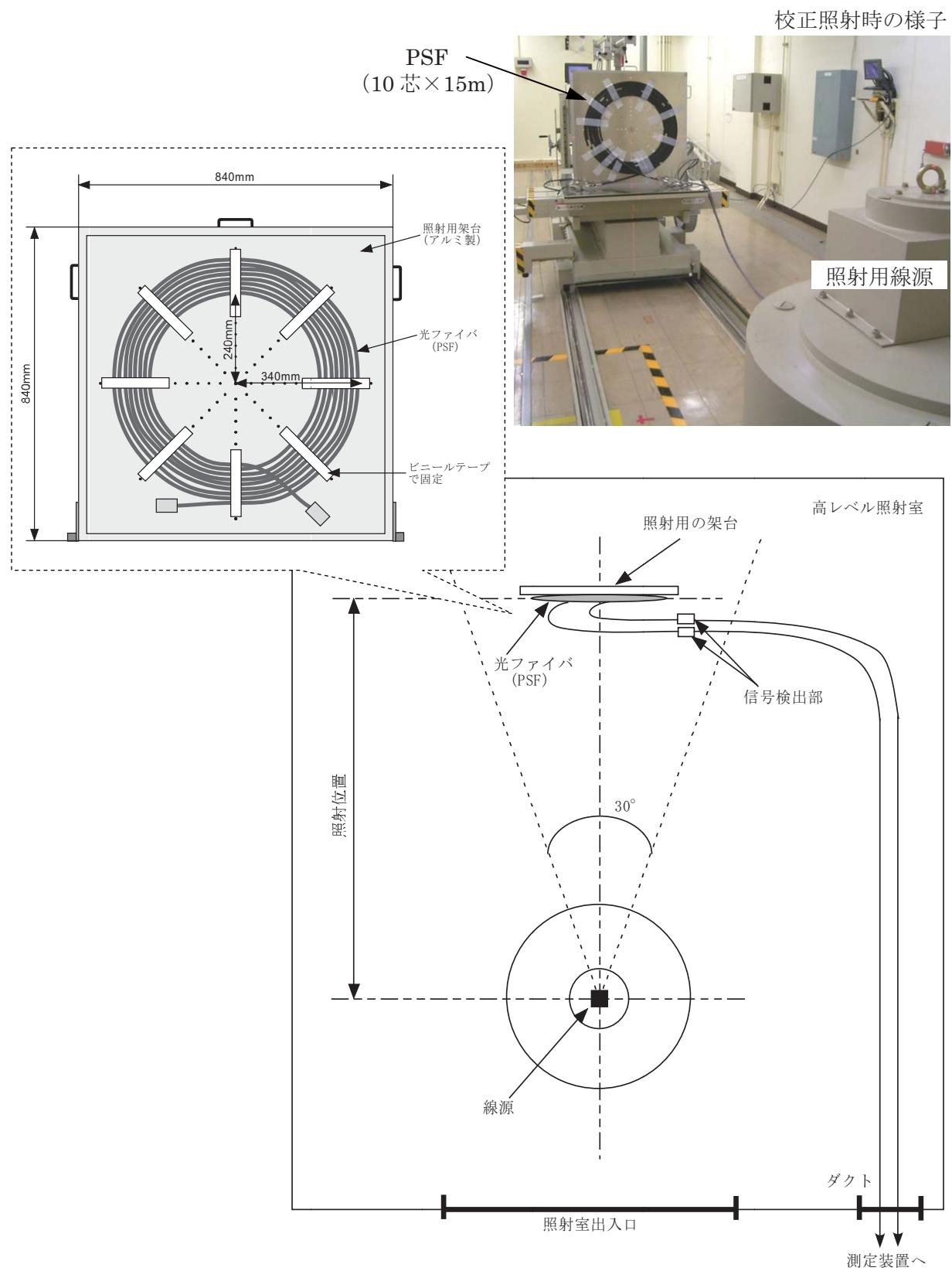


図 12 PSF 校正照射体系

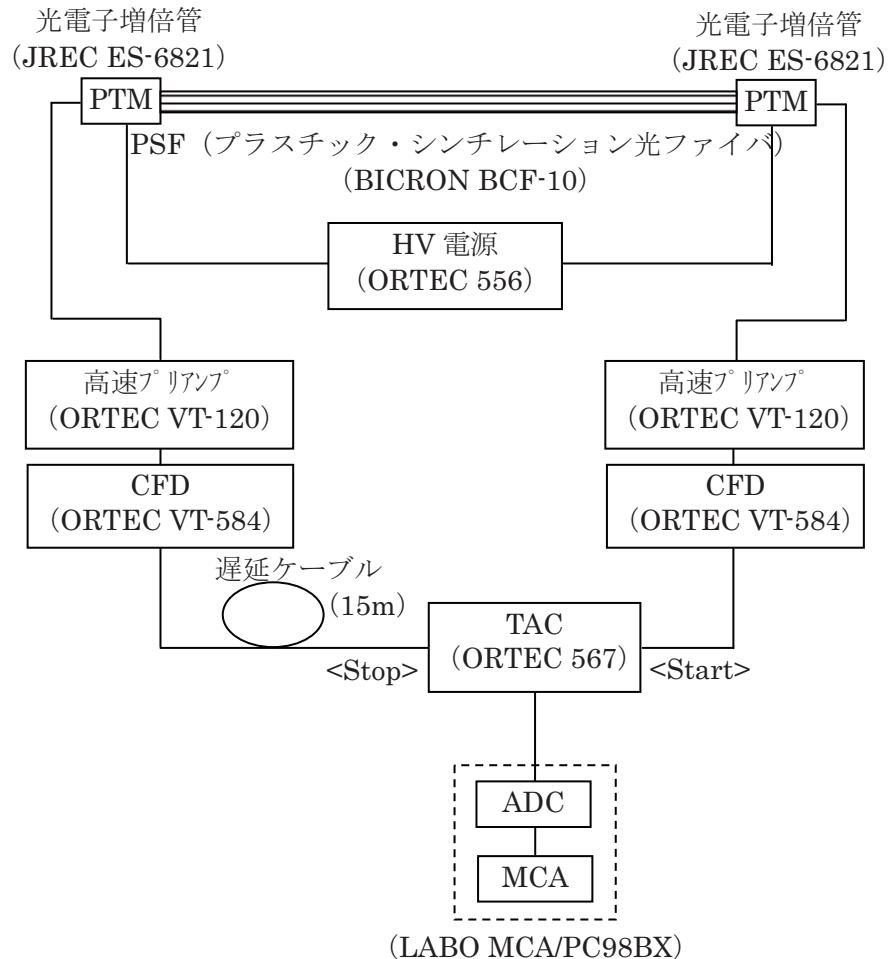


図 13 PSF 装置構成

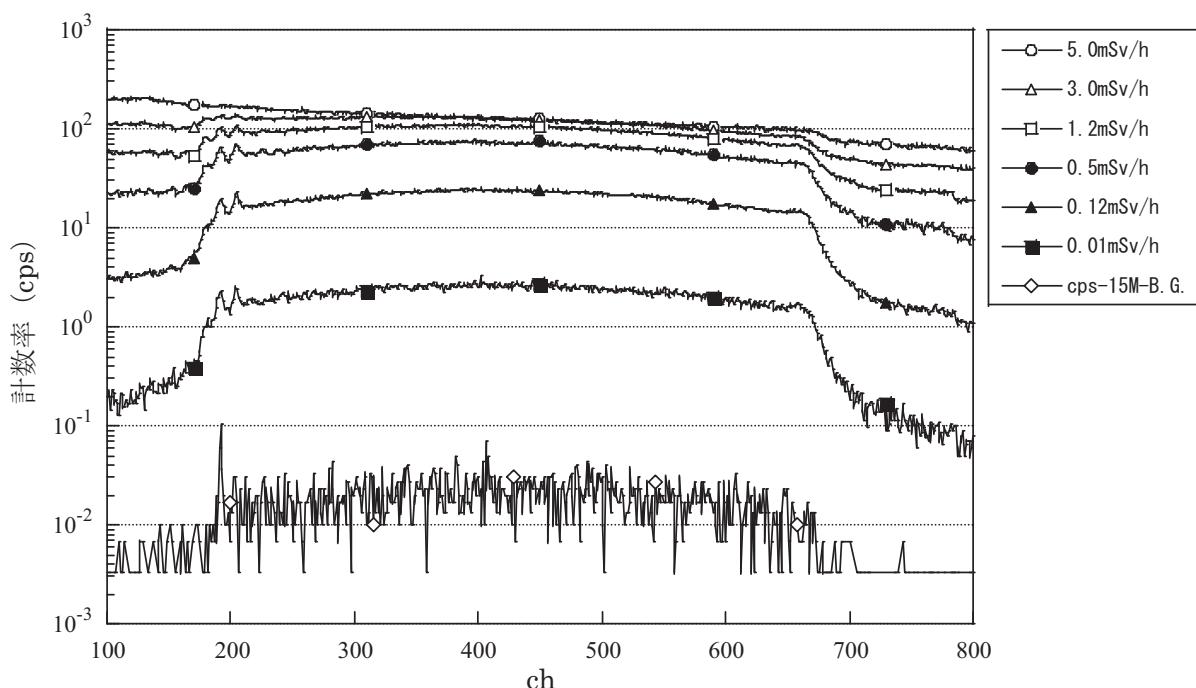


図 14 PSF 校正照射時の計数率分布

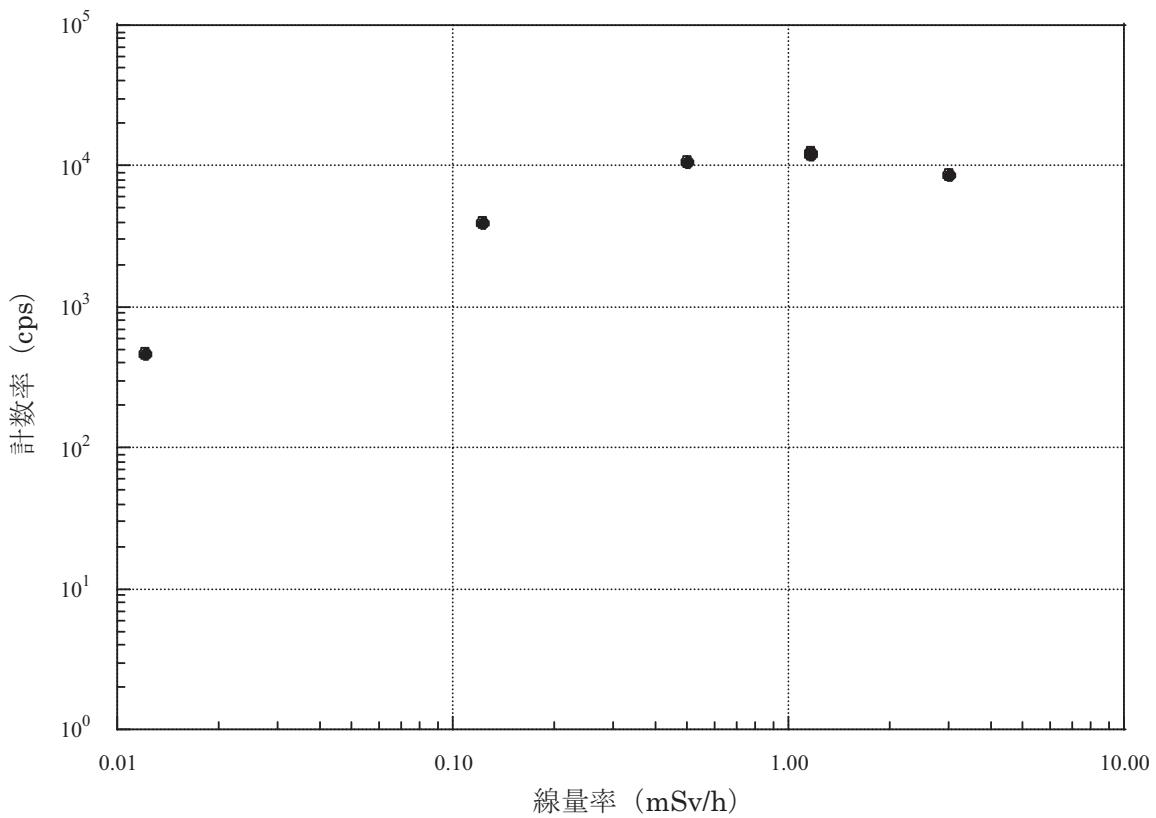


図 15 PSF 校正結果（線量率に対する計数率の関係）

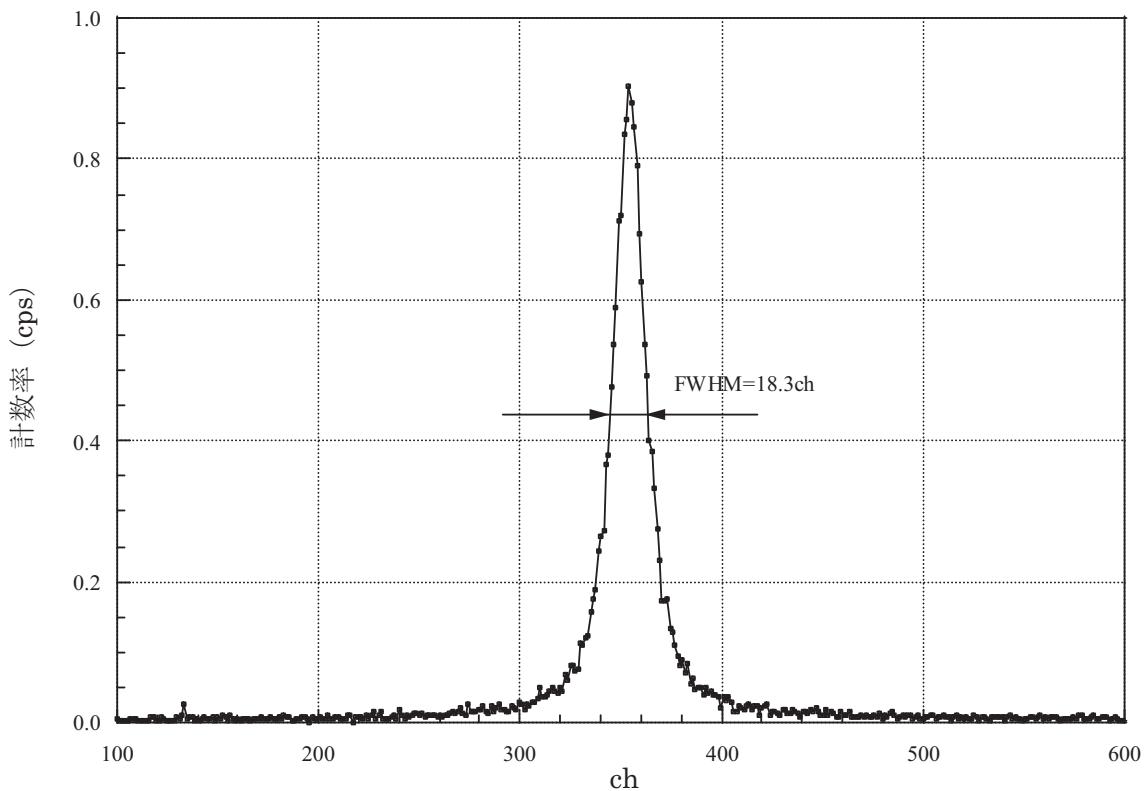


図 16 PSF 校正結果（チャンネルに対する計数率の関係）

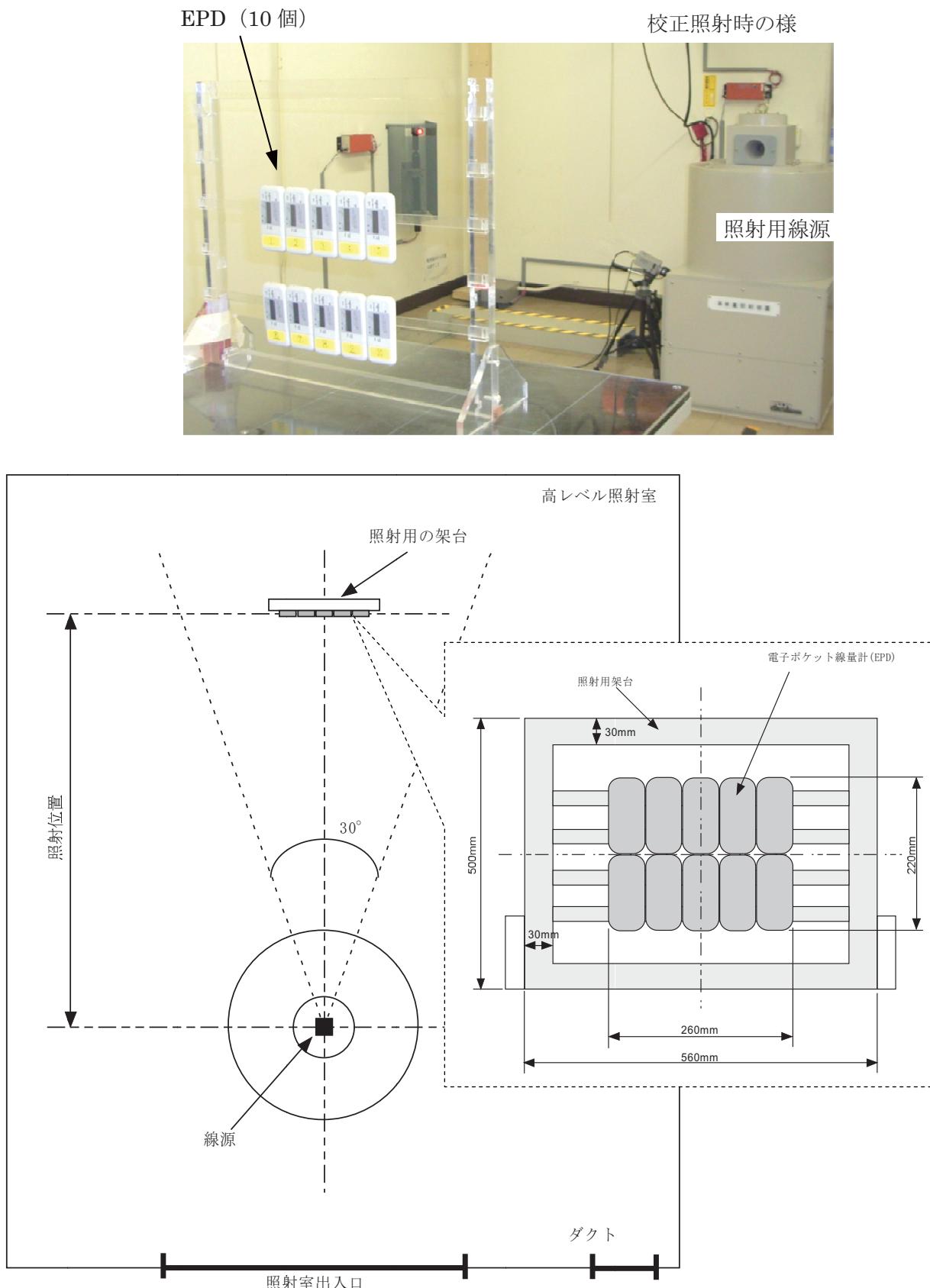


図 17 EPD 校正照射体系

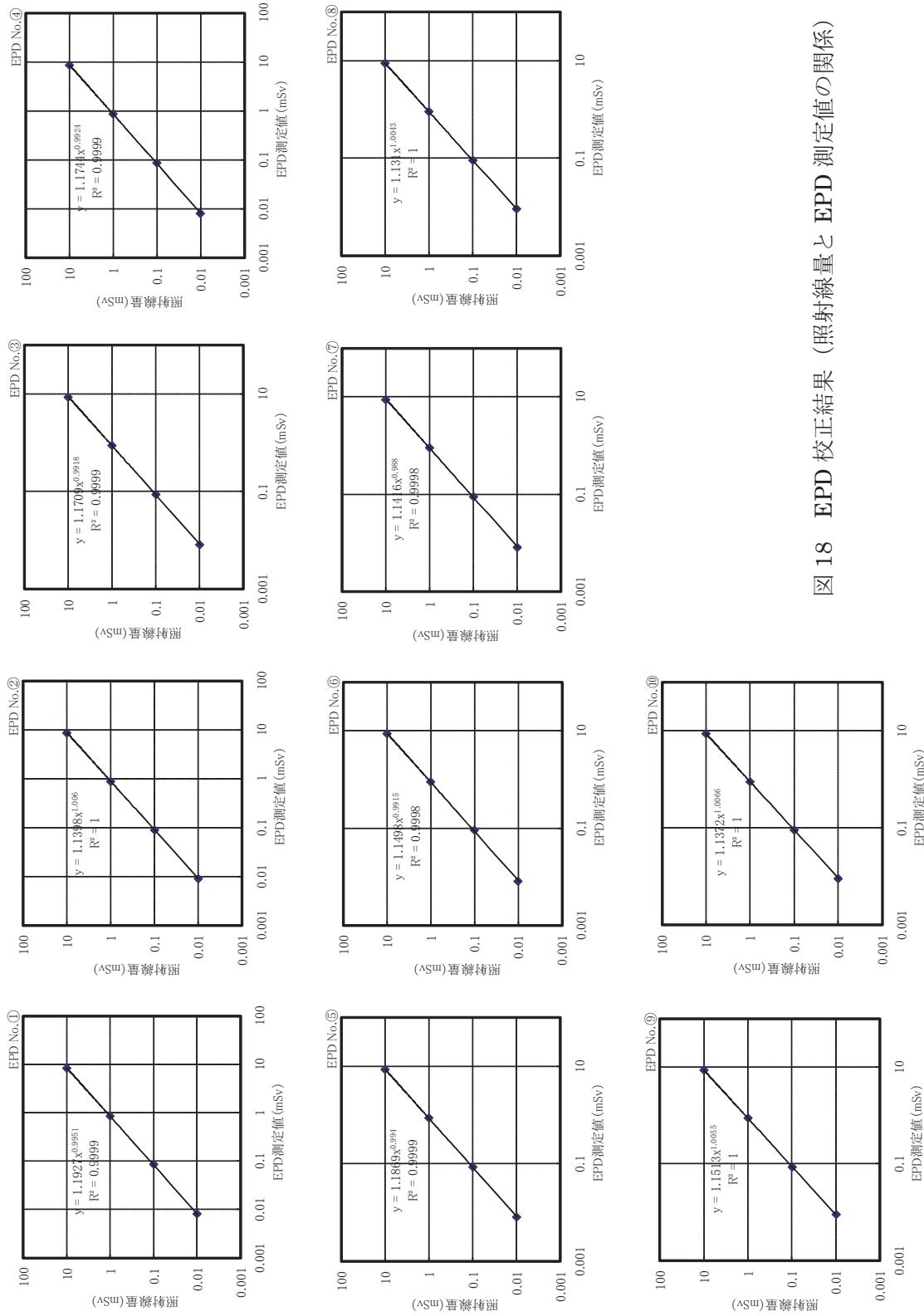


図 18 EPD 校正結果 (照射線量と EPD 測定値の関係)

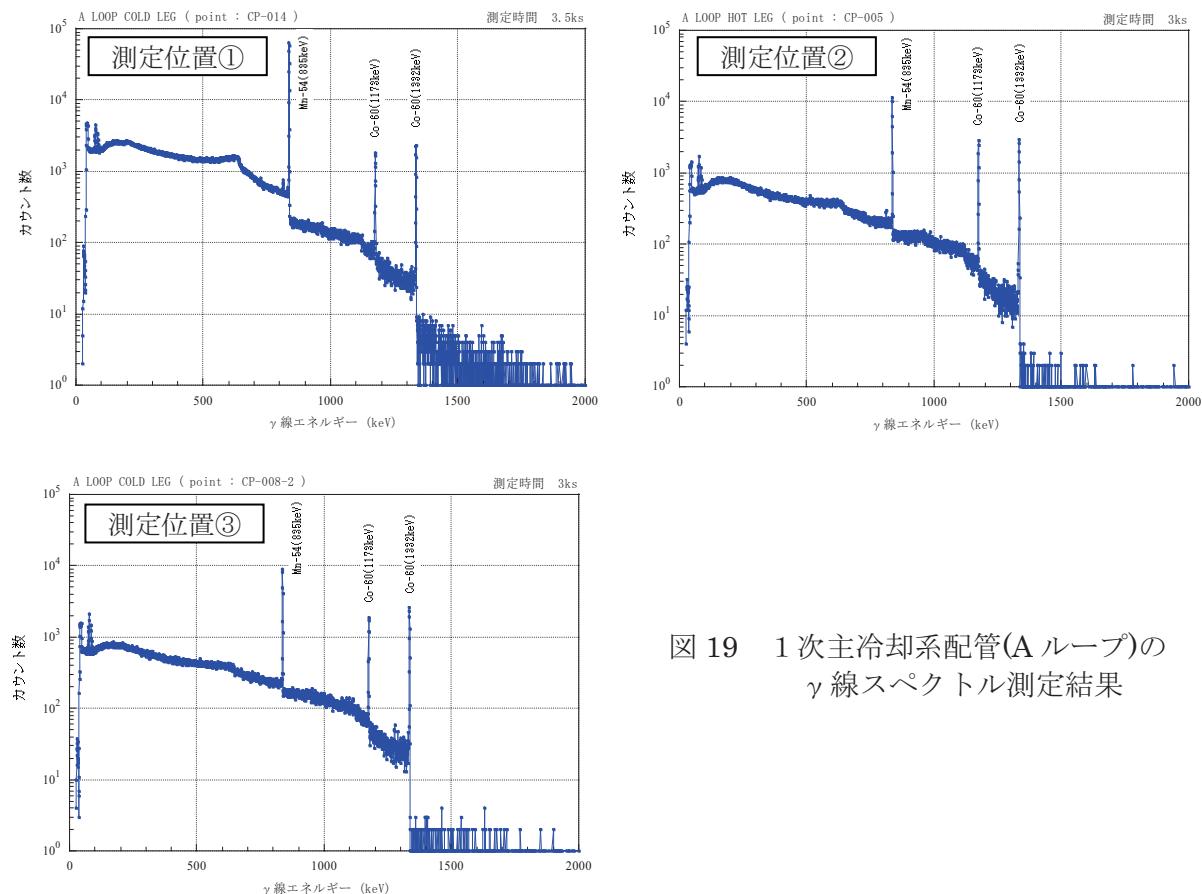


図 19 1次主冷却系配管(A ループ)の
 γ 線スペクトル測定結果

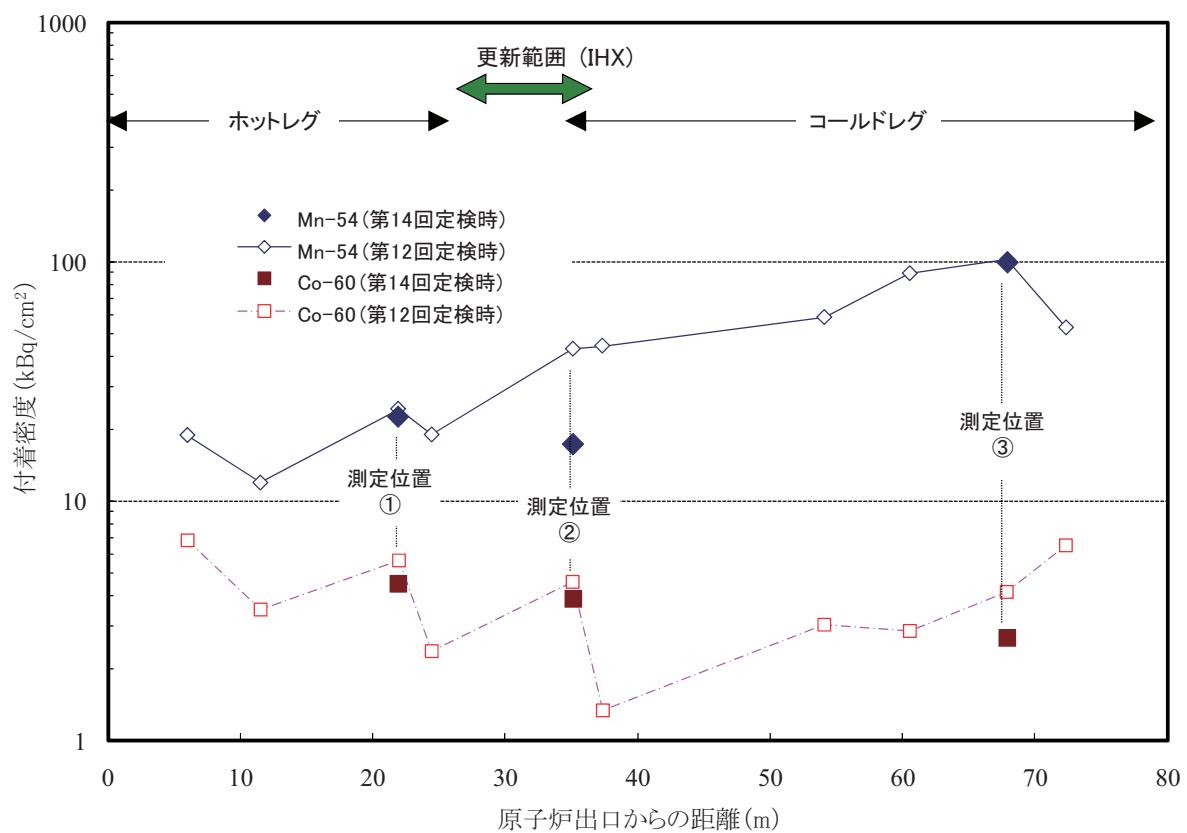
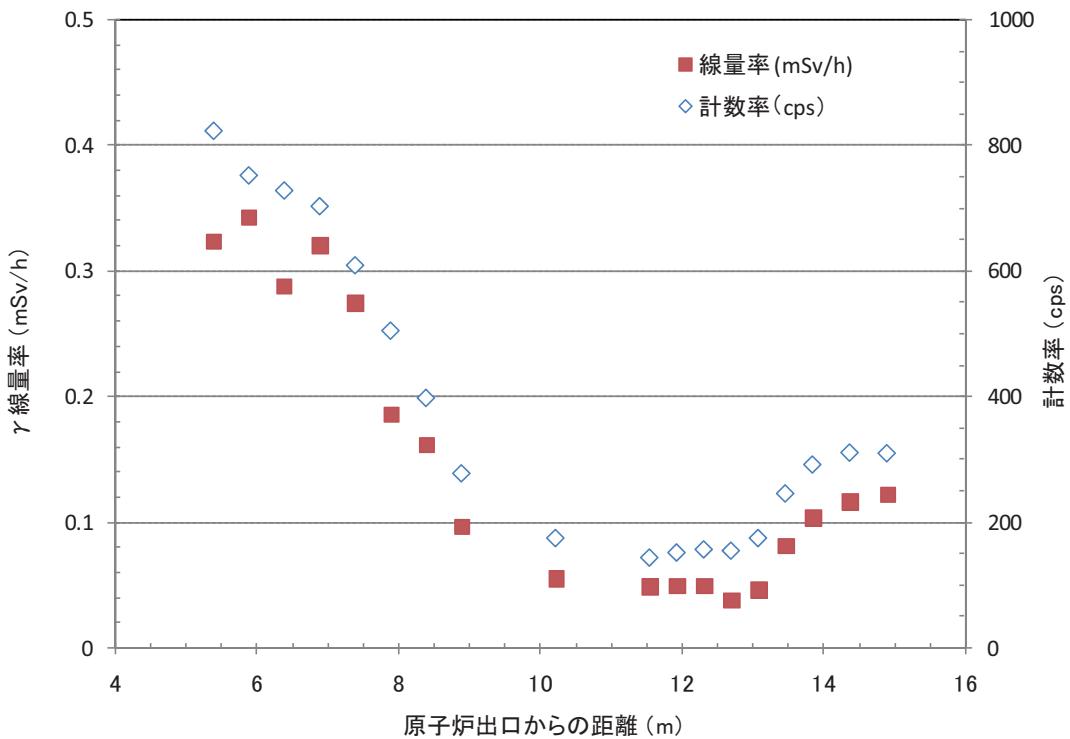
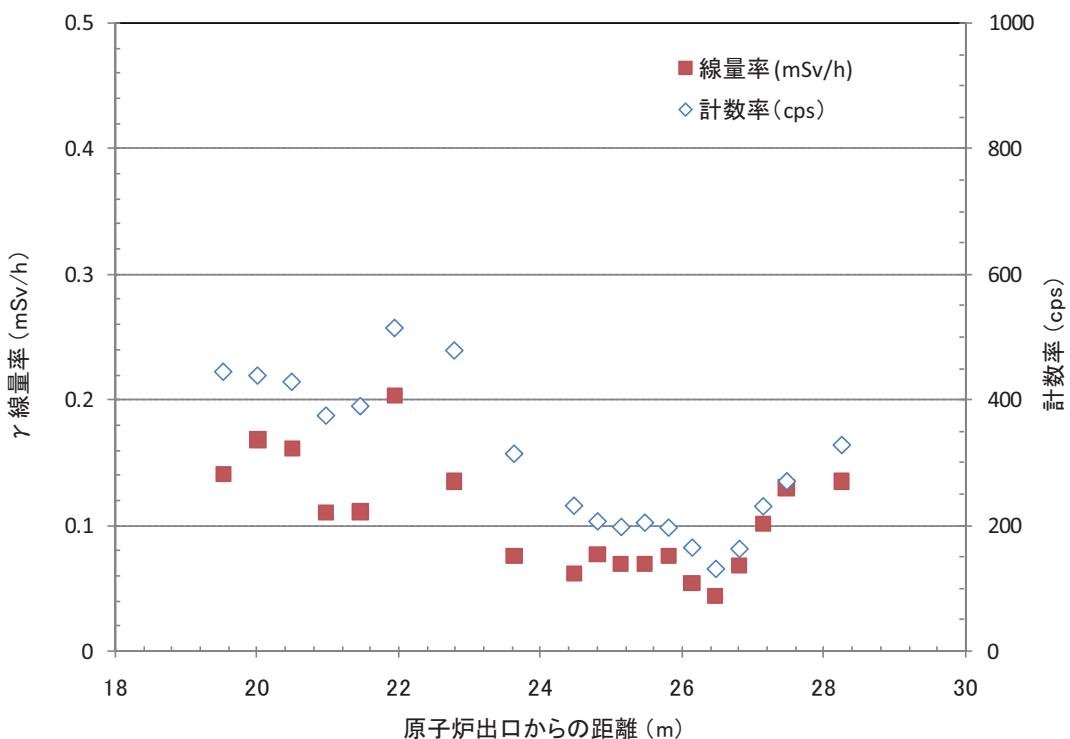
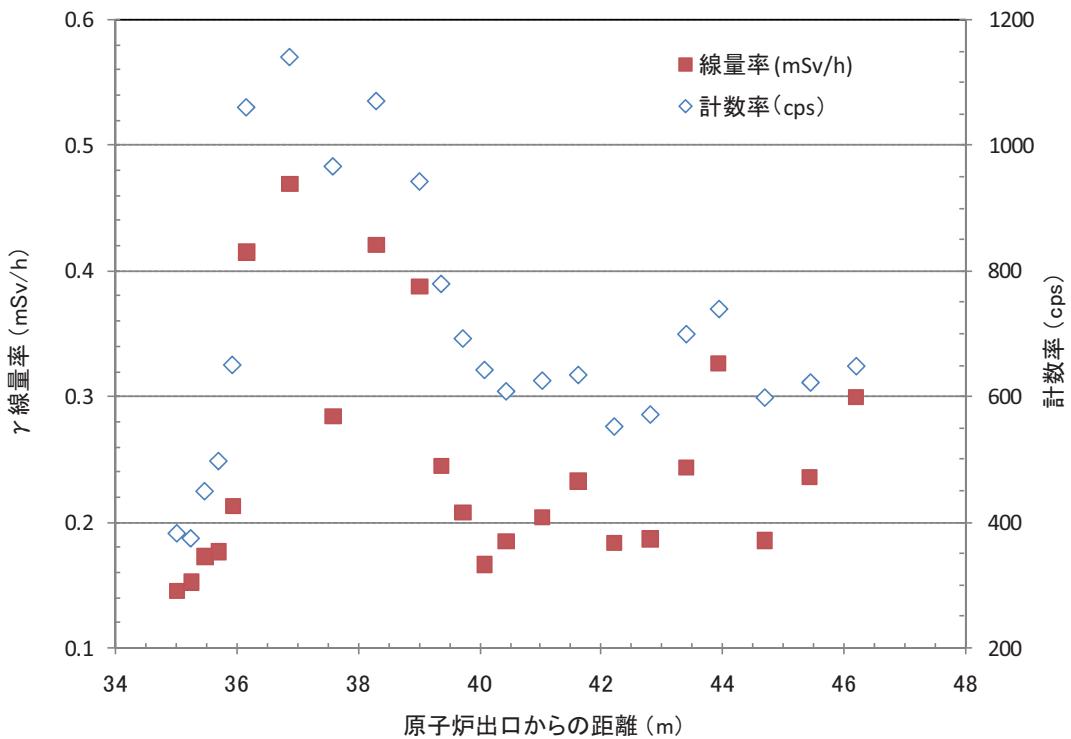
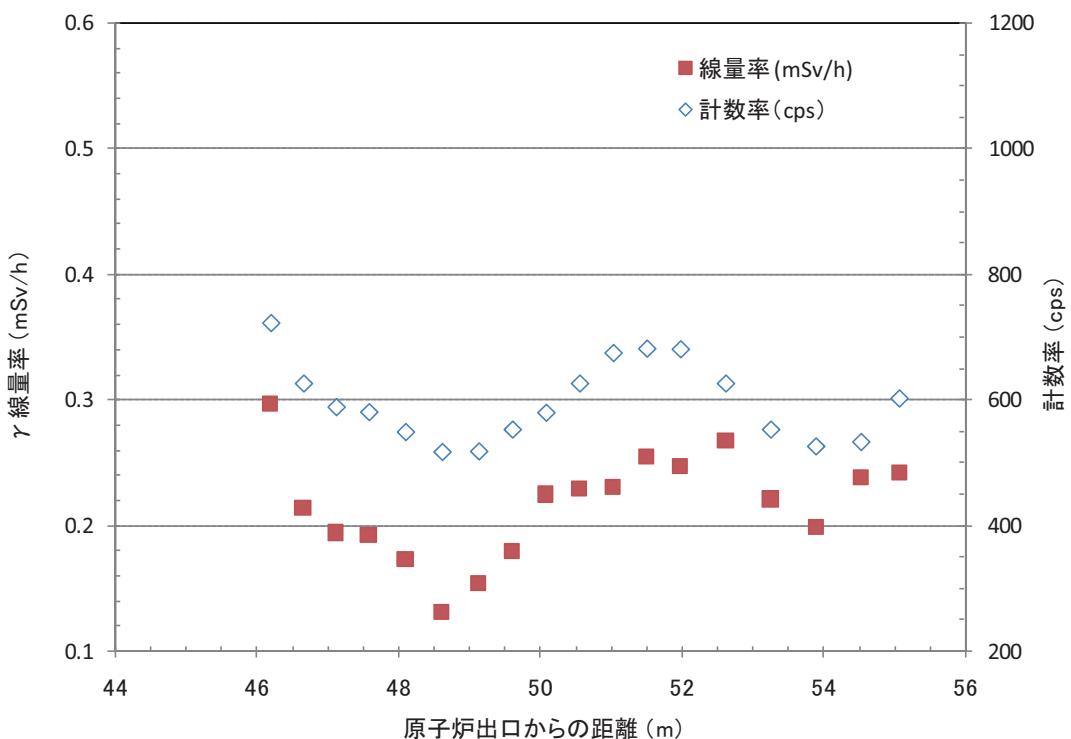
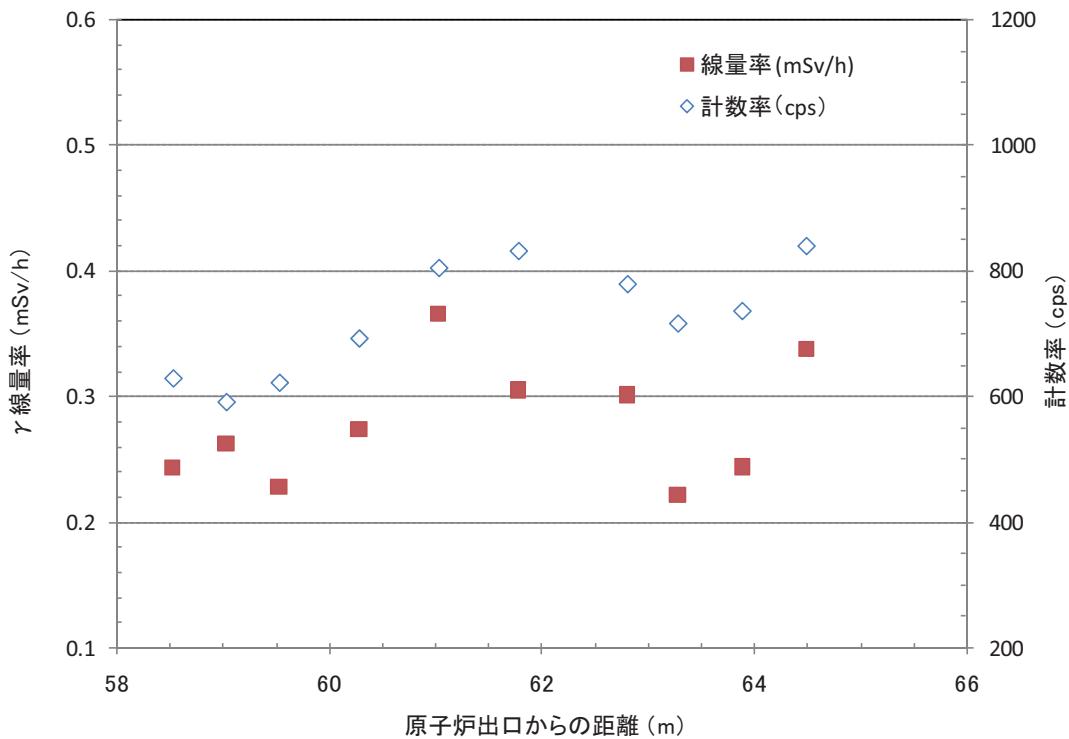
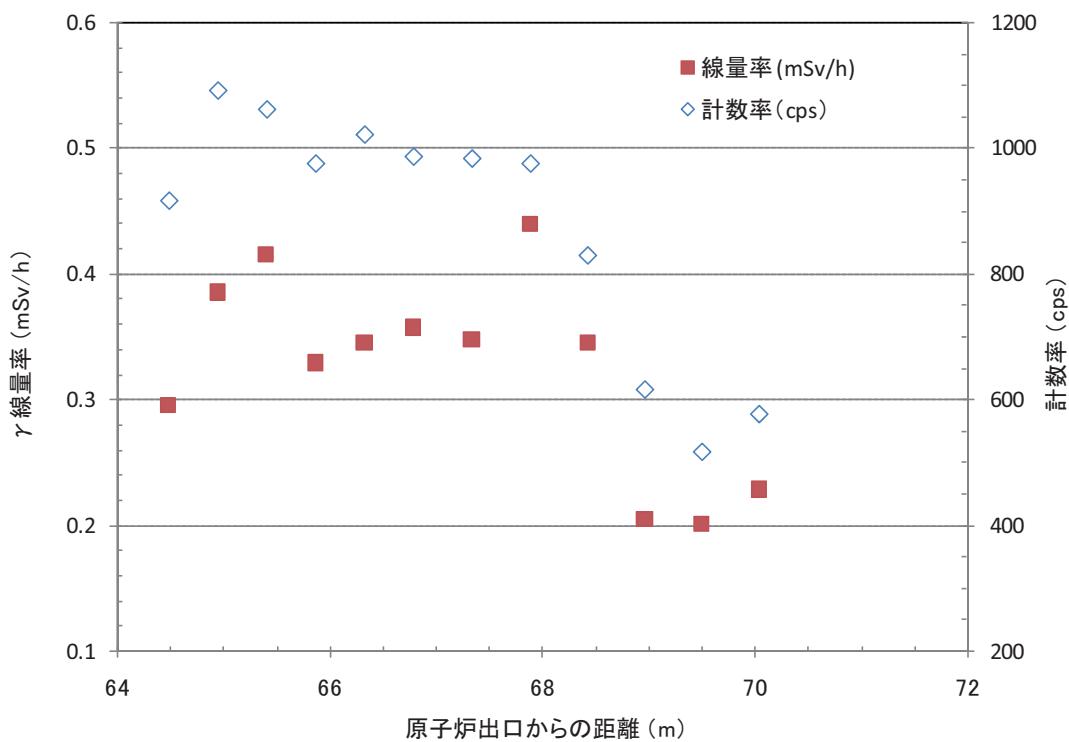
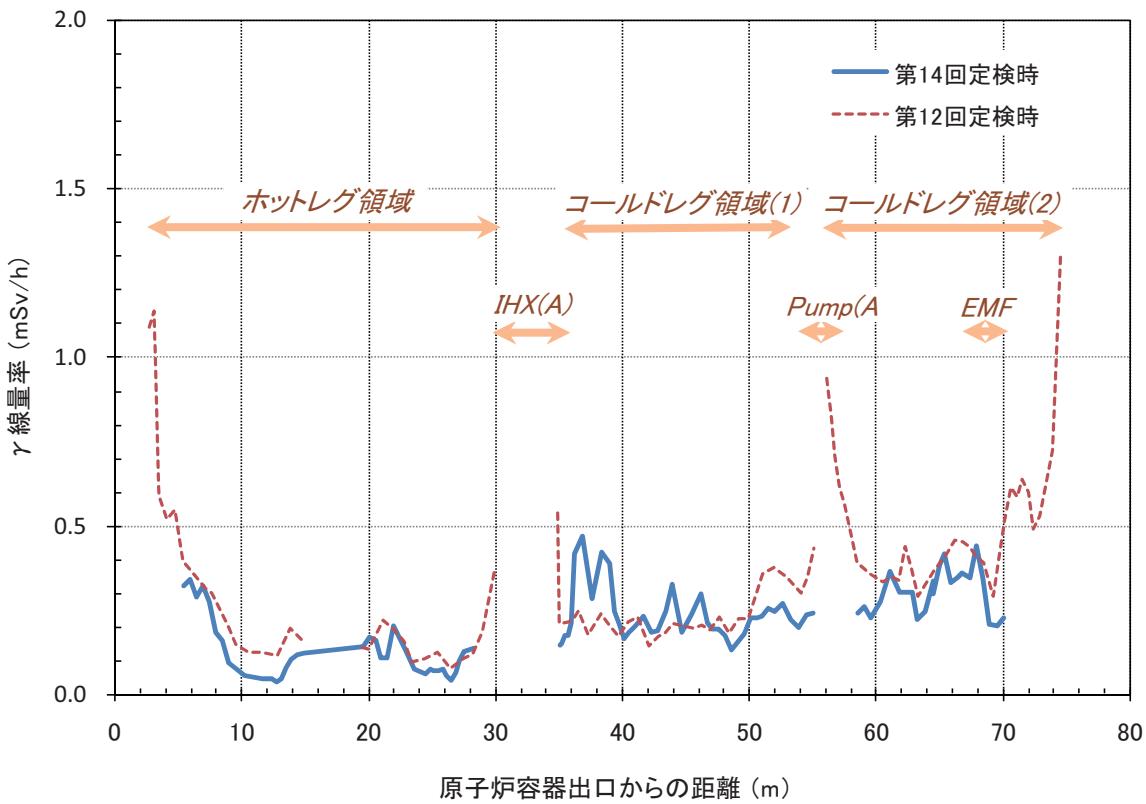
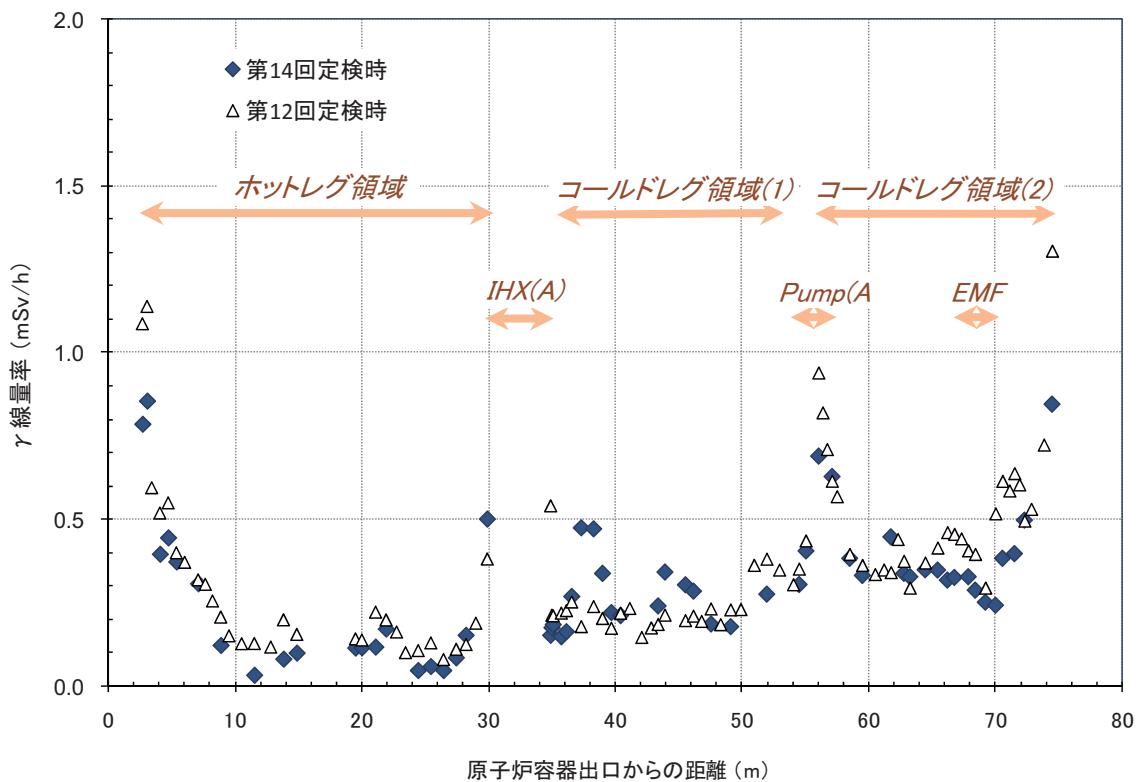


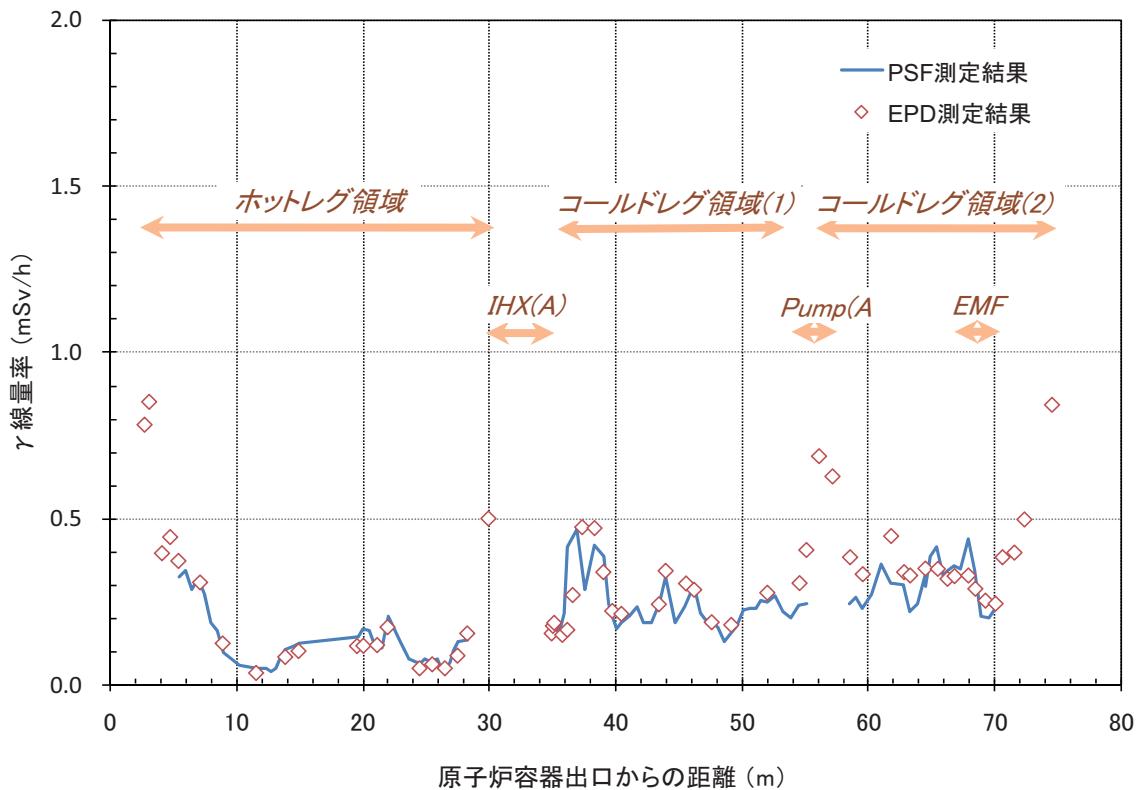
図 20 CP 核種の付着分布

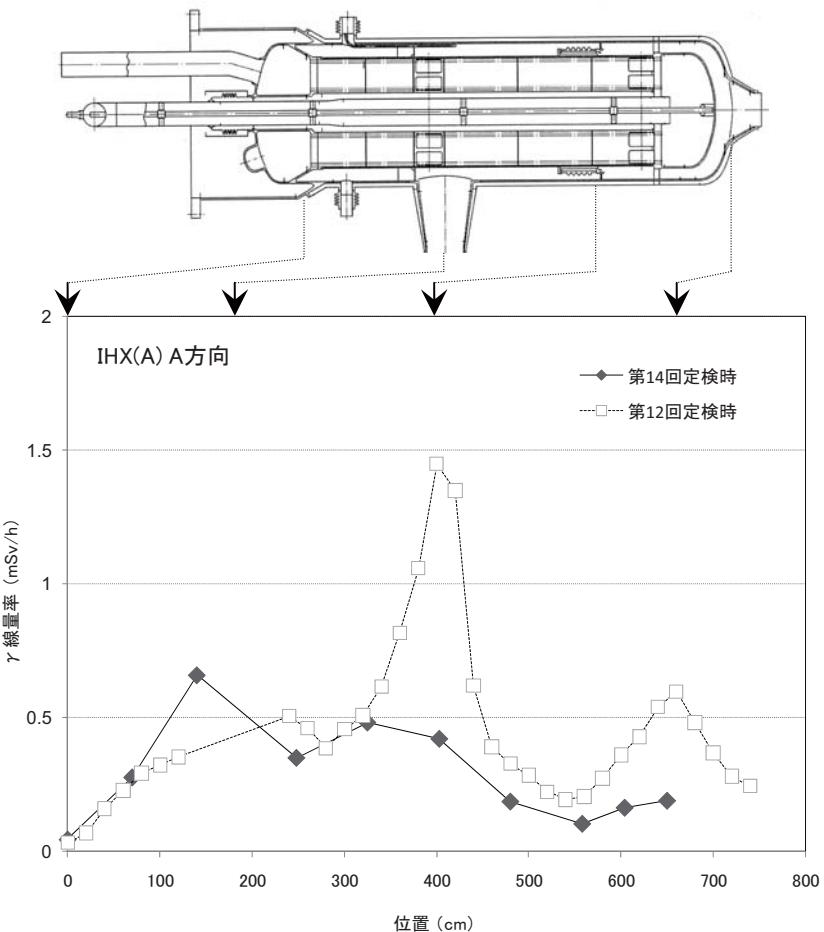
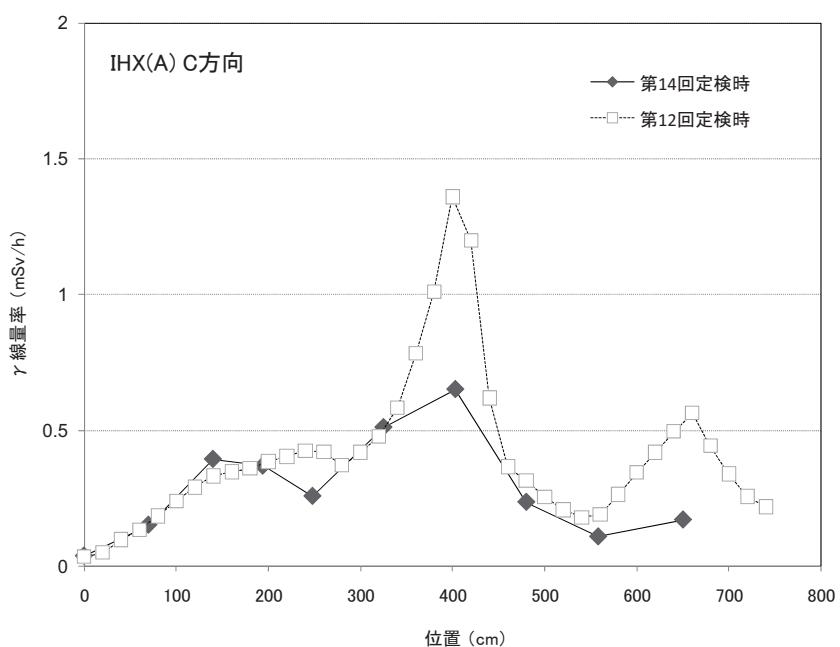
領域① ホットレグ領域② ホットレグ図 21 PSF による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果 (1/3)

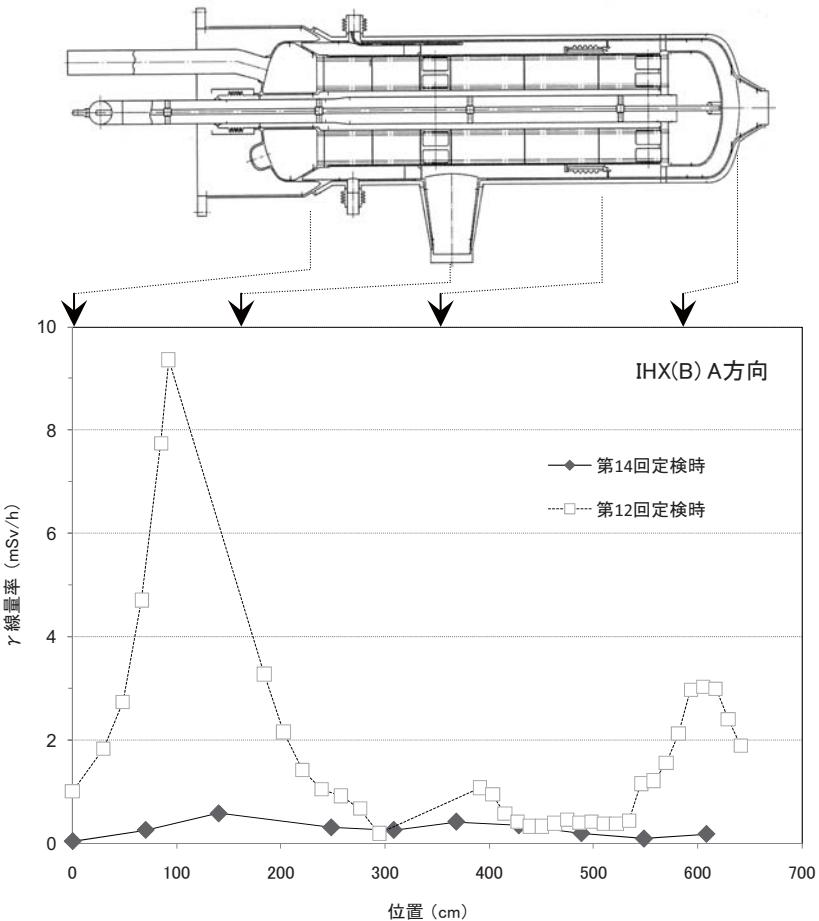
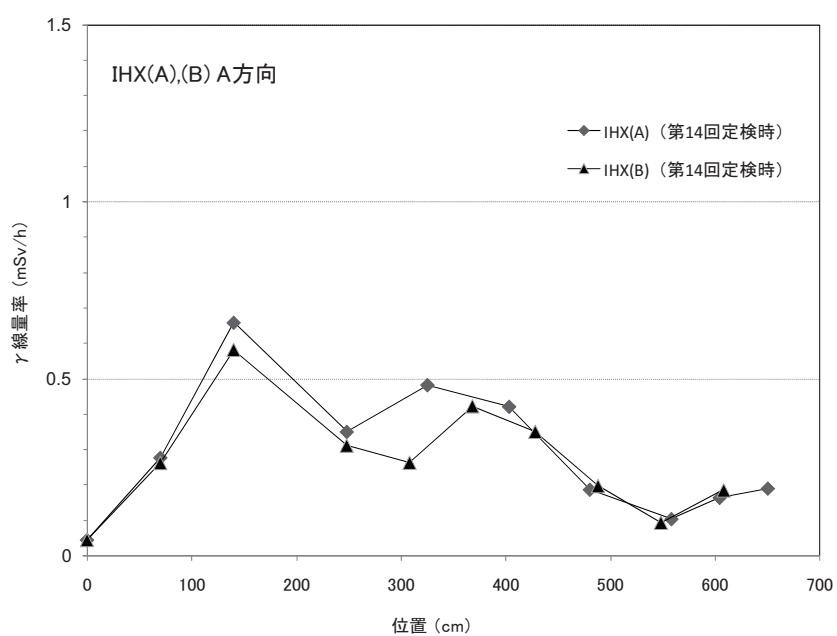
領域③ コールドレグ(1)領域④ コールドレグ(1)図 22 PSF による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果 (2/3)

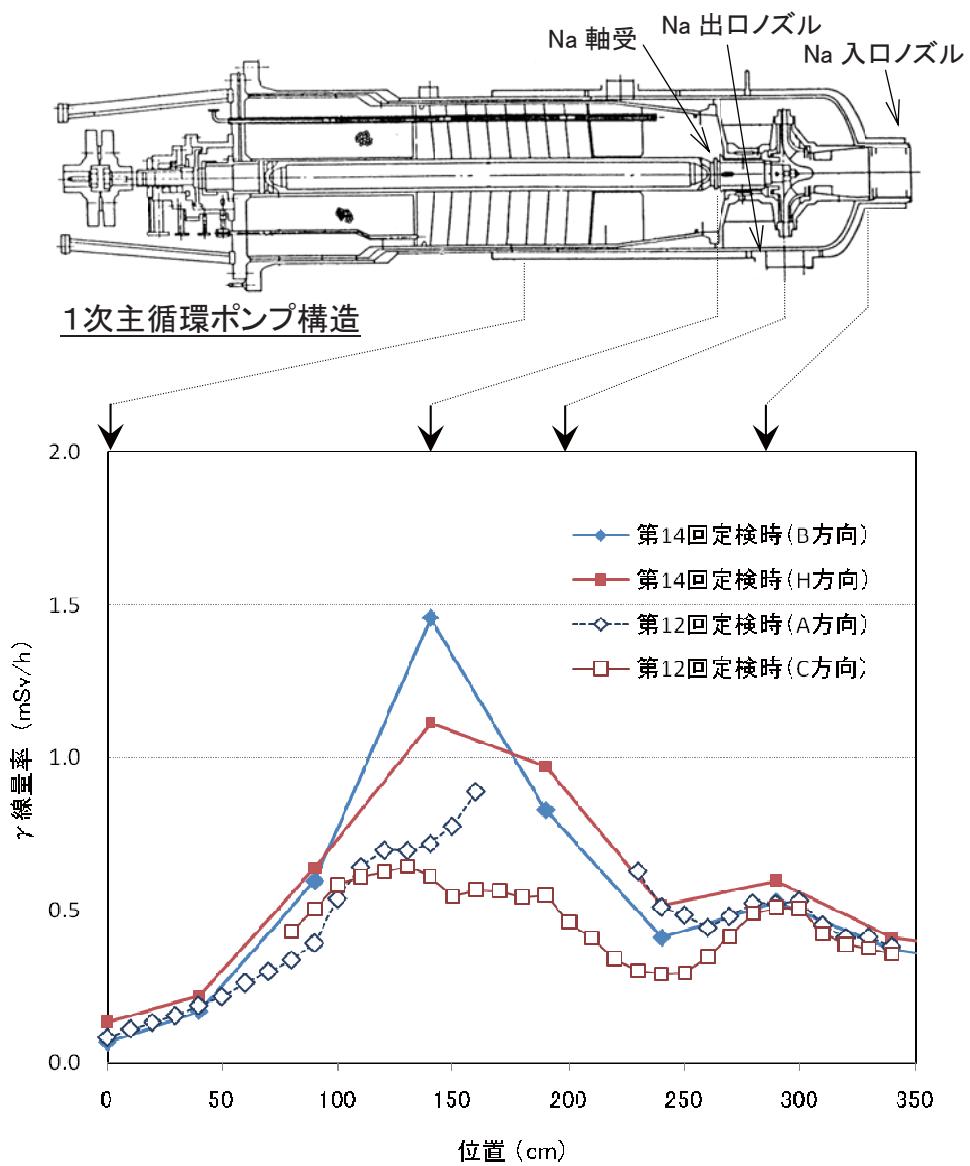
領域⑤ コールドレグ(2)領域⑥ コールドレグ(2)図 23 PSF による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果 (3/3)

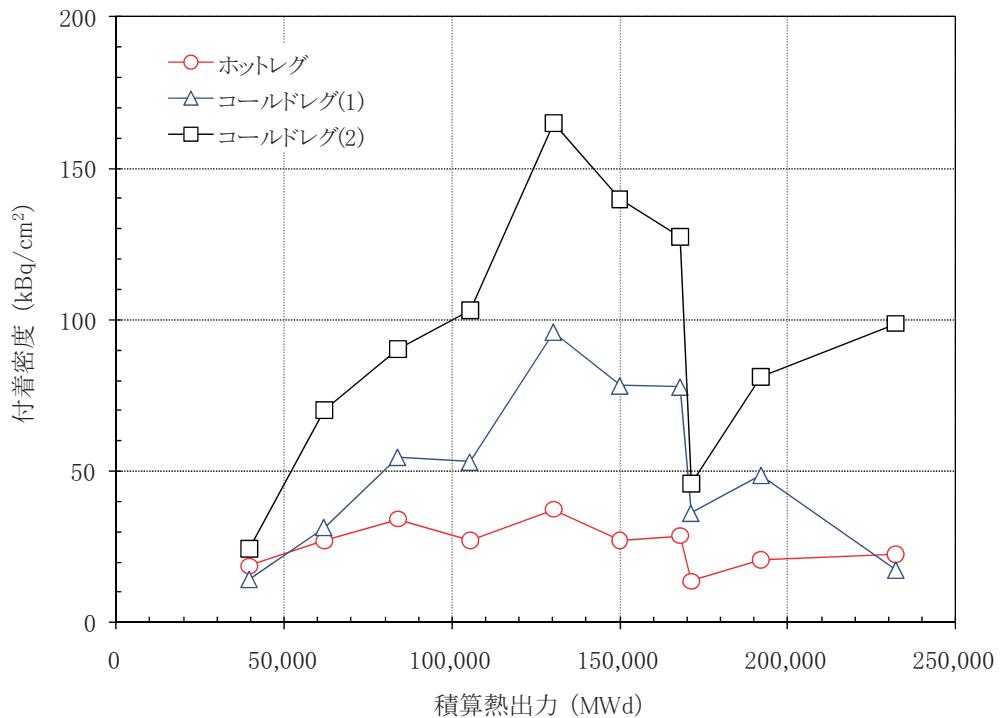
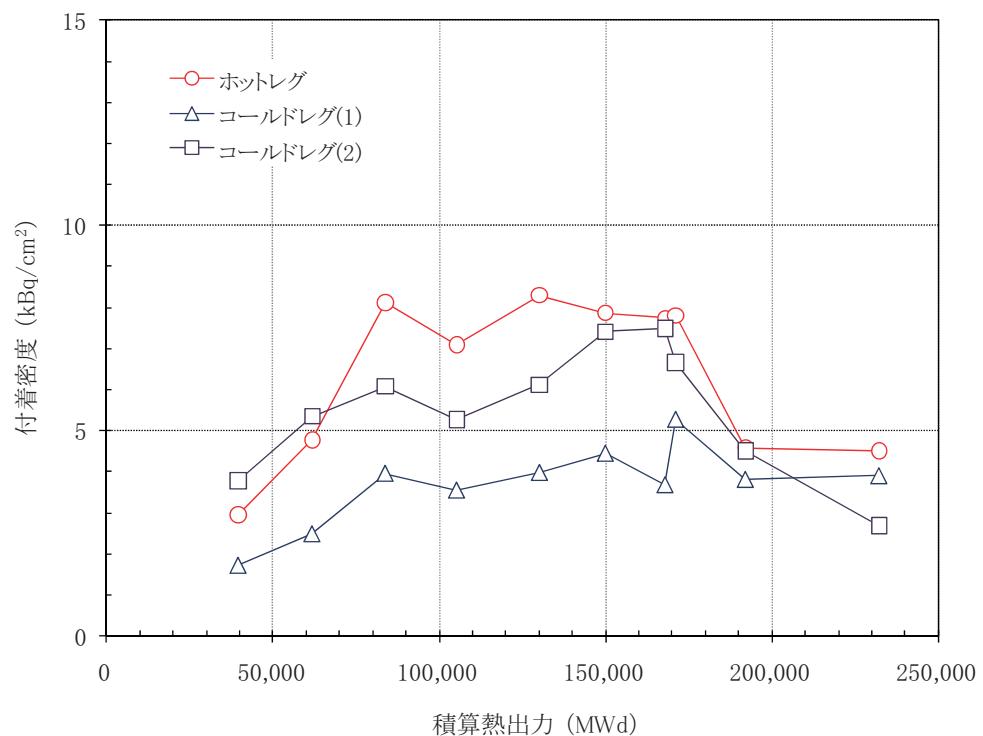
図 24 PSF による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率分布測定結果（前回結果との比較）図 25 EPD による 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果

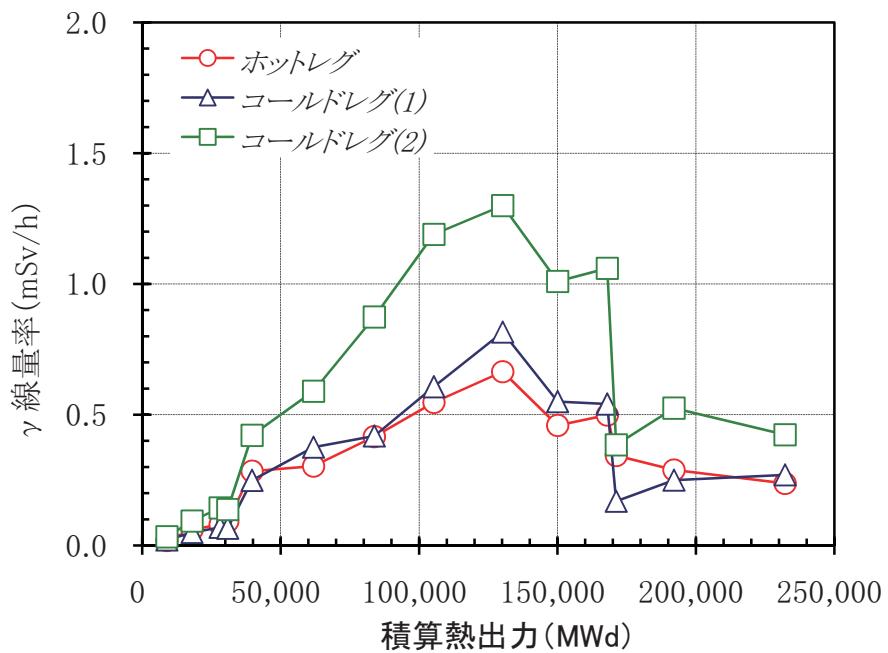
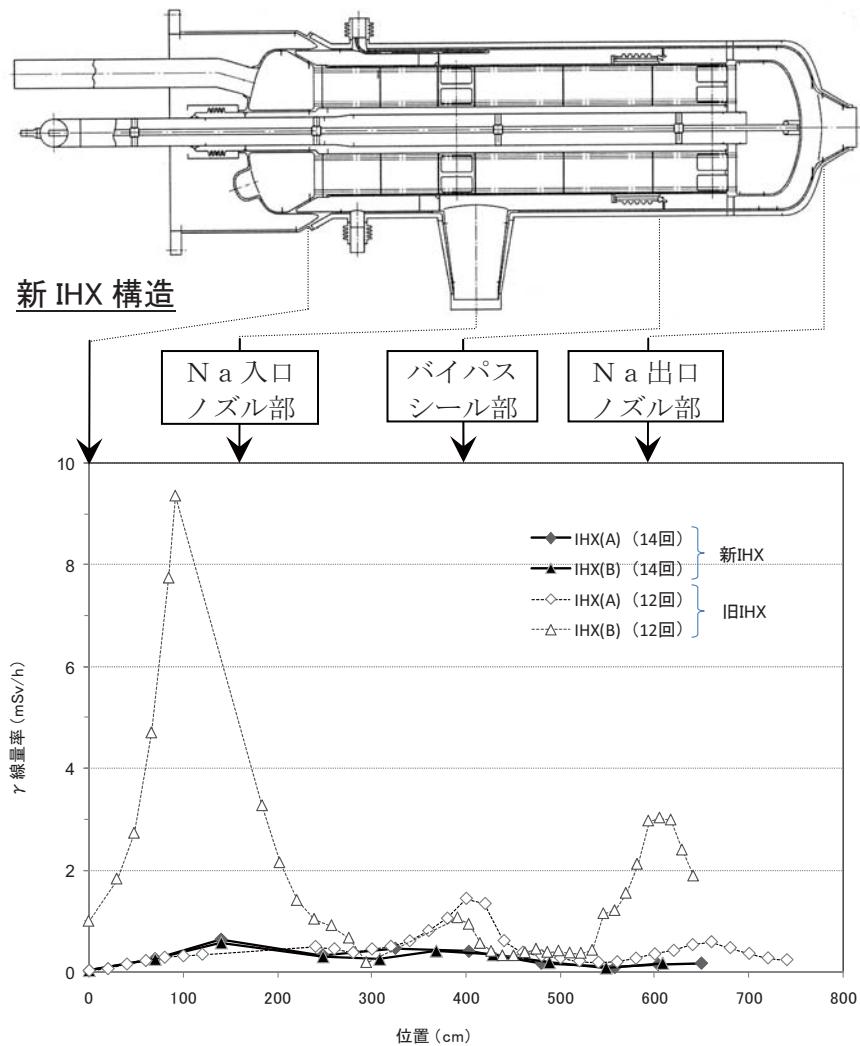
図 26 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率測定結果 (PSF と EPD の測定結果の比較)

図 27 IHX(A)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果 (A 方向)図 28 IHX(A)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果 (C 方向)

図 29 IHX(B)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果 (A 方向)図 30 IHX(A),(B)表面の軸方向 γ 線量率分布測定結果の比較

図 31 1次主循環ポンプ(A)表面 γ 線量率測定結果

図 32 1 次主冷却系配管の ^{54}Mn 付着密度(平均値)の推移図 33 1 次主冷却系配管の ^{60}Co 付着密度(平均値)の推移

図 34 1 次主冷却系配管表面の γ 線量率（平均値）の推移図 35 IHX(A),(B)表面 γ 線量率の前回測定結果（旧 IHX）との比較

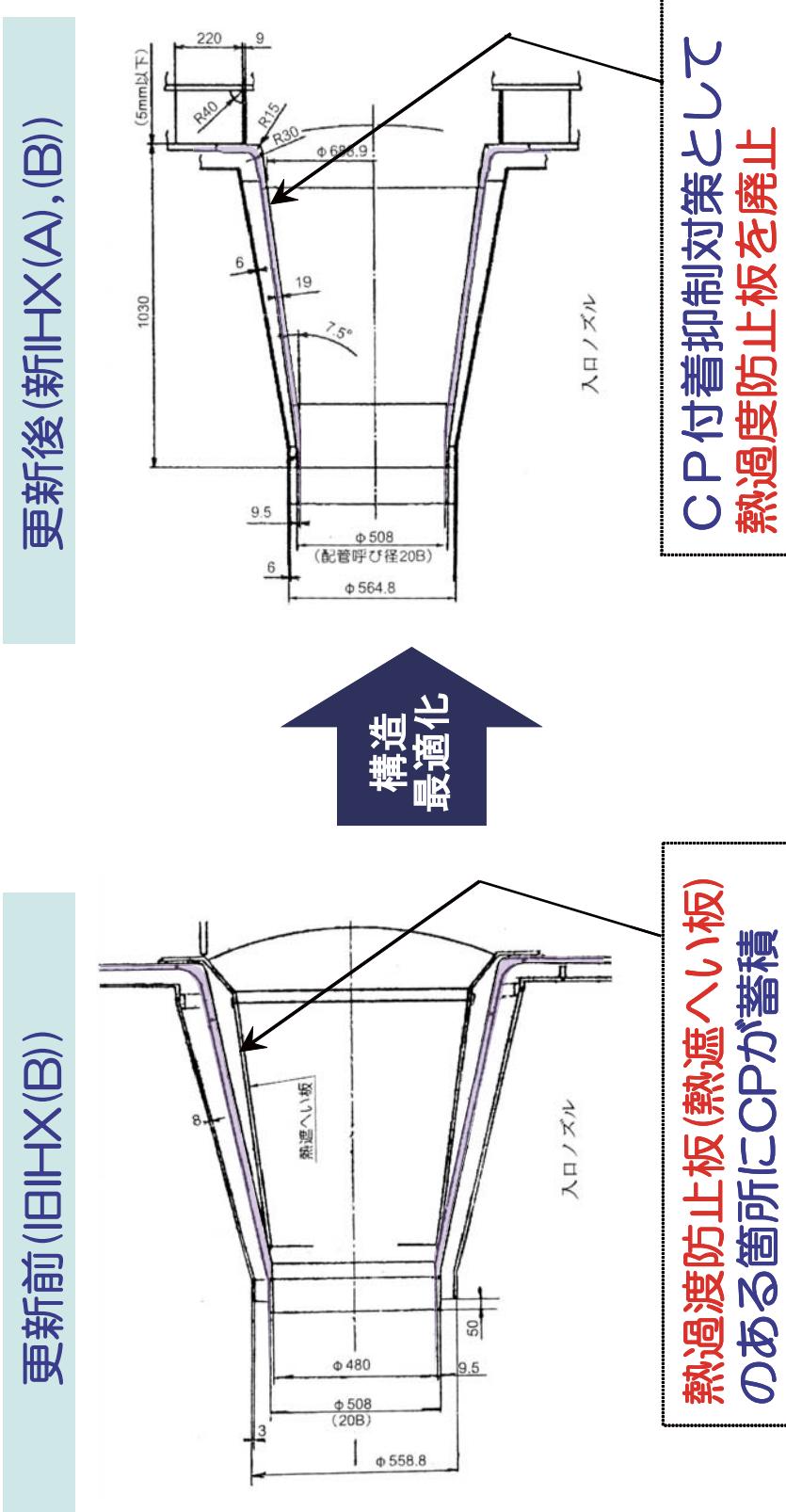


図 36 新旧 IHX の 1 次ナトリウム入口ノズル構造の比較

付 錄

1次主冷却系配管表面の γ 線量率の推移
(第3～14回施設定期検査時測定データ)

This is a blank page.

表 A1 1次主冷却配管 (A) の表面線量率の推移

(单位 : mSv/h)

Position	原子炉容器出口からの距離 (m)	第3回定検 1982/7/2	MK-II 性能試験 終了時 1983/7/26	MK-II 性能試験 終了時 1984/1/30	第4回定検 1985/9/3	第5回定検 1987/4/20	第6回定検 1988/10/11	第7回定検 1990/5/7	第8回定検 1991/12/2	第9回定検 1993/6/14	第10回定検 1995/10/3	第11回定検	第12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	1995/10/3
1	2.724	0.242	0.305	0.706	0.591	1.14	1.77	2.79	1.70	1.41	1.46	1.09	
2	3.089	0.157	0.214	0.557	0.630	0.838	1.14	2.10	1.47	1.81	1.45	1.14	
3	3.454	0.130	0.146	0.399	0.529	0.702	0.882	1.34	0.800	1.03	0.771	0.594	
4	4.104	0.126	0.149	0.413	0.489	0.603	1.02	1.11	0.715	0.792	0.559	0.519	
5	4.754	0.133	0.172	0.459	0.568	0.715	0.864	1.18	0.875	0.798	0.649	0.549	
6	5.404	0.101	0.122	0.350	0.458	0.595	0.831	0.910	0.613	0.704	0.445	0.399	
7	6.054	0.094	0.123	0.422	0.408	0.529	0.705	0.793	0.514	0.625	0.347	0.370	
8	7.121	0.069	0.065	0.327	0.352	0.439	0.630	0.674	0.489	0.597	0.346	0.318	
9	7.687	0.072	0.085	0.342	0.357	0.455	0.654	0.720	0.465	0.594	0.360	0.304	
10	8.253	0.083	0.101	0.383	0.412	0.478	0.602	0.572	0.416	0.506	0.292	0.254	
11	8.903	0.082	0.100	0.301	0.324	0.462	0.464	0.461	0.327	0.453	0.243	0.206	
12	9.553	0.059	0.074	0.190	0.227	0.331	0.348	0.373	0.299	0.352	0.167	0.150	
13	10.553	0.044	0.059	0.162	0.147	0.256	0.279	0.333	0.183	0.292	0.104	0.126	
14	11.553	0.046	0.075	0.170	0.133	0.291	0.255	0.355	0.179	0.271	0.110	0.127	
15	12.853	0.042	0.066	0.165	0.125	0.269	0.261	0.250	0.164	0.235	0.109	0.116	
16	13.853	0.074	0.109	0.305	0.251	0.411	0.486	0.520	0.264	0.362	0.184	0.198	
17	14.903	0.056	0.067	0.284	0.188	0.298	0.435	0.378	0.271	0.253	0.193	0.154	
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	0.141	
23	20.033	0.054	0.041	0.205	0.175	0.195	0.356	0.389	0.252	0.283	0.202	0.137	
24	21.116	0.084	0.065	0.328	0.282	0.311	0.538	0.517	0.323	0.404	0.257	0.221	
25	21.946	0.103	0.090	0.289	0.321	0.370	0.559	0.557	0.351	0.382	0.264	0.197	
26	22.776	0.055	0.044	0.134	0.199	0.192	0.330	0.395	0.237	0.268	0.134	0.161	
27	23.476	0.027	0.028	0.086	0.098	0.121	0.188	0.236	0.148	0.177	0.083	0.099	
28	24.476	0.031		0.098	0.114	0.145	0.221	0.259	0.170	0.174	0.099	0.105	
29	25.476	0.035	0.052	0.122	0.132	0.181	0.307	0.304	0.203	0.256	0.156	0.128	
30	26.476	0.040		0.117	0.155	0.207	0.884	0.150	0.181	0.092	0.078		
31	27.476	0.060	0.049	0.206	0.184	0.272	0.358	0.643	0.199	0.196	0.170	0.109	
32	28.251	0.080		0.226	0.252	0.347	0.453	0.427	0.236	0.283	0.187	0.123	
33	29.026	0.113	0.122	0.358	0.498	0.445	0.475	0.353	0.328	0.442	0.230	0.187	
34	29.926	0.175	0.159	0.544	0.510	0.728	0.607	0.290	0.580	0.830	0.356	0.380	
35	34.926	0.105		0.529	0.475	0.785	1.20	1.41	0.813	0.530	0.480	0.540	
36	35.026	0.036		0.264	0.198	0.293	0.436	0.537	0.356	0.360	0.164	0.211	
37	35.126	0.035	0.035	0.161	0.241	0.297	0.488	0.645	0.392	0.463	0.120	0.210	
38	35.766	0.043		0.171	0.284	0.323	0.491	0.666	0.425	0.487	0.122	0.218	
39	36.166	0.045	0.037	0.176	0.367	0.331	0.496	0.637	0.461	0.437	0.128	0.225	
40	36.586	0.050		0.226	0.747	0.361	0.627	0.724	0.630	0.484	0.184	0.251	
41	37.341	0.042	0.043	0.238	0.489	0.288	0.491	0.594	0.545	0.413	0.151	0.178	
42	38.316	0.047		0.214	0.467	0.339	0.655	0.662	0.590	0.502	0.191	0.238	
43	39.016	0.044	0.037	0.182	0.343	0.294	0.554	0.648	0.483	0.446	0.143	0.202	
44	39.716	0.036	0.039	0.148	0.285	0.253	0.446	0.520	0.467	0.372	0.135	0.172	
45	40.441	0.049	0.037	0.212	0.447	0.348	0.571	0.680	0.575	0.487	0.156	0.217	
46	41.166	0.046		0.189	0.626	0.331	0.564	0.709	0.552	0.514	0.129	0.232	
47	42.116	0.026	0.039	0.129	0.290	0.196	0.344	0.430	0.384	0.324	0.095	0.145	
48	42.866	0.036		0.161	0.251	0.229	0.395	0.560	0.460	0.404	0.107	0.173	
49	43.404	0.042	0.032	0.158	0.245	0.286	0.489	0.606	0.452	0.407	0.101	0.184	
50	43.942	0.055	0.035	0.180	0.288	0.323	0.552	0.687	0.478	0.467	0.117	0.212	
51	45.559	0.054	0.039	0.199	0.277	0.311	0.503	0.642	0.533	0.470	0.121	0.195	
52	46.197	0.064	0.045	0.181	0.284	0.389	0.545	0.672	0.476	0.500	0.114	0.209	
53	46.835	0.053	0.037	0.174	0.252	0.309	0.480	0.611	0.472	0.463	0.112	0.193	
54	47.583	0.067	0.049	0.211	0.348	0.401	0.552	0.677	0.609	0.584	0.130	0.230	
55	48.335	0.063	0.044	0.189	0.303	0.329	0.394	0.513	0.487	0.407	0.121	0.183	
56	49.135	0.105	0.057	0.211	0.315	0.404	0.536	0.684	0.512	0.534	0.136	0.227	
57	49.935	0.110		0.325	0.294	0.531	0.531	0.651	0.485	0.555	0.145	0.228	
58	50.985	0.175	0.222	0.618	0.441	0.931	0.870	1.07	0.753	0.868	0.233	0.361	
59	51.985	0.161		0.443	0.430	0.838	0.942	1.20	0.746	0.953	0.268	0.380	
60	52.985	0.091	0.107	0.316	0.348	0.635	0.774	1.04	0.681	0.811	0.243	0.347	
61	54.085	0.090		0.258	0.419	0.472	0.752	0.869	0.554	0.645	0.195	0.303	
62	54.535	0.100	0.094	0.322	0.491	0.618	0.843	1.09	0.681	0.802	0.250	0.350	
63	55.075	0.144	0.094	0.461	0.737	0.785	1.07	1.30	0.888	0.994	0.309	0.435	
64	56.075	0.180		0.540	0.985	1.43	2.18	2.73	1.64	2.02	0.637	0.940	
65	56.410	0.146		0.433	0.792	1.17	1.79	2.36	1.55	1.75	0.520	0.819	
66	56.745	0.121	0.166	0.374	0.693	0.995	1.45	1.92	1.35	1.55	0.449	0.709	
67	57.138	0.095	0.134	0.312	0.592	0.864	1.12	1.51	1.02	1.09	0.383	0.614	
68	57.531	0.094		0.276	0.528	0.741	1.12	1.43	1.09	1.04	0.485	0.569	
69	58.531	0.078		0.267	0.457	0.628	0.863	1.23	0.791	0.794	0.245	0.394	
70	59.531	0.071		0.218	0.383	0.493	0.798	1.10	0.732	0.760	0.198	0.361	
71	60.531	0.077	0.049	0.232	0.388	0.518	0.754	0.974	0.728	0.774	0.171	0.334	
72	61.231	0.086		0.256	0.444	0.597	0.864	1.03	0.753	0.849	0.197	0.347	
73	61.781	0.088		0.258	0.408	0.543	0.830	1.05	0.729	0.774	0.202	0.339	
74	62.331	0.112	0.067	0.335	0.547	0.675	1.09	1.23	0.933	0.873	0.237	0.439	
75	62.806	0.088	0.066	0.260	0.501	0.574	0.844	1.04	0.834	0.811	0.223	0.373	
76	63.281	0.086		0.239	0.398	0.536	0.745	0.883	0.648	0.697	0.164	0.293	
77	64.489	0.117	0.054	0.315	0.488	0.677	1.25	1.05	0.857	0.904	0.233	0.368	
78	65.469	0.167		0.561	0.518	0.821	1.21	1.11	0.937	1.00	0.255	0.413	
79	66.239	0.217		0.645	0.619	1.09	1.19	1.37	0.955	1.06	0.292	0.459	
80	66.789	0.266	0.026	0.648	0.536	1.23	1.47	1.26	0.913	1.20	0.321	0.454	
81	67.339	0.329		0.993	0.654	1.93	1.21	1.18	0.890	1.57	0.350	0.441	
82	67.889	0.219	0.114	0.628	0.489	1.32	0.965	1.59	0.844	1.06	0.351	0.405	
83	68.439	0.152		0.426	0.392	0.858	0.753	1.11	0.817	0.882	0.266	0.394	
84	69.239	0.100	0.080	0.347	0.402	0.538	0.718	0.824	0.630	0.631	0.213	0.293	
85	70.039	0.159		0.409	0.716	0.857	1.23	1.33	1.03	0.780	0.445	0.516	
86	70.589	0.181	0.118	0.499									

表 A2 1 次主冷却配管 (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 1982/7/9	第4回定検 1984/2/6	第5回定検 1985/9/9	第6回定検 1987/4/27	第7回定検 1988/10/28	第8回定検 1989/5/14	第9回定検 1991/12/7	第10回定検 1993/6/21	第11回定検 1995/10/23	第12回定検 1999/1/19	第14回定検
1	2.724	0.329	0.871	1.29	1.40	2.33	2.30					
2	3.174	0.201	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	0.556	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	0.183	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	0.254	0.231	0.156	0.187	
27	25.076	0.034	0.106	0.133	0.229	0.307	0.293	0.255	0.183	0.116	0.131	
28	26.076	0.040	0.137	0.131	0.264	0.251	0.261	0.223	0.181	0.133	0.203	
29	26.776	0.087	0.426	0.369	0.803	0.295	0.274	0.506	0.455	0.349	0.327	
30	27.476	0.107	0.428	0.486	0.715	4.87	0.547	0.598	0.592	0.426	0.352	
31	28.251	0.184	0.846	0.919	1.25	4.90	0.628	1.05	0.818	0.722	0.586	
32	29.026	0.565	3.63	3.60	6.47	1.70	1.36	4.47	4.06	3.33	2.63	
33	29.926	0.734	4.42	5.94	8.81	5.25	7.48	6.07	4.71	5.72	4.09	
34	34.926	0.229	0.963	1.45	2.20	2.94	2.50	2.21	2.35	2.13	1.94	
35	35.926	0.061	0.233	0.411	0.600	1.00	0.912	0.743	0.720	0.499	0.562	
36	37.806	0.058	0.186	0.399	0.421	0.714	0.711	0.591	0.549	0.267	0.307	
37	38.246	0.053	0.142	0.531	0.393	0.559	0.502	0.693	0.450	0.231	0.259	
38	38.886	0.059	0.244	1.77	0.492	0.712	0.696	0.954	0.477	0.319	0.306	
39	39.702	0.040	0.162	1.07	0.328	0.584	0.485	0.760	0.361	0.255	0.248	
40	40.518	0.054	0.191	1.04	0.387	0.627	0.636	0.949	0.482	0.243	0.270	
41	41.153	0.052	0.172	0.731	0.370	0.590	0.535					
42	41.788	0.045	0.170	0.710	0.448	0.536	0.589					
43	42.388	0.046	0.144	0.456	0.327	0.511	0.534					
44	43.023	0.046	0.156	0.437	0.334	0.544	0.544					
45	43.658	0.037	0.148	0.347	0.313	0.482	0.504					
46	44.408	0.037	0.161	0.262	0.285	0.344	0.386					
47	45.158	0.045	0.127	0.291	0.316	0.418	0.475					
48	45.833	0.049	0.159	0.301	0.347	0.485	0.534					
49	46.508	0.049	0.167	0.281	0.328	0.565	0.555					
50	47.591	0.052	0.196	0.279	0.340	0.491	0.541					
51	47.951	0.078	0.300	0.346	0.411	0.566	0.585					
52	48.626	0.090	0.355	0.355	0.407	0.622	0.620					
53	49.301	0.106	0.396	0.363	0.492	0.728	0.658					
54	49.601	0.114	0.488	0.440	0.504	0.713	0.709					
55	50.276	0.114	0.281	0.387	0.476	0.601	0.711					
56	50.976	0.135	0.348	0.345	0.472	0.540	0.688					
57	51.399					0.779	0.681					
58	52.074					0.899	0.768					
59	52.749	0.134	0.390	0.331	0.653	1.19	1.09					
60	53.449	0.155	0.871	0.472	0.478	1.15	0.809					
61	53.949	0.219	0.868	0.536	0.766	1.08	0.900					
62	54.449	0.129	0.403	0.432	0.791	1.07	0.981					
63	55.449	0.094	0.301	0.385	0.629	0.816	0.813					
64	56.449	0.099	0.286	0.466	0.667	0.980	0.999					
65	57.449	0.139	0.398	0.685	0.931	1.46	1.43					
66	58.449	0.215	0.803	1.32	1.83	2.70	2.70					
67	58.784	0.151	0.492	0.982	1.51	2.13	2.45					
68	59.119	0.126	0.385	0.906	1.31	1.95	2.10					
69	59.512	0.100	0.315	0.748	0.974	1.52	1.83					
70	59.905	0.101	0.306	0.573	0.936	1.38	1.40					
71	60.905	0.078	0.247	0.508	0.663	1.09	1.24					
72	61.905	0.077	0.217	0.436	0.511	0.822	0.969					
73	62.905	0.084	0.209	0.380	0.516	0.769	0.954					
74	63.905	0.079	0.233	0.442	0.602	0.935	1.16					
75	64.055	0.081	0.355	0.493	0.585	1.00	1.17					
76	64.605		0.287	0.499	0.854	0.885	1.28					
77	65.080					0.969	1.12					
78	65.555					0.815	0.919					
79	66.255	0.079	0.226	0.343	0.529	0.713	0.806					
80	67.255	0.094	0.288	0.441	0.278	0.966	1.09					
81	68.255	0.144	0.473	0.519	0.803	1.04	1.23					
82	68.805	0.177	0.598	0.581	1.10	1.18	1.21					
83	69.355	0.173	0.530	0.508	1.02	1.08	1.13					
84	69.905	0.198	0.736	0.520	1.51	1.56	1.37					
85	70.705	0.140	0.397	0.440	0.851	1.04	1.16					
86	71.505	0.104	0.272	0.378	0.610	0.815	0.973					
87	72.055	0.180	0.500	0.666	1.02	1.29	1.27					
88	72.605	0.210	0.562	0.766	1.40	1.43	1.46					
89	72.998	0.182	0.537	0.847	1.29	1.58	1.64					
90	73.391	0.152	0.458	0.652	1.06	1.52	1.72					
91	74.321	0.171	0.408	0.800	1.10	2.06	1.70					
92	75.321	0.211	0.549	0.773	1.12	1.57	1.66					
93	75.971	0.487	0.975	1.68	2.28	2.39	3.08					

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度、質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比體積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) 、濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度(amount concentration)は臨床化学の分野では物質濃度(substance concentration)ともよばれる。

(b) これらは無次元あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b) m/m m ² m ² s ⁻¹
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b) Hz
周波数	ヘルツ ^(d)	N	m kg s ⁻²
力	ニュートン	Pa	N/m ² m ⁻¹ kg s ⁻²
圧力、応力	パスカル	J	N m m ² kg s ⁻²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	W	J/s m ² kg s ⁻³
仕事率、工率、放射束	ワット	C	s A
電荷、電気量	クーロン	V	W/A m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
電位差(電圧)、起電力	ボルト	F	C/V m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
静電容量	ファラード	Ω	V/A m ² kg s ⁻³ A ⁻²
電気抵抗	オーム	S	A/V m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
コンダクタンス	ジーメンス	Wb	Vs m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	エーベル	T	Wb/m ² kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	テスラ	H	Wb/A m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	℃	K
光度	ルーメン	lm	cd sr ^(c) lm/m ² m ² cd s ⁻¹
放射性核種の放射能 ^(f)	ルクス	Ix	lm
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	ベクレル ^(d)	Bq	J/kg m ² s ⁻²
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量	グレイ	Sv	J/kg m ² s ⁻²
酸素活性	シーベルト ^(g)	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同じである。したがって、温度差や温度間隔を表す數値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。

(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ¹ kg s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度、放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量、エンントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量、比エンントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ³ sA
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² sA
電束密度、電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² sA
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	m ³ kg s ⁻⁴ A ²
透過率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ¹
モルエントロピー、モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ¹
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ⁻³ s ⁻¹
放射強度	ワット毎メートル	W/sr	m ¹ m ² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨ	タ	Y	10 ⁻¹	デシ
10 ²¹	ゼ	タ	Z	10 ⁻²	センチ
10 ¹⁸	エ	ク	E	10 ⁻³	ミリ
10 ¹⁵	ペ	タ	P	10 ⁻⁶	マイクロ
10 ¹²	テ	ラ	T	10 ⁻⁹	ナノ
10 ⁹	ギ	ガ	G	10 ⁻¹²	ピコ
10 ⁶	メ	ガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト
10 ³	キ	ロ	k	10 ⁻¹⁸	アト
10 ²	ヘ	ク	h	10 ⁻²¹	ゼット
10 ¹	デ	カ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L	1L=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
ノット	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネバール	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
デジベル	dB	

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイーン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ボアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フォート	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ x
ガル	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm ² =10 ⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe△(10 ³ /4n)A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
力口リ	cal	1cal=4.1868J (15°Cカロリー), 4.1868J (ITカロリー)
ミクロ	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

