

J A E R I - M

88-225

OGL-1における¹³⁷Csの沈着分布

1988年11月

露崎 典平・松本実喜夫*

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

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷株

OGL-1における¹³⁷Csの沈着分布

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉設計室

露崎 典平・松本実喜夫*

(1988年10月21日受理)

HTTRの安全評価に資するため、 HTTRの一次系とほぼ同じ条件で運転されている OGL-1 一次系の FP プレートアウト測定を実施した。測定は、第 3 次燃料試料が照射された JMTR 第 46 サイクル（1979 年 3 月）から第 9 次燃料試料の第 73 サイクル（1986 年 4 月）までの長期に渡り実施した。測定の結果、¹³⁷Cs は、測定できた配管のうち 400 ~ 500 °C 付近の配管に多く沈着するとともに、燃料からの FP 放出量が減少すると 500 °C 以上の高温配管で離脱し、400 °C 前後の配管に再沈着することなどが明らかになった。

Plate-out Distribution of ^{137}Cs in the OGL-1 Primary Loop

Noriyoshi TSUYUZAKI and Mikio MATSUMOTO*

HTTR Designing Laboratory
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received October 21, 1988)

In order to reflect on safety evaluation of HTTR (High Temperature Engineering Test Reactor), measurements of fission products plate-out distribution have been done on the primary circuit of OGL-1 (Oarai Gas Loop No.1) which has been operated in the simular gas flow condition with the HTTR.

The measurements have been performed since 46th till 73rd operation cycles of the JMTR (Japan Materials Testing Reactor) in which from 3rd to 9th fuel specimens of OGL-1 were irradiated.

It became clear that ^{137}Cs plated-out well on the piping at $400 \sim 500^\circ\text{C}$. It was also observed that ^{137}Cs released from the pipe at higher than 500°C and deposited again on the pipe at lower than 400°C when the release rate of ^{137}Cs from irradiation fuel decreased.

Keywords: F.P. Plate-out, ^{137}Cs Distribution, Lift-off, JMTR

* Nuclear Engineering Co.

目 次

1. まえがき	1
2. FP沈着量測定	1
2.1 測定装置	2
2.2 測定方法	2
3. OGL-1におけるFP沈着量測定	4
3.1 OGL-1一次系の概要と測定点	4
3.2 OGL-1運転履歴	6
4. 沈着量測定結果	7
4.1 沈着量換算係数	7
4.2 原子炉停止時測定結果	7
4.3 原子炉運転中測定結果	8
5. 沈着量測定結果の検討	8
6. まとめ	9
7. あとがき	10
謝　　辞	10
参考文献	11

Contents

1. Introduction	1
2. F.P. Plate-out measurement	1
2.1 Measurement system	2
2.2 Measuring method	2
3. F.P. Plate-out measurement of OGL-1	4
3.1 Measuring points and outline of the OGL-1 primary system ..	4
3.2 Operating histories of the OGL-1	6
4. Results of F.P. plate-out measurement	7
4.1 Conversion coefficient	7
4.2 Measurement data during the reactor shutdown	7
4.3 Measurement data during the reactor operating	8
5. Discussion of ^{137}Cs plate-out distribution	8
6. Summary	9
7. Postscript	10
Acknowledgment	10
References	11

List of Tables

- Table 1 H.P. Ge Coaxial Detector Performance Specifications
Table 2 Main Characteristics of the OGL-1
Table 3 Impurities and Their Concentrations in the Helium Gas of the OGL-1
Table 4 Parameters of the Measuring Points
Table 5 OGL-1 Operating Histories
Table 6 Irradiation Histories of the OGL-1 Fuels
Table 7 Irradiation Condition of the OGL-1 Fule Rod
Table 8 Accumulated Plate-out Activity of ^{137}Cs in the OGL-1
Table 9 Increased Plate-out Activity of ^{137}Cs in the OGL-1 under the JMTR Operation Cycle

List of Figures

- Fig. 1 In-situ Measurement of the Fission Product Plate-out in the OGL-1
Fig. 2 OGL-1 FP Plate-out Measuring System
Fig. 3 Flow Sheet of the Liq. N₂ Automatic Supply System
Fig. 4 Flow Sheet of the OGL-1 Primary Coolant and FP Plate-out Measurement Points
Fig. 5 OGL-1 Operating History of JMTR 73rd Cycle
Fig. 6 Temperature Range of He Gas at OGL-1 Loop from #46 to #73 Operation Cycle
Fig. 7 Sensitivity of Ge-Detector in Shielding with a Collimator
Fig. 8 Conversion Coefficient Calculation Model
Fig. 9 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#46~#51 cycle)
Fig. 10 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#52~#58 cycle)
Fig. 11 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#59~#63 cycle)
Fig. 12 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#64~#66 cycle)
Fig. 13 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#67~#73 cycle)
Fig. 14 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 57 cycle)
Fig. 15 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 58 cycle)
Fig. 16 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 59 cycle)
Fig. 17 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 60 cycle)
Fig. 18 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 61 cycle)

- Fig. 19 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 62 cycle)
- Fig. 20 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 63 cycle)
- Fig. 21 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 64 cycle)
- Fig. 22 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 65 cycle)
- Fig. 23 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 66 cycle)
- Fig. 24 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 67 cycle)
- Fig. 25 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 68 cycle)
- Fig. 26 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 69 cycle)
- Fig. 27 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 70 cycle)
- Fig. 28 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 72 cycle)
- Fig. 29 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 Operation (JMTR 73 cycle)
- Fig. 30 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 1
- Fig. 31 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 2
- Fig. 32 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 4
- Fig. 33 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 5
- Fig. 34 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 6
- Fig. 35 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 7

1. まえがき

高温工学試験研究炉（HTTR ; High Temperature Engineering Test Reactor）は、被覆粒子燃料（Coated Particle Fuel）を燃料コンパクトの形に成形しさらに燃料コンパクトは黒鉛スリーブの中に挿入したものを燃料棒として使用するピン・イン・ブロック型の燃料体を採用している。被覆粒子燃料からは、微量ではあるが核分裂生成物（FP; Fission Product）が被覆層、コンパクト内及び黒鉛スリーブ内を拡散して一次冷却材中に放出される。また被覆粒子燃料製造時のウランによる汚染、あるいはHTTR運転時に被覆層の破損が生じた場合にも同様な経路で、FPが一次冷却材中に放出される。

放出されたFPの一部は、一次系内を循環し各構成機器及び配管の内面に沈着し、温度、流速等の冷却材の流量条件が変った場合には脱着する。このため HTTRの遮蔽設計、保守・点検時の被曝量の評価さらには事故時の環境へのFP放出量推定には、一次系内のFPの沈着挙動とそのメカニズムを知ることが不可欠である。

JMTRに設置されている高温ヘリウムインパイルガスループ（OGL-1；Oarai Gas Loop No.-1）は、HTTRの燃料コンパクトを使用した燃料試料の照射試験を実施している¹⁾。OGL-1の一次系は、HTTRと同様な機器で構成されており、燃料試料からのFP放出及び配管内面等への沈着挙動を調べることは、HTTRにおけるFP沈着挙動の推定に有効である。したがって、1977年から運転されているOGL-1の一次系配管を対象にしてFP沈着量及び分布の測定をJMTR第46サイクル（1979年3月）から継続して來た。

本報告書は、半減期が30年と長く人体に対する影響が大きい¹³⁷Csについて、JMTR第46サイクルから第73サイクル（1986年4月）まで（OGL-1燃料試料としては第3から第9次まで）の沈着分布についてまとめたものである。

2. FP沈着量測定

OGL-1の一次系は、二重管の高温配管、一重管の中低温配管、再生熱交換器、ガス循環機等で構成される閉ループである。このため、FP沈着量測定のために必要な部分を切り出すことが不可能である。一方FP沈着挙動を知るには同一点での沈着量の変化を測定する必要がある。これらの要件から、OGL-1におけるFP沈着量測定は、配管外側から配管内面に沈着したFPの放出するガンマ線を測定し、その強度から沈着量を求める非破壊法を用いた²⁾。

ガンマ線測定法としては、線源が点状あるいは平面とみなせる場合には従来から広く用いられて來た方法であるが、FP沈着量測定では、米国のピーチボトム炉での例があるのみである^{3),4),5)}。ピーチボトムでの測定法は、(1) 目的とする配管以外からのガンマ線を少くするとともに、検出器に最適なガンマ線強度にするためコリメータ窓をできるだけ小さくしたこと。及び同測定法をそのままOGL-1で適用するには(2) OGL-1の曲率の大きいFP沈着配管のモデル化の問

1. まえがき

高温工学試験研究炉（HTTR ; High Temperature Engineering Test Reactor）は、被覆粒子燃料（Coated Particle Fuel）を燃料コンパクトの形に成形しさらに燃料コンパクトは黒鉛スリーブの中に挿入したものを燃料棒として使用するピン・イン・ブロック型の燃料体を採用している。被覆粒子燃料からは、微量ではあるが核分裂生成物（FP; Fission Product）が被覆層、コンパクト内及び黒鉛スリーブ内を拡散して一次冷却材中に放出される。また被覆粒子燃料製造時のウランによる汚染、あるいはHTTR運転時に被覆層の破損が生じた場合にも同様な経路で、FPが一次冷却材中に放出される。

放出されたFPの一部は、一次系内を循環し各構成機器及び配管の内面に沈着し、温度、流速等の冷却材の流量条件が変った場合には脱着する。このため HTTRの遮蔽設計、保守・点検時の被曝量の評価さらには事故時の環境へのFP放出量推定には、一次系内のFPの沈着挙動とそのメカニズムを知ることが不可欠である。

JMTRに設置されている高温ヘリウムインパイルガスループ（OGL-1；Oarai Gas Loop No.-1）は、HTTRの燃料コンパクトを使用した燃料試料の照射試験を実施している¹⁾。OGL-1の一次系は、HTTRと同様な機器で構成されており、燃料試料からのFP放出及び配管内面等への沈着挙動を調べることは、HTTRにおけるFP沈着挙動の推定に有効である。したがって、1977年から運転されているOGL-1の一次系配管を対象にしてFP沈着量及び分布の測定をJMTR第46サイクル（1979年3月）から継続して來た。

本報告書は、半減期が30年と長く人体に対する影響が大きい¹³⁷Csについて、JMTR第46サイクルから第73サイクル（1986年4月）まで（OGL-1燃料試料としては第3から第9次まで）の沈着分布についてまとめたものである。

2. FP沈着量測定

OGL-1の一次系は、二重管の高温配管、一重管の中低温配管、再生熱交換器、ガス循環機等で構成される閉ループである。このため、FP沈着量測定のために必要な部分を切り出すことが不可能である。一方FP沈着挙動を知るには同一点での沈着量の変化を測定する必要がある。これらの要件から、OGL-1におけるFP沈着量測定は、配管外側から配管内面に沈着したFPの放出するガンマ線を測定し、その強度から沈着量を求める非破壊法を用いた²⁾。

ガンマ線測定法としては、線源が点状あるいは平面とみなせる場合には従来から広く用いられて來た方法であるが、FP沈着量測定では、米国のピーチボトム炉での例があるのみである^{3),4),5)}。ピーチボトムでの測定法は、(1) 目的とする配管以外からのガンマ線を少くするとともに、検出器に最適なガンマ線強度にするためコリメータ窓をできるだけ小さくしたこと。及び同測定法をそのままOGL-1で適用するには(2) OGL-1の曲率の大きいFP沈着配管のモデル化の問

題がある。寿命末期でFP沈着量の多いピーチボトムでの測定 ($6 \times 10^{-1} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2 \sim 3 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) では有効であっても運転初期でかつ試料からのFP放出量の少いOGL-1では、 $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 程度の測定をしなければならないこと、また沈着部配管形状を平面線源に置きかえる単純計算ではモデル化の仮定が多く測定精度の信頼性が著しく低下することから新に測定方法を開発することにした。

新に開発した測定法は、低沈着量でも有効に測定できる広開口角のコリメータを使用しつつ複雑な配管形状の配管内FP沈着量の測定が可能である^{6),7),8),9)}。本非破壊測定法は1977年3月のJMTR第39サイクルから1978年7月の第44サイクルまで予備実験が実施され、その有効性が実証されている^{6),10),11)}。実用装置はこれらの予備実験結果を踏まえて製作した¹²⁾。

2.1 測定装置

使用した検出器は、OGL-1のキュービクル内で容易に移動可能なデュワが5ℓの小型高純度Ge検出器である。本検出器の構造は、縦型下向クライオスタット型で、 ^{60}Co のガンマ(γ)線に対する相対効率(3" × 3"のNaI(Tl)に対する検出効率)が13%以上、半値幅エネルギー分解能が2.1KeV以下である。検出器の主要項目をTable. 1に示す。

測定に使用したコリメータは、測定点周辺のバックグラウンド γ 線の計測量を少なくし、OGL-1配管内に沈着した核種からの γ 線を効率良く計測するために、周方向に鉛で100mmの遮蔽厚さを確保し、測定点方向に長さ4cm、幅1cmの長方形のコリメータ窓を設けてある。さらに鉛の特性X線を遮蔽するために、検出器とコリメータ間に厚さ2mmの銅筒を挿入してある。コリメータは、総重量が約140kgであるが、人が持ち運べるよう5分割にできる構造となっている。コリメータはFP沈着量測定及びOGL-1一次系配管に添っての沈着分布が得られるよう上流側に14個所設置した。また開口方向は測定する配管の背後に線源となる配管がないよう考慮した。コリメータ窓は、横型と縦型の2種の窓を製作し測定対象の軸方向と、コリメータ窓の長軸方向が一致するようコリメータに取付けた。使用したGe検出器及びコリメータと測定方法概略をFig. 1に示す。

データ処理装置は、Ge検出器で計測された γ 線スペクトルを自動的に解析し、核種の同定及び沈着量への換算、解析結果の磁気テープ及びディスクへの格納、図表の作成及び波高分析装置の制御ができるようシステムを構成した。

システムは、16BitのPDP 11/34計算機をメインとし、交換型ハードディスク装置2台、磁気テープ装置1台、ラインプリンタ1台及びデジタルプロッタ1台から構成されている。システムのブロックダイヤグラムをFig. 2に示す。

2.2 測定方法

(1) OGL-1停止中の測定

γ 線測定装置のGe検出器で計測される γ 線は、コリメータ窓を通って入射する γ 線と、コリメータ窓以外から入射する γ 線の合計量である。このため、OGL-1停止中のFP沈着量

の測定は、キュービクル内立入りが可能となってから、Ge 検出器を持込み測定点 1ヶ所につき、コリメータ窓を開いた状態と閉じた状態の 2 回測定を行い、計数率を差し引いている。キュービクル内の立入は、原子炉が停止し、OGL-1一次系内の精製運転が終了した後となり、測定開始は、炉停止後 2 ~ 3 日経過した後となる。

このため半減期の短い核種は、検出限界 ($10^{-6} \mu\text{ci}/\text{cm}^2$) 以下に減衰してしまい検出できない。検出可能な核種は、中・長半減期核種に限られている。また、精製運転により、希ガス FP のように沈着しない核種は、冷却材中より除かれるため、検出はされない。

測定に要する時間は、沈着量が少いため計数率が低いこと及び計数率の統計誤差を小さくするために、測定点 1 カ所当たり 15 ~ 20 時間としているので、OGL-1 一次系配管に配置した 16 カ所の測定を終えるのに、長時間を要する。

計測される γ 線は、配管内表面に吸着した核種及び配管の母材内部へ拡散侵入した核種から放出されたものの両方であり、これらを区別して計測することは本方法ではできない。計測された γ 線は、そのエネルギーにより核種が同定され、スペクトルのピーク計数率から沈着量に換算される。

波高分析装置のチャンネルとエネルギーレベルの較正は、 ^{152}Eu (122KeV), ^{137}Cs (662KeV), ^{60}Co (1173, 1333 KeV) の 4 本の γ 線を使用した。計数率から沈着量を求めるには、別途沈着量換算係数を求めておく必要がある。各測定点の沈着量換算係数は、実測した検出器の感度分布と、測定点と検出器との幾何学的配置から計算コードを使用して求めている¹³⁾。

(2) OGL-1 運転中の測定

FP 沈着量測定に使用している可搬型 Ge 検出器のデュワーは、5 ℥ であり液体窒素保持日数が約 3 日である。このため原子炉運転中は立入りができない OGL-1 キュービクル内で、長期間連続的に測定するために液体窒素自動補給装置を設置した。液体窒素自動補給装置は、OGL-1 キュービクル内測定点の 4 カ所に設置した Ge 検出器に、キュービクル外から自動的に補給できる装置である。100 ℥ の液体窒素貯溜容器及び補給のためのクライオトロールはキュービクル内に、液体窒素液面監視盤はキュービクル外に設置した。キュービクル内の Ge 検出器には、Ge 検出器の液体窒素液面レベルに応じて、クライオトロールにより自動的に補給される。液体窒素から検出器までの配管は二重管構造の真空断熱配管を使用した。液体窒素自動補給システムを Fig. 3 に示す。

OGL-1 運転中の測定は、短半減期核種の計測が可能で、計数率が上り、バックグラウンドが相対的に低くなること、及び時間経過による沈着履歴を知るために、測定時間は、1 ~ 2 時間とした。 γ 線測定結果から沈着量への換算は、OGL-1 停止中の測定に使用した換算係数と同じものを使用した。また本測定では、換算係数を改良して希ガス濃度も算出できるようにした。なお、運転中の測定では、コリメータ窓を閉めた状態より開いた状態での計数率がはるかに多く、バックグラウンドの補正なしで十分な計測精度があることを確認している。

3. OGL-1におけるFP沈着量測定

3.1 OGL-1一次系の概要と測定点

OGL-1は、高温工学試験研究炉用の燃料・材料等の照射試験を行うことを目的として、1977年1月にJMTRに設置されたインパイルヘリウムガスループである。1977年3月に照射試料出口平均ガス温度1000°Cで100時間の連続運転達成以来、現在まで継続して運転している。

OGL-1の一次系は、①JMTR炉心内に挿入され、照射試料を収納し中性子照射される炉内管、②冷却材を循環させるためのガス循環機、③炉内管入口ガス温度を所定値に制御するための加熱器、④一次系の熱除去を行う1次冷却器、⑤高温ヘリウムガスの熱を有効利用するための再生熱交換器および、⑥配管、弁類から構成されている。OGL-1一次系のフローシート及び測定点をFig.4に示す。また、OGL-1ループの性能の概要をTable.2及びTable.3に示す。

OGL-1一次系のHeガス流路は照射試料、高温3重配管、高温2重配管、No.1再生熱交換器、中温单管配管、No.2再生熱交換器、低温单管配管、冷却器、フィルタ、ガス循環器、加熱器を経て照射試料に戻る全長約200mの閉ループとなっている。

測定箇所は、測定が必要な点および測定が比較的容易な場所という2つの条件を考慮して、相対的に沈着量が多いと考えられるOGL-1ガスループの照射試料に近い上流側約100mまでの所には16箇所設けた。測定点16箇所の主要目をTable.4に示し、以下に各測定点の概要を簡単に説明する。

(1) 測定点1

測定点1は、JMTR地下1階のOGL-1ループキューピクル内にある3重構造の高温配管部で、OGL-1炉内管出口の直後にあり測定点のなかでは最もガス温度の高い場所である。

3重管は内側から仕切管、内壁管、圧力管となっていて、管の熱膨張を吸収するために仕切管には多数のベローズが、また内壁管にはスライドジョイントが挿入されている。内壁管と圧力管との間には断熱材が充填されている。運転時には仕切管の内側を450～600°Cの高温ヘリウムガスが流れ、内壁管と仕切管との間を加熱器から出た約500°Cの炉心へ戻るヘリウムが流れれる。測定点は水平3重配管がベンドして垂直3重配管になった直後の位置にある。

(2) 測定点2

測定点2は、JMTR地下1階のOGL-1ループキューピクル内にある2重管構造の高温配管部である。2重管は内側から内壁管、圧力管となっている。管の熱膨張を吸収するために内壁管にはスライドジョイントが挿入されている。また、内壁管と圧力管との間には断熱材が充填されている。運転時には内壁管の内側を450～600°Cの炉心から出た高温ヘリウムガスが流れれる。測定点は垂直3重配管から垂直2重配管へ移行した直後のエルボ部付近である。

(3) 測定点4

測定点4は、JMTR地下3階のOGL-1キューピクル内（以下の測定点も同様）にある2重管構造の高温配管部である。2重管は内側から内壁管、圧力管となっている。運転時には内

壁管の内側を 400 ~ 550 °C の高温ヘリウムガスが流れる。測定点は地下 1 階から地下 2 階を貫通して地下 3 階に下りて来た配管が水平に曲げられた後に続く、比較的長い水平な直管部分の中間位置にある。本測定点は原子炉運転中に測定する測定点である。

(4) 測定点 5

測定点 5 は、2 重管構造の垂直高温配管部である。測定点 4 の水平直管からベントした直後の位置にあり、ベンド部が沈着量に与える影響を観察できる測定点である。運転時には内壁管の内側を 400 ~ 550 °C の高温ヘリウムガスが流れる。

(5) 測定点 6

測定点 6 は、2 重管構造の垂直高温配管部である。測定点は No. 1 再生熱交換器の入口部にあり、運転時には内壁管の内側を 400 ~ 500 °C の高温ヘリウムガスが流れる。

(6) 測定点 8 - 1, 8 - 2

測定点 8 - 1, 8 - 2 は No. 1 再生熱交換器伝熱管 ($\phi 15.9 \times 2 t \sim 22$ 本、材質：ハステロイ-X) の入口、出口部で、各核種の沈着量が多いとの離脱後の移行先として注目し、設置した場所である。運転時には伝熱管の内側を 250 ~ 500 °C のヘリウムガスが流れ、入口・出口の温度差は約 200 °C である。8 - 1 及び 8 - 2 は原子炉運転中に測定する測定点である。

(7) 測定点 7

測定点 7 は、単管構造の水平中温配管部で单管の外側には保温材が取り付けられている。測定点は No. 1 再生熱交換器と No. 2 再生熱交換器の中間に位置している水平中温配管のエルボ部にある。運転時には 250 ~ 350 °C のヘリウムガスが流れる本測定点は原子炉運転中に測定する測定点である。

(8) 測定点 8 - 3, 8 - 4

測定点 8 - 3, 8 - 4 は、No. 2 再生熱交換器伝熱管 ($\phi 15.9 \times 1.6 t \sim 22$ 本、材質：ステンレス - 316) の入口、出口部である。運転時には伝熱管の内側を 150 ~ 350 °C のヘリウムガスが流れ、入口・出口の温度差は約 100 °C である。No. 1, No. 2 再生熱交換器は互いに相対して位置しているので (Fig. 3.8 参照)，中間にコリメータを設置して検出器の向きを変えれば、1 台で 2箇所 (8 - 1 と 8 - 4, 8 - 2 と 8 - 3) 測定できる様にしてある。従って、これら再生熱交換器伝熱管部の検出器と配管中心間距離は 500 mm と、他の測定点に比べ長くなっている。

(9) 測定点 3

測定点 3 は、単管構造の垂直低温配管部である。冷却器入口の直前にあり、運転時には約 200 °C の低温ヘリウムガスが流れる。

(10) 測定点 10

測定点 10 は、単管構造の垂直低温配管部である。冷却器出口直後にあり、運転時には約 30 °C のヘリウムガスが流れる。

(11) 測定点 11

測定点 11 は、単管構造の水平低温配管部である。フィルタ入口直前にあり、運転時には冷却器で約 30 °C に冷却されたヘリウムガスと冷却器をバイパスした約 200 °C のヘリウムガスの混合ガスが流れ、ヘリウムガス温度は約 130 °C である。

(12) 測定点 13

測定点 13 は、単管構造の垂直低温配管部である。フィルタとガス循環機の間にあり、運転時のヘリウムガス温度は約 130 °C である。

(13) 測定点 14

測定点 14 は、単管構造の垂直低温配管部である。ガス循環機の出口直後にあり、運転時のヘリウムガス温度は約 160 °C である。

(14) 測定点 9

測定点 9 は、単管構造の垂直低温配管部である。No.2 再生熱交換器を出たヘリウムガスが冷却器を通らずにフィルタに入るバイパスラインにある。運転時のヘリウムガス温度は約 200 °C である。

3.2 OGL-1 運転履歴^{15), 16)}

1 サイクルの JMTR の運転は、前半サイクルと後半サイクルに分かれており、前後半サイクル共約 10 ~ 12 日間である。前半サイクルと後半サイクルの間には 2 ~ 3 日間の原子炉中間停止期間がある。OGL-1 ループでは原子炉運転の 2 ~ 3 日前に、昇温して系内の精製運転を行っている。原子炉起動後 50 MW までは、原子炉出力上昇に伴なって昇温され、50 MW 到達後準定常運転になる。この状態を約 20 時間保持した後、更に昇温して定常運転となる。出力降下時も出力上昇時と逆の手順を踏んで降温し、原子炉中間停止中は低温・低圧で運転される。原子炉停止後は降温した後、再度精製運転を行って停止するのが標準的な運転サイクルである。

OGL-1 は、試料出口平均ガス温度 1000 °C の運転達成以来、1986 年 4 月の JMTR 第 73 サイクルまでに約 16200 時間の照射運転を行って来た。これまでに被覆粒子燃料の健全性確認等を目的とした燃料試験体 9 体および材料試験体 1 体の照射試験が終了している。

OGL-1 の運転履歴の代表例として、JMTR 第 73 サイクルについて Fig. 5 に示す。同図には、FP の沈着挙動に大きな影響を与えると考えられる原子炉出力、燃料試料の発熱量、1 次系の流量と圧力、精製系流量、炉内管入口・仕切管出口・圧力管出口・燃料コンパクト入口・燃料出口の各部ガス温度および FP 放出量の目安になる炉内管出口のガンマ線モニタ計数率の各測定項目を示す。OGL-1 ループ定常運転時の JMTR 第 46 サイクルから第 73 サイクルまでの各サイクル運転履歴を Table. 5 に示す。表の中のデータのうち、沈着量に最も影響すると思われるヘリウムガスの温度変動範囲を Fig. 6 に示す。また OGL-1 の第 3 次から第 9 次燃料試料の照射履歴と照射実績を Table. 6 及び Table. 7 に示す。

4. 沈着量測定結果

4.1 沈着量換算係数

OGL-1の停止中及び運転中における一次系配管内面のFP沈着量の測定は、放出される γ 線を配管外側からGe検出器で計測する非破壊測定法である。計測された放射性核種の同定はガンマ線スペクトル中のピークエネルギーから、定量はピーク計数率から求めている。ピーク計数率から沈着量へ換算するには、沈着量換算係数が必要である。沈着量換算係数は、コリメータ内に納められた検出器の感度分布とガンマ線発生源からコリメータに至るまでのガンマ線の減衰により定まる係数である。

プレートアウト測定を実施する各測定点は、検出器を設置するスペースの制約が大きいために設置場所が制限され、このため配管、コリメータ、検出器間の相対位置関係がすべて異なっている。全測定系のモックアップを製作して沈着量換算係数を実験により求めるのは、配管、コリメータ、検出器の組み合せが多くなりすぎて現実的ではない。また、全て計算により求めるには測定点の配管構造と検出器の配置をモデル化する必要がある。同一の検出器およびコリメータを種々の測定点で使用する場合、コリメータ内に納められた検出器の感度分布は変わらないが、ガンマ線発生源からコリメータに至るまでのガンマ線の減衰は異なってくる。また検出器の結晶形状等は、個々の製品により大きく違っており、結晶とコリメータをモデル化して計算コードにより感度分布を求めることが難しい。このため検出器はコリメータと一体化し、その感度分布は実験により測定した。ガンマ線発生源からコリメータに至るまでのガンマ線の減衰は、遮蔽計算により容易に求めることができるので、各測定点の沈着量換算係数は、この実験値と幾何学的配置から計算コード（KKKP）により求めた¹³⁾。検出器の感度分布概要図をFig. 7に、換算係数計算モデル化図をFig. 8に示す。換算係数は、境界エネルギーをはさんで低エネルギー側は3次式で、高エネルギー側は1次式で表わした。較正係数算出式を下記に示す。

$$C = C_1 + C_2 \times E + C_3 \times E^2 + C_4 \times E^3$$

ここで、 E ; \ln (エネルギー (KeV))
 C ; \ln (cps/(dps/cm²))

4.2 原子炉停止時測定結果

キュービクル内各部の沈着量測定結果をTable. 8に示す。測定された沈着量は、減衰に関して各運転サイクルの原子炉停止日（Table. 6 参照）の沈着量に補正されている。Table. 8に記載されている測定結果は、各サイクルの測定結果であり、これは運転サイクルが進むに従って順次蓄積される累積沈着量である。OGL-1の各燃料試料における累積沈着量の履歴をFig. 9からFig. 13に示す。同図から明らかなように、¹³⁷Csは炉心からの距離、ヘリウムガス温度によ

って沈着量が大きく異なっている。

また、各サイクル間の OGL-1 運転時に新に沈着した量を、Table. 9 に示す。新に沈着した量は、当該サイクルに測定した累積沈着量から、前サイクルまでの累積沈着量に測定時までの減衰率を掛けた値を差し引いて求めた値である。これをサイクル間沈着量として用い累積沈着量と区別して取扱うことにしている。前サイクルに沈着した量に加えて新に沈着量が増加していれば、サイクル間の沈着量は正の値となるが、減少していれば負の値となっている。負の値となっている測定点では、測定点における ^{137}Cs の沈着量の変化が少く、測定誤差が大きい場合、あるいは離脱によって沈着していた ^{137}Cs がガス流路下流へ移行してしまったために、沈着量が前サイクルよりも少くなってしまったと考えられる。

これらの測定結果から累積沈着量は、遮蔽設計、保守点検時の一次系機器への接近方法等の評価に、サイクル間の沈着量の変化は各サイクルにおける燃料試料の FP 放出量評価に有益なデータになると考えられる。

4.3 原子炉運転中測定結果

原子炉停止中測定結果の検討結果から、OGL-1 上流側の FP 沈着量測定点の一部に ^{137}Cs の離脱現象が起きていることが考えられた。このため、運転中における沈着量の変化と離脱状況を知ること、及び運転中に放出される短半減期核種の沈着挙動を知るために、JMT-R 第 57 サイクルからの原子炉の運転中における OGL-1 一次系配管の FP 沈着量の測定を新たに開始した。

測定点は頭初液体窒素自動補給が行える場所として、No. 4 と No. 7 を選定して開始した。第 73 サイクルからは、離脱後の再沈着場所を特定できるよう No. 1 及び No. 2 再生熱交換器の入口及び出口の 4 ヶ所を新たに追加し測定を実施した。

各運転サイクルの沈着量の履歴を Fig. 14 ~ Fig. 29 に示す。

5. 沈着量測定結果の検討

^{137}Cs は半減期が 30 年と長いため、OGL-1 の運転とともに沈着量が積算される核種であるが、これまでの各点における FP 沈着量の測定から、燃料試料によって沈着分布が少し異なることが明らかになってきた。

第 3 次燃料試料の照射期間である JMTR # 46, # 47 サイクルの測定結果では、Fig. 9 から明らかな様に測定点①～⑥のヘリウムガス温度 500 ~ 550 °C の高温配管部に多く沈着している。第 4 次燃料から第 9 次燃料試料の照射期間では、300 ~ 500 °C の中温配管部である再生熱交換器付に多く沈着している (Fig. 9 ~ Fig. 13 参照)。

また Fig. 9 ~ Fig. 11 に示されるように第 4 次、6 次及び 7 次燃料試料の第 1 サイクル目に当る # 48, # 59 及び # 60 サイクルの沈着量測定結果を見ると、累積沈着量として測定されている①～⑥の測定点で沈着量が減少している。

これらの現象を明らかにするために、第 46 サイクルから第 73 サイクルの全期間にわたって測

って沈着量が大きく異なっている。

また、各サイクル間の OGL-1 運転時に新に沈着した量を、Table. 9 に示す。新に沈着した量は、当該サイクルに測定した累積沈着量から、前サイクルまでの累積沈着量に測定時までの減衰率を掛けた値を差し引いて求めた値である。これをサイクル間沈着量として用い累積沈着量と区別して取扱うことにしている。前サイクルに沈着した量に加えて新に沈着量が増加していれば、サイクル間の沈着量は正の値となるが、減少していれば負の値となっている。負の値となっている測定点では、測定点における ^{137}Cs の沈着量の変化が少く、測定誤差が大きい場合、あるいは離脱によって沈着していた ^{137}Cs がガス流路下流へ移行してしまったために、沈着量が前サイクルよりも少くなってしまったと考えられる。

これらの測定結果から累積沈着量は、遮蔽設計、保守点検時の一次系機器への接近方法等の評価に、サイクル間の沈着量の変化は各サイクルにおける燃料試料の FP 放出量評価に有益なデータになるとと考えられる。

4.3 原子炉運転中測定結果

原子炉停止中測定結果の検討結果から、OGL-1 上流側の FP 沈着量測定点の一部に ^{137}Cs の離脱現象が起きていることが考えられた。このため、運転中における沈着量の変化と離脱状況を知ること、及び運転中に放出される短半減期核種の沈着挙動を知るために、JMTR第 57 サイクルからの原子炉の運転中における OGL-1 一次系配管の FP 沈着量の測定を新たに開始した。

測定点は頭初液体窒素自動補給が行える場所として、No. 4 と No. 7 を選定して開始した。第 73 サイクルからは、離脱後の再沈着場所を特定できるよう No. 1 及び No. 2 再生熱交換器の入口及び出口の 4 ヶ所を新たに追加し測定を実施した。

各運転サイクルの沈着量の履歴を Fig. 14 ~ Fig. 29 に示す。

5. 沈着量測定結果の検討

^{137}Cs は半減期が 30 年と長いため、OGL-1 の運転とともに沈着量が積算される核種であるが、これまでの各点における FP 沈着量の測定から、燃料試料によって沈着分布が少し異なることが明らかになってきた。

第 3 次燃料試料の照射期間である JMTR # 46, # 47 サイクルの測定結果では、Fig. 9 から明らかな様に測定点①～⑥のヘリウムガス温度 500 ~ 550 °C の高温配管部に多く沈着している。第 4 次燃料から第 9 次燃料試料の照射期間では、300 ~ 500 °C の中温配管部である再生熱交換器付に多く沈着している (Fig. 9 ~ Fig. 13 参照)。

また Fig. 9 ~ Fig. 11 に示されるように第 4 次、6 次及び 7 次燃料試料の第 1 サイクル目に当る # 48, # 59 及び # 60 サイクルの沈着量測定結果を見ると、累積沈着量として測定されている①～⑥の測定点で沈着量が減少している。

これらの現象を明らかにするために、第 46 サイクルから第 73 サイクルの全期間にわたって測

定を行っている OGL-1 上流側の測定点①～⑦までの、各測定点における ^{137}Cs の沈着量を Fig. 30 ~ Fig. 35 に示す。同図から明らかな様に、 ^{137}Cs は燃料試料の照射とともに累積沈着量が増加すること、また Fig. 30 ~ Fig. 34 から、#48, #59 及び #60 サイクルで沈着量が減少していることがわかる。

これは、OGL-1 の運転が Table. 5 に示すように全測定期間ほぼ同じような条件であることを考慮すると燃料試料の FP 放出率に依存すると考えられる。OGL-1 一次系内の Xe 及び Kr の測定結果では、沈着量が減少した照射サイクルの燃料試料からの同核種の放出量は、前サイクルより低下していることが明らかになっている¹⁵⁾。希ガスの燃料からの放出量と ^{137}Cs の放出量の挙動が同様の傾向を示すとすれば、燃料からの FP 放出量が減り一次系内の FP 濃度が減少した場合、測定点①～⑥の範囲で ^{137}Cs の離脱が起ると考えることができる。

離脱の状況は、Fig. 16 及び Fig. 17 に示す測定点④の沈着量測定結果から明らかな様に、OGL-1 の運転開始とともに離脱が起ることがわかる。また測定点⑦はわずかであるが沈着量が OGL-1 運転に伴って増加していることがわかる。

^{137}Cs の離脱後の移行先は、#59～#62 サイクルの測定データ (Fig. 11 参照) から推察すると、測定点⑩, ⑪, ⑬, ⑭ では各サイクル間の沈着量がほとんど変化ないことから、これらの測定点の上流側である再生熱交換器部分であることと考えられる。

原子炉運転中の測定である Fig. 14 ~ Fig. 29 の測定点④及び⑦の ^{137}Cs の沈着量測定結果から、 ^{137}Cs は OGL-1 起動時の温度及び圧力の過渡変化に沈着量が減少する傾向を、OGL-1 停止時に増加する傾向を示す。また、離脱が起きた後の測定結果からは、起動・停止時の変動があるものの、サイクル全体では増加傾向を示していることがわかる。

6. ま と め

これまでの測定結果から以下に示す事項が明らかになった。

- (1) ^{137}Cs はガス温度が 500 °C 付近の配管に多く沈着する。
- (2) 燃料試料が変り FP の放出量が減少すると、500 °C 付近に沈着した ^{137}Cs は、新燃料試料の照射開始サイクルに離脱し、熱交換器部分に移行して再沈着する。
- (3) ^{137}Cs の離脱は、OGL-1 の起動後から起り、そのサイクル全般に渡って離脱する。
- (4) ^{137}Cs の沈着は、OGL-1 起動時に減少する傾向を、OGL-1 停止時に増加する傾向を示す。

定を行っている OGL-1 上流側の測定点①～⑦までの、各測定点における ^{137}Cs の沈着量を Fig. 30 ～ Fig. 35 に示す。同図から明らかな様に、 ^{137}Cs は燃料試料の照射とともに累積沈着量が増加すること、また Fig. 30 ～ Fig. 34 から、#48, #59 及び #60 サイクルで沈着量が減少していることがわかる。

これは、OGL-1 の運転が Table. 5 に示すように全測定期間ほぼ同じような条件であることを考慮すると燃料試料の FP 放出率に依存すると考えられる。OGL-1 一次系内の Xe 及び Kr の測定結果では、沈着量が減少した照射サイクルの燃料試料からの同核種の放出量は、前サイクルより低下していることが明らかになっている¹⁵⁾。希ガスの燃料からの放出量と ^{137}Cs の放出量の挙動が同様の傾向を示すとすれば、燃料からの FP 放出量が減り一次系内の FP 濃度が減少した場合、測定点①～⑥の範囲で ^{137}Cs の離脱が起ると考えることができる。

離脱の状況は、Fig. 16 及び Fig. 17 に示す測定点④の沈着量測定結果から明らかな様に、OGL-1 の運転開始とともに離脱が起ることがわかる。また測定点⑦はわずかであるが沈着量が OGL-1 運転に伴って増加していることがわかる。

^{137}Cs の離脱後の移行先は、#59～#62 サイクルの測定データ（Fig. 11 参照）から推察すると、測定点⑩, ⑪, ⑬, ⑭ では各サイクル間の沈着量がほとんど変化ないことから、これらの測定点の上流側である再生熱交換器部分であることと考えられる。

原子炉運転中の測定である Fig. 14 ～ Fig. 29 の測定点④及び⑦の ^{137}Cs の沈着量測定結果から、 ^{137}Cs は OGL-1 起動時の温度及び圧力の過渡変化に沈着量が減少する傾向を、OGL-1 停止時に増加する傾向を示す。また、離脱が起きた後の測定結果からは、起動・停止時の変動があるものの、サイクル全体では増加傾向を示していることがわかる。

6. ま と め

これまでの測定結果から以下に示す事項が明らかになった。

- (1) ^{137}Cs はガス温度が 500 °C 付近の配管に多く沈着する。
- (2) 燃料試料が変り FP の放出量が減少すると、500 °C 付近に沈着した ^{137}Cs は、新燃料試料の照射開始サイクルに離脱し、熱交換器部分に移行して再沈着する。
- (3) ^{137}Cs の離脱は、OGL-1 の起動後から起り、そのサイクル全般に渡って離脱する。
- (4) ^{137}Cs の沈着は、OGL-1 起動時に減少する傾向を、OGL-1 停止時に増加する傾向を示す。

7. あとがき

配管への沈着には、吸着、脱着、管壁内部の拡散等の過程がある。配管等の金属温度、つまりガス温度が高い場合 ^{137}Cs は、単に配管表面にとどまらず金属表面に生成した酸化被膜、及び金属母材内に拡散侵入すると考えられる。

OGL-1におけるFP沈着分布の測定が実施できる範囲は、ヘリウムガス温度が600°C以下の部分である。600°C以上の高温部の挙動が十分つかめていないが、これまでの測定結果から、連続測定で監視できる場所での母材内拡散は、配管内表面のごく近傍と考えられる。これは、ダスト等による吸着であれば、OGL-1の起動とともに変動し、短時間のうちに離脱してしまい1～2日にわたる変動とはならない。よって酸化被膜等のごく表面に拡散したもののが脱着すると考えられる。

FP沈着のうち表面吸着については、 ^{137}Cs 単独で吸着するもの、あるいは化学反応によって起るもの、またダスト補捉された状態で起るもの等、種々の形態が考えられる。これらの解明は今後の調査に期待したい。

本報告書は、 ^{137}Cs について JMTR 第 46 サイクルから第 73 サイクルの 28 サイクル分について、沈着履歴を主に記載した。これらのデータが HTTR の安全審査あるいは計算コードの検証データとして生かされれば幸いである。

謝 辞

本報告書は、1986年から実施して来たFP沈着分布の測定結果をまとめたものである。測定にあたっては、外来研究員として協力していただいた現川崎重工業株式会社原子力本部奥田豪博氏、材料試験炉部ホットラボ課後藤一郎氏、燃料安全工学部反応度安全研究室笹島栄夫氏、材料試験炉部照射第1課遠藤泰一氏にお世話になった。

沈着分布測定結果とOGL-1燃料試料の性状との検討に当っては、燃料・材料工学部燃料照射研究室福田幸朔室長を始め室員の方々に相談にのっていただいた。またOGL-1キュービクル内の立入りに際しては、材料試験炉部照射第2課照射第4係長猿田徹氏、本間建三主査を始め同課諸氏にお世話になった。さらに本報告書をまとめるうえで材料試験炉部照射第1課長市橋芳徳氏、高温工学試験研究炉設計室馬場治主任研究員、田中利幸室長代理、斎藤伸三室長に有益な助言をいただいた。記して感謝いたします。

7. あとがき

配管への沈着には、吸着、脱着、管壁内部の拡散等の過程がある。配管等の金属温度、つまりガス温度が高い場合 ^{137}Cs は、単に配管表面にとどまらず金属表面に生成した酸化被膜、及び金属母材内に拡散侵入すると考えられる。

OGL-1におけるFP沈着分布の測定が実施できる範囲は、ヘリウムガス温度が600°C以下の部分である。600°C以上の高温部の挙動が十分つかめていないが、これまでの測定結果から、連続測定で監視できる場所での母材内拡散は、配管内表面のごく近傍と考えられる。これは、ダスト等による吸着であれば、OGL-1の起動とともに変動し、短時間のうちに離脱してしまい1~2日にわたる変動とはならない。よって酸化被膜等のごく表面に拡散したもののが脱着すると考えられる。

FP沈着のうち表面吸着については、 ^{137}Cs 単独で吸着するもの、あるいは化学反応によって起るもの、またダスト補捉された状態で起るもの等、種々の形態が考えられる。これらの解明は今後の調査に期待したい。

本報告書は、 ^{137}Cs について JMTR 第 46 サイクルから第 73 サイクルの 28 サイクル分について、沈着履歴を主に記載した。これらのデータが HTTR の安全審査あるいは計算コードの検証データとして生かされれば幸いである。

謝 辞

本報告書は、1986年から実施して来たFP沈着分布の測定結果をまとめたものである。測定にあたっては、外来研究員として協力していただいた現川崎重工業株式会社原子力本部奥田豪博氏、材料試験炉部ホットラボ課後藤一郎氏、燃料安全工学部反応度安全研究室笹島栄夫氏、材料試験炉部照射第1課遠藤泰一氏にお世話になった。

沈着分布測定結果とOGL-1燃料試料の性状との検討に当っては、燃料・材料工学部燃料照射研究室福田幸朔室長を始め室員の方々に相談にのっていただいた。またOGL-1キュービクル内の立入りに際しては、材料試験炉部照射第2課照射第4係長猿田徹氏、本間建三主査を始め同課諸氏にお世話になった。さらに本報告書をまとめるうえで材料試験炉部照射第1課長市橋芳徳氏、高温工学試験研究炉設計室馬場治主任研究員、田中利幸室長代理、斎藤伸三室長に有益な助言をいただいた。記して感謝いたします。

参考文献

- (1) 松永朔郎, 他: 高温ヘリウムインパイルガスループ(OGL-1)の建設と性能試験, 原子力学会誌, Vol. 21, No. 3, 39 (1979).
- (2) O. Baba : FP Plate-out Study using In-pile Loop OGL-1, IAEA Specialists' Meeting on Coolant Chemistry, Plate-out Decontamination in Gas-cooled Reactors, (1980)
- ((3) W.E. Selph, D.E. Bryan, : Measurement of Fission Product Activity in the Peach Bottom Reactor Primary Coolant Loop, GA-A14059, (1976)
- (4) D.L. Hanson, N.L. Baldwin, W.E. Selph, : Gamma Scanning the Primary Circuit of Peach Bottom HTGR, GA-A14161, (1976)
- (5) F.F. Dyer, R.P. Wichner, W.J. Martin, H.J. de Nordwall, : Distribution of Radionuclides in the Peach Bottom HTGR Primary Circuit During Core-2 Operation, ORNL-5188, (1977)
- (6) 片桐政樹, 寺田博海, 高橋秀武 : 可搬型Ge(Li)検出器を使用したFPプレートアウト測定-OGL-1 FPプレート測定のための予備実験-, JAERI-M 7579, (1978).
- (7) H. Terada, M. Katagiri, H. Takahashi, N. Wakayama, T. Tanaka : Non Destructive Measurement of Fission Product Plate-out using In-situ Ge (Li) Gamma-ray Spectrometer, Proceeding of Second U.S. Japan Seminar on HTGR Safety Technology Vol.1, (1978)
- (8) H. Terada, M. Katagiri, H. Takahashi, N. Wakayama : In-situ Measurement of Fission Product Plate-out in In-Pile Gas Loop using Portable Ge (Li) Gamma-ray Spectrometer, J. Nucl. Sci. Technol. Vol.17, No.13, 225~240, (1980)
- (9) 寺田博海, 片桐政樹, 若山直昭 : FPプレートアウト非破壊定量測定法の検証実験, 日本原子力学会誌, Vol. 23, No. 10, (1981).
- (10) 寺田博海, 片桐政樹, 高橋秀武, 若山直昭, : 「OGL-1 FPプレートアウト測定のための予備測定」, 私信. (1978).
- (11) 片桐政樹他, : 「非破壊計測法によるFP沈着量測定」, 私信. (1979).
- (12) 片桐政樹, 寺田博海, 高橋秀武, 露崎典平, : 「OGL-1 FP沈着システムの設計」, 私信. (1979).
- (13) 馬場 治, 露崎典平, 斎藤 隆, 後藤一郎, 奥田豪博, 渡辺 久 : OGL-1 FPプレートアウト測定における沈着量換算係数, JAERI-M 9593, (1981).
- (14) 伊丹宏治, 中田宏勝, 田中 熊, 山本克宗, 青山 功, 井川勝市, : High Temperature Irradiation Facilities in JMTR for VHTR Fuel Development, JAERI-M 83-104, (1983).
- (15) 日本原子力研究所, : 多目的高温ガス炉研究開発の現状, (1983), (1984), (1985).
- (16) 日本原子力研究所, : 高温ガス炉研究開発の現状, (1986).

Table 1 HPGe Coaxial Detector Performance Specifications

Detector No.	2	3	5	6
Detector size	$\phi 44.0 \times 56.5 \text{ mm}^2$	$\phi 46.3 \times 46.5 \text{ mm}^2$	$42.9 \times 58.4 \text{ mm}^2$	$49.3 \times 39.0 \text{ mm}^2$
Operating Bias	4000 V	4500 V	2500 V	3500 V
FWHM *1)	1.85 keV	1.76 keV	1.99 keV	1.78 keV
Peak/compton *1)	47/1	50/1	42/1	49/1
Efficiency *2)	14.4 %	14.8 %	13.2 %	15.0 %

Note *1); The measurement is based on the ^{60}Co energy peak at 1.33 MeV.

*2); Ratio of area under photopeak to that of $3'' \times 3''$ NaI(Tl), measured at 1.33 MeV with source-to-detector distance of 25 cm.

Table 2 Main Characteristics of the OGL-1⁽¹⁴⁾

Possible test conditions	
coolant	Helium gas (Total impurity less than 10 vpm)
operating pressure	maximum 30 kg/cm ² ·G
operating temperature	maximum 1000°C
mass flow	maximum 100 g/s
Neutron flux	
thermal	average 4.2×10^{13} n/cm ² ·s
fast (> 1 MeV)	average 8.7×10^{12} n/cm ² ·s
Nuclear heat of fuel specimen	maximum 135 kw
Max. dimensions of sample	82 mm (diameter) × 750 mm (length)

Table 3 Impurities and Their Concentrations in the Helium Gas of the OGL-1

Impurities	Concentrations (vpm)	Remarks
H ₂ O	0.05 ~ 0.1	
O ₂	less than 0.13	detected in all operation cycle
N ₂	0.3 ~ 0.6	
H ₂	less than 2	
CH ₄	less than 0.25	not detected in some operation cycle
CO	less than 0.25	
CO ₂	less than 0.14	

Table 4 Parameters of the Measuring Points

Measuring point No.	Diameter of the pipe [mm]	Distance from the pipe to the detector [mm]	Distance from the fuel [m]	Type of the collimator	Location	
					Point 1	Point 2
Point 1	59.0	316	13.3	vertical	high temp. duct ; Outlet of in-pile tube	
2	44.6	371	15.7	vertical	high temp. duct	
4	44.6	341	26.0	horizontal	high temp. duct	
5	44.6	346	26.7	vertical	high temp. duct	
6	44.6	346	31.2	vertical	high temp. duct ; Inlet of No.1 regenerative heat exchanger	
8-1	11.9×22	500	33.5	vertical	middle temp. pipe ; Heat transfer tube of No.1 regenerative heat exchanger	
8-2	11.9×22	500	37.0	vertical	middle temp. pipe ; Heat transfer tube of No.1 regenerative heat exchanger	
7	52.7	368	41.0	horizontal	middle temp. pipe ; Outlet of No.1 regenerative heat exchanger	
8-3	12.7×22	500	46.5	vertical	middle temp. pipe ; Heat transfer tube of No.2 regenerative heat exchanger	
8-4	12.7×22	500	49.0	vertical	middle temp. pipe ; Heat transfer tube of No.2 regenerative heat exchanger	
3	52.7	308	61.0	vertical	low temp. pipe ; Inlet of cooler	
10	52.7	308	75.0	vertical	low temp. pipe ; Outlet of cooler	
11	52.7	236	84.7	horizontal	low temp. pipe ; Inlet of filter	
13	52.7	323	88.7	vertical	low temp. pipe ; Outlet of filter	
14	52.7	293	102.8	vertical	low temp. pipe ; Outlet of gas circulator	
9	52.7	333	57.3	vertical	low temp. pipe ; Bypass line	

Table 5 OGL-1 Operating Histories

OGL-1 Fuel Cycle		3 rd				4 th h				5 th h				6 th h			
JMTR Operating Cycle	(MW)	4.6 th	4.7 th	4.8 th	4.9 th	5.0 th	5.1 st	5.2 nd	5.3 rd	5.4 th	5.5 th	5.6 th	5.7 th	5.8 th	5.9 th		
Reactor Power	(MW)	49.8	49.7	49.8	49.9	49.8	49.8	49.8	49.8	49.8	49.8	49.8	49.9	49.9	49.8	50.2	
OGL-1 Fuel Power	(MW)	36.9	37.7	73.6	73.7	76.1	72.6	65.3	65.7	69.9	70.2	62.9	63.5	63.5	63.2	40.6	
Primary Gas Flow	(g/s)	39.0	45.0	80.2	80.0	80.3	80.0	73.4	74.2	74.5	80.0	76.7	77.3	76.2	48.0		
Primary Pressure	(kg/cm ²)	29.7	29.1	29.0	29.1	28.0	29.1	23.0	23.3	23.1	23.5	23.8	23.8	23.6	23.7		
Outlet Gas Temperature at Fuel	(°C)	839	763	823	785	806	---	872	886	846	794	851	842	827	841		
Surface Temperature at Flow Tube	(°C)	551	509	583	539	520	521	623	633	567	527	606	595	583	585		
Outlet Gas Temperature at In-pile Tube	(°C)	523	465	528	480	497	497	575	541	458	461	563	545	532	528		
Inlet Gas Temperature at No.1 RHX	(°C)	466	428	503	457	473	472	548	516	438	445	540	524	511	493		
Outlet Gas Temperature at No.1 RHX	(°C)	277	266	326	300	312	288	357	340	322	307	356	347	338	297		
Outlet Gas Temperature at No.2 RHX	(°C)	170	169	215	201	205	222	227	216	208	216	231	227	226	182		
Outlet Gas Temperature at Main Cooler	(°C)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	35	35	33		
Outlet Gas Temperature at Mixing Tee of Cooler(°C)		130	130	130	131	131	130	131	130	130	130	129	129	129	129		

OGL-1 Fuel Cycle		7 th				8 th				9 th					
JMTR Operating Cycle		6.0 th	6.1 st	6.2 nd	6.3 rd	6.4 th	6.5 th	6.6 th	6.7 th	6.8 th	6.9 th	7.0 th	7.1 st	7.2 nd	7.3 rd
Reactor Power	(MW)	50.0	49.8	49.9	49.8	49.9	49.8	49.9	49.9	49.8	49.8	50.0	49.7	49.7	49.9
OGL-1 Fuel Power	(MW)	67.4	63.3	64.8	62.1	45.8	45.8	46.7	42.3	42.7	40.3	40.7	43.2	41.7	41.7
Primary Gas Flow	(g/s)	80.4	80.7	84.2	79.9	55.0	55.1	68.0	60.1	58.5	59.6	64.8	64.9	63.9	
Primary Pressure	(kg/cm ²)	29.6	29.4	29.8	29.6	29.7	24.5	24.5	29.3	29.6	29.6	29.3	29.5	29.5	29.4
Outlet Gas Temperature at Fuel	(°C)	837	855	684	862	878	887	884	891	876	881	872	823	825	831
Surface Temperature at Flow Tube	(°C)	582	620	430	633	645	632	632	664	642	657	640	612	623	627
Outlet Gas Temperature at In-pile Tube	(°C)	520	567	359	581	480	442	590	548	531	558	550	465	470	469
Inlet Gas Temperature at No.1 RHX	(°C)	496	541	344	554	449	415	559	514	499	523	517	441	447	446
Outlet Gas Temperature at No.1 RHX	(°C)	326	348	249	355	280	268	350	310	309	320	321	288	291	290
Outlet Gas Temperature at No.2 RHX	(°C)	221	230	192	233	185	189	231	193	188	191	193	187	187	186
Outlet Gas Temperature at Main Cooler	(°C)	35	36	34	36	27	27	30	28	28	29	30	30	29	29
Outlet Gas Temperature at Mixing Tee of Cooler(°C)		130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	129	129	129	129

Table 6 Irradiation Histories of the OGL-1 Fuels

OGL-1 Fuel Cycle	JMTR Operating Cycle	Startup date Shutdown date	Irradiation Time(hour) Accumulation	Max. Linear Heat Rate of Compact (W/cm)	Max. Burnup (MWD/t) Accumulation	Max. Temper- ature of Fuel (°C)	Max. Mixing Temperature of He Gas at Out- let of Fuel (°C)
3 rd	46th	1979. Mar. 29 1979. Apr. 24	467	634	2092	1290	930
	47th	1979. Jun. 18 1979. Jul. 13	509 (976)	704	2323 (4415)	1210	834
4 th	48th	1979. Nov. 14 1979. Dec. 7	512.2	440	3756	1350	945
	49th	1980. Jan. 19 1980. Feb. 10	462.3	440	3390	1340	920
	50th	1980. Feb. 26 1980. Mar. 29	497.4	475	3938	1340	925
	51st	1980. May. 16 1980. Jun. 7	400.6 (1872.5)	475	3171 (14225)	1330	925
	52nd	1980. Dec. 15 1981. Feb. 1	475.2	469	3713	1340	1000
5 th	53rd	1981. Feb. 28 1981. Mar. 24	450.1	469	3518	1360	1010
	54th	1981. May. 9 1981. Jun. 3	520.5	502	4355	1356	963
	55th	1981. Sep. 24 1981. Oct. 19	519.3	506	4379	1360	913
	56th	1981. Nov. 16 1981. Dec. 10	457.9	451	3422	1362	957
	57th	1982. Jan. 19 1982. Feb. 13	467.6	456	3544	1362	948
	58th	1982. Mar. 13 1982. Apr. 7	525.2 (3415.8)	448	3757 (26718)	1336	928
	59th	1982. Jun. 12 1982. Jul. 7	525.2	814	3563	1490	957
7 th	60th	1982. Nov. 21 1982. Dec. 15	465.3	474	3687	1397	990
	61st	1983. Jan. 26 1983. Feb. 18	468.7	449	3519	1396	1001
	62nd	Leave off work	—	—	—	—	—
	63rd	1983. May. 28 1983. Jun. 22	458.4 (1392.4)	433	3319 (10525)	1292	1003
8 th	64th	1984. Jan. 11 1984. Feb. 8	275.2	843	1935	1392	900
	65th	1984. Mar. 4 1984. Apr. 1	486.3	875	3361	1393	866
	66th	1984. May. 6 1984. Jun. 3	519.3 (1280.0)	889	3648 (8944)	1403	890
9 th	67th	1985. Jan. 14 1985. Feb. 8	523.7	794	3282	1365	933
	68th	1985. Mar. 5 1985. Mar. 30	525.8	795	3326	1368	918
	69th	1985. May. 10 1985. Jun. 4	471.6	752	2866	1356	903
	70th	1985. Sep. 20 1985. Oct. 15	480.8	754	2896	1361	887
	71st	1985. Nov. 13 1985. Dec. 8	514.3	865	3294	1364	847
	72nd	1986. Jan. 14 1986. Feb. 5	466.8	773	2896	1361	837
	73rd	1986. Mar. 6 1986. Mar. 31	483.9 (3466.9)	774	2989 (21549)	1363	849

Table 7 Irradiation Condition of the OGL-1 Fuel

OGL-1 Fuel Cycle	1st ~ 3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th
Purpose of Irradiation Fuel	OGL - 1 performance test	Medium burn up	High burn up	High temperature irradiation	Comparison different origin graphite for compact matrix	Fission product transport behavior under short irradiation time	Verification of fuel
Fuel Maximum Temperature (°C)	1320 ~ 1380	1360	1350	1480	1390	1380	1340
Burn Up of Fuel (Mwd/t)	4500 ~ 8700	14000	25000	3500	10400	8200	22500
Account of Irradiation Cycle	2 ~ 3.2	4	7	1	2	3	7
Number of Fuel Pins	1 ~ 3	3	3	1	3	1	1
Fuel Power	26.0 ~ 63.4	47.5	39.8	74.4	44.5	76.8	81.5
Concentration of 85 Kr (MBq/m³)	0.1 ~ 4.3	0.13	8.1	0.20	0.09	0.03	1.6
Concentration of 138Xe (MBq/m³)	0.43 ~ 14	0.7	18	2.1	0.7	0.37	14
Impurity (vpm)	< 7	< 3	< 5	< 2	< 5	< 10	< 5
Inlet Gas Temperature (°C)	684 ~ 723	631	711	675	715	681	648
Outlet Gas Temperature (°C)	827 ~ 999	803	882	833	862	812	783
Primary Gas Flow (g/s)	34 ~ 54	80	73	49	80	68	60

Table 8 Accumulated Plate-out Activity of ^{137}Cs in the OGL-1 (1/2)

OGL-1 fuel cycle		3 rd			4 th			5 th			6 th			
JNTR operating cycle Measuring point No.	4 6 th	4 7 th	4 8 th	4 9 th	5 0 th	5 1 st	5 2 nd	5 3 rd	5 4 th	5 5 th	5 6 th	5 7 th	5 8 th	5 9 th
Point 1	2.4E-03	6.9E-03	1.2E-04	4.4E-04	7.3E-04	9.7E-04	1.1E-03	1.3E-03	2.0E-02	2.9E-02	7.7E-03	2.2E-02	2.4E-02	7.4E-03
Point 2	9.4E-04	2.1E-03	-----	9.4E-05	1.4E-04	1.6E-04	2.4E-04	2.8E-04	3.3E-03	7.0E-03	1.5E-03	3.8E-03	5.3E-03	1.6E-03
Point 4	-----	2.9E-03	1.7E-04	3.4E-04	5.2E-04	6.7E-04	1.4E-03	2.0E-03	1.2E-02	1.5E-02	7.1E-03	1.4E-02	2.1E-02	1.1E-02
Point 5	-----	4.0E-03	8.9E-05	3.5E-04	6.1E-04	8.6E-04	1.1E-03	1.4E-03	1.3E-02	1.6E-02	8.3E-03	1.7E-02	2.3E-02	1.4E-02
Point 6	1.4E-03	2.6E-03	3.0E-04	9.7E-04	6.9E-04	8.3E-04	1.3E-03	2.1E-03	1.0E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.5E-02	2.4E-02	1.3E-02
Point 7	1.7E-04	2.3E-04	2.3E-03	1.9E-03	2.6E-03	2.6E-03	5.8E-03	1.1E-02	1.2E-02	9.6E-03	2.6E-02	3.1E-02	4.3E-02	6.1E-02
Point 3	-----	2.3E-04	4.3E-05	7.9E-05	8.0E-05	1.3E-04	1.7E-04	2.4E-04	-----	6.1E-04	5.0E-04	1.8E-03	9.4E-04	-----
Point 10	-----	3.6E-06	3.2E-05	4.1E-05	1.8E-05	1.0E-06	7.4E-06	3.3E-05	-----	9.9E-05	1.4E-05	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04
Point 11	-----	2.3E-04	1.7E-04	2.0E-04	6.0E-05	-----	-----	2.9E-05	1.7E-05	4.1E-04	4.0E-04	5.5E-04	5.5E-04	-----
Point 13	1.2E-04	1.3E-04	5.6E-04	7.3E-04	7.9E-04	6.6E-04	1.6E-03	2.3E-03	2.3E-03	6.2E-03	7.3E-03	9.1E-03	1.1E-02	-----
Point 14	3.2E-05	-----	-----	2.8E-05	-----	-----	2.9E-05	-----	-----	9.9E-05	1.0E-04	1.1E-04	1.1E-04	-----
Point 9	-----	6.6E-05	9.9E-05	8.5E-05	1.1E-04	1.6E-04	2.5E-04	3.2E-04	6.0E-04	8.6E-04	9.5E-04	1.3E-03	-----	-----

Table 8 Accumulated Plate-out Activity of ^{137}Cs in the OGL-1 (2/2)

OGL-1 fuel cycle JNTR operating cycle		7 th						8 th						9 th					
Measuring point No.		6 0 th	6 1 st	6 2 nd	6 3 rd	6 4 th	6 5 th	6 6 th	6 7 th	6 8 th	6 9 th	7 0 th	7 1 st	7 2 nd	7 3 rd				
Point 1	2.5E-03	1.2E-03	1.4E-03	8.0E-04	1.1E-03	1.2E-03	1.9E-03	3.2E-03	8.2E-03	3.2E-03	1.2E-02	3.0E-02	6.2E-02	1.2E-01					
Point 2	4.0E-04	5.1E-04	4.0E-04	5.0E-04	6.1E-04	5.0E-04	1.2E-03	1.6E-03	3.0E-03	3.2E-03	9.4E-04	1.1E-02	2.4E-02	4.0E-02					
Point 4	5.1E-03	4.0E-03	4.0E-03	4.0E-03	4.0E-03	4.0E-03	7.4E-03	7.0E-03	8.6E-03	1.1E-02	1.3E-02	1.7E-02	2.0E-02	2.8E-02					
Point 5	2.2E-03	9.8E-04	8.8E-04	8.8E-04	1.2E-03	1.1E-03	1.2E-03	2.8E-03	5.3E-03	9.5E-03	1.3E-02	1.6E-02	2.2E-02	3.1E-02					
Point 6	9.1E-03	9.5E-03	9.3E-03	9.3E-03	1.1E-02	1.0E-02	1.1E-02	1.2E-02	1.4E-02	1.6E-02	1.9E-02	2.0E-02	2.4E-02	3.1E-02					
Point 8-1					1.3E-03	1.3E-03	2.0E-03	1.3E-03	2.3E-03	5.0E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.8E-02	2.1E-02					
Point 8-2					1.1E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01					
Point 7	6.6E-02	6.7E-02	7.4E-02	7.9E-02	7.5E-02	7.5E-02	8.1E-02	6.1E-02	6.0E-02	6.1E-02	6.3E-02	6.3E-02	6.1E-02	5.8E-02					
Point 8-3					2.6E-02	3.3E-02	3.3E-02	3.5E-02	3.4E-02	3.5E-02	3.4E-02	3.4E-02	3.4E-02	3.4E-02					
Point 8-4					8.0E-03	8.1E-03	8.5E-03	9.4E-03	9.1E-03	9.3E-03	7.9E-03	7.2E-03	9.1E-03	5.2E-03					
Point 3	1.4E-03					1.8E-03	2.4E-03		2.8E-03	2.6E-03		2.2E-03		2.2E-03		2.2E-03			
Point 10	4.6E-05						1.9E-04	1.8E-04		3.0E-04	3.3E-04		3.2E-04		4.0E-04		5.3E-04		
Point 11	8.0E-04							4.1E-03											
Point 13	1.4E-02								1.1E-02										
Point 14	1.2E-04								1.2E-04										
Point 9	1.7E-03								1.9E-03										

Table 9 Increased Plate-out Activity of ^{137}Cs in the OG-1 under
the JMTR Operating Cycle (1/2)

OG-1 fuel cycle		3 rd						4 th						5 th					
JMTR	operating cycle	4 6 t h	4 7 t h	4 8 t h	4 9 t h	5 0 t h	5 1 s t	5 2 n d	5 3 r d	5 4 t h	5 5 t h	5 6 t h	5 7 t h	5 8 t h	5 9 t h				
Measuring point No.																			
Point 1	1.6E-03	4.5E-03	-6.7E-03	3.3E-04	2.9E-04	2.4E-04	1.3E-04	8.1E-04	1.8E-02	9.4E-03	-2.1E-02	1.5E-02	1.7E-03	1.7E-02	-1.6E-02				
Point 2	9.4E-04	1.2E-03	-2.1E-03	9.4E-05	4.5E-05	1.8E-05	8.5E-05	4.5E-05	3.0E-03	3.7E-03	-5.4E-03	2.3E-03	2.3E-03	2.0E-03	-4.2E-03				
Point 4	----	2.9E-03	-2.7E-03	1.7E-04	1.9E-04	1.5E-04	6.9E-04	6.1E-04	1.0E-02	3.3E-03	-8.2E-03	6.5E-03	7.1E-03	7.1E-03	-1.0E-02				
Point 5	-4.7E-04	4.0E-03	-3.9E-03	2.6E-04	2.6E-04	2.5E-04	2.4E-04	3.5E-04	1.1E-02	3.5E-03	-7.8E-03	9.0E-03	9.0E-03	1.0E-02	-1.7E-02				
Point 6	----	1.2E-03	-2.3E-03	6.7E-04	-2.8E-04	1.5E-04	4.7E-04	8.4E-04	8.1E-03	2.0E-03	-6.4E-05	4.0E-03	8.4E-03	8.4E-03	-1.2E-02				
Point 7	6.5E-05	7.0E-05	2.1E-03	-4.1E-04	7.6E-04	2.1E-05	3.3E-03	5.2E-03	1.1E-03	-2.3E-03	1.7E-02	4.8E-03	1.7E-02	7.1E-03					
Point 3	----	----	2.3E-04	-1.9E-04	3.5E-05	2.1E-06	5.5E-05	3.4E-05	7.7E-05	----	3.6E-04	-1.1E-04	1.3E-03	-8.1E-04					
Point 10	----	----	3.6E-06	2.8E-05	9.7E-06	-2.3E-05	-1.7E-05	6.4E-06	2.6E-05	----	6.6E-05	-8.5E-05	1.2E-04	1.5E-05					
Point 11	----	----	2.3E-04	-5.6E-05	2.8E-05	-1.4E-04	-5.9E-05	----	2.9E-05	-1.2E-05	3.9E-04	-5.4E-06	1.5E-04	3.6E-05					
Point 13	1.2E-04	7.6E-06	4.4E-04	1.7E-04	5.6E-05	-1.2E-04	9.0E-04	7.7E-04	4.0E-03	----	3.9E-03	1.0E-03	1.9E-03	1.8E-03					
Point 14	-1.1E-04	-3.2E-05	----	2.8E-05	-2.8E-05	----	2.9E-05	-2.8E-05	----	----	9.9E-05	2.2E-06	9.3E-06	3.7E-06					
Point 9	----	----	6.6E-05	3.4E-05	-1.4E-05	3.0E-05	4.6E-05	9.0E-05	6.9E-05	----	2.9E-04	2.6E-04	9.3E-05	3.6E-04					

Table 9 Increased Plate-out Activity of ^{137}Cs in the OG-1 under
the JMTR Operating Cycle (2/2)

OG-1 fuel cycle JMTR operating cycle Measuring point No.		7 th						8 th						9 th					
6 0 t h	6 1 s t	6 2 n d	6 3 r d	6 4 t h	6 5 t h	6 6 t h	6 7 t h	6 8 t h	6 9 t h	7 0 t h	7 1 s t	7 2 n d	7 3 r d						
Point 1	-4.8E-03	-1.2E-03	4.3E-05	-5.3E-04	3.4E-04	1.1E-04	7.0E-04	1.4E-03	4.9E-03			3.4E-03	1.9E-02	3.2E-02	4.6E-02				
Point 2	-1.1E-03	4.9E-05	-1.0E-04	1.0E-04	9.3E-05	2.5E-05	5.8E-04	4.5E-04	1.4E-03	1.7E-04	-2.2E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.7E-02					
Point 4	-5.4E-03	-1.1E-03	3.8E-05	-3.6E-05	1.0E-03	-1.5E-04	2.6E-03	-2.5E-04	1.6E-03	2.5E-03	2.0E-03	4.0E-03	3.1E-03	8.0E-03					
Point 5	-7.9E-03	-1.2E-03	-9.3E-05	-2.7E-06	3.4E-04	-9.6E-05	1.3E-04	1.6E-03	2.5E-03	4.1E-03	3.3E-03	3.2E-03	6.2E-03	9.5E-03					
Point 6	-3.3E-03	4.6E-04	-2.2E-04	6.5E-04	7.9E-04	-2.7E-04	6.4E-04	1.5E-03	1.7E-03	2.4E-03	2.5E-03	1.6E-03	3.7E-03	7.1E-03					
Point 8-1				----	-5.7E-04	1.3E-03	-1.3E-03	1.1E-03	2.7E-03	5.0E-03	2.8E-03	5.0E-03	3.0E-03	3.0E-03					
Point 8-2				----	4.0E-02	-2.6E-03	-5.4E-03	-8.6E-04	3.9E-04	-1.5E-03	4.0E-03	6.4E-03	6.6E-03	6.6E-03					
Point 8-7	5.9E-03	9.7E-04	7.2E-03	5.8E-03	-3.1E-03	1.3E-04	6.1E-03	-1.9E-02	-4.2E-04	5.4E-04	2.6E-03	6.3E-03	-7.7E-03	-7.4E-03					
Point 8-3				----	6.8E-03	1.0E-03	1.3E-03	1.5E-04	6.0E-04	-7.6E-04	2.7E-03	2.4E-03	-2.2E-02	1.9E-02					
Point 8-4				----	2.3E-04	4.5E-04	8.9E-04	-1.2E-04	2.7E-04	-1.4E-03	-7.2E-04	2.0E-03	-3.9E-03	4.9E-03					
Point 3	4.3E-04	5.5E-05		4.1E-04	5.9E-04		-----	-1.3E-04		-3.5E-04		2.4E-05		-4.5E-05					
Point 10	-1.0E-04	1.8E-04		-3.3E-05	-1.0E-05		-----	3.7E-05		-1.2E-05		8.9E-05		1.3E-04					
Point 11	2.9E-04	6.4E-04																	
Point 13	2.8E-03	3.8E-03																	
Point 14	4.1E-06	4.4E-05																	
Point 9	4.0E-04	2.5E-04						-2.7E-04											

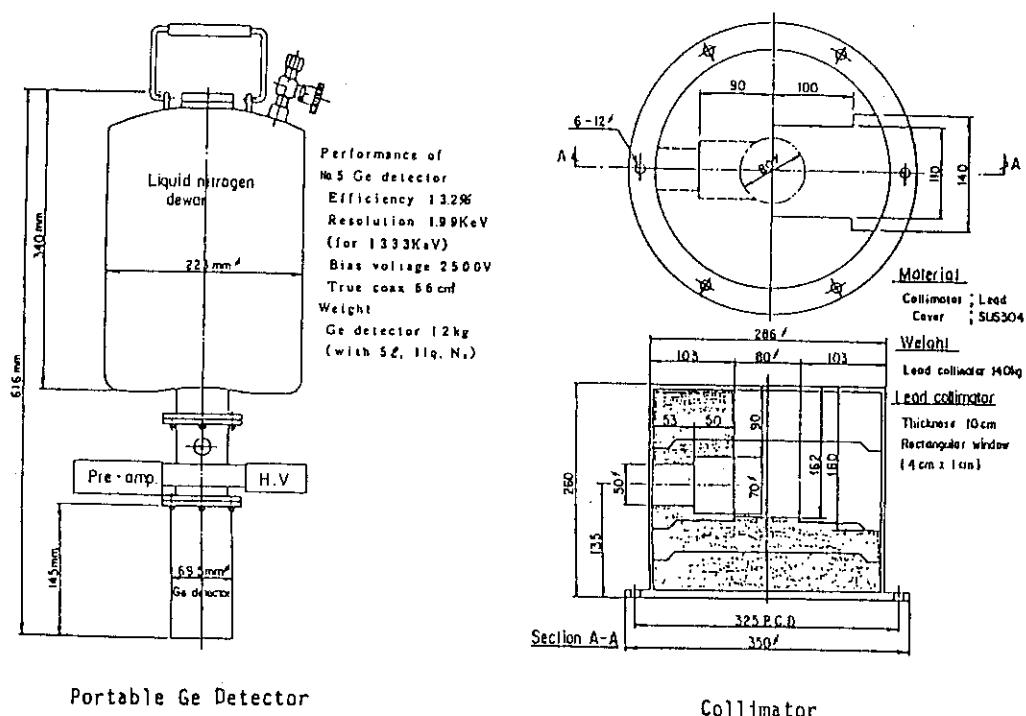
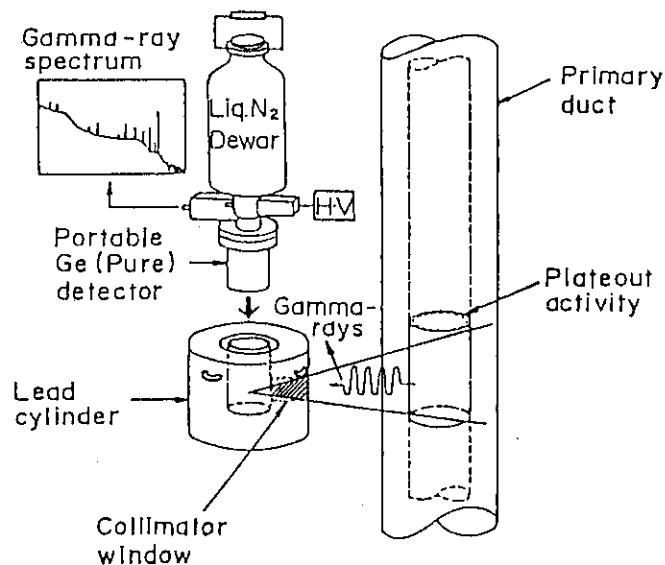


Fig. 1 In-situ Measurement of the Fission Product Plate-out in the OGL-1¹²)

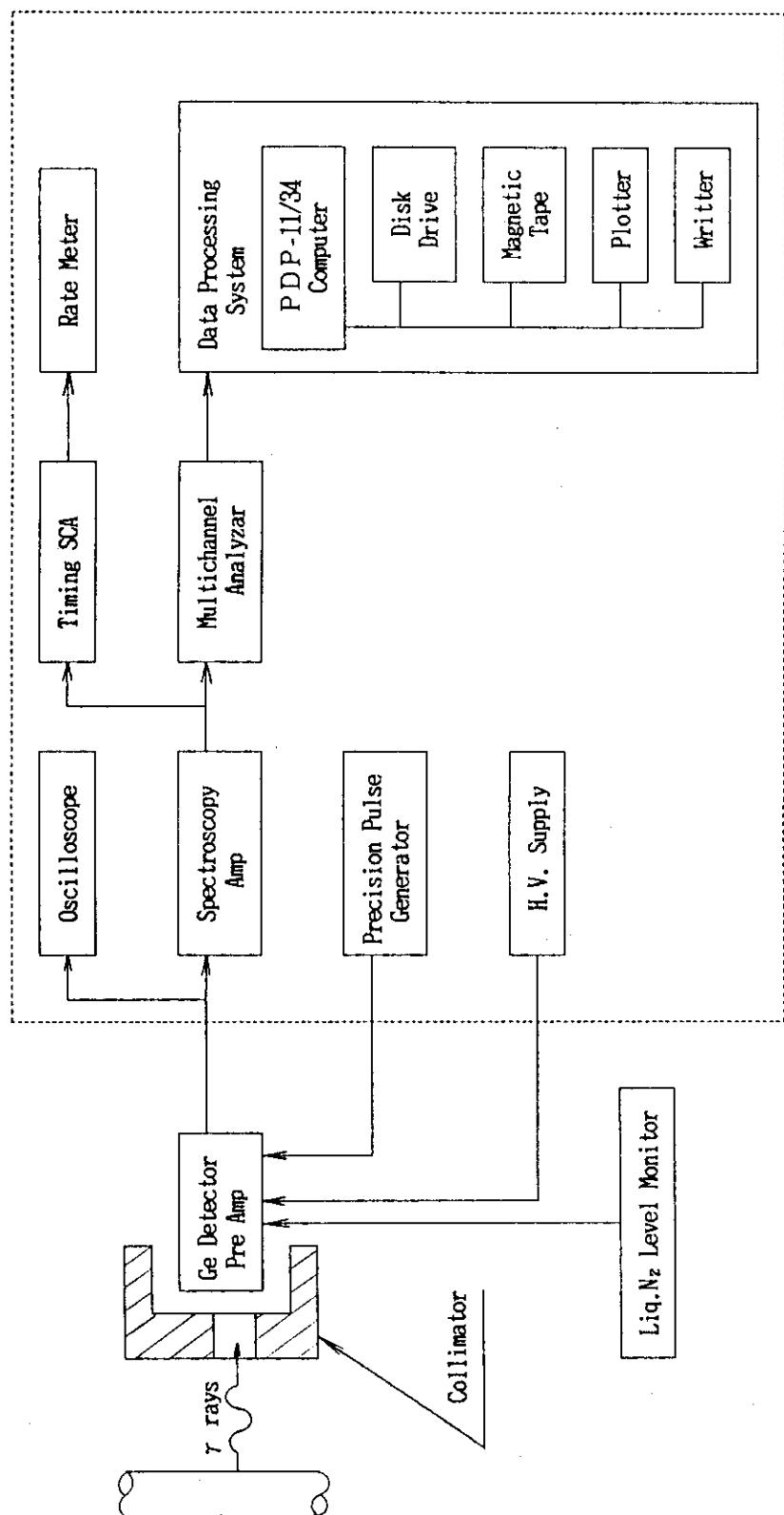


Fig. 2 OGL-1 FP Plate-out Measuring System

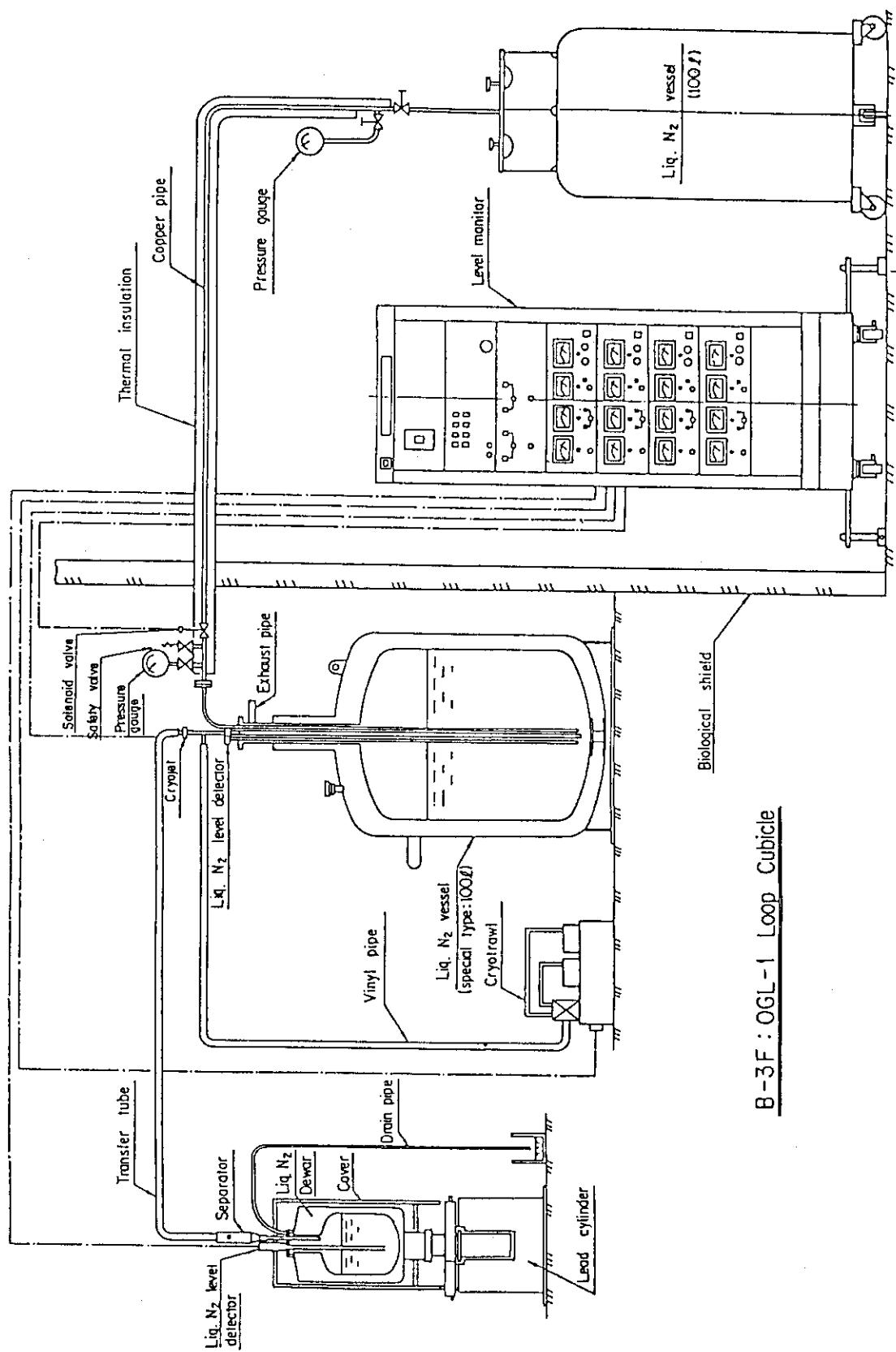


Fig. 3 Flow Sheet of the Liq.N₂ Automatic Supply System

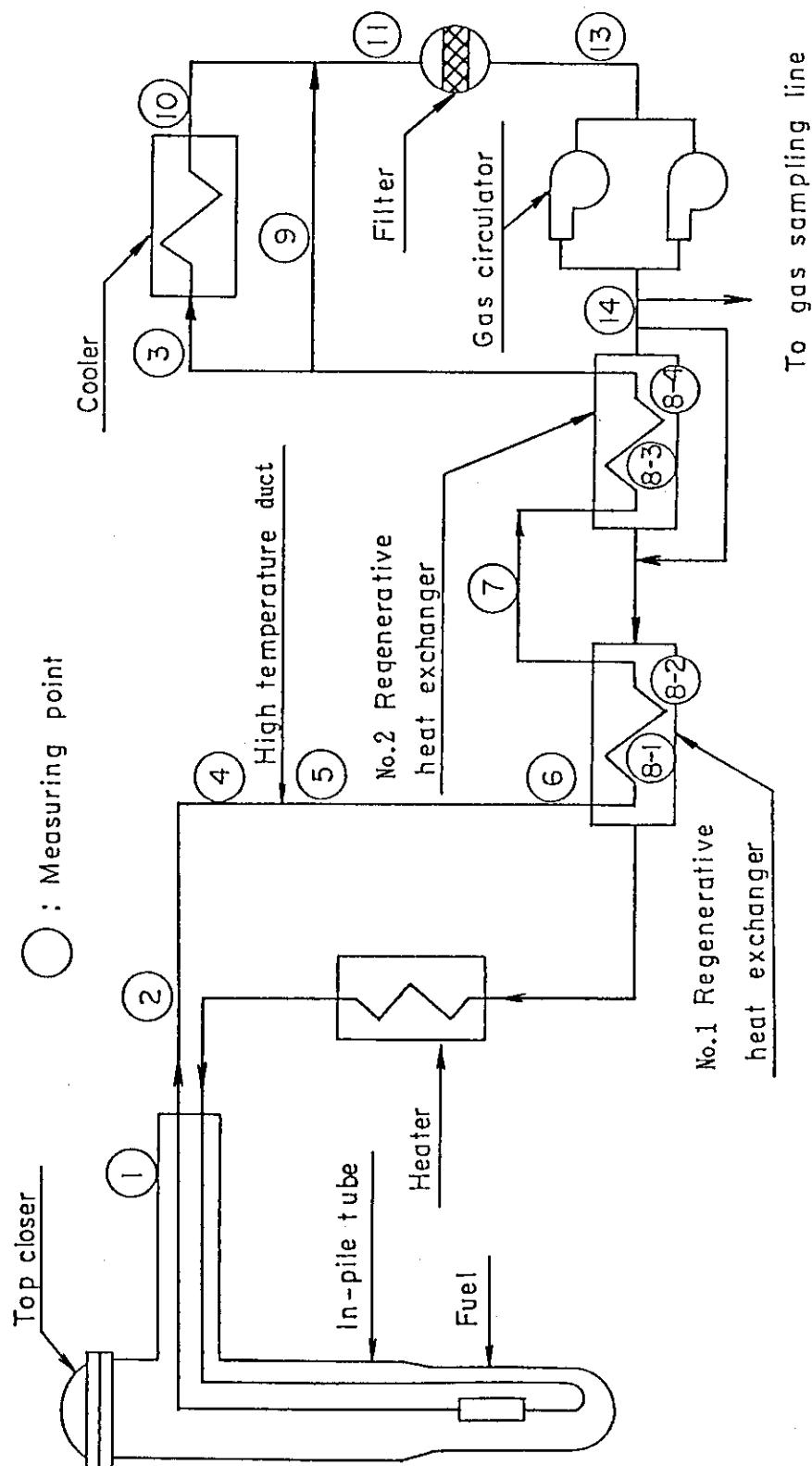


Fig. 4 Flow Sheet of the OGL-1 Primary Coolant and FP Plate-out Measurement Points

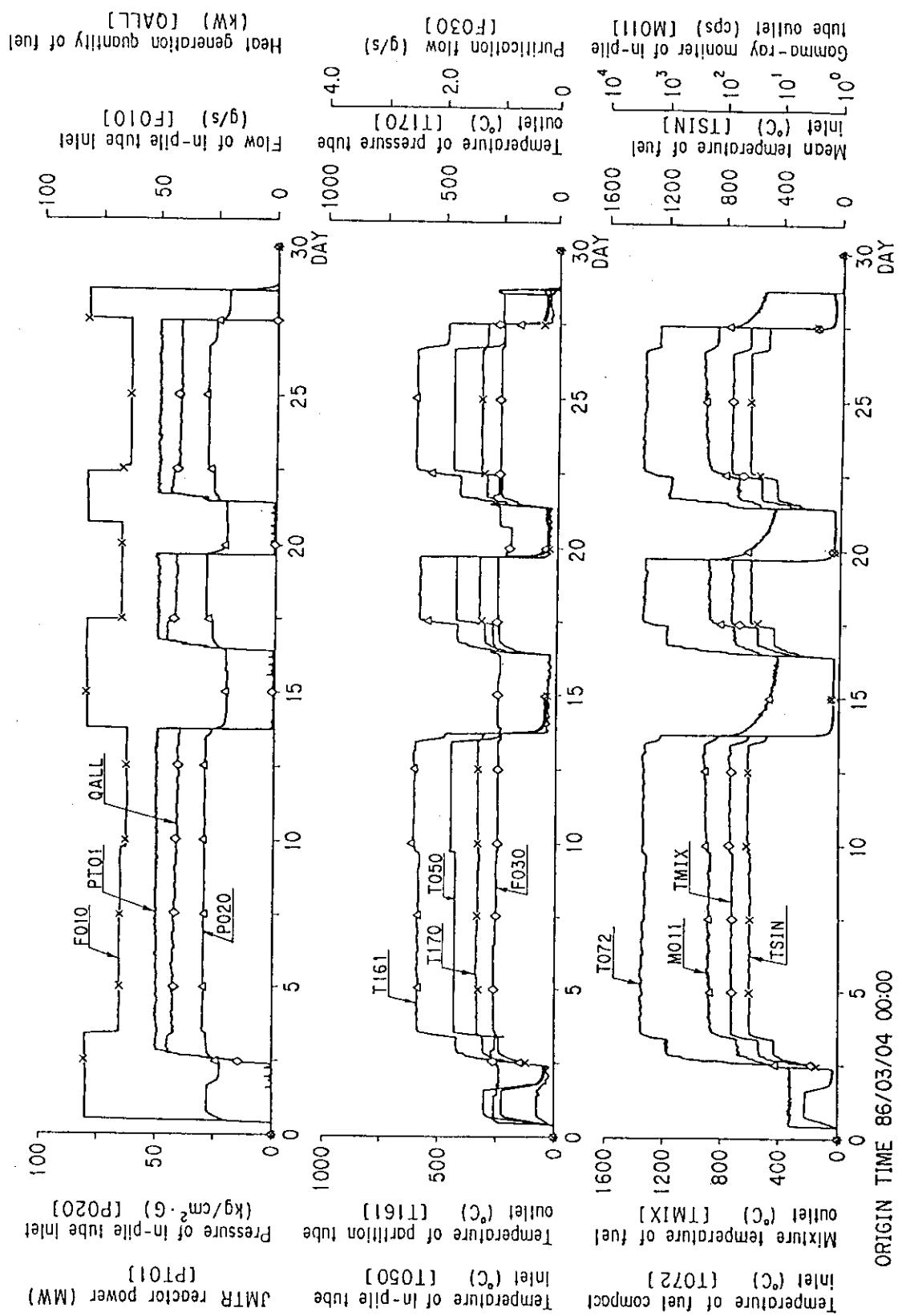


Fig. 5 OGL-1 Operating History of JMTR 73rd Cycle

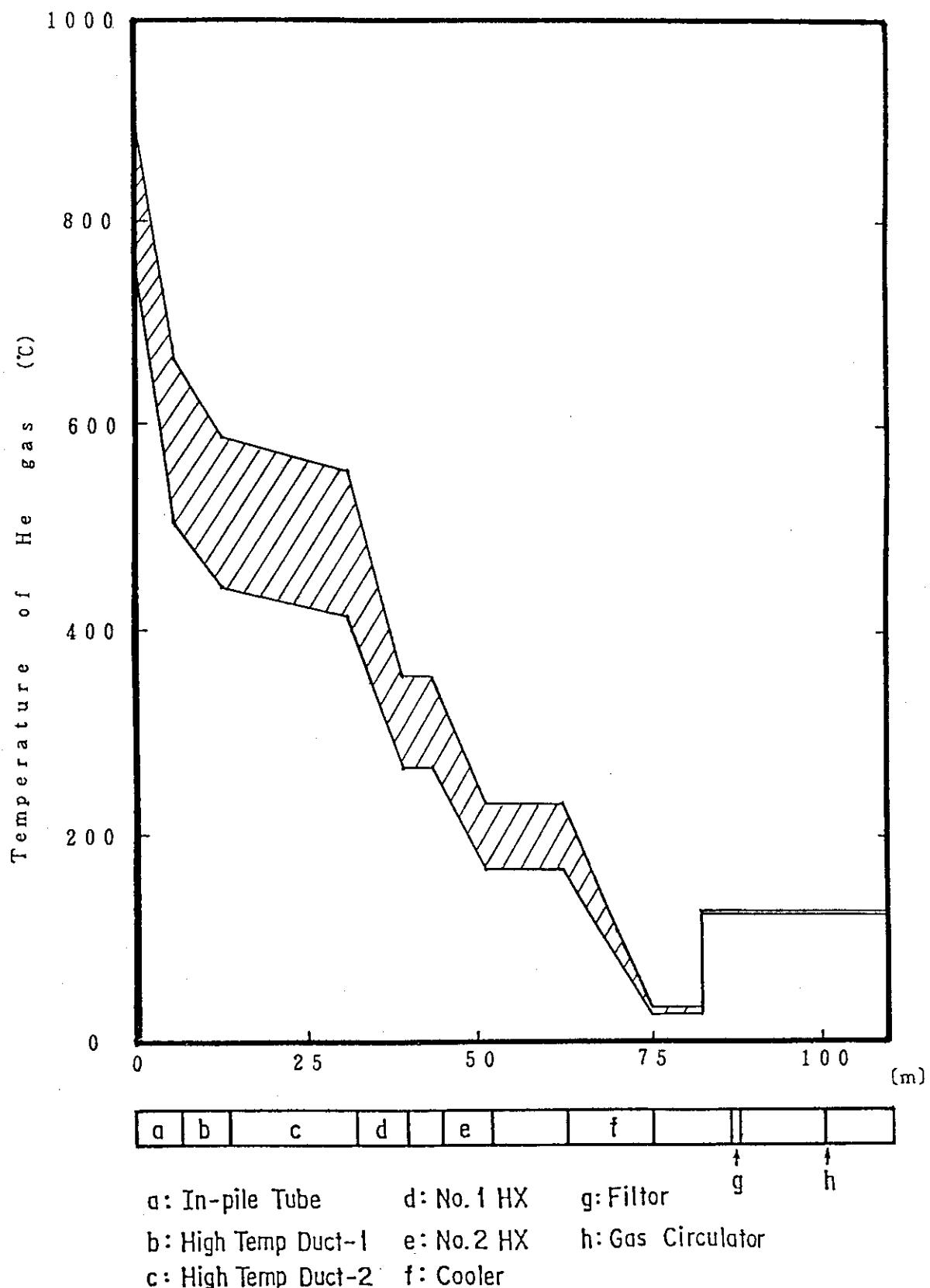


Fig. 6 Temperature Range of He Gas at OGL-1 Loop from #46 to #73 Operation Cycle

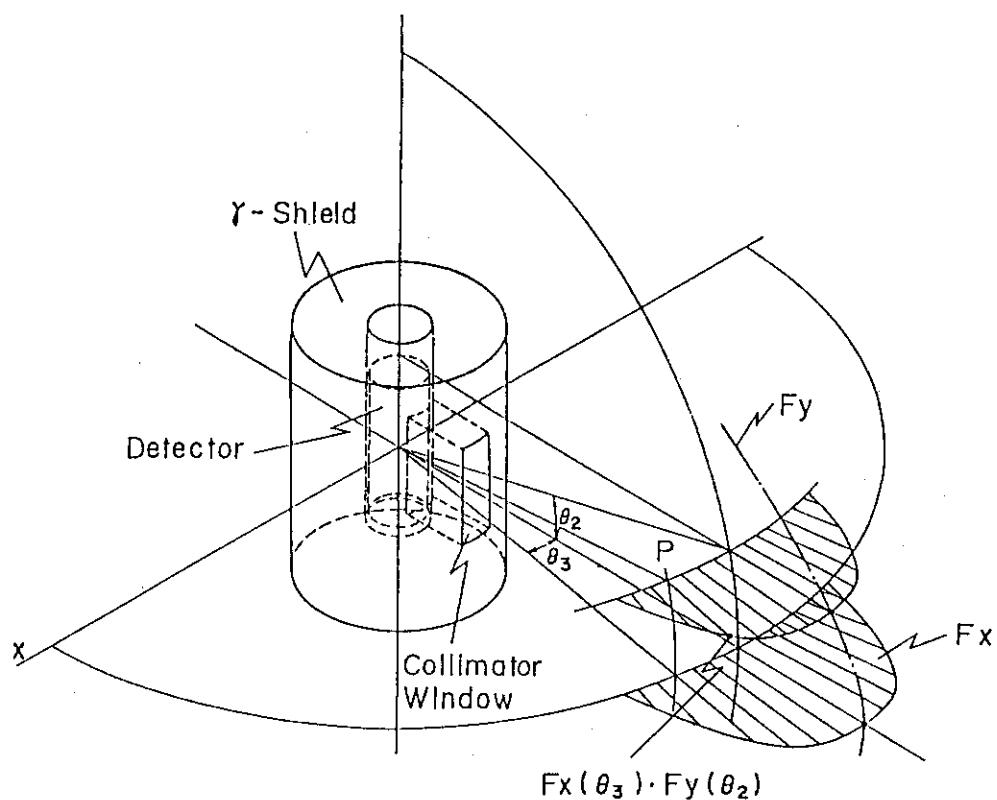


Fig. 7 Sensitivity of Ge-Detector in Shielding with a Collimator

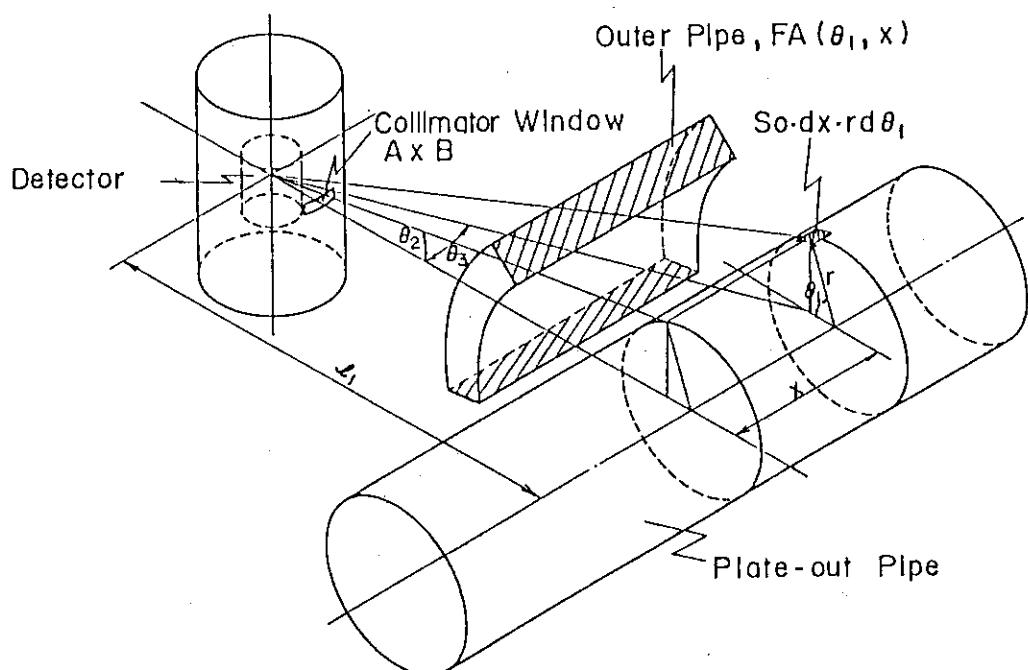
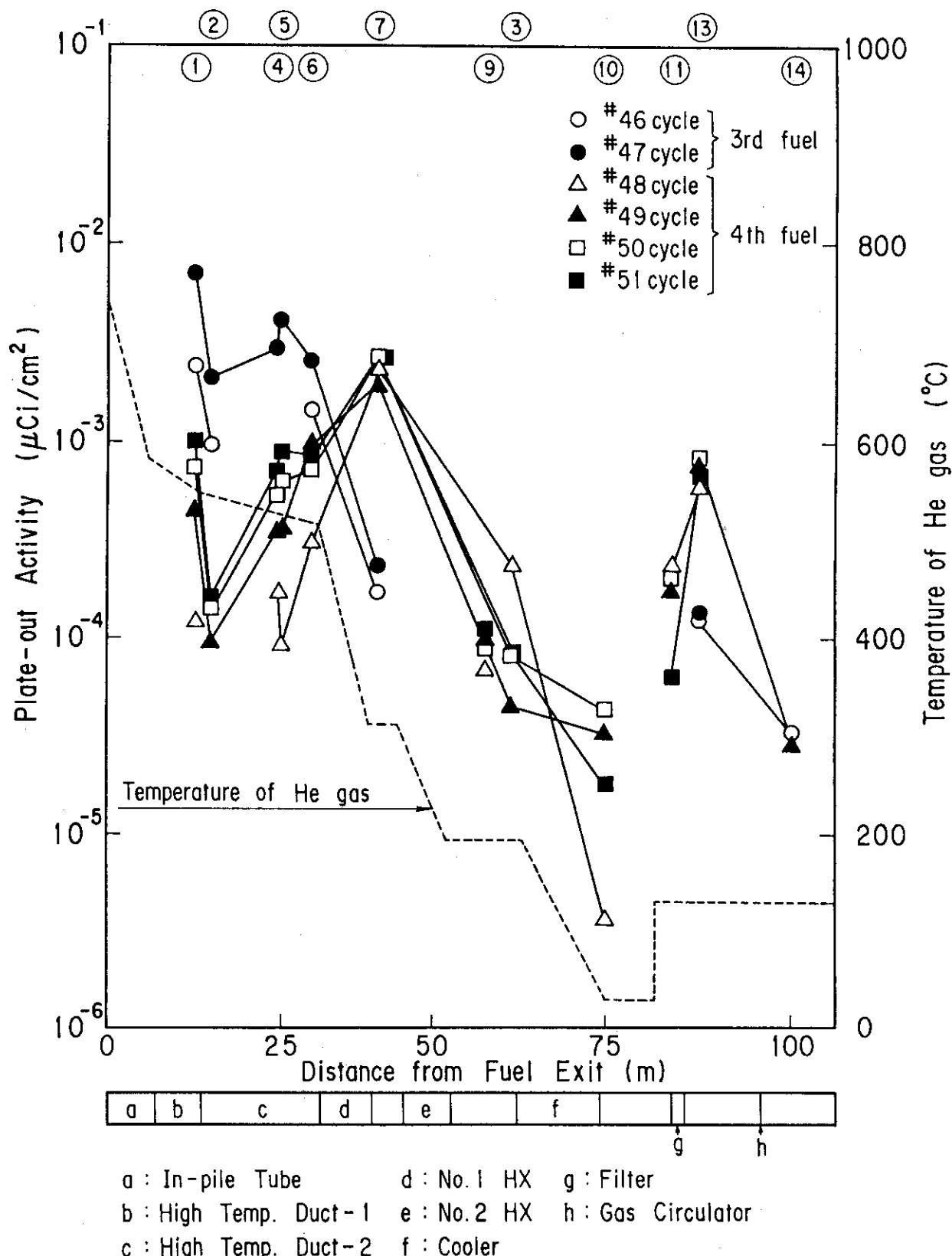
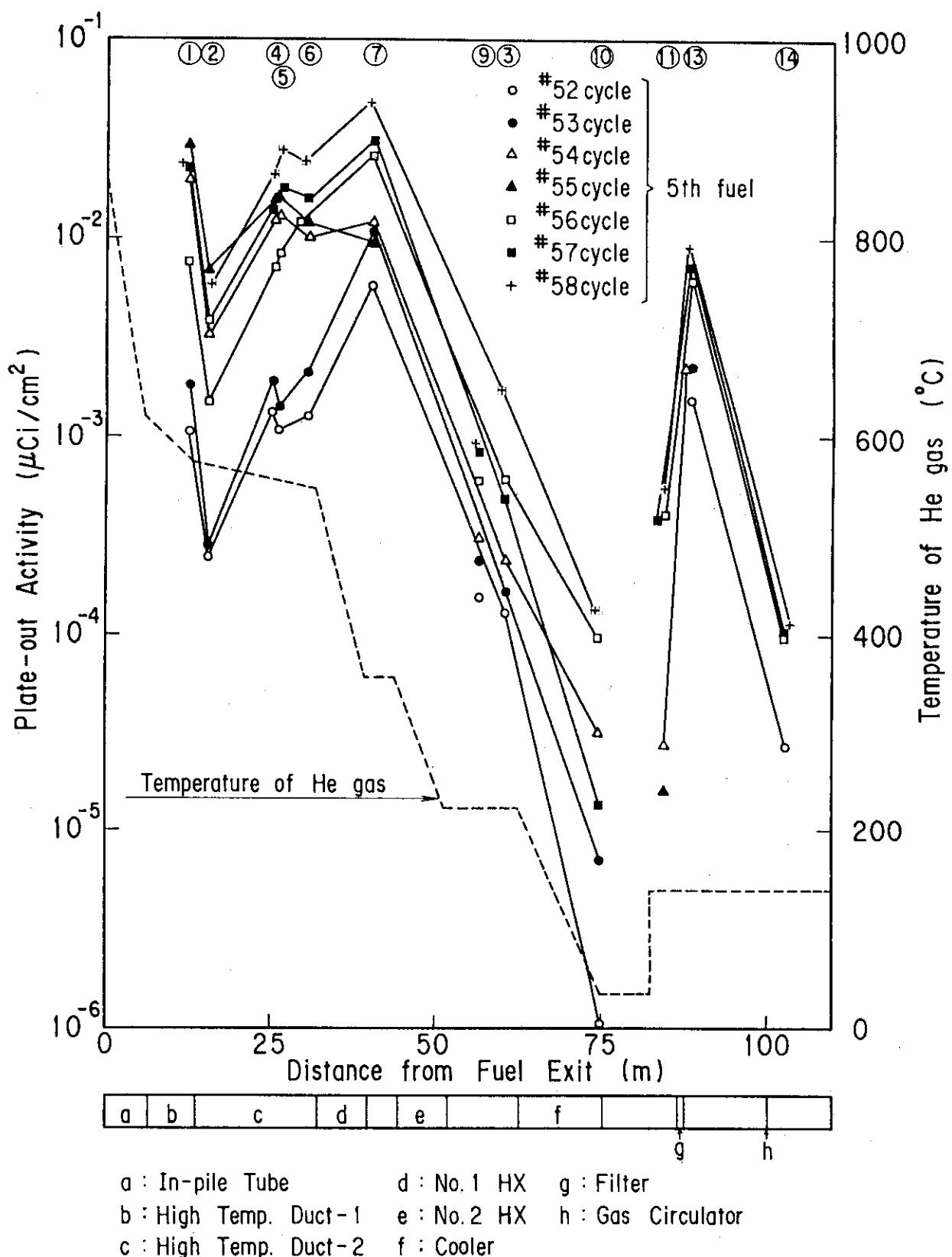
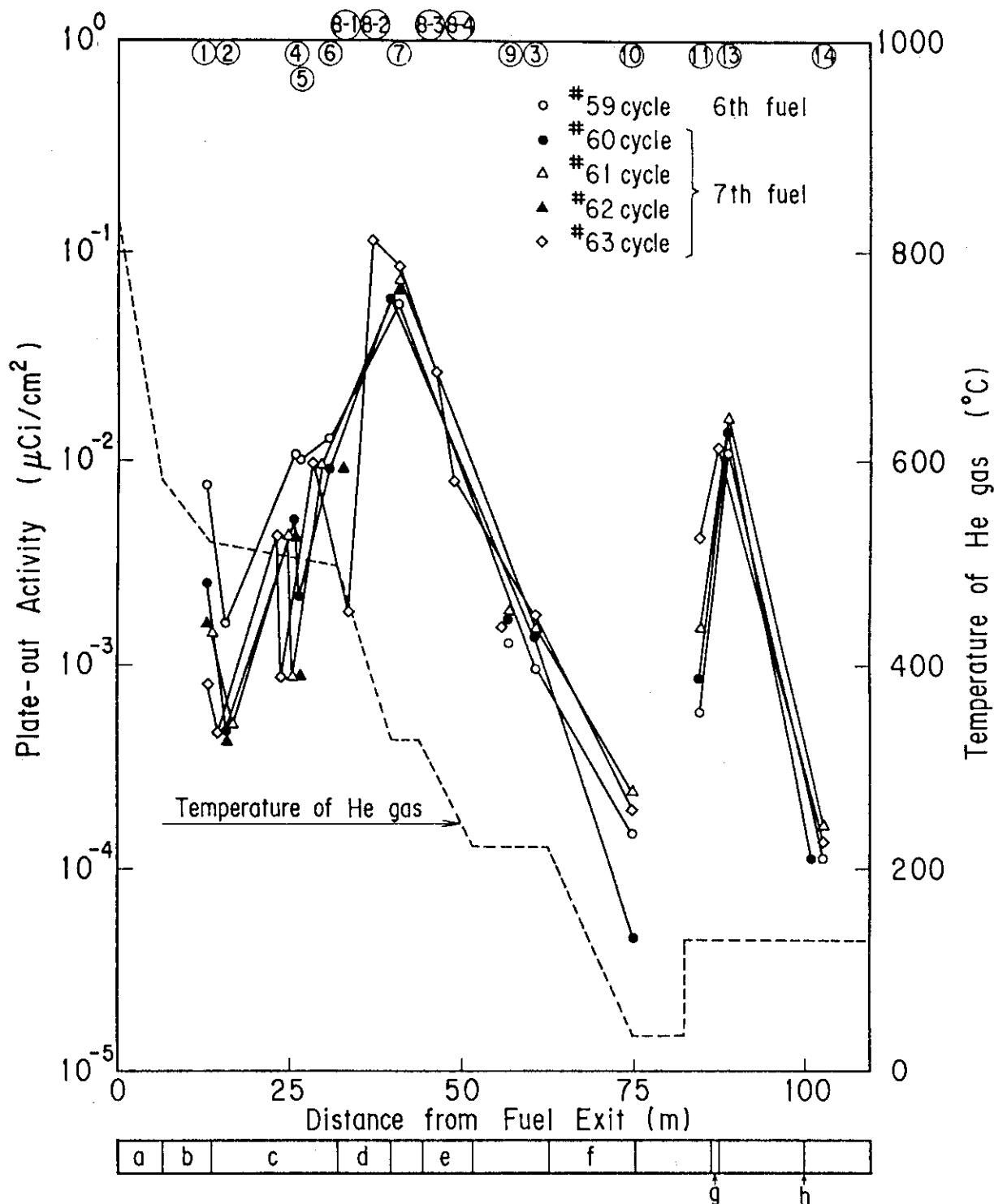
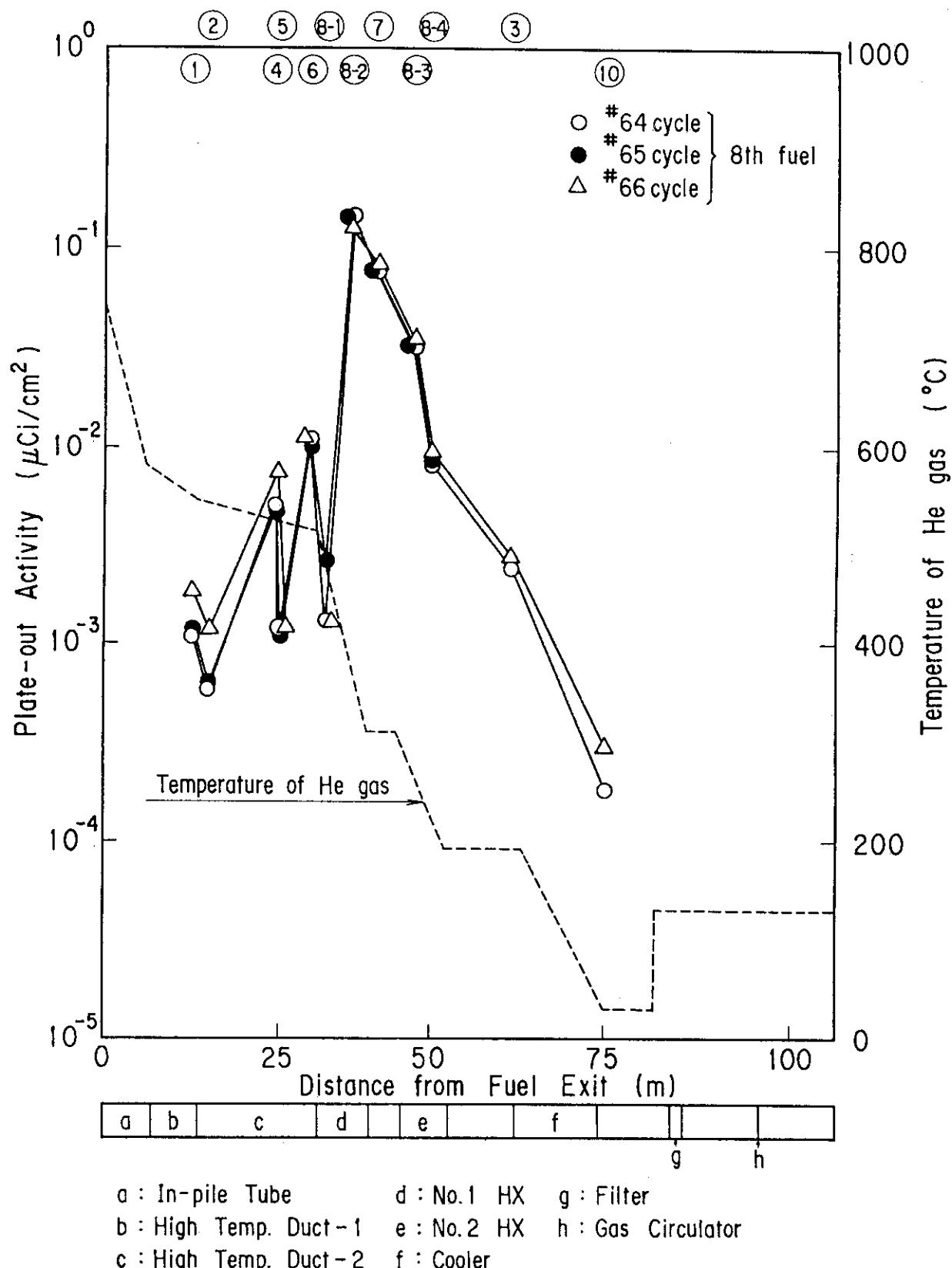


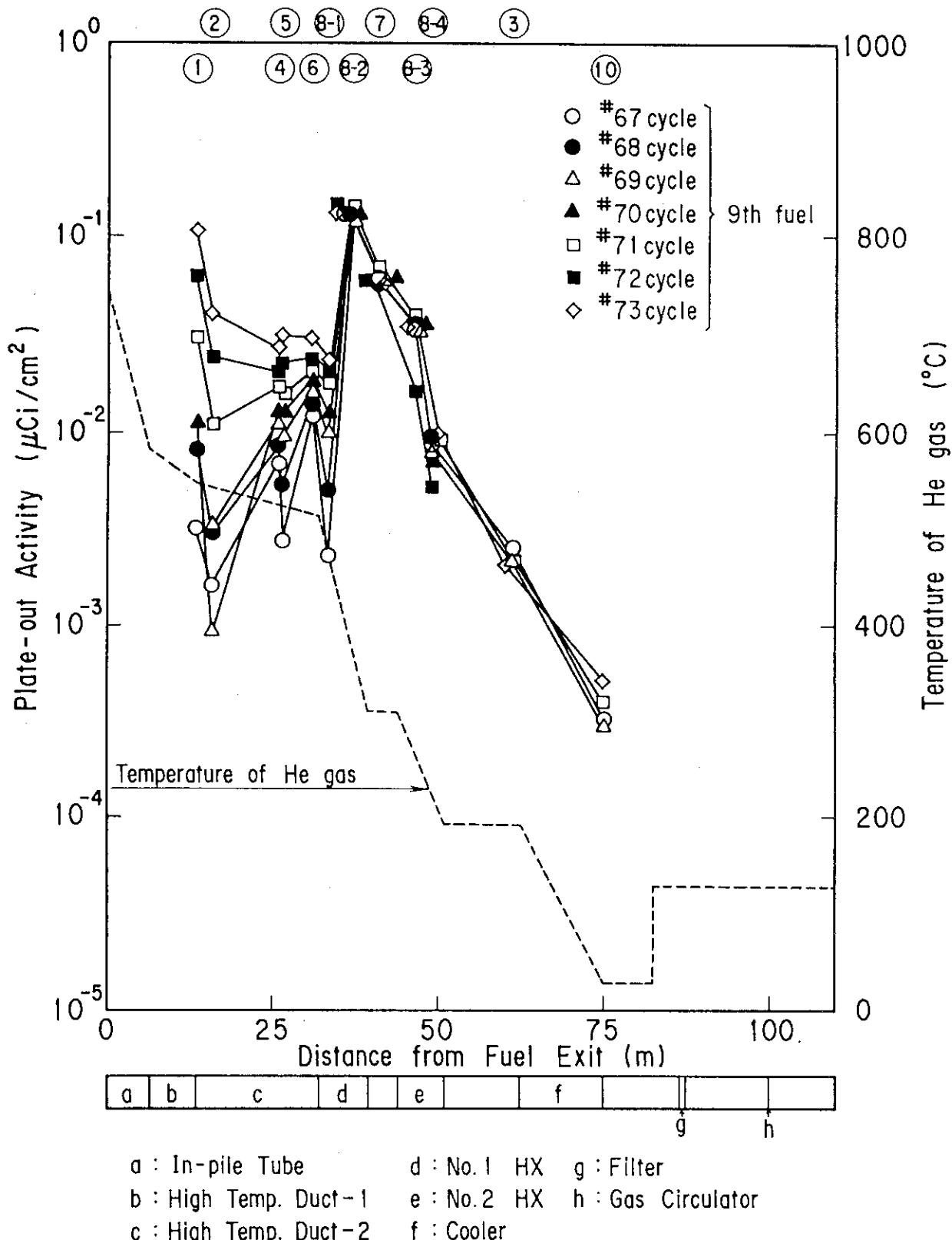
Fig. 8 Conversion Coefficient Calculation Model¹³⁾

Fig. 9 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#46~#51 cycle)

Fig. 10 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#52~#58 cycle)

Fig. 11 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#59~#63 cycle)

Fig. 12 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#64~#66 cycle)

Fig. 13 Plate-out Activity of ^{137}Cs in OGL-1 (#67~#73 cycle)

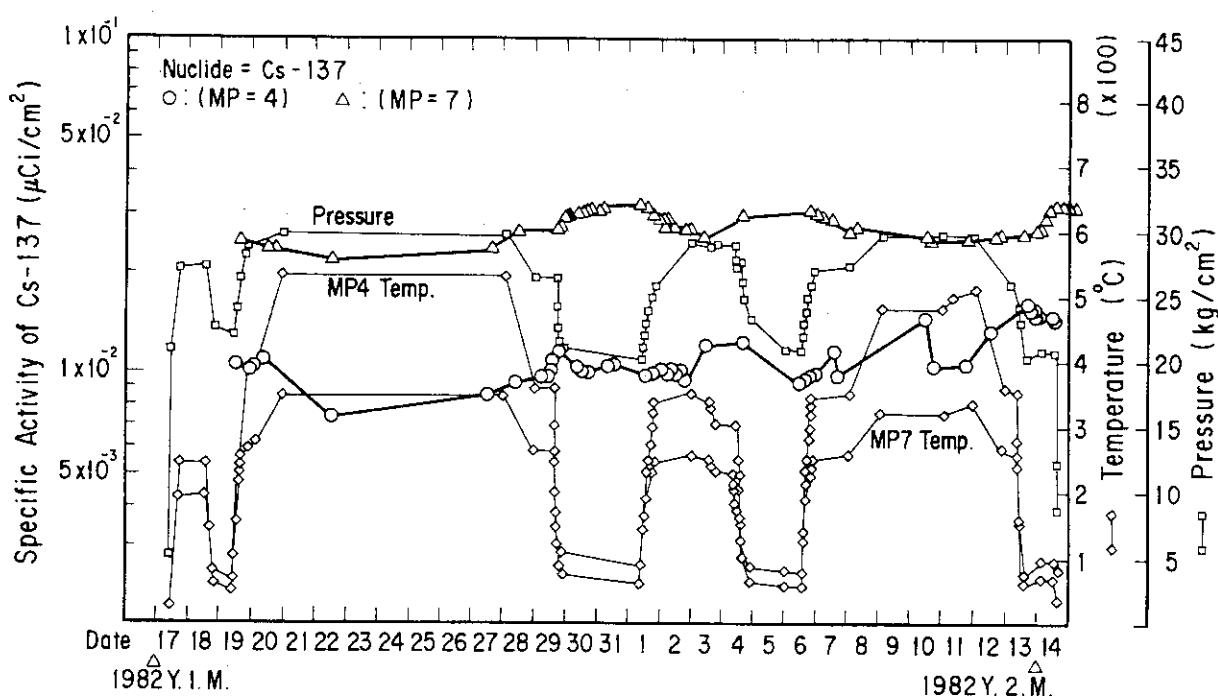


Fig. 14 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 57 cycle)

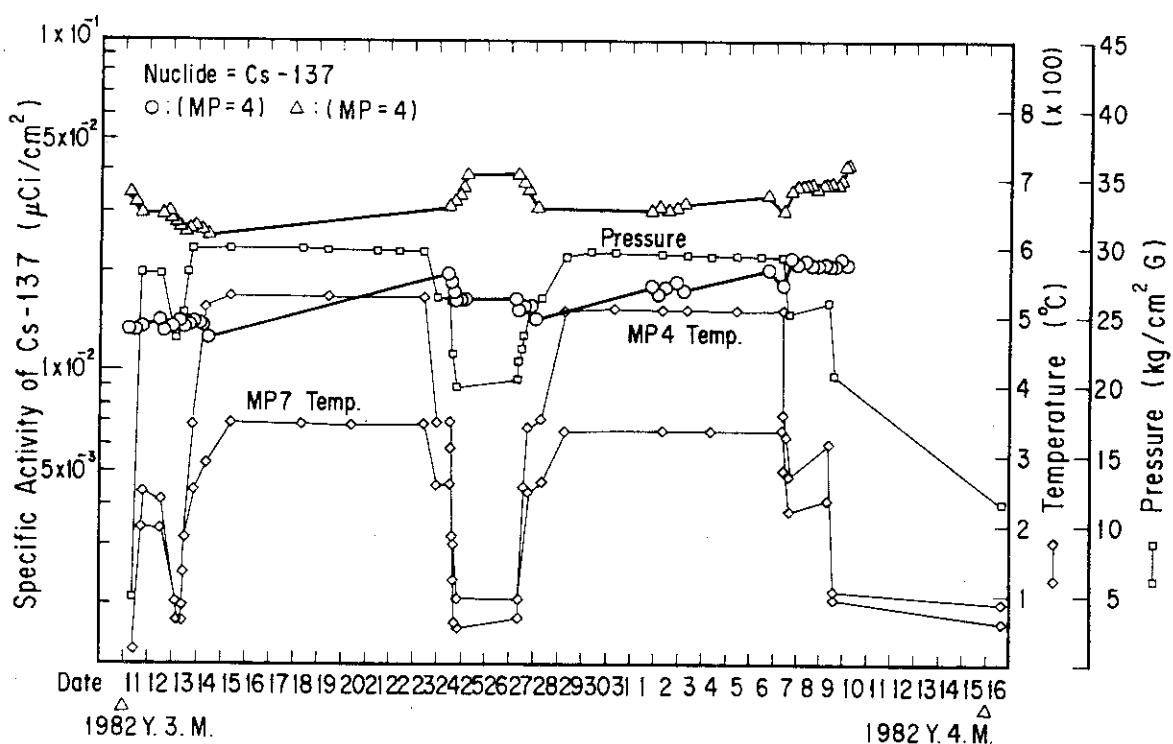


Fig. 15 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 58 cycle)

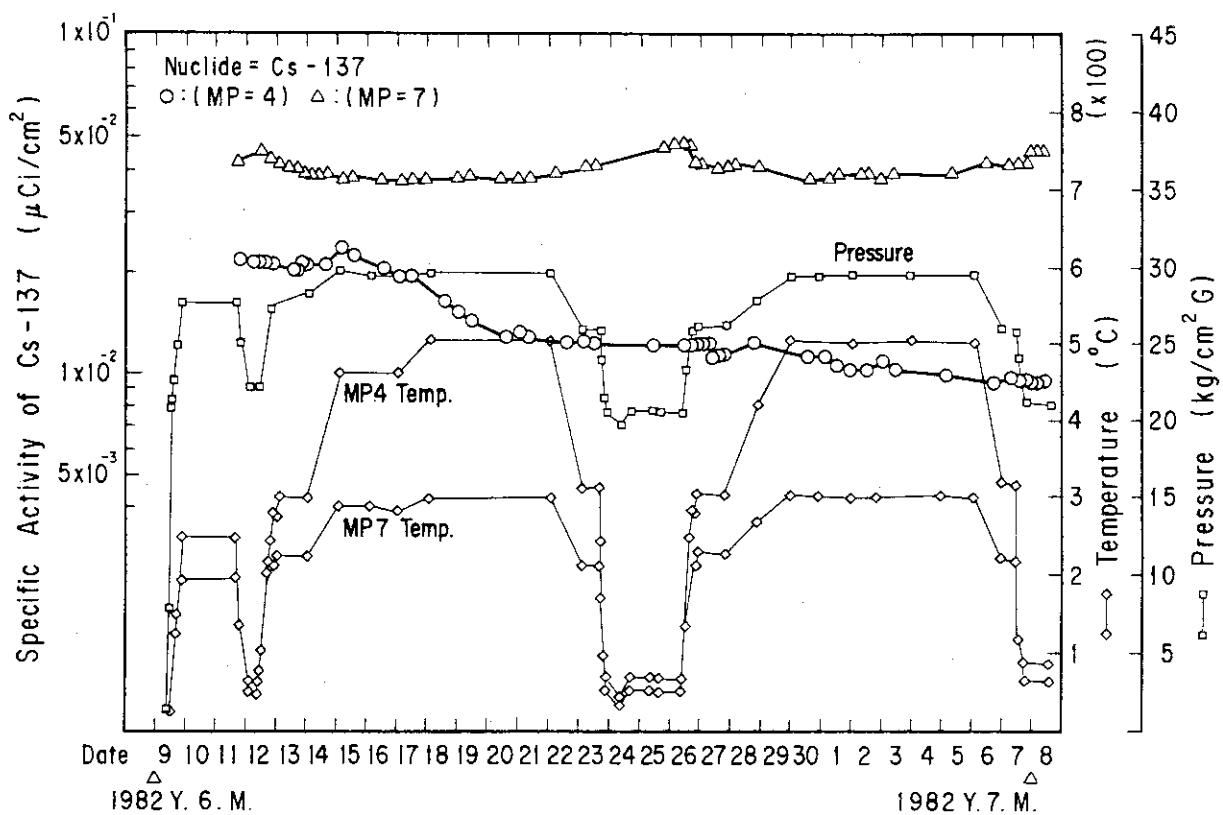


Fig. 16 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 59 cycle)

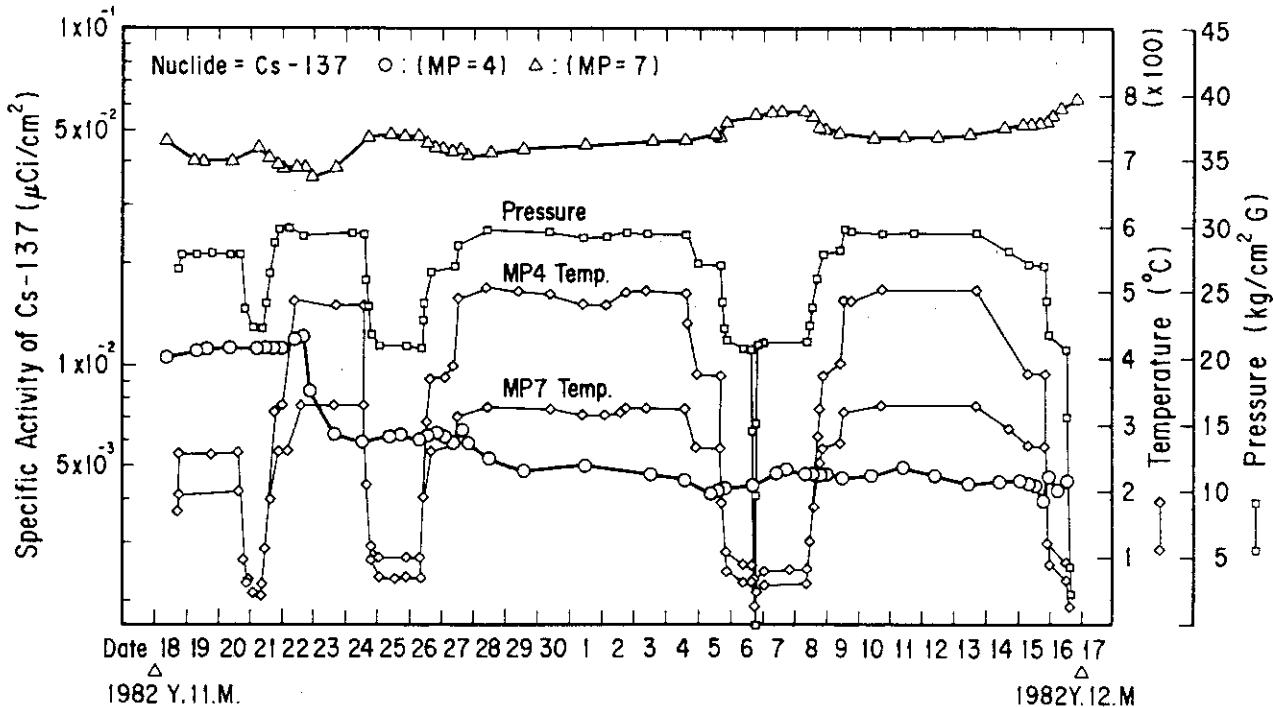


Fig. 17 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 60 cycle)

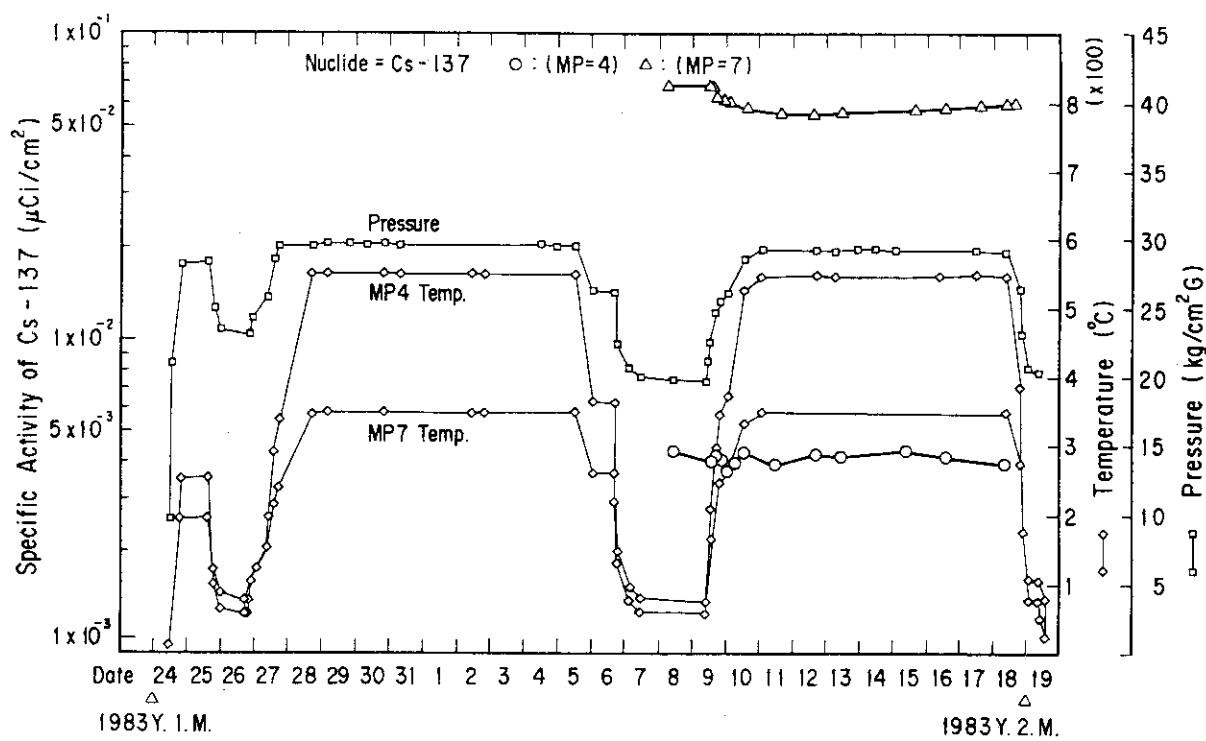


Fig. 18 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 61 cycle)

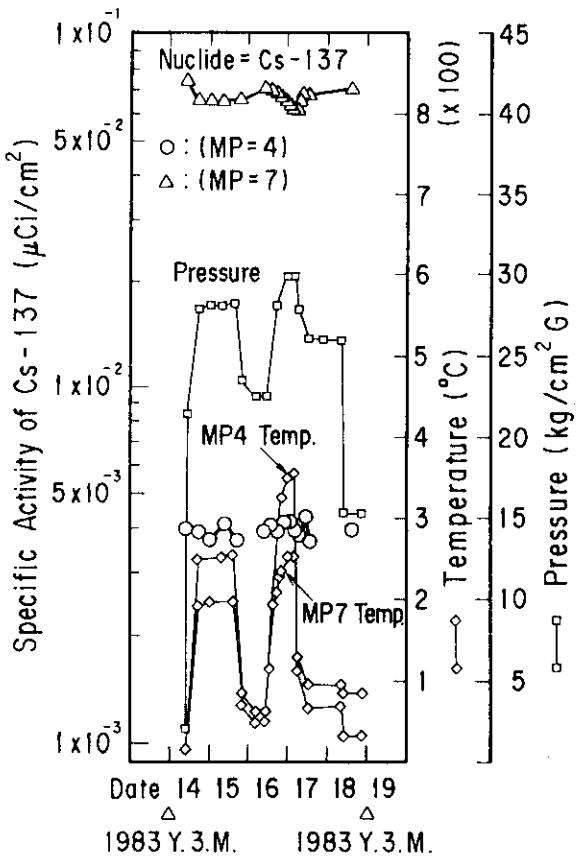


Fig. 19 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 62 cycle)

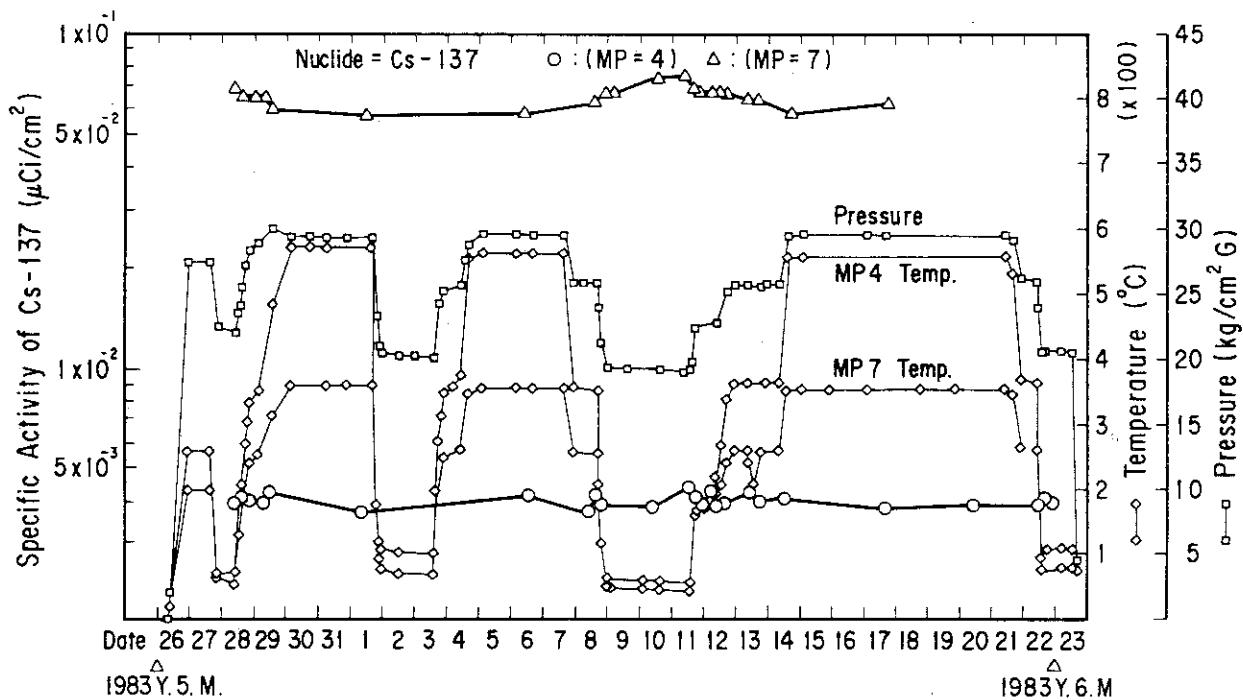


Fig. 20 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 63 cycle)

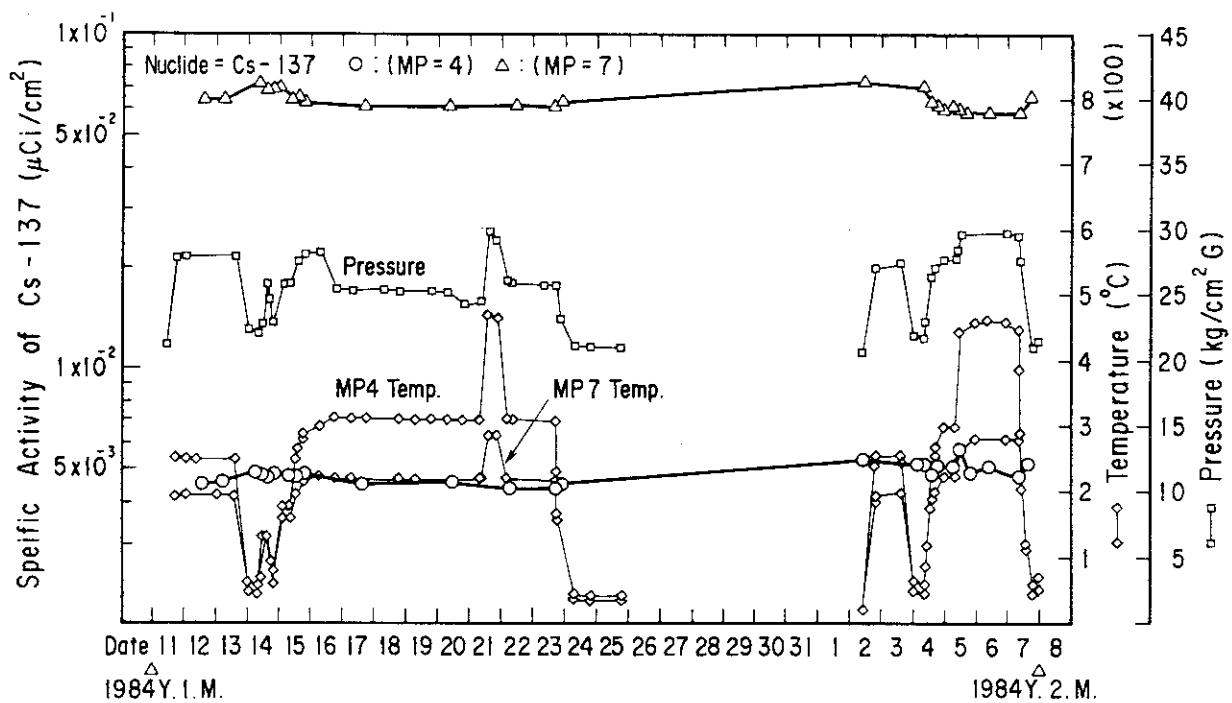


Fig. 21 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 64 cycle)

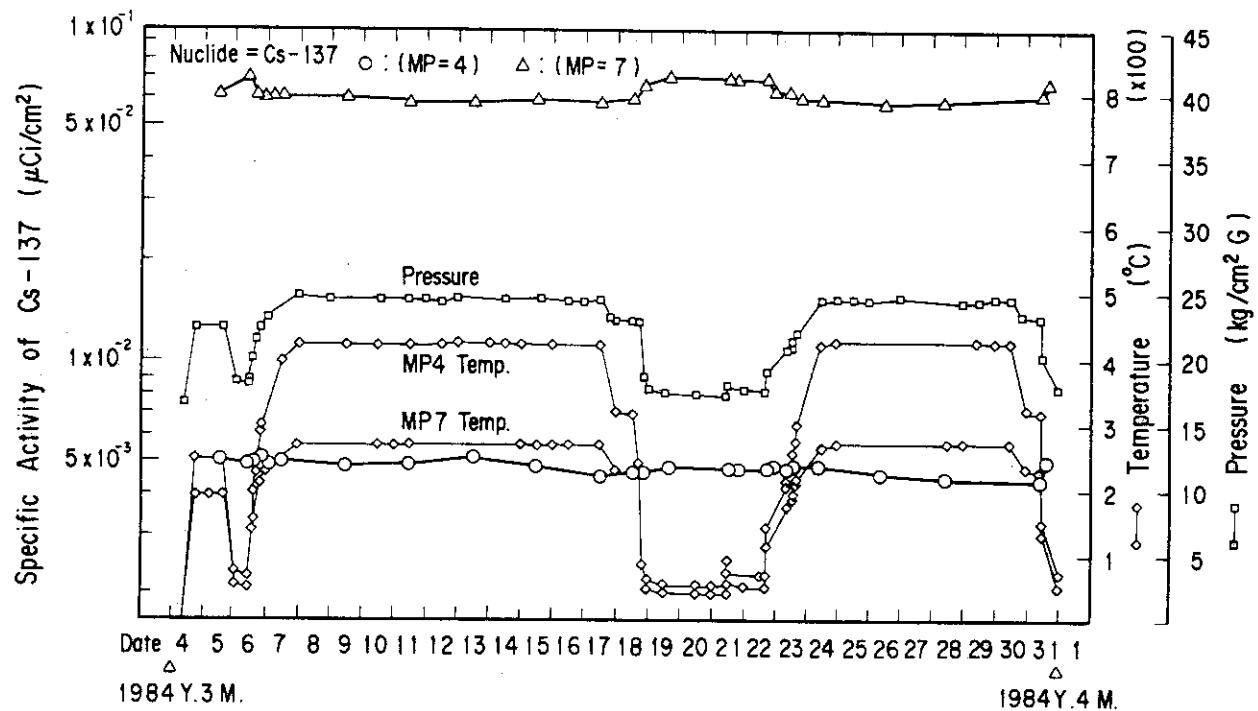


Fig. 22 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 65 cycle)

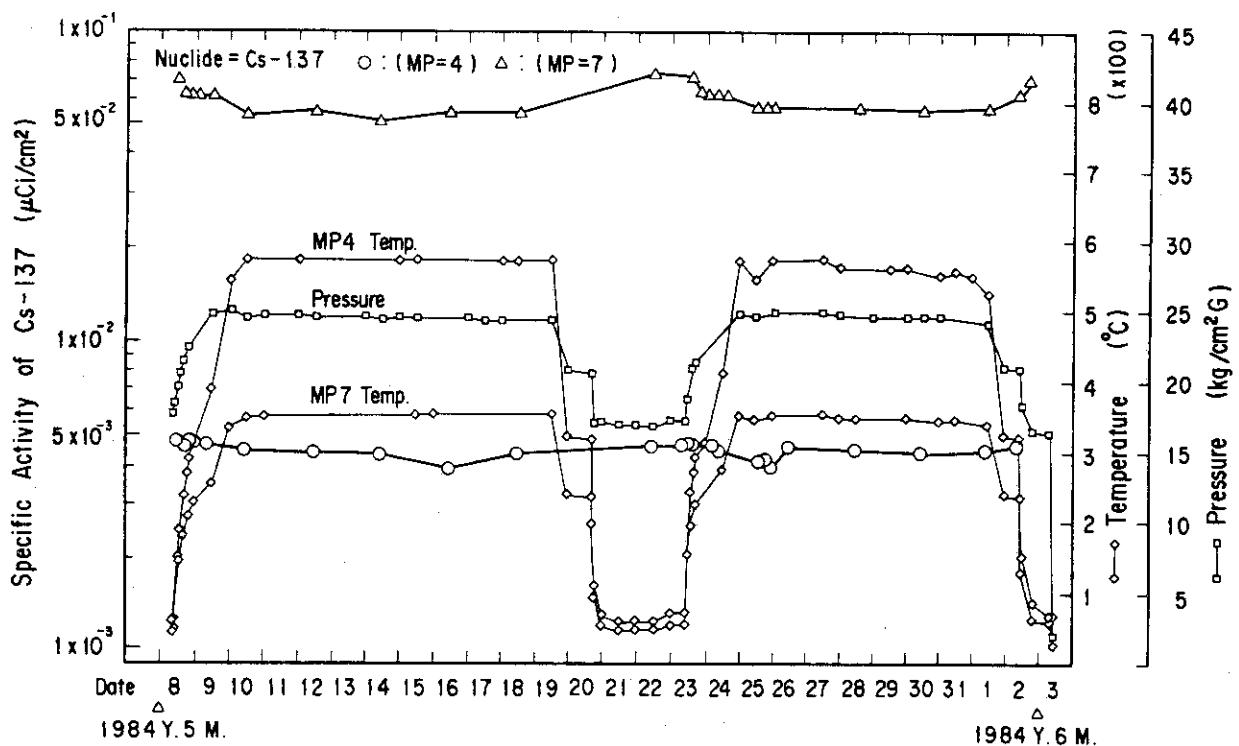


Fig. 23 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 66 cycle)

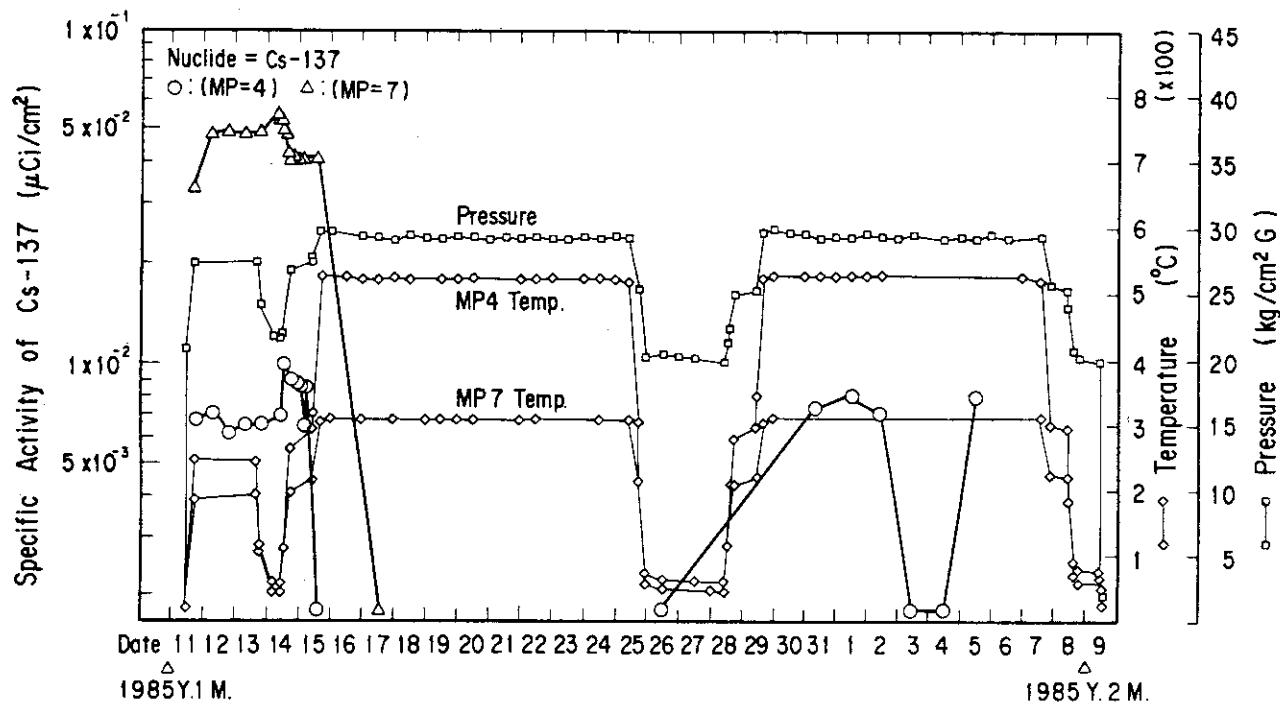


Fig. 24 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 67 cycle)

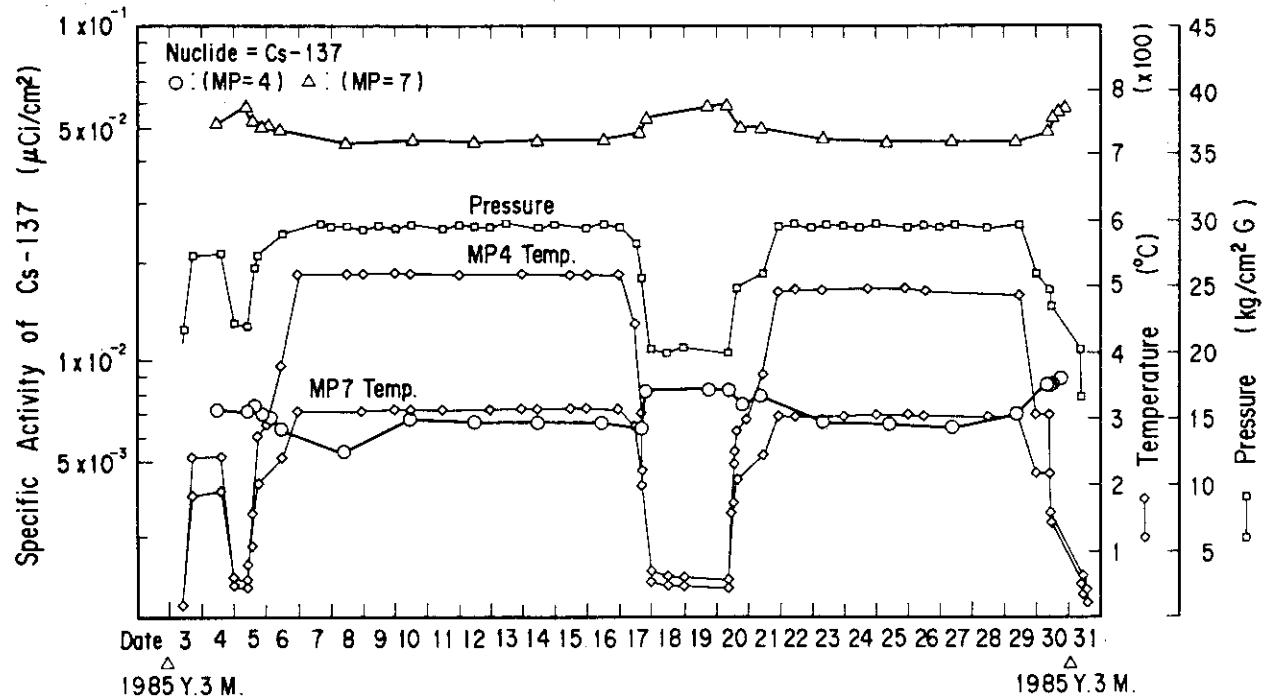


Fig. 25 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 68 cycle)

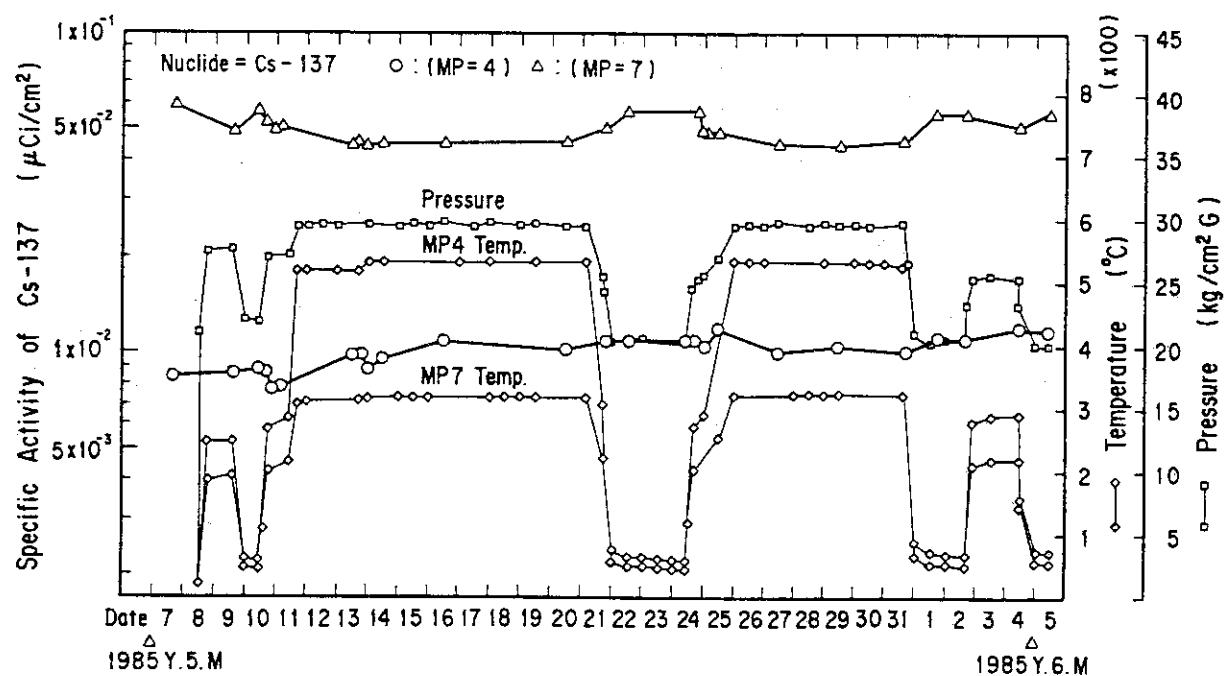


Fig. 26 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 69 cycle)

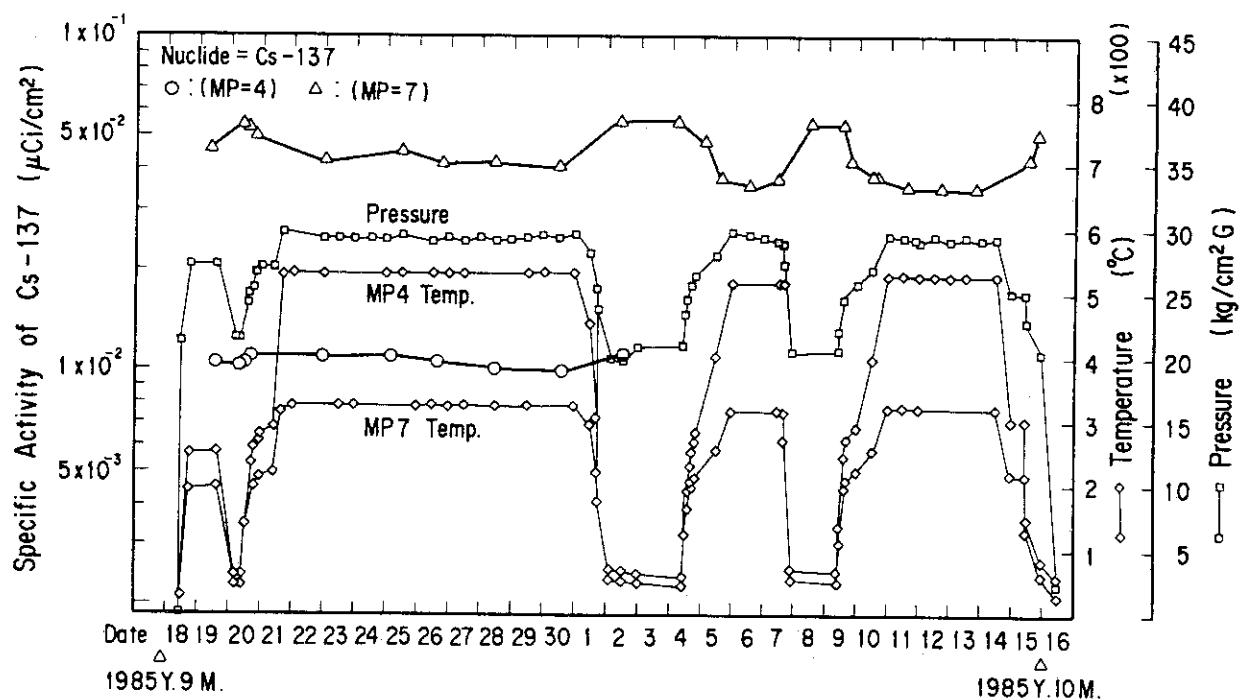


Fig. 27 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 70 cycle)

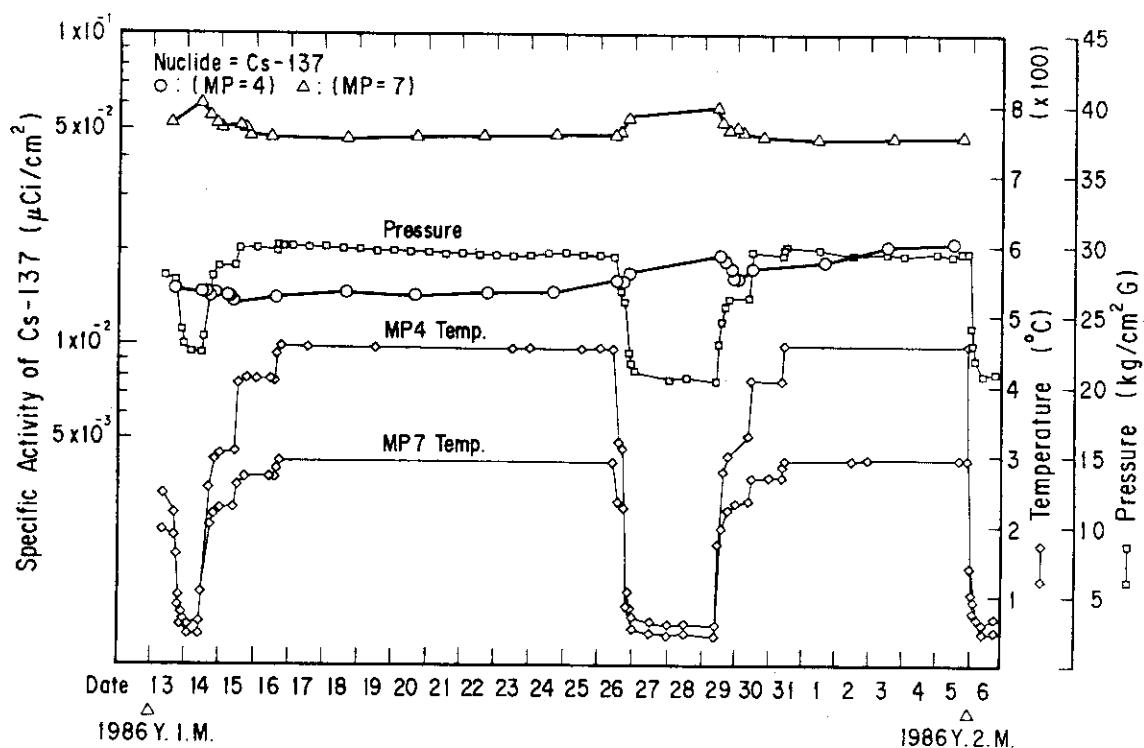


Fig. 28 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 72 cycle)

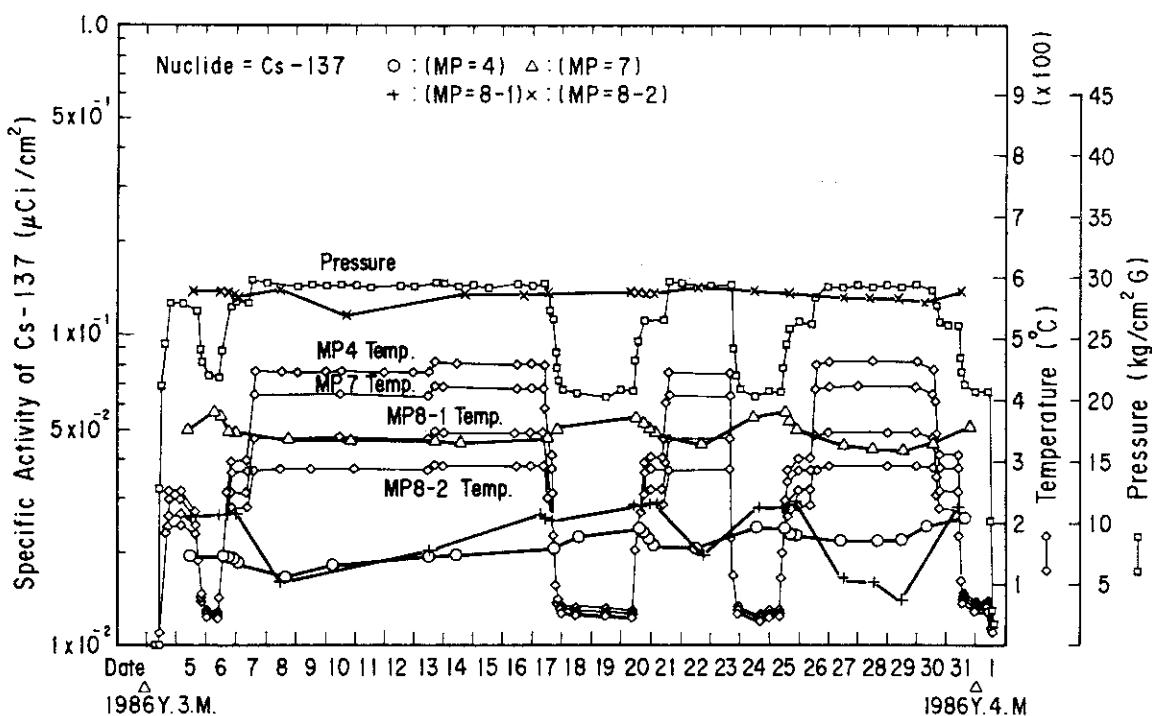
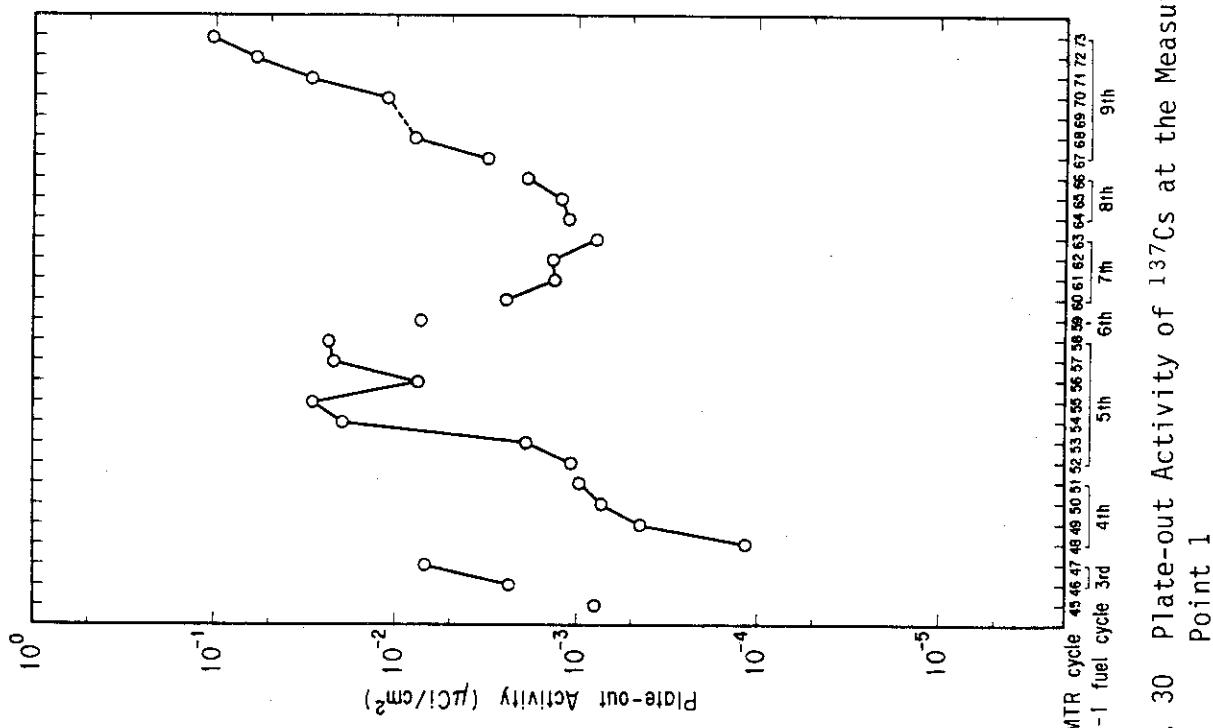
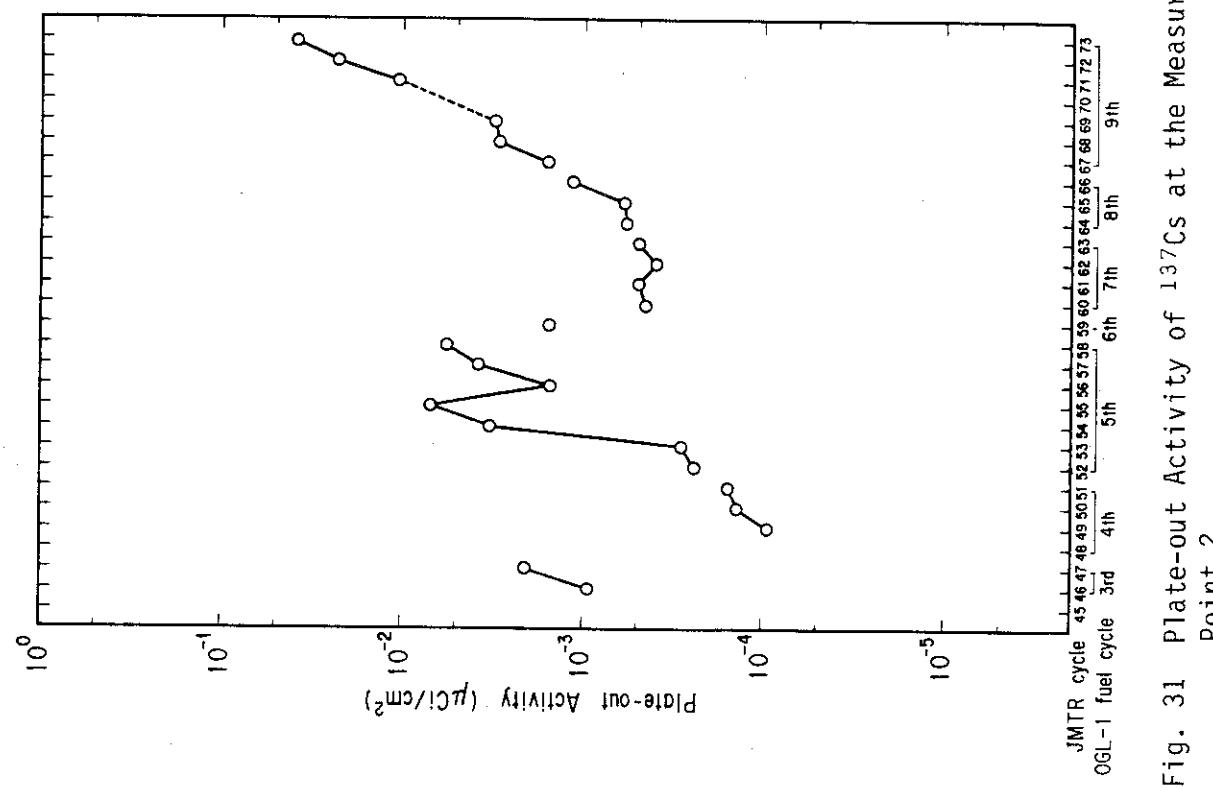
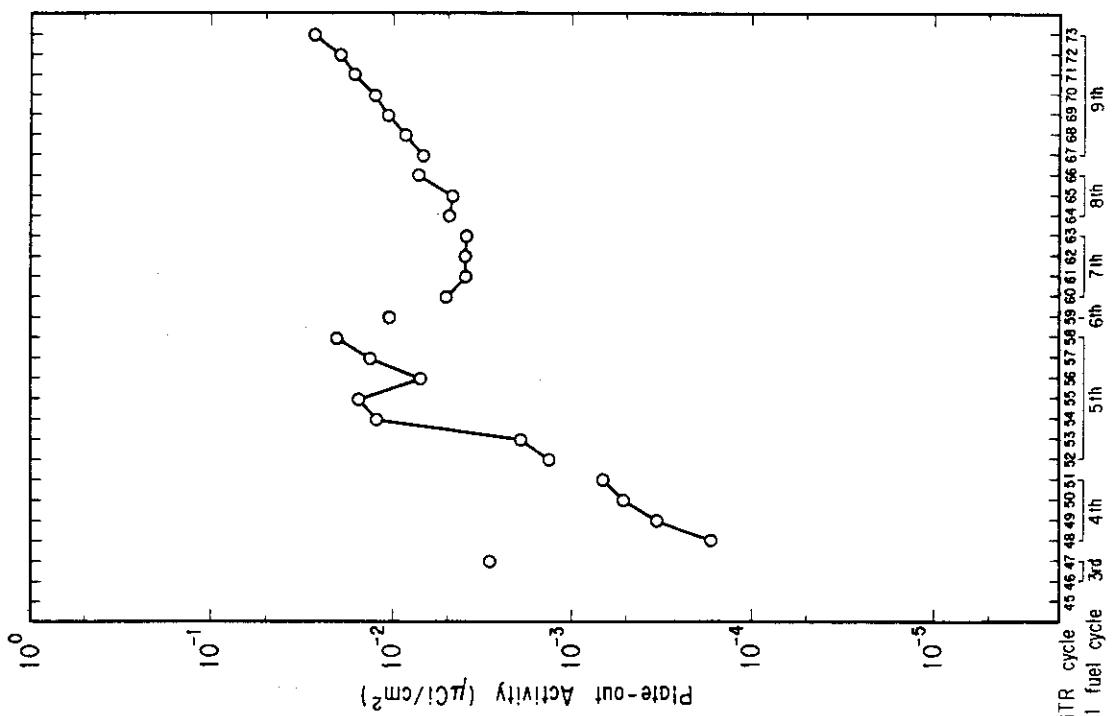
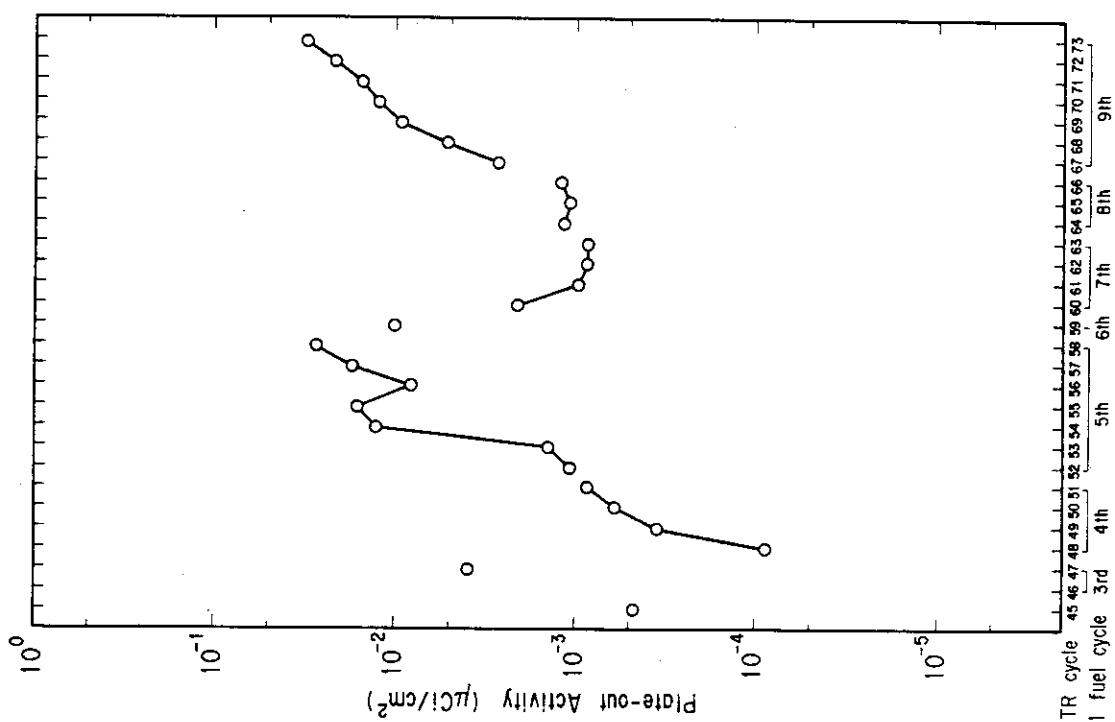


Fig. 29 Plate-out Activity of Cs-137 in OGL-1 Operation (JMTR 73 cycle)

Fig. 30 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 1Fig. 31 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 2

Fig. 32 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 4Fig. 33 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 5

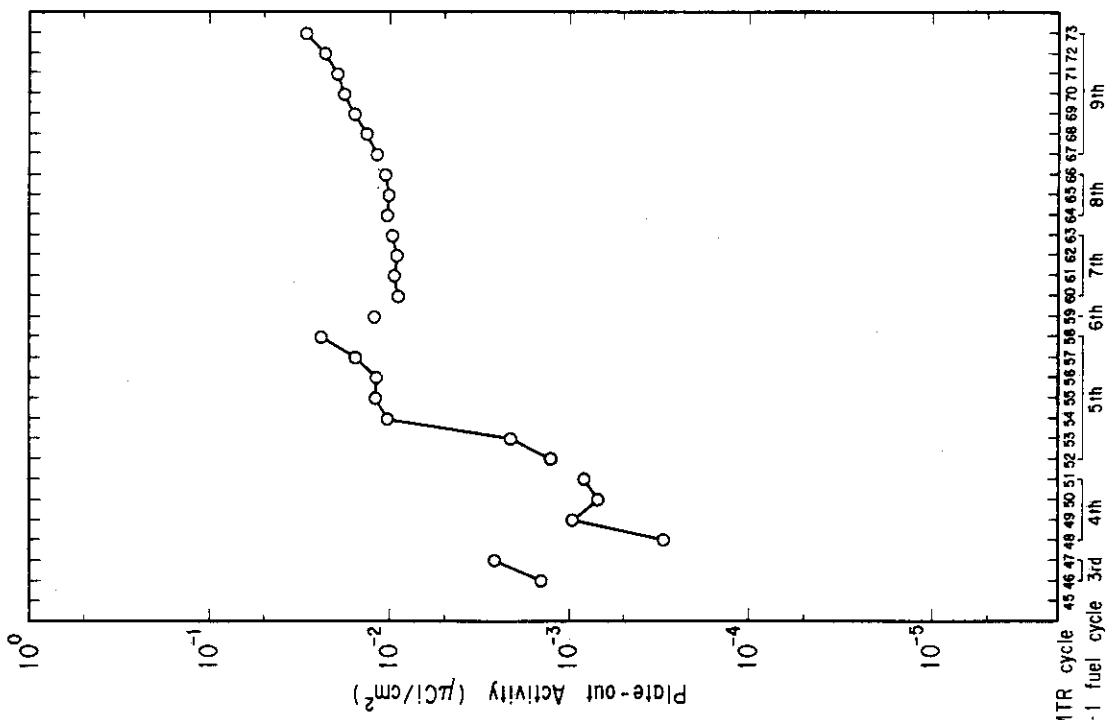


Fig. 34 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 6

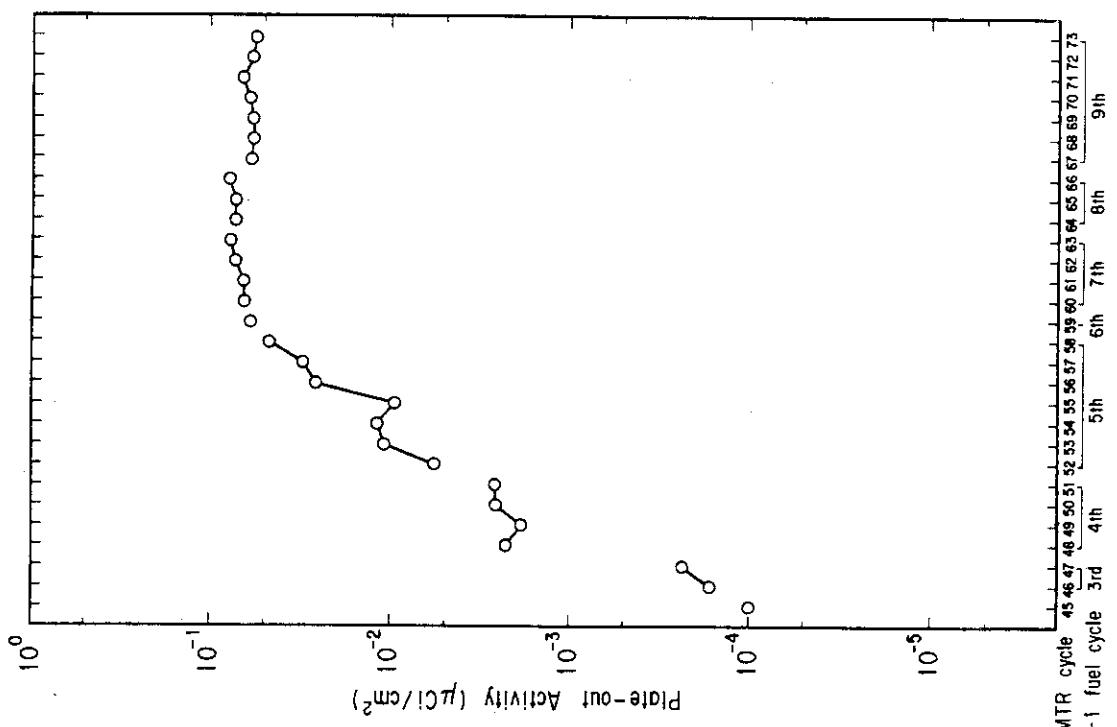


Fig. 35 Plate-out Activity of ^{137}Cs at the Measuring Point 7