

JAERI-M
92-212

高温高圧ガスループ中のヨウ素沈着分布

1993年1月

松本実喜夫・遠藤 泰一・伊藤 治彦
板橋 行夫・猿田 徹・横内猪一郎
安藤 弘栄

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, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷機

高温高压ガスループ中のヨウ素沈着分布

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

松本実喜夫・遠藤 泰一・伊藤 治彦・板橋 行夫

猿田 徹・横内猪一郎・安藤 弘栄

(1992年12月8日受理)

高温ガス冷却炉（H T G R s）の設計及び安全解析において、燃料から放出する核分裂生成物の1次冷却系への沈着・離脱挙動を把握することは重要である。J M T Rでは、高温工学試験研究炉（H T T R）用燃料照射研究に用いている高温ガス冷却ループ照射装置（O G L - 1）の1次冷却系に沈着するF P分布測定を原子炉運転中及び停止後にわたって行ってきた。その結果、ヨウ素の沈着が温度上昇にたいして指数関数的に減少すること、表面が冷却されている2基の再生熱交換器に系内全ヨウ素の60%が沈着することを明らかにした。また、ガス中ヨウ素濃度測定結果から、燃料温度とともに燃料からのF P放出率が増加し、燃料照射温度が1500°Cの場合、ヨウ素放出率は1300°Cのときの約100倍になることを確認した。更に、報告書では、原子炉運転中と停止によるF P沈着・離脱にかかる系内ヨウ素分布の変化について報告する。

Plate-out Distribution of Iodine
in a High Temperature Gas Cooling In-pile Loop Facility

Mikio MATSUMOTO, Yasuichi ENDO, Haruhiko ITO
Yukio ITABASHI, Tohru SARUTA, Iichiro YOKOUTI and Hiroe ANDO

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

(Received December 8, 1992)

The information of fission products (FPs) deposition and re-entrainment behavior in the primary coolant system is important for design and safety analysis of the high temperature cooled gas reactor. In the department of JMTR project, the distribution of FPs plated-out on inner surface of the primary coolant circuit of OGL-1 has been measured during reactor operating and after shut-down. The OGL-1 is a high temperature gas cooling loop facility used for irradiation tests of the high temperature engineering test reactor (HTTR) fuels. The measurement data of FP distribution in the primary circuit of the OGL-1 showed the temperature effect on iodine plate-out. The iodine plate-out activity decreased exponentially with temperature increasing, and about 60% of total iodine was plated-out in the two heat exchangers where the surface was cooled. The data of iodine concentration in primary coolant showed that iodine release rate from irradiation fuels increase with fuel temperature increasing. The iodine release rate at 1500°C was 100 times of the release rate at 1300°C. And this paper shows the change of iodine distribution by plate-out and re-entrainment behavior of iodine in a high temperature gas cooling loop irradiation facility according to reactor operation.

Keywords: Fission Product, Iodine, Noble Fission Gas, Plate-out, Deposition, Re-entrainment, FP Release Rate, HTGR, HTTR, JMTR

目 次

1. まえがき	1
2. OGL-1の概要	1
2.1 OGL-1 1次系の概要	1
2.2 OGL-1の運転履歴	2
2.3 OGL-1の希ガス濃度と放出割合	2
3. FP沈着量測定	3
3.1 測定装置	3
3.2 測定方法	3
3.3 測定個所	5
4. 沈着量測定結果	7
4.1 原子炉運転中測定結果	7
4.2 原子炉停止時測定結果	7
5. 沈着量測定結果の検討	8
5.1 原子炉運転中におけるヘリウムガス中のヨウ素濃度	8
5.2 燃料試料からのヨウ素放出割合	8
5.3 沈着挙動に関するガス温度の影響	9
5.4 沈着挙動に関する燃料温度の影響	10
5.5 ガス中の ¹³¹ I濃度と沈着量の関係	10
5.6 各部の ¹³¹ I沈着量	12
6. まとめ	12
謝 辞	13
参考文献	13

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the OGL-1	1
2.1 Outline of the OGL-1 Primary Coolant Circuit	1
2.2 Operating History of the OGL-1	2
2.3 Noble Gas Release Rates from Fuels and the Concentration in Helium Gas	2
3. FP Plate-out Measurement	3
3.1 Measuring System	3
3.2 Measuring Method	3
3.3 Measuring Location	5
4. Iodine Activities Plated-out in the Primary Coolant Circuit ...	7
4.1 Plated-out Activities during Reactor Operating	7
4.2 Plated-out Activities After Shutdown of Reactor	7
5. Discussion of Plate-out Behavior of Iodine	8
5.1 Concentration of Iodine in Helium Gas during Reactor Operating	8
5.2 Release Rates from HTTR Fuels	8
5.3 Influence on Helium Gas Temperature	9
5.4 Influence on Fuel Temperature	10
5.5 Relation between Concentration in Helium Gas and Plated-out Activities on Tube Surface	10
5.6 Plated-out Activities at Measuring Location	12
6. Conclusions	12
Acknowledgment	13
References	13

1. まえがき

高温工学試験研究炉(HTTR ; High Temperature Engineering Test Reactor)では、軽水炉や高速炉と異なった二酸化ウラン・被覆粒子／黒鉛分散型の燃料を採用している。被覆粒子は燃料コンパクトの形に成形され、更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となる。被覆粒子燃料(Coated particle fuel)からは、微量であるがFPが被覆層、コンパクト及び黒鉛スリーブを拡散して1次冷却材中に放出される。また、被覆粒子燃料製造時の核燃料物質による汚染或いは運転時の被覆層の破損が生じた場合にも、同様な経路でFPが1次冷却材中に放出される。そして、放出されたFPは、1次系を循環し各機器及び配管の内面に沈着する。HTTRの遮蔽設計、保守・点検時の放射線被ばく管理及び減圧事故時の環境へのFP放出量の推定には、1次冷却系配管及び機器内面へのFP沈着挙動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-1)1次系の運転条件(冷却材圧力；3 MPa, 試料出口冷却材最高温度；1000 °C)は、HTTRの1次冷却系とほぼ同等である。そこで、HTTRにおけるFP沈着挙動を知るために、OGL-1 の1次系配管を対象にして、FPプレートアウト測定を行ってきた。OGL-1 は、被覆粒子燃料及び高温構造物材料を照射する装置である。FPの沈着分布を測定するために、1次配管系を取り外すことはできない。また、FP沈着分布挙動を知るには、OGL-1 の運転履歴に関連させて配管上の同一点におけるFP沈着量の変化を測定する必要がある。このため、OGL-1 のFPプレートアウト測定は、Ge検出器を用いて1次系配管をその場で測定する in-situ 非破壊測定法で行ってきた。

本報告書は、半減期が約8日と短いが甲状腺に対する影響の大きい ^{131}I について、JMTR第46サイクルから第91サイクルまで(OGL-1 の照射試料としては第3次から第12次燃料照射中)の沈着量及び沈着分布、燃料試料からの放出量等についてまとめたものである。

2. OGL-1 の概要

2. 1 OGL-1 1次系の概要

OGL-1 はHTTR用の燃料、材料等の照射試験を行うことを目的として、昭和52年1月にJMTRに設置された高温ヘリウムインパイルガスループである。昭和52年3月に照射試料出口ガス温度1000°Cで100時間の連続運転達成以来、継続して運転を行っている。

OGL-1 の1次系は炉内管、ガス循環機、加熱器、1次冷却器、再生熱交換器、配管及び弁類から構成されている。OGL-1 1次系のフローシートをFig.2.1 に示す。また、OGL-1 ループの性能の概要をTable 2.1 に示す。

1. まえがき

高温工学試験研究炉(HTTR ; High Temperature Engineering Test Reactor)では、軽水炉や高速炉と異なった二酸化ウラン・被覆粒子／黒鉛分散型の燃料を採用している。被覆粒子は燃料コンパクトの形に成形され、更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となる。被覆粒子燃料(Coated particle fuel)からは、微量であるがFPが被覆層、コンパクト及び黒鉛スリーブを拡散して1次冷却材中に放出される。また、被覆粒子燃料製造時の核燃料物質による汚染或いは運転時の被覆層の破損が生じた場合にも、同様な経路でFPが1次冷却材中に放出される。そして、放出されたFPは、1次系を循環し各機器及び配管の内面に沈着する。HTTRの遮蔽設計、保守・点検時の放射線被ばく管理及び減圧事故時の環境へのFP放出量の推定には、1次冷却系配管及び機器内面へのFP沈着挙動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-1)1次系の運転条件(冷却材圧力；3 MPa, 試料出口冷却材最高温度；1000 °C)は、HTTRの1次冷却系とほぼ同等である。そこで、HTTRにおけるFP沈着挙動を知るために、OGL-1 の1次系配管を対象にして、FPプレートアウト測定を行ってきた。OGL-1 は、被覆粒子燃料及び高温構造物材料を照射する装置である。FPの沈着分布を測定するために、1次配管系を取り外すことはできない。また、FP沈着分布挙動を知るには、OGL-1 の運転履歴に関連させて配管上の同一点におけるFP沈着量の変化を測定する必要がある。このため、OGL-1 のFPプレートアウト測定は、Ge検出器を用いて1次系配管をその場で測定する in-situ 非破壊測定法で行ってきた。

本報告書は、半減期が約8日と短いが甲状腺に対する影響の大きい¹³¹Iについて、JMTR第46サイクルから第91サイクルまで(OGL-1 の照射試料としては第3次から第12次燃料照射中)の沈着量及び沈着分布、燃料試料からの放出量等についてまとめたものである。

2. OGL-1 の概要

2. 1 OGL-1 1次系の概要

OGL-1 はHTTR用の燃料、材料等の照射試験を行うことを目的として、昭和52年1月にJMTRに設置された高温ヘリウムインパイルガスループである。昭和52年3月に照射試料出口ガス温度1000°Cで100時間の連続運転達成以来、継続して運転を行っている。

OGL-1 の1次系は炉内管、ガス循環機、加熱器、1次冷却器、再生熱交換器、配管及び弁類から構成されている。OGL-1 1次系のフローシートをFig.2.1 に示す。また、OGL-1 ループの性能の概要をTable 2.1 に示す。

2. 2 OGL-1 の運転履歴

JMTRの標準運転パターンは、50MWで前半サイクル約12日及び後半サイクル約12日を1サイクルとして、その間には燃料交換のための2日間の中間停止期間を設けている。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（水分等不純物除去及び各部の機能確認）運転を行っている。OGL-1 1次系は、原子炉起動後50MWまで原子炉出力上昇に伴って昇温され、50MW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。出力降下時は、出力上昇時と逆の手順を踏んで降温し、中間停止期間は低温、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。OGL-1 の標準的な運転パターンを、Fig.2.2 に示す。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次系の流量と圧力及び炉内管入口、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の測定値を示す。

OGL-1 は、試料出口ガス温度1000°Cの運転達成以来、平成2年6月のJMTR第91サイクルまでに約25500時間の照射運転を行ってきた。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11体及び材料試験体1体の照射試験が終了している。JMTR第46サイクルから第91サイクルまでのOGL-1 ループ定常状態時の各サイクル運転実績を、Table 2.2 に示す。また、各サイクルにおけるOGL-1 燃料試料の照射実績を、Table 2.3 に示す。

2. 3 OGL-1 の希ガス濃度と放出割合

2. 3. 1 希ガス濃度

JMTRでは、OGL-1 の各次燃料試料照射時に、運転サイクル毎に1次系ヘリウムガス中の希ガス濃度を測定している。測定は、ガスサンプリング法によりOGL-1 定常運転状態時に行っている。サンプリング場所は、精製系の入口部である。

検出された核種は、短半減期FPのクリプトンとキセノンである。クリプトン3核種(^{85m}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr)とキセノン5核種(^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{135m}Xe , ^{137}Xe , ^{138}Xe)のOGL-1 定常運転状態における第46サイクルから第91サイクルの濃度を、Fig.2.3 及びFig.2.4 に示す。希ガス濃度は燃料試料によって大きく異なり、 $2 \times 10^4 \sim 4 \times 10^7$ (Bq/m³)の範囲であった。また、OGL-1 のヘリウムガス中の不純物及びその濃度を、Table 2.4 に示す。

2. 3. 2 希ガスの放出割合

OGL-1 各次燃料試料から放出されるFP量を推定するために、希ガスの放出割合を調べた。ここで言う放出割合とは、燃料試料内での生成量に対する1次系への放出量の比である。

希ガスの代表核種の選定は、 γ 線エネルギーと半減期を考慮して ^{85m}Kr , ^{135}Xe , ^{138}Xe の3核種とした。3核種の各運転サイクルにおける放出割合を、Fig.2.5 に示す。図から分かるように、希ガスの放出割合は、 $2 \times 10^{-8} \sim 6 \times 10^{-5}$ の範囲であった。

3. F P 沈着量測定

3. 1 測定装置

測定に使用した検出器は、OGL-1 の 1 次冷却系を収納したキュービクル内で容易に移動可能な小型高純度Ge検出器（4台）である。本検出器の構造は、縦型下向きクライオスタッフ型で⁶⁰Coのγ線(1.33 MeV)に対する相対検出効率（線源と検出器間距離25cm時のΦ3"×3"のNaI(Tl)検出器に対する検出効率）が13%以上、半値幅分解能が2.1keV以下である。検出器の主な仕様を、Table 3.1に示す。

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、配管内面に沈着した核種からのγ線を効率良く計測するためにコリメータを用いた。これは、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の長方形の窓を付けたものである。更に、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の銅筒が挿入してある。測定位置としてはバックグラウンドが低い位置を選定し、コリメータの窓の開口方向は測定対象配管の背後に線源となる配管が無いよう配慮した。測定する配管には水平配管と垂直配管があるため、横型と縦型の2種類の窓を製作し、コリメータ開口部の長軸方向を管の軸方向に一致させた。使用したGe検出器及びコリメータと測定方法概略をFig.3.1に示す。

データ処理装置は波高分析装置の自動制御及び連続測定、計測されたγ線スペクトルの解析、核種の同定、沈着量の計算及び計算結果の図表整理を行うものである。そのシステムは、16bitのPDP 11/34 計算機をメインとして、ハードディスク装置、磁気テープ装置、ラインプリンタ及びディジタルプロッタから構成されている。システム構成を、Fig.3.2に示す。

3. 2 測定方法

3. 2. 1 原子炉運転中の測定

測定に使用したGe検出器のデュワー容量は5ℓで、液体窒素保持日数は約3日である。このため、原子炉運転中の立ち入りが出来ないOGL-1 キュービクル内で、長期間連続的に測定するための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、キュービクル内の測定点4ヶ所に設置した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。100ℓの液体窒素貯溜容器及び貯溜容器からGe検出器へ自動的に供給する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。貯溜容器からGe検出器への補給は、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行われる。尚、クライオトロールは電動モータによりベローズを伸縮させて中の空気を出し入れし、クライオジェットポンプを作動させるものである。貯溜容器からGe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.3.3に示す。

原子炉運転中の測定では、短半減期核種の計測が可能である。測定時間は、計数率が高く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量履歴の測定を行うために、1～2時間とした。

3. 2. 2 原子炉停止時の測定

測定は配管外側に設置したエネルギー分解能の良いGe検出器により、配管内面に沈着した核種からの γ 線を計測する方法で行った。Ge検出器で計測される γ 線は、鉛遮蔽体先端部に取り付けた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して来る γ 線の合計量である。コリメータ窓からのみ入射する γ 線の計数率は、コリメータ窓を開けた状態で測定した計数率からコリメータ窓を閉じた状態で測定した計数率を差し引いて求めた。OGL-1 の配管では、全般的に配管内面の沈着量が少ないため計数率が低く、計数率の統計誤差を小さく抑えるために、測定点1個所当たりの計測時間を15~20時間とした。

キューピクル内への立ち入りは、原子炉が停止し、OGL-1 1次系内の精製運転が終了した後に可能となるため、測定は炉停止後2~3日経過した後に開始した。このため、半減期の短い核種は、検出限界(370 Bq/m^2)以下に減衰する。従って、検出可能な核種は、中・長半減期核種に限定される。また、クリプトンやキセノンのような希ガスFPは、配管内面に沈着しないため、1次系内の精製運転により除去される。

計測された γ 線は、配管内面に沈着した核種及び配管壁内部に拡散侵入した核種から放出されたものであるが、本測定ではこれらを区別して計測することはできない。核種は計測された γ 線スペクトル中のピークエネルギーより同定し、沈着量は γ 線のピーク計数率より求めた。波高分析装置のチャンネルとエネルギーの校正には ^{152}Eu (122keV), ^{137}Cs (662keV), ^{60}Co (1173keV, 1333keV)の4本の γ 線を使用した。計数率から沈着量を求めるための各測定点の沈着量換算係数は、3.2.3に述べるようにそれぞれのGe検出器の感度分布測定と、測定点と検出器との幾何学的配置から計算コード(KKKP)⁽²⁾により求めた。

3. 2. 3 測定系の沈着量換算係数

沈着量換算係数は、測定系のモックアップを製作して実験的に求めることができるが、配管、コリメータ及び検出器の相対位置関係が測定点により全て異なること、検出器の特性も1台ごとに異なることなどから、全測定系についてこの係数を実験的に求めることは、組み合わせが多くなりすぎて現実的ではない。また、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。同一の検出器及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、 γ 線発生源からコリメータに至るまでの γ 線の減衰は異なってくる。また、検出器の結晶構造は個々の製品により大きく違つており、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。 γ 線発生源からコリメータに至るまでの γ 線の減衰は、遮蔽計算により容易に求めることができる。従って、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 KKKP コードにより求めた。検出器の感度分布概要図をFig.3.4に、換算係数計算モデル図をFig.3.5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次式で表した。係数算出式を、下記に示す。

$$C = C_1 + C_2 \cdot E + C_3 \cdot E^2 + C_4 \cdot E^3 ; \text{ 低エネルギー側}$$

$$C = C_1 + C_2 \cdot E ; \text{ 高エネルギー側}$$

ここで、 $E : \ln [E(\text{keV})]$

$C : \ln [cps/(dps/cm^2)]$

である。

尚、境界エネルギーは、 200 ~ 300 (keV) の範囲である。

3. 3 測定箇所

OGL-1 1次系は照射試料、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、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、重要性及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までの範囲の16箇所を選定した。測定点16箇所の主要目をTable 3.2 に、配置図をFig.3.6 に示す。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三重管構造の高温配管部で、 OGL-1 炉内管出口の直後にあり、測定点の中では最もガス温度が高い場所である。三重管は内側から仕切管、内壁管、圧力管で構成され、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使われている。更に、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、内壁管と仕切管の間を加熱器から出た約 500°C の炉心へ戻るヘリウムガスが流れる。測定点は、水平三重配管が90° 曲がって垂直三重配管になった位置にある。

(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二重管構造の高温配管部である。二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使われている。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 の高温ヘリウムガスが流れる。測定点は、垂直三重配管から垂直二重配管へ移行した直後のエルボ付近である。

(3) 測定点 4

測定点4は、 JMTR地下3階のOGL-1 ループキューピクル内（以下の測定点も同様）にある二重管構造の高温配管部である。二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階に下りてき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の中間位置にあり、原子炉運転中の測定もできる。

(4) 測定点 5

測定点5は、二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90° 曲がった

直後の位置にあり、ペント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、二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, 測定点 8 - 2

測定点 8 - 1 と測定点 8 - 2 は、No.1再生熱交換器伝熱管 ($\phi 15.9 \times 2 \text{ mm}t$ ~ 22本、材質はハステロイ-X) の入口及び出口部である。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、伝熱管入口、出口の温度差は約 200°C である。また、原子炉運転中の測定もできる測定点である。

(7) 測定点 7

測定点 7 は単管構造の水平中温配管部で、単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エルボ部である。運転時には、250 ~ 350°C のヘリウムガスが流れる。また、原子炉運転中の測定もできる測定点である。

(8) 測定点 8 - 3, 測定点 8 - 4

測定点 8 - 3 と測定点 8 - 4 は、No.2再生熱交換器伝熱管 ($\phi 15.9 \times 1.6 \text{ mm}t$ ~ 22本、材質は SUS316) の入口及び出口部である。運転時には、伝熱管の内側を 150 ~ 300°C のヘリウムガスが流れ、伝熱管入口、出口の温度差は約 100°C である。また、原子炉運転中の測定もできる測定点である。

(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位置し、運転時には約 200°C の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。冷却器出口直後に位置し、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。フィルタ入口の直前に位置し、運転時には冷却器で約 30°C に冷却されたガスと冷却器をバイパスした約 200°C のガスの混合したヘリウムガスが流れ、その温度は約 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。

4. 沈着量測定結果

4. 1 原子炉運転中測定結果

運転中における沈着量の変化と短半減期核種の沈着挙動を知るため、第57サイクルから第79サイクルの間に断続的に運転中の測定を行った。各運転サイクルにおける¹³¹Iの沈着量履歴を、原子炉出力と共にFig.4.1.1からFig.4.1.14に示す。また、短半減期の¹³²I、¹³³I、¹³⁴I及び¹³⁵Iの第59サイクルにおける沈着量を、それぞれFig.4.2からFig.4.5に示す。

運転サイクル中の¹³¹Iの沈着量は、前半サイクル初期から末期にかけておおよそ1桁上がり、後半サイクルではほぼ一定の沈着量で推移している。一定になる沈着量絶対値は各運転サイクル、燃料試料によって異なっている。¹³¹Iをはじめ他のFPを含めて、ある程度の沈着量になるとガス中のFP濃度、FP核種の沈着及び離脱、自己滅衰等がバランスして一定の沈着量になると考えられる。

¹³²I、¹³³I、¹³⁵Iの3核種は、原子炉停止後の減衰の様子が図から読み取れる。また、¹³⁴I($T_{1/2}=52.6\text{min}$)と¹³²I($T_{1/2}=2.3\text{h}$)は、他のヨウ素核種とは異なりヘリウムガス流路上流の測定点4に多く沈着している。

4. 2 原子炉停止時測定結果

原子炉停止時におけるキュービクル内各測定点の沈着量測定結果を、Table 4.1に示す。測定された沈着量は、減衰を考慮して各運転サイクルの原子炉停止日（Table 2.3 参照）の沈着量に補正されている。また、DGL-1 各燃料試料における燃料からの距離に対する沈着量分布を、Fig.4.6.1～Fig.4.6.8に示す。沈着量分布の傾向は、燃料試料からの距離が41mの測定点7を挟んで再生熱交換器伝熱管に多く沈着している。測定点7、No.1及びNo.2再生熱交換器伝熱管部のガス温度は、それぞれ240～350°C、250～550°C及び170～350°Cである。

5. 沈着量測定結果の検討

5. 1 原子炉運転中におけるヘリウムガス中のヨウ素濃度

原子炉運転中の後半サイクル停止前後に、ある時間間隔をおいて連続的に ^{131}I 量を測定した。この ^{131}I 量は、配管に沈着したFPとヘリウムガス中のFPの両方から放出されたγ線を単位面積当たりの放射能量に換算したものである。原子炉停止後は燃料温度が下がるため、燃料からの ^{131}I の放出は少なく、また、ヘリウムガス中の ^{131}I は1次系の精製運転により除去されるので、原子炉停止から数時間後の測定では配管に沈着した ^{131}I のみの量を測定できると考えられる。この停止時測定結果を運転中の任意の時刻に減衰補正し、運転中測定値から減じた値はヘリウムガス中の ^{131}I 濃度を示していると考えられる。評価は測定点4について行い、濃度は Bq/m^3 単位に換算した。ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度の推定値を、配管内面沈着量と共にTable 5.1 に示す。 ^{131}I 濃度は、 $10^6 \sim 10^8 (\text{Bq}/\text{m}^3)$ であった。これは、単位長さ(m)当たり $1.5 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^5 (\text{Bq})$ の放射能量に相当する。これに対して、単位長さ(m)当たりの沈着量は $5 \times 10^4 \sim 4 \times 10^6 (\text{Bq})$ であり、ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度はその運転サイクルの配管内面沈着量に比べて約1桁小さい量である。配管内面の沈着量に対してヘリウムガス中の ^{131}I 濃度は、非常に少ない量であると言える。

5. 2 燃料試料からのヨウ素放出割合

^{131}I の半減期は8.04日と短いが、減圧事故時の一般公衆の被ばく量を評価する上で重要な核種である。また、燃料試料から1次系への ^{131}I の放出量を知ることは被覆粒子燃料の健全性を知る上でも重要である。本測定で得られた沈着量測定結果から、各運転サイクルの ^{131}I の放出量を推定した。

当該運転サイクル前に沈着した ^{131}I は、運転サイクル間の原子炉停止期間の日数に比べて半減期が短いので無視出来る程に減衰している。従って、測定値はその運転サイクルに新たに沈着した量を示している。ある測定点での1次系配管内に存在する ^{131}I の放射能量(Bq)は、測定値(Bq/m^2)に測定点の配管内表面評価面積(m^2)を乗じて得られ、各測定点の放射能量和をOGL-1燃料試料からの放出量とした。 ^{131}I 放出量の推定結果を、Table 5.2 に示す。放出量の多かった燃料試料は第3次、第5次、第9次で、その値は約 $10^9 (\text{Bq})$ であった。

^{131}I の放出割合は、測定値より推定した放出量と比燃焼度より算出した生成量から推定した。 ^{131}I 放出割合の計算結果を、Table 5.3 に示す。放出割合は $2 \times 10^{-7} \sim 4 \times 10^{-5}$ の範囲であった。

5. 3 沈着挙動に関するガス温度の影響

OGL-1 各次燃料試料のガス温度に対する ^{131}I の沈着量（測定値）は、400 ~ 200°C の範囲で多い傾向を示している（Fig.4.6.1 ~ Fig.4.6.8参照）。一方、ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度は、燃料試料からの距離によって大きく異なる。FP沈着解析コード「PLAIN」⁽⁶⁾による計算では、燃料試料から約 30m の位置までは同一濃度であるが、これより距離の遠くなるヘリウムガス流路下流側では、その濃度は徐々に減少していく傾向を示している。同コードを用いて得られた各測定点におけるヘリウムガス中の ^{131}I 濃度比を、測定点 4 等を 100として燃料試料からの距離と共に Table 5.4 に示す。

ここでは、沈着量はヘリウムガス中の ^{131}I 濃度に比例するという前提の基に、各測定点のガス中の ^{131}I 濃度を燃料試料からの距離に関係無く同一濃度に規格化して、沈着量を算出した。Table 5.4 に示すように、 ^{131}I 濃度が各測定点で異なるため、沈着量とヘリウムガス温度の関係を求める場合には、 ^{131}I 濃度の違いについて補正する必要がある。例えば、Table 5.4において、各測定点での ^{131}I 濃度の違いを考慮すると測定点 7 は測定値を 5 倍、測定点 8 - 3 は 40 倍したものが ^{131}I 沈着量の補正值となる。こうして得られた補正值を、Table 5.5 に示す。また、各次燃料試料毎のヘリウムガス温度に対する沈着量補正值を、Fig.5.1.1 ~ Fig.5.1.5 に示す。各測定点におけるガス温度は 200 ~ 500°C であるが、この温度範囲での沈着量は、ガス温度の上昇と共に少なくなる傾向を示している。すなわち、 ^{131}I 濃度が 1 次系全体に渡って均一であれば、低温側に沈着し易いと言える。

ガス温度に対する ^{131}I 沈着量の関係を示す近似式を、平均法にて算出した。近似式は、 $A = b \cdot 10^{aT}$ とした。これは、 $\log A = aT + \log b$ の 1 次式を示している。

ここで、A : ^{131}I の沈着量 (Bq/m²) ,

T : ヘリウムガス温度 (°C) ,

a, b : 係 数 である。

下記に、各燃料試料毎に算出した近似式を示す。

$$\text{第8次燃料試料} : A = (2.1179 \times 10^9) \cdot 10^{(-0.00777)T}$$

$$\text{第9次燃料試料} : A = (1.9453 \times 10^{11}) \cdot 10^{(-0.00806)T}$$

$$\text{第10次燃料試料} : A = (8.5419 \times 10^{10}) \cdot 10^{(-0.01091)T}$$

$$\text{第11次燃料試料} : A = (1.3782 \times 10^{11}) \cdot 10^{(-0.01041)T}$$

$$\text{第12次燃料試料} : A = (1.0746 \times 10^9) \cdot 10^{(-0.00604)T}$$

傾きを示す係数 a は、-0.00604 ~ -0.01091 の範囲にあり、ガス温度の上昇に対して沈着量が減少する傾向を示す負号がついている。係数 a の絶対値は、OGL-1 運転条件の 1 つであるガス流量と相関があり、ガス流量が多ければ傾きは大きく、少なければ傾きは小さい傾向を示している。ヘリウムガスは 1 次系を循環しており、一定時間、単位長さ当たり（ここではヘリウムガス温度が 500°C ~ 200°C 間の長さ）に滞留している配管内ガス体積はガス流量に比例するから、ガス流量が多ければ必然的にガス中の ^{131}I 存在量は多くなる。従って、傾きの大少は総沈着量の多少の傾向を示し、ガス中の ^{131}I の存在量に依存する。

5. 4 沈着挙動に関する燃料温度の影響

JMTR第79サイクルにおいて、OGL-1燃料コンパクト温度を通常運転時の1330°Cから1500°Cへの昇温試験を行った。50MW到達時刻からの経過時間に対する¹³¹Iの計数率を、燃料コンパクト温度の変化と共にFig.5.2に示す。

4.1項で記述したように、燃料コンパクト温度が1330°Cの一定運転状態時では、¹³¹Iの沈着量は運転初期から末期にかけて約1桁増加する。1500°Cまでの昇温試験では、燃料コンパクト温度に追随するように運転初期に比べて、約2桁増加する(Fig.4.1.14参照)。この時、測定点4と7の沈着量はほぼ同じである。また、1500°Cから1330°Cに降温した後の沈着量履歴では、測定点4で減少するのに対し測定点7では増加している。この沈着挙動に対して、ヘリウムガス中の¹³¹I濃度について考える。燃料コンパクト温度を1330°Cから1500°Cに昇温した時、測定点4における希ガス濃度は^{85m}Krで1.7倍、⁸⁸Krで1.3倍、¹³⁵Xeで2.4倍、¹³⁸Xeで1.7倍(1.95×10^8 Bq/m³から 3.23×10^8 Bq/m³に増加)になった。希ガスと同様に¹³¹Iの濃度も、1330°C運転状態時に比べてかなり多くなっていると考えられる。コンパクト温度上昇に伴うFPの放出量増加に比例して¹³¹Iの濃度が短時間のうちに増加した場合、測定点4と7の¹³¹I濃度比は、Table 5.4に示す100対20以上に広がっていると考えられる(例えば100対10のように)。従って、測定点4では沈着量に影響するガス温度以上に¹³¹I濃度が上がった影響が寄与して、測定点7と同じ沈着量になっていると考えられる。尚、コンパクト温度が1330°Cと1500°Cとで測定点4のガス温度は30°C上昇した(370°Cから400°Cに)が、測定点7では変わらなかった(250°C)。1330°Cに降温した後は、¹³¹I濃度比がTable 5.4に示す値になり、ガス温度の違いによって沈着量に差がでたと考えられる。

5. 5 ガス中の¹³¹I濃度と沈着量の関係

5.1項で示したガス中の¹³¹I濃度と沈着量を単位長さ当たりの同一ディメンションに換算して、その関係を求める。各測定点の沈着量と濃度の一覧を、Table 5.6に示す。

鋼に対するヨウ素の化学吸着については、Langmuirの等温吸着式がよく知られている。N個の同位体中の核種iのLangmuirの等温吸着は、下記式で与えられる。

$$S_i = \frac{L \cdot K \cdot P_i}{1 + K \cdot \sum P_i}$$

ここで、 S_i ：同位体iの吸着密度 (mol/m²)

P_i ： S_i 中のiのガス分圧(Pa)

L ：吸着位置における濃度(mol/m²)

K ：吸着平衡定数 (Pa^{-1}) である。

ΣP_i 項は全ての同位体について分圧を積分したものであるが、高温ガス炉の場合は 1 に比べて非常に小さいと言われている。従って、

$$S_i = L \cdot K \cdot P_i$$

に簡略化できる。

上の簡略式は、ある同位体の吸着密度はガス分圧に比例することを示している。OGL-1 における各測定点のガス分圧を求めることは、ヘリウムガス中及び配管に沈着する核種が多く且つすべての核種の濃度及び沈着量が測定出来ないため困難である。従って、ここでは、ガス分圧をヘリウムガス中の ^{131}I 濃度に置き換えて、簡略式に則しているかを確認した。 ^{131}I 濃度に対する沈着量の関係を、Fig.5.3 に示す。測定点のヘリウムガス温度は 100, 200, 300, 400, 500°C と 100°C 毎にまとめた。各温度のデータにかなりのばらつきが見受けられるが、平均法にて近似式を算出した。近似式は、 $A = b \cdot C^a$ とした。

これは、 $\log A = a \cdot \log C + \log b$ の 1 次式を示している。

ここで、 $A : {}^{131}\text{I}$ の沈着量 (Bq/m)

$C :$ ヘリウムガス中の ${}^{131}\text{I}$ 濃度 (Bq/m)

a, b : 係数

である。

下記に、ヘリウムガス温度毎に算出した近似式を示す。

$$100^\circ\text{C} : A = (6.6817 \times 10^4) \cdot C^{0.4374}$$

$$200^\circ\text{C} : A = (3.6987 \times 10^4) \cdot C^{0.8204}$$

$$300^\circ\text{C} : A = (2.5414 \times 10^5) \cdot C^{0.4023}$$

$$400^\circ\text{C} : A = (1.3321 \times 10^3) \cdot C^{0.7040}$$

$$500^\circ\text{C} : A = (7.9362 \times 10^3) \cdot C^{0.3536}$$

いずれのヘリウムガス温度においても、沈着量は ${}^{131}\text{I}$ 濃度に比例している。また、簡略式中の吸着平衡定数にあたる数値を図から推定すると、

$$100^\circ\text{C} : 2 \times 10^3 (\text{m/Bq}), \quad 200^\circ\text{C} : 2 \times 10^4 (\text{m/Bq}), \quad 300^\circ\text{C} : 1 \times 10^5 (\text{m/Bq}),$$

$$400^\circ\text{C} : 2 \times 10^5 (\text{m/Bq}), \quad 500^\circ\text{C} : 6 \times 10^5 (\text{m/Bq}) \quad \text{となり},$$

ガス温度が上がるに従って定数も大きくなっている。

5. 6 各部の ^{131}I 沈着量

OGL-1ガスループの照射試料に近い上流側約100mにおいて測定した結果を、各配管領域に分けてまとめた。配管領域は①炉内管～三重管、②二重管、③No.1再生熱交換器伝熱管、④単管、⑤No.2再生熱交換器伝熱管、⑥単管（冷却器を含む）、⑦その他（最下流側配管）の7つに分けた。それぞれの領域における沈着量及び比率を、Table 5.7に示す。

OGL-1 1次系全体の平均沈着量(Bq/m^2)に対する比率は、No.1とNo.2再生熱交換器の間に位置する単管部で際立って大きな数値になっている。平均沈着量より多く沈着している配管部は、No.1からNo.2再生熱交換器にかけての約 20mに渡る区域である。また、1次系全体の総沈着量(Bq)に対する各領域の沈着割合は、No.1とNo.2再生熱交換器伝熱管部で大きく、それぞれ 20 ~ 30%を占めている。測定点7を含めたNo.1とNo.2再生熱交換器間の約 20mの領域に、約60%が沈着している。

6. ま と め

HTTRの安全設計に資するため、JMTRに設置されているOGL-1 の1次系配管を利用してFPプレートアウト測定を行った。測定方法は配管の外側に設置したGe検出器を用いて、配管を透過したγ線を計測する非破壊法である。今までの取得データのうち重要FP核種である ^{131}I の沈着量および沈着分布に関して以下のことことが明らかになった。

- ① ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度は、 $10^6 \sim 10^8 (\text{Bq}/\text{m}^3)$ であった。
- ② ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度は、沈着量に比べて約1桁少ない量である。
- ③ ^{131}I の放出割合は、 $2 \times 10^{-7} \sim 4 \times 10^{-5}$ であった。
- ④ ^{131}I 濃度が一定の場合（ガス温度範囲が 200 ~ 500°C），沈着量はガス温度の上昇と共に少なくなる傾向を示す。
- ⑤ 燃料コンパクト温度を1500°Cに昇温すると、運転初期の沈着量より約2桁多くなる。
- ⑥ ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度と沈着量の関係は、Langmuirの等温吸着式に即している。
- ⑦ ^{131}I は、ガス温度が 400 ~ 200°Cの範囲に多く沈着する。
- ⑧ No.1とNo.2再生熱交換器の約 20mの間に、総沈着量の約 60%が沈着する。

5. 6 各部の ^{131}I 沈着量

OGL-1ガスループの照射試料に近い上流側約100mにおいて測定した結果を、各配管領域に分けてまとめた。配管領域は①炉内管～三重管、②二重管、③No.1再生熱交換器伝熱管、④単管、⑤No.2再生熱交換器伝熱管、⑥単管（冷却器を含む）、⑦その他（最下流側配管）の7つに分けた。それぞれの領域における沈着量及び比率を、Table 5.7に示す。

OGL-1 1次系全体の平均沈着量(Bq/m^2)に対する比率は、No.1とNo.2再生熱交換器の間に位置する単管部で際立って大きな数値になっている。平均沈着量より多く沈着している配管部は、No.1からNo.2再生熱交換器にかけての約 20mに渡る区域である。また、1次系全体の総沈着量(Bq)に対する各領域の沈着割合は、No.1とNo.2再生熱交換器伝熱管部で大きく、それぞれ 20 ~ 30%を占めている。測定点7を含めたNo.1とNo.2再生熱交換器間の約 20mの領域に、約60%が沈着している。

6. ま と め

HTTRの安全設計に資するため、JMTRに設置されているOGL-1 の1次系配管を利用してFPプレートアウト測定を行った。測定方法は配管の外側に設置したGe検出器を用いて、配管を透過したγ線を計測する非破壊法である。今までの取得データのうち重要FP核種である ^{131}I の沈着量および沈着分布に関して以下のことことが明らかになった。

- ① ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度は、 $10^6 \sim 10^8 (\text{Bq}/\text{m}^3)$ であった。
- ② ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度は、沈着量に比べて約1桁少ないとある。
- ③ ^{131}I の放出割合は、 $2 \times 10^{-7} \sim 4 \times 10^{-5}$ であった。
- ④ ^{131}I 濃度が一定の場合（ガス温度範囲が 200 ~ 500°C），沈着量はガス温度の上昇と共に少なくなる傾向を示す。
- ⑤ 燃料コンパクト温度を1500°Cに昇温すると、運転初期の沈着量より約2桁多くなる。
- ⑥ ヘリウムガス中の ^{131}I 濃度と沈着量の関係は、Langmuirの等温吸着式に即している。
- ⑦ ^{131}I は、ガス温度が 400 ~ 200°Cの範囲に多く沈着する。
- ⑧ No.1とNo.2再生熱交換器の約 20mの間に、総沈着量の約 60%が沈着する。

謝 辞

本測定実験に係る放射線管理の面で多大な協力を頂いた管理部放射線管理課第1係長高橋豊氏をはじめ同係諸氏に深く感謝致します。また、本報告書をまとめる上で有益な助言を頂いた材料試験炉部長斎藤実氏及び計画課長山本克宗氏に深く感謝致します。

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(OG-L-1)の建設と性能試験」, 原子力学会誌, Vol.21, No.3, P39 ~ P61 (1979).
- (2) 馬場治, 露崎典平, 斎藤隆, 後藤一郎, 奥田豪博, 渡辺久: 「OG-L-1 FP プレートアウェット測定における沈着量換算係数」, JAERI-M 9593 (1981).
- (3) 露崎典平, 他「OG-L-1一次系における¹³¹Iの循環量に対する沈着量の評価(JMTR#67~#73サイクル)」, 原研所内報 (1987).
- (4) 林君夫, 小林紀昭, 湊和生, 足立守, 福田幸朔: 「第9次および第10次OG-L-1燃料体の黒鉛スリーブおよび黒鉛ブロック中の核分裂生成物の分布」, JAERI-M 88-210 (1988).
- (5) 露崎典平, 松本実喜夫: 「OG-L-1における¹³⁷Csの沈着分布」, JAERI-M 88-225 (1988).
- (6) 馬場治, 露崎典, 沢和弘: 「高温ガス炉におけるFP沈着解析コード - PLAIN -」, JAERI-M 88-266 (1989).
- (7) 松本実喜夫, 他「OG-L-1運転中の希ガス濃度測定結果(JMTR#57~#79サイクル)」, 原研所内報 (1991).
- (8) 松本実喜夫, 他「OG-L-1におけるよう素の沈着測定」, 原研所内報 (1992).
- (9) 日本原子力研究所, 高温工学試験研究の現状 (1987), (1988), (1989), (1990), (1991)
- (10) 放射線データブック, 地図書館 (1982)

謝 辞

本測定実験に係る放射線管理の面で多大な協力を頂いた管理部放射線管理課第1係長高橋豊氏をはじめ同係諸氏に深く感謝致します。また、本報告書をまとめる上で有益な助言を頂いた材料試験炉部長斎藤実氏及び計画課長山本克宗氏に深く感謝致します。

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(OG-L-1)の建設と性能試験」, 原子力学会誌, Vol.21, No.3, P39 ~ P61 (1979).
- (2) 馬場治, 露崎典平, 斎藤隆, 後藤一郎, 奥田豪博, 渡辺久: 「OG-L-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).
- (3) 露崎典平, 他「OG-L-1一次系における¹³¹Iの循環量に対する沈着量の評価(JMTR#67~#73サイクル)」, 原研所内報 (1987).
- (4) 林君夫, 小林紀昭, 湊和生, 足立守, 福田幸朔: 「第9次および第10次OG-L-1燃料体の黒鉛スリーブおよび黒鉛ブロック中の核分裂生成物の分布」, JAERI-M 88-210 (1988).
- (5) 露崎典平, 松本実喜夫: 「OG-L-1における¹³⁷Csの沈着分布」, JAERI-M 88-225 (1988).
- (6) 馬場治, 露崎典, 沢和弘: 「高温ガス炉におけるFP沈着解析コード—PLAIN—」, JAERI-M 88-266 (1989).
- (7) 松本実喜夫, 他「OG-L-1運転中の希ガス濃度測定結果(JMTR#57~#79サイクル)」, 原研所内報 (1991).
- (8) 松本実喜夫, 他「OG-L-1におけるよう素の沈着測定」, 原研所内報 (1992).
- (9) 日本原子力研究所, 高温工学試験研究の現状 (1987), (1988), (1989), (1990), (1991)
- (10) 放射線データブック, 地図書館 (1982)

Table 2.1 Main characteristics of OGL-1

coolant	Helium gas (less than 10 ppm total impurity)		
operating pressure	maximum	3 MPa	
operating temperature	maximum	1000°C	
mass flow	maximum	6 kg/min	
Neutron flux			
thermal	average	4.2×10^{13} cm $^{-2}$ s $^{-1}$	
fast (> 1 MeV)	average	8.7×10^{12} cm $^{-2}$ s $^{-1}$	
Nuclear heat of fuel specimen	maximum	135 kW	
Max. dimensions of specimen	82 mm (diameter) \times 750 mm (length)		

Table 2.2 Actual operating traces of OGL-1 (1/3)

No. of irradiation Fuel	3 rd				4 th				5 th				6 th				7 th			
	46th	47th	48th	49th	50th	51st	52nd	53rd	54th	55th	56th	57th	58th	59th	60th	61st	62nd	63rd		
JMTR operating cycle																				
Reactor power (MW)	49.8	49.7	49.8	49.9	49.8	49.8	49.8	49.8	49.8	49.8	49.9	49.8	49.8	50.0	49.8	49.9	49.8	49.8		
OGL-1 fuel power (kW)	36.9	37.7	73.6	73.7	76.1	72.6	65.3	65.7	69.9	70.2	62.9	63.5	63.2	40.6	67.4	63.3	64.8	62.1		
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	80.4	80.7	84.2	79.9		
Primary gas pressure (kg/cm ² G)	29.7	29.0	29.0	29.1	29.0	29.1	29.0	29.3	29.1	29.5	29.8	29.8	29.6	29.7	29.6	29.4	29.8	29.6		
Outlet gas temperature at test specimen (°C)	839	763	823	785	806	—	872	886	846	794	851	842	827	841	837	855	664	862		
Surface temperature at flow partition tube (°C)	551	509	583	539	520	521	623	633	567	527	606	595	583	585	582	620	430	633		
Outlet gas temperature at in-pile tube (°C)	523	465	528	480	497	497	575	541	458	461	563	545	532	528	520	567	359	581		
Inlet gas temperature at No.1 IHX (°C)	466	428	503	457	473	472	548	516	438	445	540	524	511	493	496	541	344	554		
Outlet gas temperature at No.1 IHX (°C)	277	266	326	300	312	286	357	340	302	307	356	347	338	297	326	348	249	355		
Outlet gas temperature at No.2 IHX (°C)	170	169	215	201	205	222	227	216	203	216	231	227	226	182	221	230	192	233		
Outlet gas temperature at main cooler (°C)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	35	35	35	33	35	36	34	36		
Outlet gas temperature at mixing tee of coolant (°C)	130	130	130	131	131	130	130	130	130	129	129	129	129	130	130	130	130	130		

Notice) IHX : Intermediate heat exchanger.

Table 2.2 Actual operating traces of OGL-1 (2/3)

No. of irradiation Fuel	8 t h								9 t h								10 t h							
	64th	65th	66th	67th	68th	69th	70th	71st	72nd	73rd	74th	75th	76th	77th	78th	79th	79th	79th						
JMTR operating cycle																								
Reactor power (MW)	49.9	49.8	49.9	49.9	49.8	49.2	50.0	49.7	49.7	49.9	50.0	49.8	49.8	49.9	49.9	49.9	50.0							
OGL-1 fuel power (kW)	45.8	45.8	46.7	42.3	42.7	40.3	40.7	43.2	41.7	41.7	48.8	44.1	47.8	46.8	47.3	45.9								
Primary gas flow (g/s)	55.0	55.1	63.0	59.6	60.1	58.5	59.6	64.8	64.9	63.9	65.0	64.7	65.3	65.3	65.2	65.2	51.0							
Primary gas pressure (kg/cm ² G)	29.7	24.5	24.5	29.3	29.6	29.6	29.3	29.5	29.5	29.4	29.3	29.3	29.6	29.4	29.6	29.6								
Outlet gas temperature at test specimen (°C)	878	857	884	891	876	881	872	823	825	831	779	766	766	776	773	794								
Surface temperature at flow partition tube (°C)	645	632	632	664	642	657	640	612	623	627	535	522	513	513	512	592								
Outlet gas temperature at im-pile tube (°C)	480	442	590	548	531	558	550	465	470	469	397	404	378	387	377	433								
Inlet gas temperature at No.1 IHX (°C)	449	415	559	514	499	523	517	441	447	446	378	384	358	367	358	403								
Outlet gas temperature at No.1 IHX (°C)	280	268	350	310	309	320	321	288	291	290	254	257	244	248	243	256								
Outlet gas temperature at No.2 IHX (°C)	185	189	231	193	188	191	193	187	187	186	178	179	172	175	173	169								
Outlet gas temperature at main cooler (°C)	27	27	30	28	28	30	30	30	30	29	30	30	30	30	30	29								
Outlet gas temperature at mixing tee of coolant(°C)	130	130	130	130	130	130	129	129	129	130	129	130	130	130	130	130								

Notice) IHX : Intermediate heat exchanger.

Table 2.2 Actual operating traces of OGL-1 (3/3)

No. of irradiation Fuel	11th						12th			
JMTR operating cycle	80th	81st	82nd	83rd	84th	85th	86th	87th	88th	89th
Reactor power (MW)	50.0	49.9	50.0	49.9	49.8	49.9	49.9	49.5	50.0	50.0
OGL-1 fuel power (kW)	67.4	67.3	67.4	31.2	31.0	29.9	29.5	29.3	31.6	31.4
Primary gas flow (g/s)	75.0	74.9	75.0	45.4	44.8	44.8	44.2	44.4	45.3	45.5
Primary gas pressure (kg/cm ² G)	29.4	29.4	29.3	29.4	29.3	29.3	29.3	29.3	29.4	29.4
Outlet gas temperature at test specimen (°C)	918	916	921	767	766	767	772	761	718	716
Surface temperature at flow partition tube (°C)	636	638	644	550	543	546	553	543	466	464
Outlet gas temperature at in-pile tube (°C)	507	502	505	523	512	516	527	515	408	405
Inlet gas temperature at No.1 IHX (°C)	484	479	481	483	472	477	487	475	378	376
Outlet gas temperature at No.1 IHX (°C)	316	315	314	285	279	281	284	280	240	239
Outlet gas temperature at No.2 IHX (°C)	209	209	209	176	173	174	174	173	160	161
Outlet gas temperature at main cooler (°C)	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35
Outlet gas temperature at mixing tee of coolant (°C)	129	129	129	130	130	131	130	130	130	129

Notice) IHX : Intermediate heat exchanger.

Table 2.3 Fuels irradiated in OGL-1 (1/2)

No. of irradiation fuel	JMTR operating cycle	Start-up date Shutdown date	Irradiation time (hour) []; accumulation	Max.linear heat rate of fuel compact (W/cm)	Max.burnup (MWd/t) []; accumulation	Max.temperature of fuel compact (°C)	Max.temperature of He gas at outlet of test specimen (°C)
3 rd	4 6 t h	Mar.29,1979 Apr.24,1979	4 6 7	6 3 4	2 0 9 2	1 2 9 0	9 3 0
	4 7 t h	Jun.18,1979 Jul.13,1979	5 0 9 (9 7 6)	7 0 4	2 3 2 3 (4 4 1 5)	1 2 1 0	8 3 4
4 th	4 8 t h	Nov.14,1979 Dec. 7, 1979	5 1 2. 2	4 4 0	3 7 5 6	1 3 5 0	9 4 5
	4 9 t h	Jan.19,1980 Feb.10,1980	4 6 2. 3	4 4 0	3 3 9 0	1 3 4 0	9 2 0
	5 0 t h	Feb.26,1980 Mar.29,1980	4 9 7. 4	4 7 5	3 9 3 8	1 3 4 0	9 2 5
	5 1 s t	May.16,1980 Jun. 7, 1980	4 0 0. 6 (1872.5)	4 7 5	3 1 7 1 (14255)	1 3 3 0	9 2 5
5 th	5 2 n d	Dec.15,1980 Feb. 1, 1981	4 7 5. 2	4 6 9	3 7 1 3	1 3 4 0	1 0 0 0
	5 3 r d	Feb.28,1981 Mar.24,1981	4 5 0. 1	4 6 9	3 5 1 8	1 3 6 0	1 0 1 0
	5 4 t h	May. 9,1981 Jun. 3, 1981	5 2 0. 5	5 0 2	4 3 5 5	1 3 5 6	9 6 3
	5 5 t h	Sep.24,1981 Oct.19,1981	5 1 9. 3	5 0 6	4 3 7 9	1 3 6 0	9 1 3
	5 6 t h	Nov.16,1981 Dec.10,1981	4 5 7. 9	4 5 1	3 4 2 2	1 3 6 2	9 5 7
	5 7 t h	Jan.19,1982 Feb.13,1982	4 6 7. 6	4 5 6	3 5 4 4	1 3 6 2	9 4 8
	5 8 t h	Mar.13,1982 Apr. 7, 1982	5 2 5. 2 (3415.8)	4 4 8	3 7 5 7 (26688)	1 3 3 6	9 2 8
6 t h	5 9 t h	Jun.12,1982 Jul. 7, 1982	5 2 5. 2	8 1 4	3 5 6 3	1 4 9 0	9 5 7
7 t h	6 0 t h	Nov.21,1982 Dec.15,1982	4 6 5. 3	4 7 4	3 6 8 7	1 3 9 7	9 9 0
	6 1 s t	Jan.26,1983 Feb.18,1983	4 6 8. 7	4 4 9	3 5 1 9	1 3 9 6	1 0 0 1
	6 2 n d	Leave off work	----	----	----	----	---
	6 3 r d	May.28,1983 Jun.22,1983	4 5 8. 4 (1392.4)	4 3 3	3 3 1 9 (10525)	1 2 9 2	1 0 0 3
8 t h	6 4 t h	Jan.11,1984 Feb. 8, 1984	2 7 5. 2	8 4 3	1 9 3 5	1 3 9 2	9 0 0
	6 5 t h	Mar. 4,1984 Apr. 1,1984	4 8 6. 3	8 7 5	3 3 6 1	1 3 9 3	8 6 6
	6 6 t h	May. 6,1984 Jun. 3,1984	5 1 9. 3 (1280.8)	8 8 9	3 6 4 8 (8 9 4 4)	1 4 0 3	8 9 0

Table 2.3 Fuels irradiated in OGL-1 (2/2)

No. of irradiation fuel	JMTR operating cycle	Start-up date Shutdown date	Irradiation time(Hour) [] ; accumulation	Max.linear heat rate of compact (W/cm)	Max.burnup (MWD/t) [] ; accumulation	Max.temperature of fuel compact (°C)	Max.temperature of He gas at outlet of test specimen (°C)
9 th	67 th	Jan.14,1985 Feb. 8,1985	523. 7	794	3282	1365	933
	68 th	Mar. 5,1985 Mar.30,1985	525. 8	795	3326	1368	918
	69 th	May.10,1985 Jun. 4,1985	471. 6	752	2866	1356	903
	70 th	Sep.20,1985 Oct.15,1985	480. 8	754	2896	1361	887
	71 st	Nov.13,1985 Dec. 8,1985	514. 3	865	3294	1364	847
	72 nd	Jan.14,1986 Feb. 5,1986	466. 8	773	2896	1361	837
	73 rd	Mar. 6,1986 Mar.31,1986	483. 9 [3466.9]	774	2989 [21549]	1363	849
10 th	74 th	May.21,1986 Jun.15,1986	526. 8	899	3861	1231	811
	75 th	Jul. 8,1986 Aug. 2,1986	525. 9	825	3499	1212	793
	76 th	Nov.28,1986 Dec.23,1986	524. 3	887	3779	1240*)	774
	77 th	Jan.28,1987 Feb.22,1987	526. 7	901	3766	1260*)	783
	78 th	Mar.17,1987 Apr.11,1987	524. 6	904	3751	1280*)	775
	79 th	Jun. 2,1987 Jun.27,1987	482. 2 [3110.5]	864	3439 [22095]	1420*)	911
11 th	80 th	Feb. 3,1988 Feb.28,1988	513. 6	466	4063	1353	968
	81 st	Mar.23,1988 Apr.17,1988	517. 1	462	3948	1354	961
	82 nd	Jun. 1,1988 Jul. 2,1988	430. 7 [1461.4]	469	3287 [11298]	1358	976
12 th	83 rd	Oct.13,1988 Nov. 8,1988	457. 4	573	3130	1361	891
	84 th	Nov.29,1988 Dec.24,1988	517. 7	572	3466	1351	889
	85 th	Feb. 1,1989 Feb.26,1989	512. 7	563	3331	1355	893
	86 th	Mar.22,1989 Apr.16,1989	523. 7	548	3330	1355	895
	87 th	Jun. 7,1989 Jul. 1,1989	499. 8	549	3164	1358	889
	88 th	Nov.24,1989 Dec.19,1989	519. 6	593	3534	1358	855
	89 th	Jan.25,1990 Feb.21,1990	521. 6	578	3566	1353	844
	90 th	Mar.17,1990 Apr.11,1990	523. 5	592	3560	1360	846
	91 st	May. 9,1990 Jun. 3,1990	515. 7 [4591.7]	614	3542 [30623]	1356	833

*) presumed values

Table 2.4 Impurities in helium gas of OGL-1

Impurities	Concentrations (vpm)
H_2O	0. 05 ~ 0. 1
O_2	< 0. 13
N_2	0. 3 ~ 0. 6
H_2	< 2
$C H_4$	< 0. 25
CO	< 0. 25
CO_2	< 0. 14

Table 3.1 High-purity germanium coaxial detector specification

Detector No.	2	3	5	6
Detector size (mm)	$\phi 44.0 \times 56.5\ell$	$\phi 46.3 \times 46.5\ell$	$\phi 42.9 \times 58.4\ell$	$\phi 49.3 \times 39.0\ell$
Operating bias (V)	4000	4500	2500	3500
FWHM (keV)	*1) 1.85	1.76	1.99	1.78
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 1.33MeV.

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

Table 3.2 Main features of the measuring location

Measuring location	Pipe diameter (mm)	Interval between the pipe and the detector (mm)	Distance from the fuel (m)	Type of the collimator
1	5 9 . 0	3 1 6	1 3 . 3	Vertical
2	4 4 . 6	3 7 1	1 5 . 7	Vertical
4	4 4 . 6	3 4 1	2 6 . 0	Horizontal
5	4 4 . 6	3 4 6	2 6 . 7	Vertical
6	4 4 . 6	3 4 6	3 1 . 2	Vertical
8 - 1	1 1 . 9	5 0 0	3 3 . 5	Vertical
8 - 2	1 1 . 9	5 0 0	3 7 . 0	Vertical
7	5 2 . 7	3 6 8	4 1 . 0	Horizontal
8 - 3	1 2 . 7	5 0 0	4 6 . 5	Vertical
8 - 4	1 2 . 7	5 0 0	4 9 . 0	Vertical
3	5 2 . 7	3 0 8	6 1 . 0	Vertical
1 0	5 2 . 7	3 0 8	7 5 . 0	Vertical
1 1	5 2 . 7	2 3 6	8 4 . 7	Horizontal
1 3	5 2 . 7	3 2 3	8 8 . 7	Vertical
1 4	5 2 . 7	2 9 3	1 0 2 . 8	Vertical
9	5 2 . 7	3 3 3	5 7 . 3	Vertical

Table 4.1 Activity of iodine 131 plated-out in OGL-1 (1/2)

No. of irradiation cycle JMTR operating location	3 rd				4 th				5 th				6 th				7 th			
	46th	47th	48th	49th	50th	51st	52nd	53rd	54th	55th	56th	57th	58th	59th	60th	61st	63rd			
1	5.6E+7	3.1E+7	<	<	2.0E+5	<	8.5E+6	5.2E+6	1.2E+7	4.8E+6	4.4E+6	4.4E+6	<	2.7E+6	5.6E+5	5.2E+5	2.7E+5			
2	1.1E+7	<	<	<	<	<	1.7E+6	9.6E+5	2.0E+6	7.8E+5	1.0E+6	8.5E+5	1.0E+6	<	1.3E+5	<	<			
4	3.4E+7	2.1E+7	1.7E+5	2.3E+5	2.1E+5	1.7E+5	1.6E+7	1.2E+7	1.9E+7	1.1E+7	8.1E+6	6.3E+6	5.9E+6	1.5E+6	4.1E+5	3.1E+5	<			
5	4.1E+7	2.4E+7	<	7.0E+4	6.7E+4	<	5.9E+6	4.4E+6	7.8E+6	3.4E+6	4.1E+6	4.1E+6	2.3E+6	1.6E+6	2.0E+5	1.9E+5	<			
6	<	2.4E+7	<	1.3E+5	1.5E+5	<	1.0E+7	7.4E+6	1.2E+7	3.1E+6	6.7E+6	6.7E+6	4.4E+6	2.1E+6	4.1E+5	3.2E+5	2.4E+5			
7	8.9E+7	8.9E+7	3.2E+5	3.3E+5	4.4E+5	4.4E+5	9.6E+5	7.8E+7	1.1E+8	6.3E+7	4.8E+7	4.8E+7	5.6E+7	1.4E+7	2.3E+6	2.5E+6	2.1E+6			
3	<	7.3E+7	3.1E+6	1.6E+6	2.1E+5	1.6E+6	2.2E+6	1.1E+8	8.1E+7	1.4E+8	<	7.4E+7	5.9E+7	8.5E+7	8.9E+6	3.6E+6	2.7E+6	1.7E+6		
10	1.5E+8	8.9E+5	4.1E+5	2.3E+5	4.4E+5	2.1E+5	2.4E+7	1.7E+7	1.1E+7	<	1.1E+7	2.2E+6	7.4E+6	5.6E+5	6.3E+5	4.1E+5	<			
11	2.4E+8	1.9E+8	2.9E+6	4.8E+6	4.1E+6	4.1E+6	5.2E+5	4.4E+7	4.1E+7	5.9E+7	5.6E+7	4.1E+7	5.2E+7	7.4E+6	2.8E+6	3.6E+6	<			
13	3.7E+7	1.9E+7	1.2E+6	1.5E+6	1.4E+6	1.0E+6	1.1E+8	5.6E+7	2.7E+7	<	1.8E+7	4.1E+6	7.0E+6	4.8E+5	8.9E+5	6.3E+5	<			
14	4.1E+7	4.1E+6	1.1E+6	1.0E+6	7.8E+5	4.1E+7	3.2E+7	1.3E+7	<	7.8E+6	1.4E+6	2.7E+6	<	5.2E+5	2.2E+5	<				
9	3.4E+8	1.7E+8	<	1.1E+6	1.1E+6	1.2E+6	6.7E+7	4.1E+7	8.9E+7	3.7E+7	5.6E+7	5.2E+7	1.2E+7	3.2E+6	2.0E+6	<				

Notice) Blank of ○ stands for no measured.

Table 4.1 Activity of iodine 131 plated-out in OGL-1 (2/2)

No. of irradiation fuel MTR operating cycle	Measuring location	8 th						9 th						10 th						11 th								
		64th	65th	67th	68th	69th	70th	71st	72d	73d	75th	76th	77th	79th	80th	82nd	83rd	87th	88th	89th	91st							
1	1.0E+6	1.6E+6	2.1E+7	2.2E+7		1.3E+7	3.0E+7	1.9E+7	3.7E+7	3.3E+6	6.7E+6	8.5E+6	3.7E+7	1.8E+6	2.8E+5	7.0E+5	1.1E+6	<	1.8E+6	2.5E+6								
2	2.8E+5	7.0E+5	4.1E+6	1.8E+6	2.8E+6	5.6E+6	3.5E+6	8.5E+6	7.0E+5	1.3E+6	1.4E+6	6.7E+6	4.4E+5	<		2.3E+5	<	2.4E+5	4.8E+5									
4	4.8E+5	6.7E+5	1.4E+7	1.3E+7	5.2E+6	1.2E+7	2.3E+7	1.9E+7	2.7E+7	4.1E+6	7.8E+6	1.0E+7	2.8E+7	2.0E+6	1.0E+6	1.3E+6	4.1E+6	3.0E+6	5.0E+6									
5	5.2E+5	8.1E+5	1.4E+7	1.7E+7	6.3E+6	1.5E+7	2.7E+7	2.2E+7	3.1E+7	4.4E+6	9.6E+6	1.2E+7	3.5E+7	1.4E+6	8.1E+5	8.9E+5	2.4E+6	4.8E+6	4.8E+6	5.0E+6								
6	6.6E+5	1.2E+6	3.5E+7	3.0E+7	<	2.4E+7	4.1E+7	4.1E+7	4.8E+7	7.0E+6	1.4E+7	1.7E+7	4.4E+7	5.2E+6	2.3E+6	<	4.1E+6	7.0E+6	6.7E+6	7.8E+6								
8-1	7.3E+5	6.6E+5	1.8E+7	2.6E+7	1.3E+7	1.9E+7	4.1E+7	4.1E+7	5.0E+7	4.1E+7	9.3E+6	1.1E+7	4.1E+7	4.1E+6	3.0E+5		2.6E+6	1.0E+7	8.5E+6	1.2E+7								
8-2	1.8E+6	1.4E+6	8.1E+7	6.7E+7	3.5E+7	6.7E+7	7.8E+7	8.5E+7	9.3E+7	1.2E+7	2.3E+7	2.8E+7	1.1E+8	7.0E+6	3.5E+6		7.0E+6	1.3E+7	9.3E+6	6.7E+6								
7	3.9E+6	8.1E+6	2.1E+8	1.4E+8	7.8E+7	1.3E+8	1.8E+8	1.8E+8	1.6E+8	2.5E+7	4.1E+7	5.9E+7	1.4E+8	3.7E+7	2.1E+7	5.9E+6		7.0E+6	1.3E+7	9.3E+6	6.7E+6							
8-3	7.9E+5	1.7E+6	1.0E+8	6.7E+7	3.0E+7	4.4E+7	7.8E+7	4.4E+7	5.3E+7	1.2E+7	2.1E+7	2.7E+7	5.3E+7	2.3E+7	5.9E+6		4.1E+6	1.1E+7	8.1E+6	5.9E+6	3.0E+6							
8-4	8.6E+5	1.3E+6	1.3E+8	6.7E+7	3.4E+7	4.1E+7	7.4E+7	4.4E+7	7.4E+7	5.6E+6	1.0E+7	1.3E+7	1.3E+7	6.7E+6	7.0E+5		5.9E+5	1.7E+6	1.5E+6	<								
3	2.7E+5		8.1E+7		1.9E+7		3.7E+7		2.7E+7		3.4E+6		2.4E+6		2.5E+6		1.1E+7	3.7E+6		3.2E+5		<						
10	<		2.6E+6		1.7E+5		5.6E+5		5.2E+5		1.6E+6		1.4E+5		2.0E+5		5.9E+5	1.6E+5	<			<						

Notice) ; Blank of < ; were not measured.
 Sym \ominus stands for \textcircled{O} not detected.

Table 5.1 Concentration of iodine 131 in helium gas

No. of irradiation fuel	JMTR operating cycle	Concentration of iodine 131 in helium gas (Bq/m ³) () ; (Bq/m)	Activity of iodine 131 plated-out (Bq/m ²) () ; (Bq/m)
5 th	57 th	$7.4 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$ ($1.2 \times 10^5 \sim 1.7 \times 10^5$)	6.3×10^6 (8.8×10^5)
	58 th	$7.4 \times 10^7 \sim 1.5 \times 10^8$ ($1.2 \times 10^5 \sim 2.3 \times 10^5$)	5.9×10^6 (8.3×10^5)
7 th	60 th	1.5×10^7 (2.3×10^4)	4.1×10^5 (5.7×10^4)
9 th	68 th	$1.5 \times 10^6 \sim 7.4 \times 10^7$ ($2.3 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^5$)	1.3×10^7 (1.8×10^6)
10 th	75 th	$3.7 \times 10^6 \sim 7.4 \times 10^6$ ($5.8 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^4$)	4.1×10^6 (5.7×10^5)
	76 th	2.6×10^7 (4.1×10^4)	7.8×10^6 (1.1×10^6)
	79 th	3.7×10^7 (5.8×10^4)	2.8×10^7 (3.9×10^6)

Table 5.2 Iodine 131 activity released from HTTR fuels

No. of irradiation fuel	JMTR operating cycle	Iodine 131 release activity (Bq)
3 r d	4 6 t h 4 7 t h	2. 6 8 E + 9 1. 7 7 E + 9
4 t h	4 8 t h 4 9 t h 5 0 t h 5 1 s t	5. 0 0 E + 7 3. 2 9 E + 7 3. 8 5 E + 7 3. 7 0 E + 7
5 t h	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	1. 9 3 E + 9 1. 4 0 E + 9 2. 0 8 E + 9 8. 9 9 E + 8 1. 1 8 E + 9 9. 1 8 E + 8 1. 2 4 E + 9
6 t h	5 9 t h	1. 7 1 E + 8
7 t h	6 0 t h 6 1 s t 6 3 r d	6. 0 7 E + 7 4. 7 4 E + 7 3. 0 7 E + 7
8 t h	6 4 t h 6 5 t h 6 6 t h	2. 6 6 E + 7 4. 0 7 E + 7 3. 0 3 E + 7
9 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	2. 0 5 E + 9 1. 3 1 E + 9 6. 4 4 E + 8 9. 9 9 E + 8 1. 5 8 E + 9 1. 2 9 E + 9 1. 5 9 E + 9
10 t h	7 4 t h 7 5 t h 7 6 t h 7 7 t h 7 9 t h	3. 1 5 E + 8 2. 0 0 E + 8 3. 5 5 E + 8 4. 4 4 E + 8 1. 2 0 E + 9
11 t h	8 0 t h 8 2 n d	2. 1 7 E + 8 7. 2 1 E + 7
12 t h	8 7 t h 8 8 t h 8 9 t h 9 1 s t	6. 4 2 E + 7 1. 2 7 E + 8 8. 1 7 E + 7 7. 9 8 E + 7

Notice) ©E+O stands for ©×10⁹.

Table 5.3 Iodine 131 release rate from HTTR fuels

No. of irradiation fuel	JMTR operating cycle	Iodine 131 release rate
3 r d	4 6 t h	3. 8 1 E - 5
	4 7 t h	2. 2 6 E - 5
4 t h	4 8 t h	3. 1 8 E - 7
	4 9 t h	2. 3 3 E - 7
	5 0 t h	2. 3 3 E - 7
	5 1 s t	2. 8 0 E - 7
5 t h	5 2 n d	1. 2 3 E - 5
	5 3 r d	9. 4 0 E - 6
	5 4 t h	1. 1 2 E - 5
	5 5 t h	4. 8 6 E - 6
	5 6 t h	8. 1 4 E - 6
	5 7 t h	6. 1 2 E - 6
	5 8 t h	7. 8 0 E - 6
6 t h	5 9 t h	1. 6 9 E - 6
7 t h	6 0 t h	3. 8 9 E - 7
	6 1 s t	3. 1 8 E - 7
	6 3 r d	2. 1 8 E - 7
8 t h	6 4 t h	4. 8 6 E - 7
	6 5 t h	4. 2 6 E - 7
	6 6 t h	2. 9 4 E - 7
9 t h	6 7 t h	2. 2 1 E - 5
	6 8 t h	1. 3 9 E - 5
	6 9 t h	7. 9 4 E - 6
	7 0 t h	1. 2 2 E - 5
	7 1 s t	1. 7 0 E - 5
	7 2 n d	1. 5 8 E - 5
	7 3 r d	1. 8 8 E - 5
1 0 t h	7 4 t h	2. 8 9 E - 6
	7 5 t h	2. 0 2 E - 6
	7 6 t h	3. 3 2 E - 6
	7 7 t h	4. 1 9 E - 6
	7 9 t h	1. 2 3 E - 5
1 1 t h	8 0 t h	1. 2 6 E - 6
	8 2 n d	4. 3 2 E - 7
1 2 t h	8 7 t h	1. 0 4 E - 6
	8 8 t h	1. 8 4 E - 6
	8 9 t h	1. 1 7 E - 6
	9 1 s t	1. 1 5 E - 6

Notice) ©E-© stands for ©×10^{-©}.

Table 5.4 Iodine 131 concentration ratio in helium gas
at measuring location

Measuring location	Distance from fuel exit (m)	Iodine 131 concentration ratio in helium gas (%)
1	13.27	1 0 0
2	15.70	1 0 0
4	26.04	1 0 0
5	26.71	1 0 0
6	31.20	1 0 0
8 - 1	33.50	5 8
8 - 2	37.00	5 8
7	40.99	2 0
8 - 3	46.50	2 . 5
8 - 4	49.00	2 . 5
3	60.95	0 . 2 7
1 1	84.74	0 . 2 0
1 3	88.66	0 . 2 0
1 4	102.78	0 . 2 0

Table 5.5 Activity of iodine 131 plated-out in OGL-1 (Corrected value)

(B q/m²)

No. of irradiation fuel operating cycle	Measuring location	8 t h			9 t h			10 t h			11 t h			12 t h		
		64th	65th	67th	68th	70th	71st	72nd	73rd	75th	76th	77th	78th	82nd	87th	88th
1	1.0E+6 (482)	1.6E+6 (444)	2.1E+7 (549)	2.2E+7 (532)	3.0E+7 (467)	1.3E+7 (551)	1.9E+7 (472)	3.7E+7 (471)	3.3E+6 (405)	6.7E+6 (380)	8.5E+6 (388)	1.8E+6 (509)	2.8E+5 (507)	1.1E+6 (515)	< (409)	1.8E+6 (406)
4	4.8E+5 (453)	6.7E+5 (423)	1.4E+7 (524)	1.3E+7 (509)	1.2E+7 (527)	2.3E+7 (448)	1.9E+7 (454)	2.7E+7 (453)	4.1E+6 (390)	7.8E+6 (364)	1.0E+7 (373)	2.6E+6 (491)	1.6E+6 (488)	1.3E+6 (487)	4.1E+6 (387)	3.0E+6 (385)
6	6.6E+5 (450)	1.2E+6 (416)	3.5E+7 (515)	3.0E+7 (500)	3.2E+7 (518)	2.4E+7 (442)	4.1E+7 (448)	4.8E+7 (447)	7.0E+6 (384)	1.4E+7 (358)	1.4E+7 (358)	1.7E+7 (367)	5.2E+6 (485)	2.3E+6 (482)	4.1E+6 (476)	7.0E+6 (379)
8 - 1	1.2E+6 (406)	1.1E+6 (378)	3.1E+7 (462)	4.4E+7 (451)	4.4E+7 (467)	3.2E+7 (402)	7.0E+7 (408)	9.5E+7 (407)	7.0E+6 (352)	1.6E+7 (329)	1.9E+7 (337)	1.9E+7 (442)	5.1E+5 (439)	4.4E+6 (426)	1.7E+7 (343)	1.4E+7 (341)
8 - 2	3.1E+6 (328)	2.4E+6 (309)	1.4E+8 (368)	1.1E+8 (363)	1.1E+8 (376)	1.3E+8 (331)	1.4E+8 (335)	1.6E+8 (334)	2.0E+7 (293)	3.9E+7 (276)	4.8E+7 (282)	1.2E+7 (383)	6.0E+6 (361)	1.2E+7 (335)	2.2E+7 (279)	1.6E+7 (278)
7	2.0E+7 (280)	4.1E+7 (268)	1.1E+9 (310)	7.0E+8 (309)	6.5E+8 (321)	9.0E+8 (288)	9.0E+8 (291)	8.0E+8 (290)	8.0E+8 (257)	2.1E+8 (244)	3.0E+8 (248)	1.9E+8 (316)	1.1E+8 (314)	5.5E+7 (316)	4.1E+7 (280)	3.0E+7 (240)
8 - 3	3.2E+7 (241)	6.8E+7 (235)	4.0E+9 (262)	2.7E+9 (259)	1.8E+9 (268)	3.1E+9 (246)	1.8E+9 (248)	2.4E+9 (247)	2.4E+9 (225)	4.8E+8 (214)	8.4E+8 (218)	9.2E+8 (218)	2.4E+8 (211)	1.6E+8 (211)	4.4E+8 (236)	8.0E+7 (207)
8 - 4	3.4E+7 (206)	5.2E+7 (207)	5.2E+9 (219)	2.7E+9 (215)	1.6E+9 (222)	3.0E+9 (210)	1.8E+9 (210)	3.0E+9 (209)	2.2E+8 (196)	4.0E+8 (188)	5.2E+8 (191)	2.7E+8 (233)	2.8E+7 (233)	2.4E+7 (197)	6.8E+7 (178)	< (167)
3	1.0E+8 (185)	3.0E+10 (189)	(193)	(188)	(193)	1.4E+10 (187)	(187)	1.0E+10 (186)	1.3E+9 (179)	(172)	8.9E+8 (175)	4.1E+9 (209)	1.4E+9 (209)	1.2E+8 (173)	< (160)	< (152)

Notice) ; Blank ; were not measured.

Symbol of < ; were not detected.

(Value) ; Helium gas temperature (unit, °C)

◎E+○ stands for ◎×10⁰.

Table 5.6 Plated-out activity and concentration in helium gas of iodine 131

(Bq/m)

No. of irradiation fuel JWTR operating cycle	Activity(Act.), Measuring concentration location	5 t h				7 t h				9 t h				10 t h			
		57th		58th		60th		68th		75th		76th		79th			
		Act.	Conce.	Act.	Conce.	Act.	Conce.	Act.	Conce.	Act.	Conce.	Act.	Conce.	Act.	Conce.		
1	8.2E+5	1.7E+5		2.3E+5	1.0E+5	2.3E+4		1		4.1E+6	1.2E+5	6.1E+5	1.2E+4	1.2E+6	4.1E+4	6.9E+6	5.8E+4
2	1.2E+5	1.7E+5	1.4E+5	2.3E+5	1.8E+4	2.3E+4		2		5.7E+5	1.2E+5	9.8E+4	1.2E+4	1.8E+5	4.1E+4	9.4E+5	5.8E+4
4	8.8E+5	1.7E+5	8.3E+5	2.3E+5	5.7E+4	2.3E+4		4		1.8E+6	1.2E+5	5.7E+5	1.2E+4	1.1E+6	4.1E+4	3.9E+6	5.8E+4
5	5.7E+5	1.7E+5	3.2E+5	2.3E+5	2.8E+4	2.3E+4		5		2.4E+6	1.2E+5	6.2E+5	1.2E+4	1.4E+6	4.1E+4	4.9E+6	5.8E+4
6	9.4E+5	1.7E+5	6.2E+5	2.3E+5	5.7E+4	2.3E+4		6		4.2E+6	1.2E+5	9.8E+5	1.2E+4	2.0E+6	4.1E+4	6.2E+6	5.8E+4
7	8.0E+6	3.4E+4	9.3E+6	4.6E+4	3.8E+5	4.6E+3		8 - 1		2.1E+7	7.0E+4	3.4E+6	7.0E+3	7.7E+6	2.4E+4	3.4E+7	3.4E+4
3	9.8E+6	4.6E+2	1.4E+7	6.2E+2	6.0E+5	6.2E+1		8 - 2		5.5E+7	7.0E+4	9.9E+6	7.0E+3	1.9E+7	2.4E+4	9.1E+7	3.4E+4
1 1	6.8E+6	3.4E+6	8.6E+6	4.6E+2	4.6E+5	4.6E+1		7		2.3E+7	2.4E+4	4.1E+6	2.4E+3	6.8E+6	8.2E+3	2.3E+7	1.2E+4
1 3	6.8E+5	3.4E+1	1.2E+6	4.6E+2	1.5E+5	4.6E+1		8 - 3		5.9E+7	3.0E+3	1.1E+7	3.0E+2	1.8E+7	1.0E+3	5.2E+7	1.5E+3
1 4	2.3E+5	3.4E+1	4.5E+5	4.6E+2	8.6E+4	4.6E+1		8 - 4		5.9E+7	3.0E+3	4.9E+6	3.0E+2	8.8E+6	1.0E+3	1.1E+7	1.5E+3
Notice) ○ E + ○ stands for ○ × 10 ⁶ .								3				5.6E+5		3.2E+1		4.2E+5	

Table 5.7 Plated-out activity and ratio on OGL-1 tube region

Tube region	Object of measuring location	Plated-out activity of iodine 131 (Bq/m ²)			Plated-out activity of iodine 131 (Bq)			Ratio due to total plated-out activity (%)
		8 t h	9 t h	1 0 t h	8 t h	9 t h	1 0 t h	
In-pile tube § Triple tube	1	1.29E+6 : 1.23	2.13E+7 : 0.51	1.42E+7 : 0.83	3.95E+6 : 12	6.52E+7 : 5	4.34E+7 : 8	
Double tube	2, 4, 5, 6	6.91E+5 : 0.66	1.84E+7 : 0.44	1.24E+7 : 0.73	2.09E+6 : 6	5.56E+7 : 4	3.76E+7 : 7	
No. 1 IHX. heat transfer tube	8-1, 8-2	1.23E+6 : 1.17	5.44E+7 : 1.29	3.09E+7 : 1.81	6.70E+6 : 20	2.97E+8 : 22	1.69E+8 : 31	
Pipe	7	5.98E+6 : 5.70	1.53E+8 : 3.63	6.57E+7 : 3.84	5.51E+6 : 16	1.41E+8 : 11	6.04E+7 : 11	
No. 2 IHX. heat transfer tube	8-3, 8-4	1.18E+6 : 1.12	6.31E+7 : 1.50	2.03E+7 : 1.19	7.90E+6 : 24	4.22E+8 : 31	1.36E+8 : 25	
Pipe (Included in cooler)	3, 10	2.37E+5 : 0.23	1.93E+7 : 0.46	1.79E+6 : 0.11	1.67E+6 : 5	1.36E+8 : 10	1.26E+7 : 2	
Others	11, 13, 14, 9	9.86E+5 : 0.94	3.96E+7 : 0.94	1.54E+7 : 0.90	5.84E+6 : 17	2.35E+8 : 17	9.16E+7 : 16	
Average or total activity		1.05E+6 : 1.00	4.21E+7 : 1.00	1.71E+7 : 1.00	3.37E+7 : 100	1.35E+9 : 100	5.50E+8 : 100	

Notice) $\odot E + \odot$ stands for $\odot \times 10^6$.
 IHX : Intermediate heat exchanger.

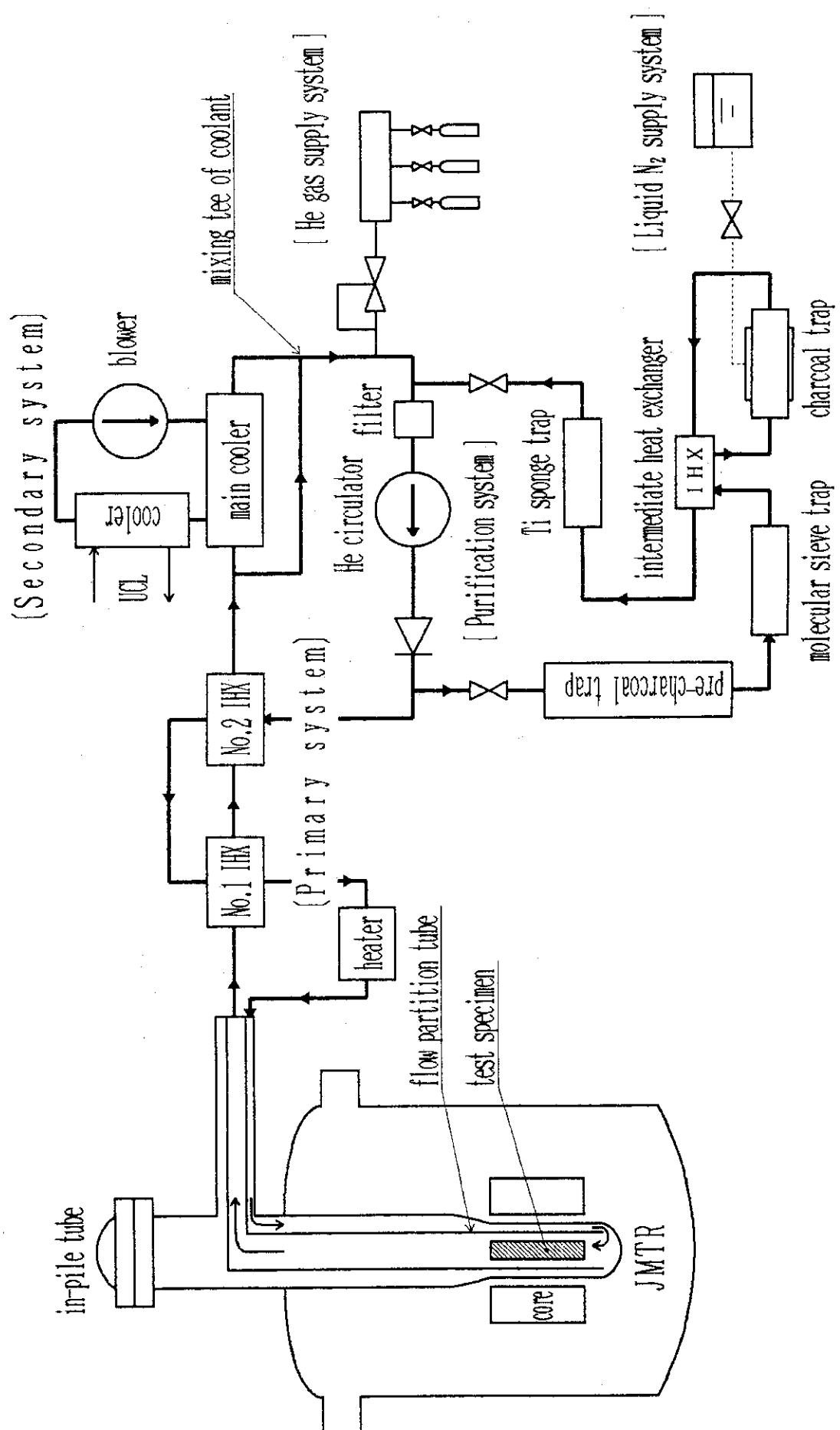


Fig. 2.1 Flow diagram of OGL-1

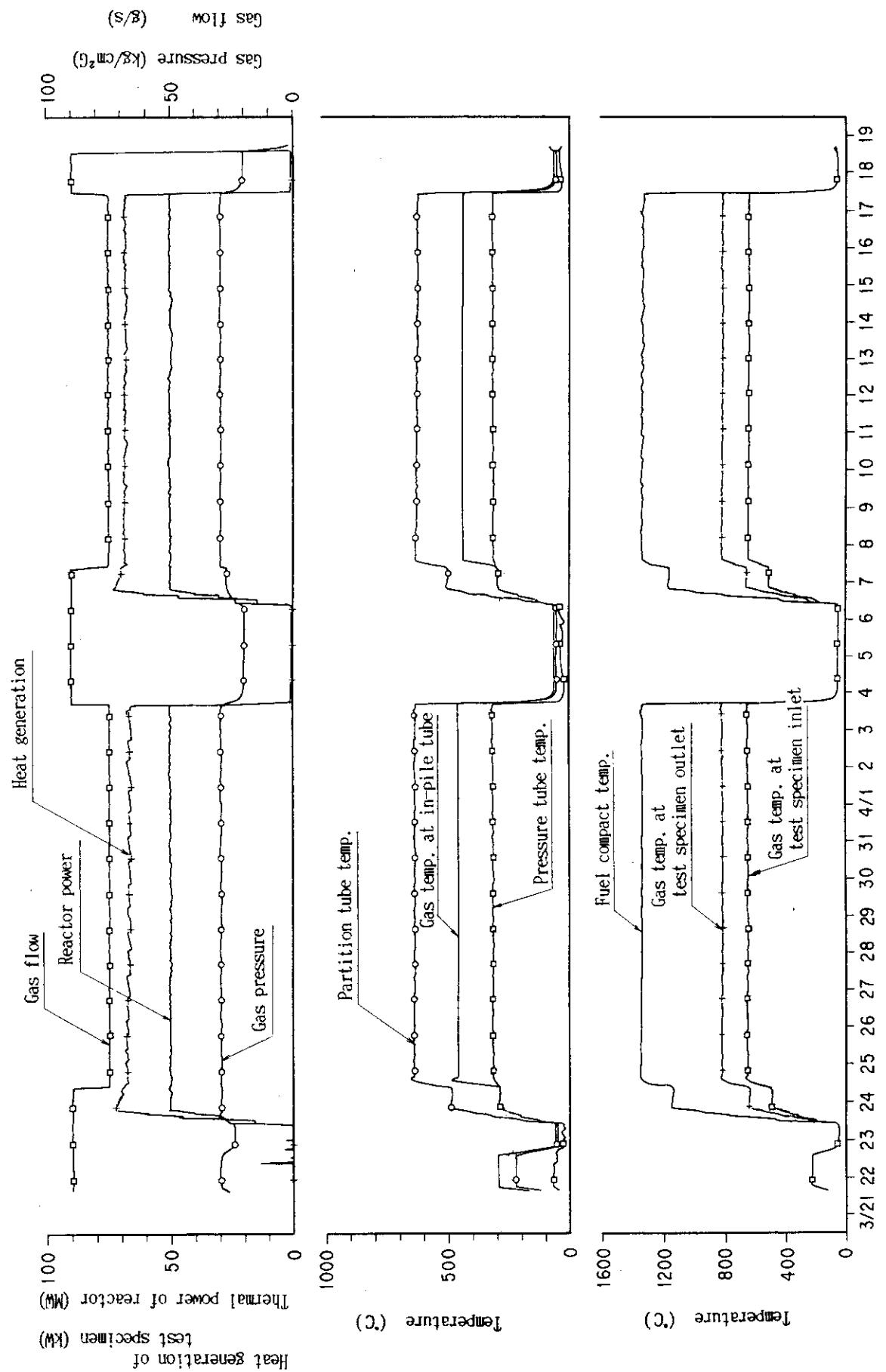


Fig. 2.2 Operation pattern of OGL-1 (JMTTR 81st cycle)

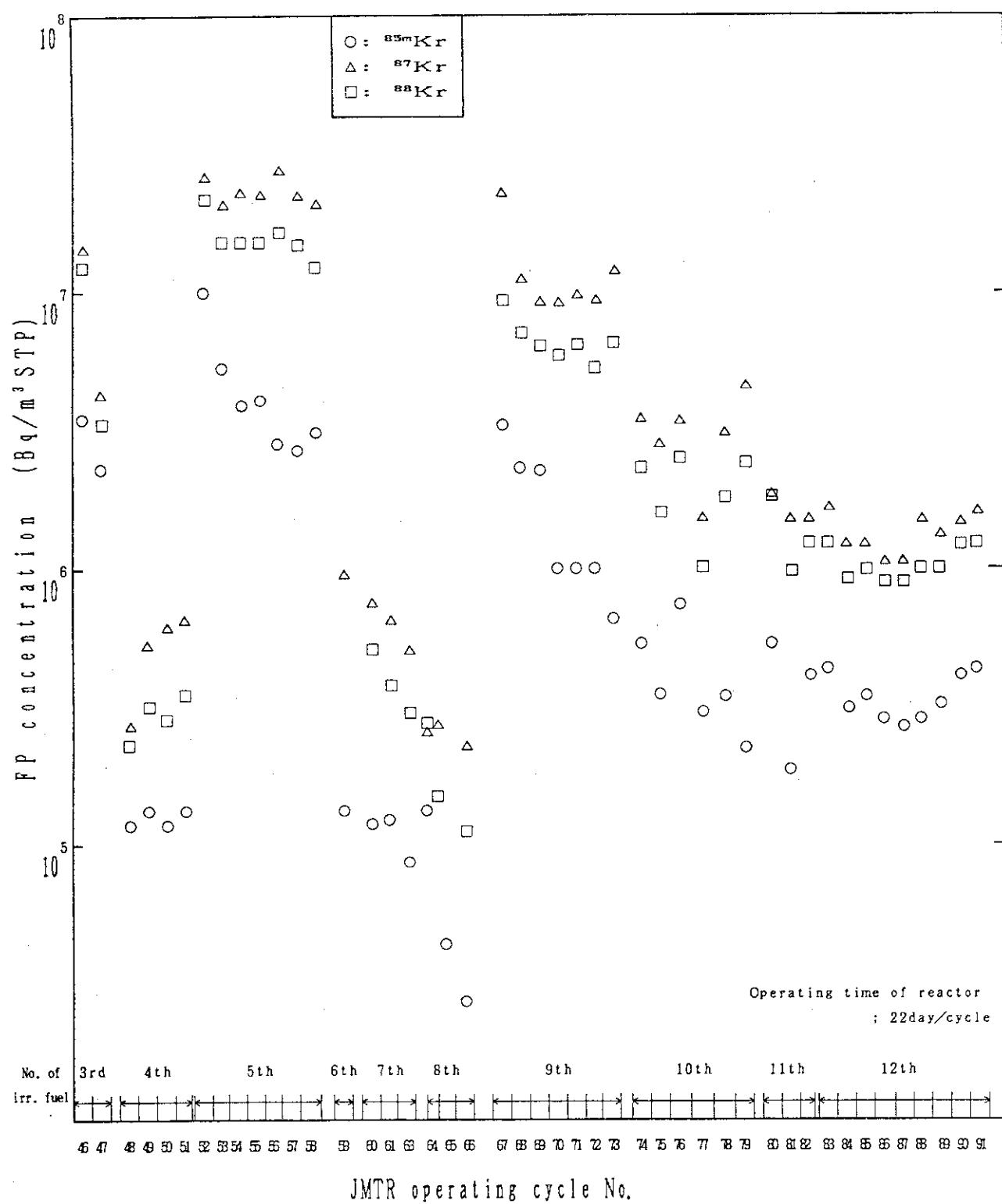


Fig. 2.3 Concentration of krypton in the OGL-1 primary coolant
(JMTR operating cycle; from 46th to 91st)

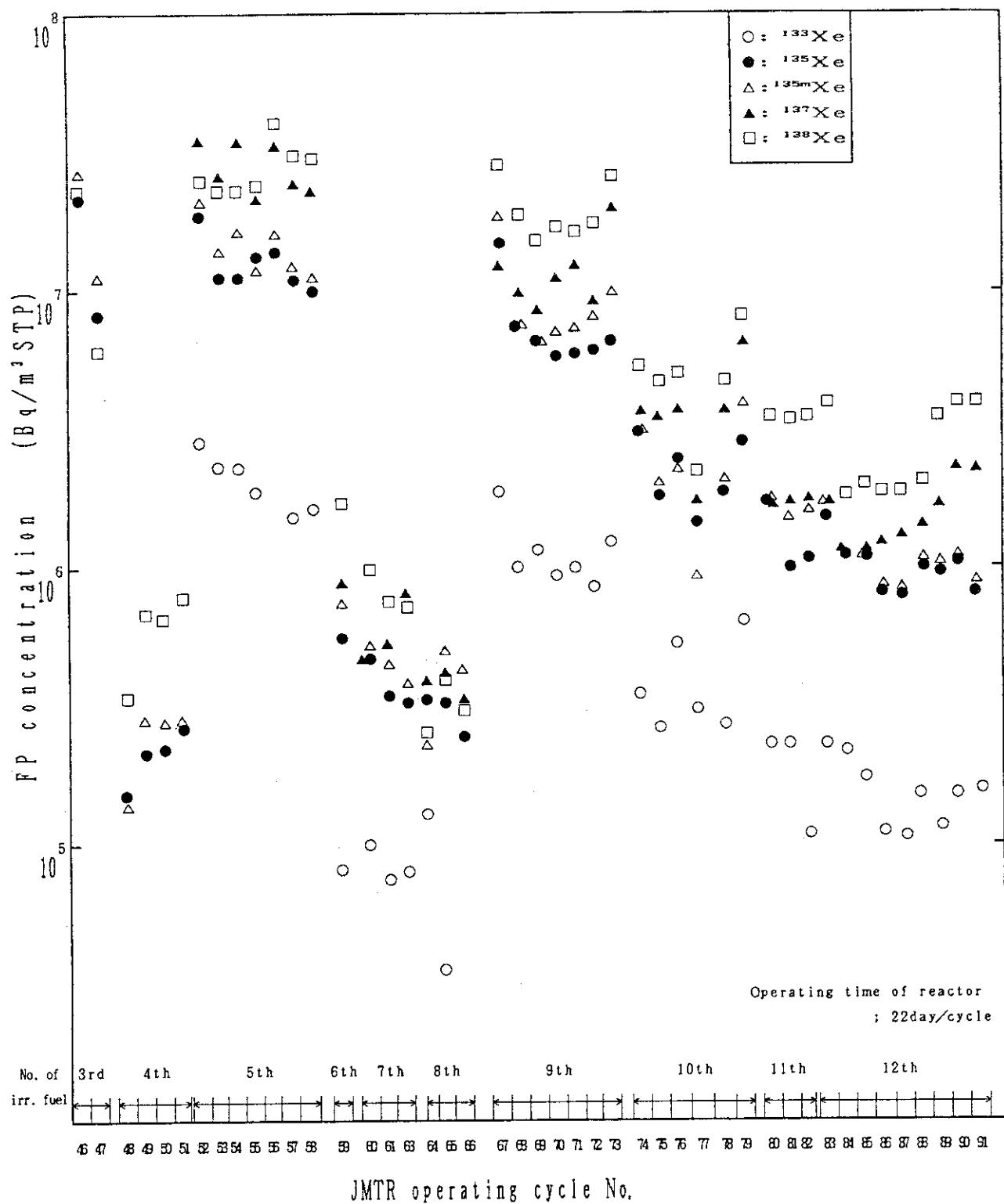


Fig. 2.4 Concentration of xenon in the OGL-1 primary coolant (JMTR operating cycle; from 46th to 91st)

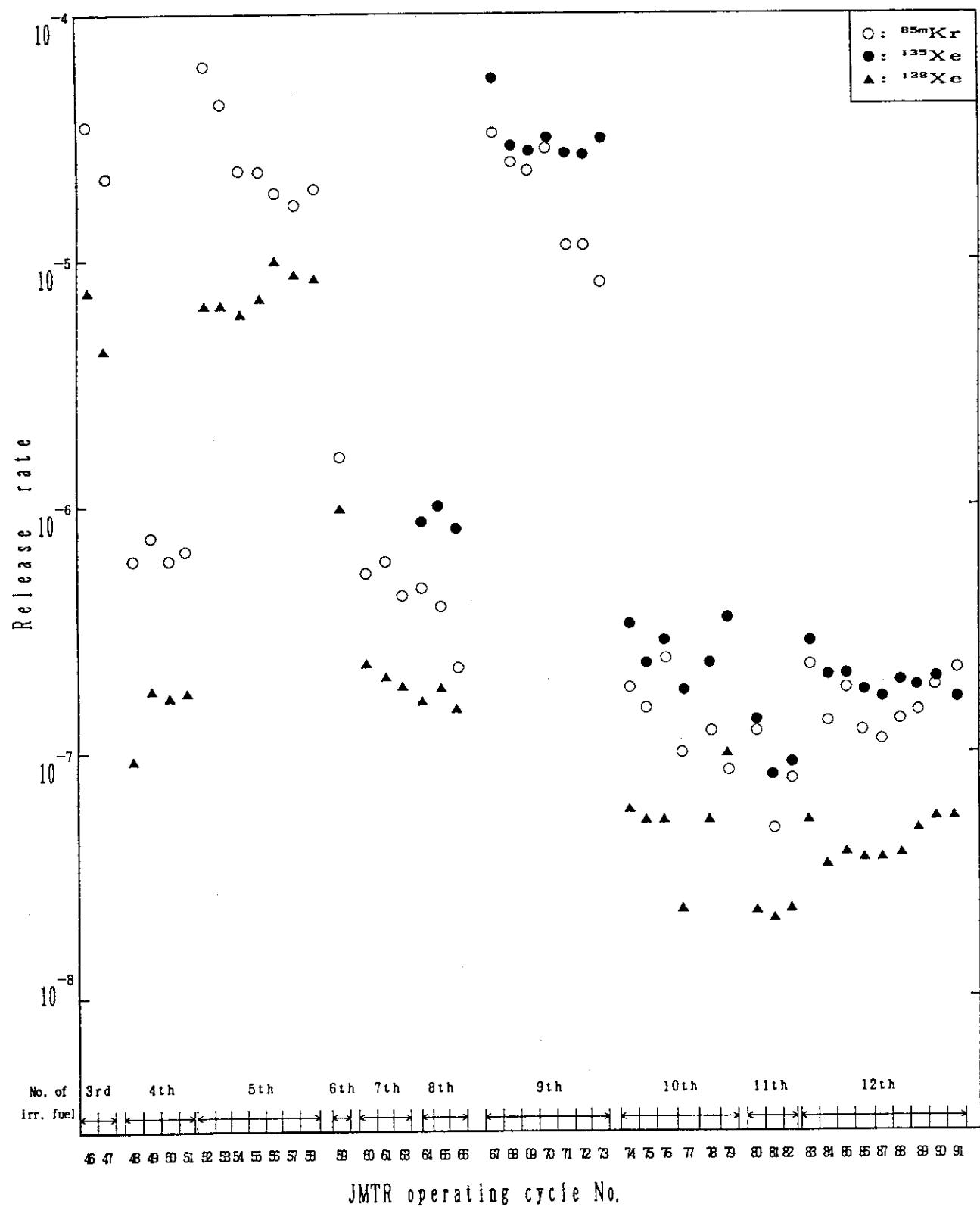


Fig. 2.5 Noble gas release rates from HTTR fuels during irradiation

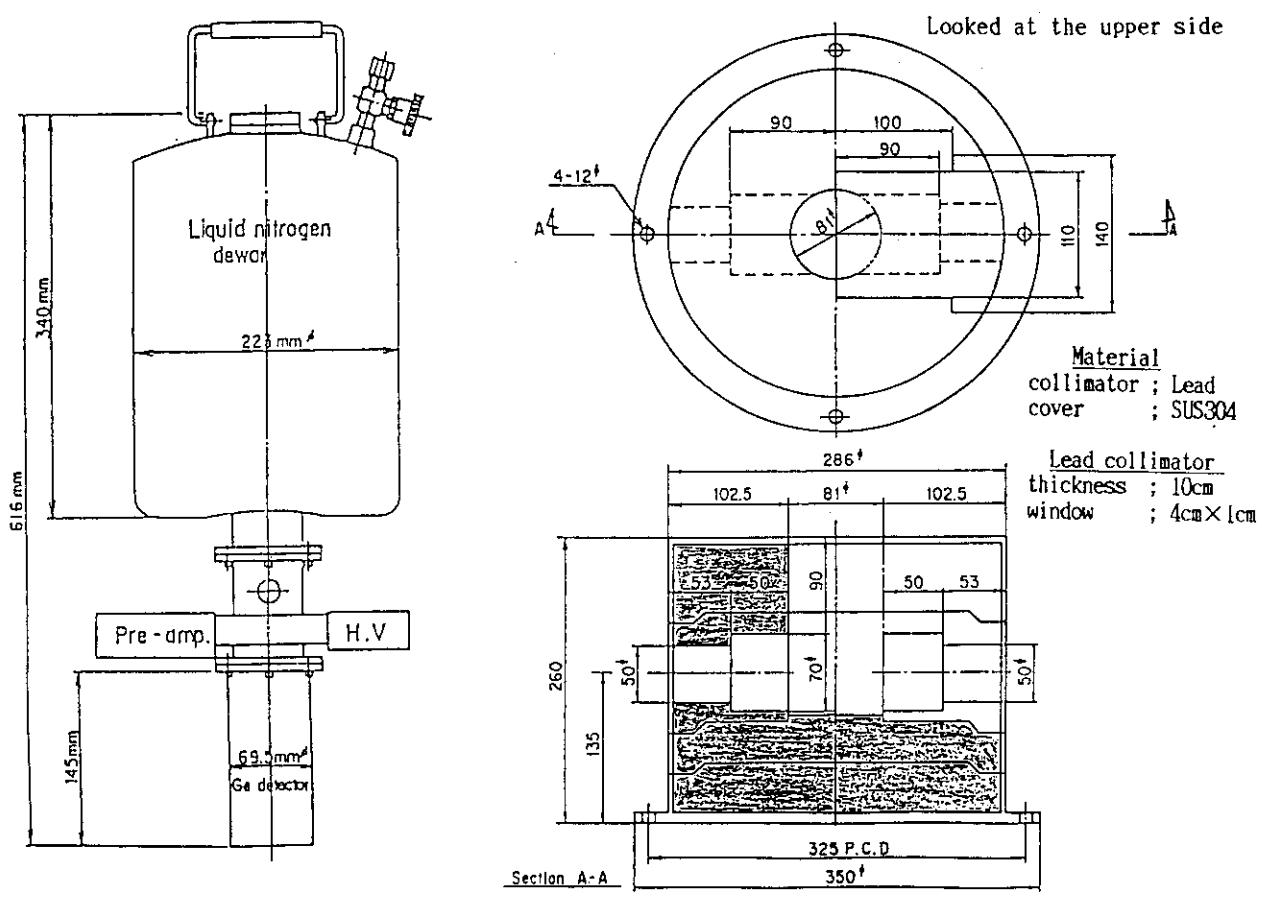
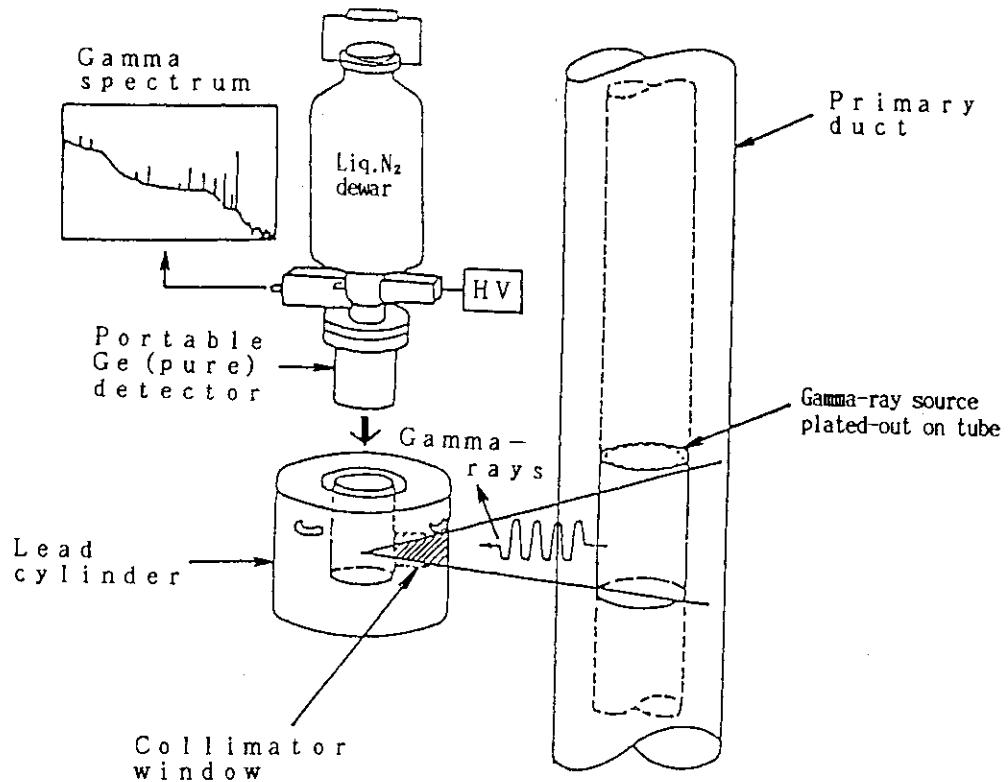


Fig. 3.1 In-situ measurement of the FP plated-out in OGL-1

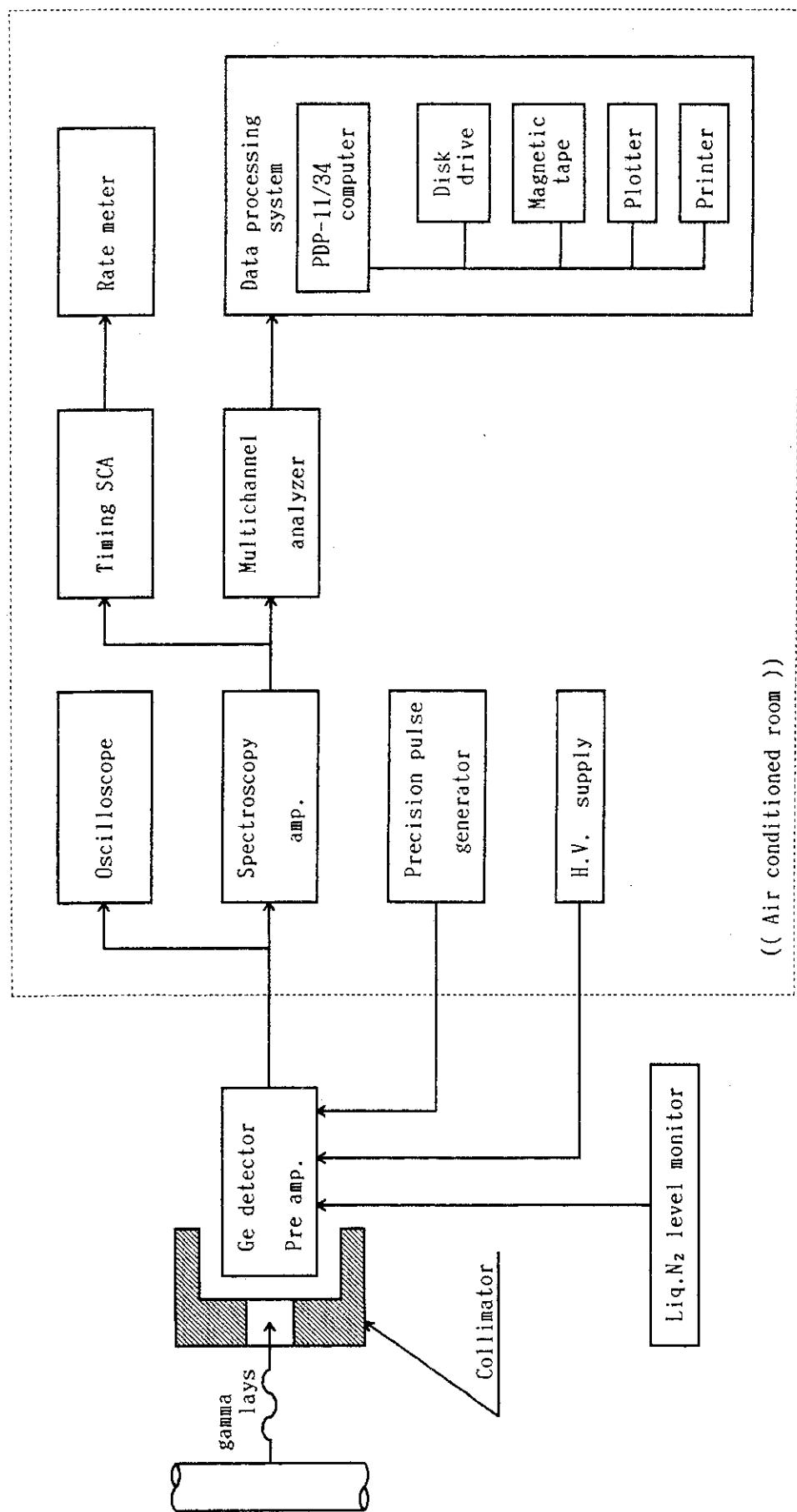


Fig. 3.2 OGL-1 FP plate-out measuring system

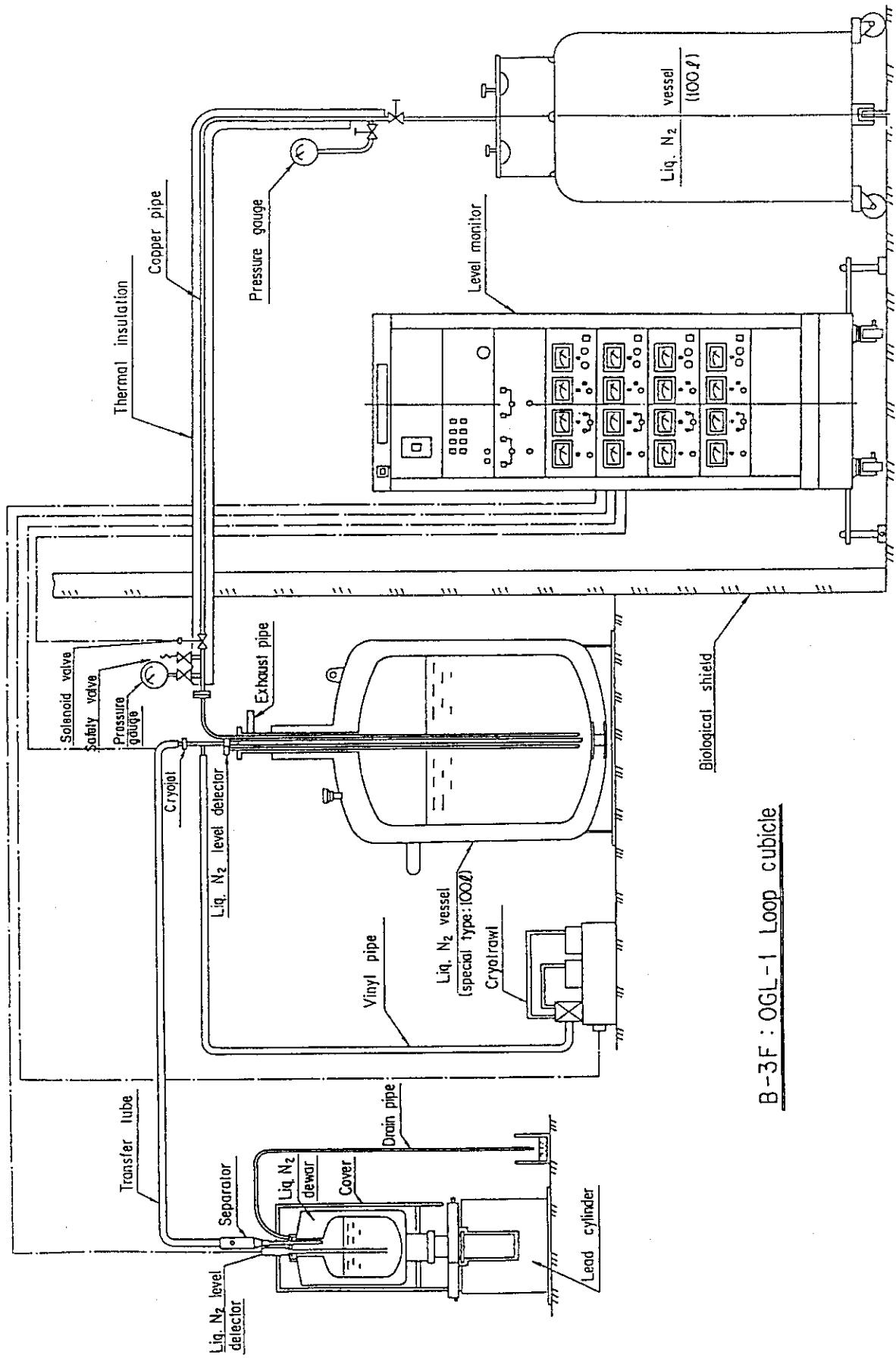


Fig. 3.3 Flow sheet of the Liq. N₂ automatic supply system

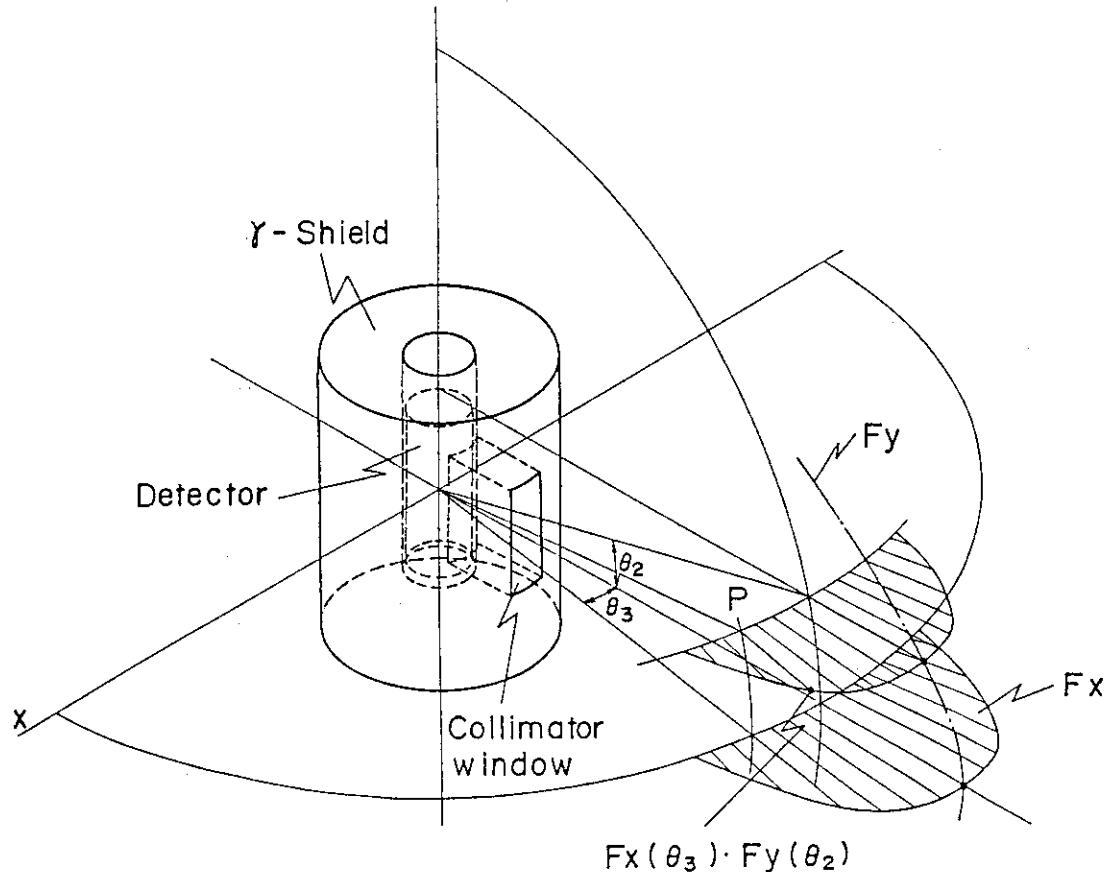


Fig. 3.4 Sensitivity of Ge-detector in shielding with a collimator

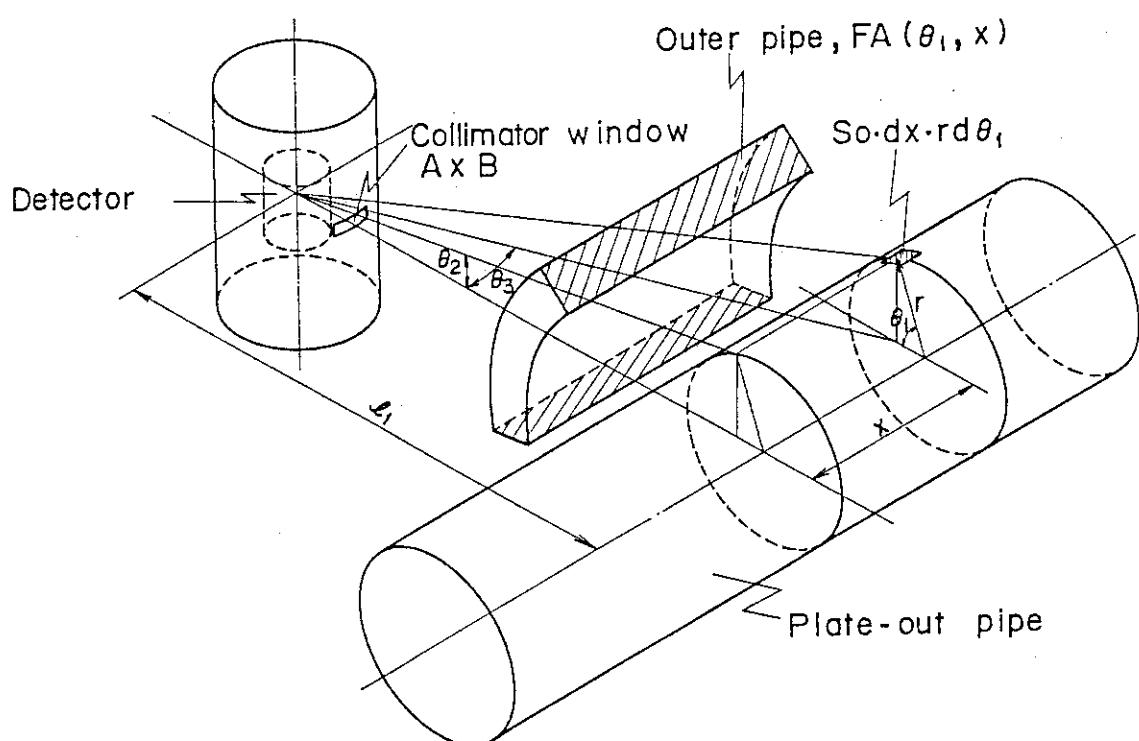


Fig. 3.5 Conversion coefficient calculation model

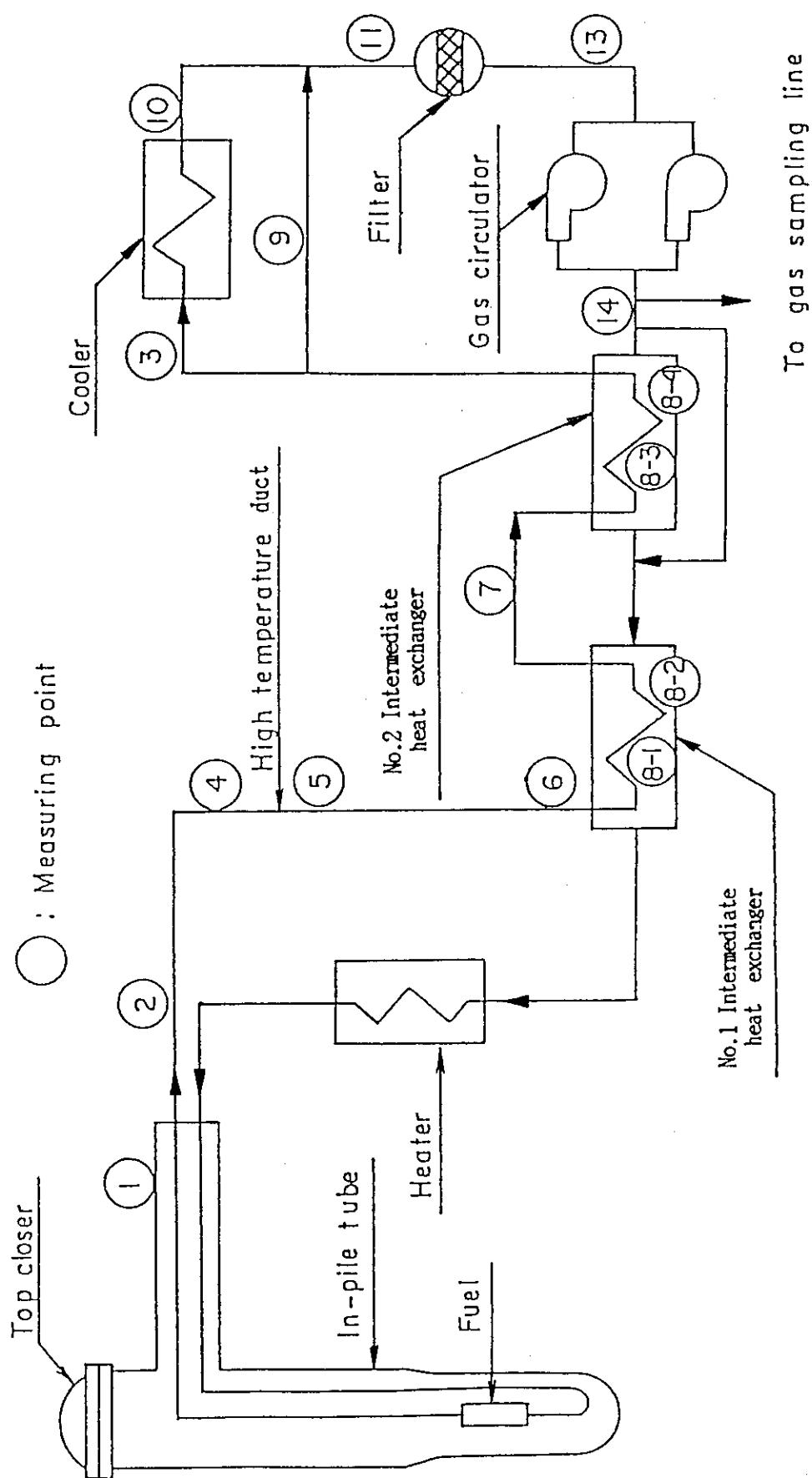


Fig. 3.6 FP plate-out measuring location

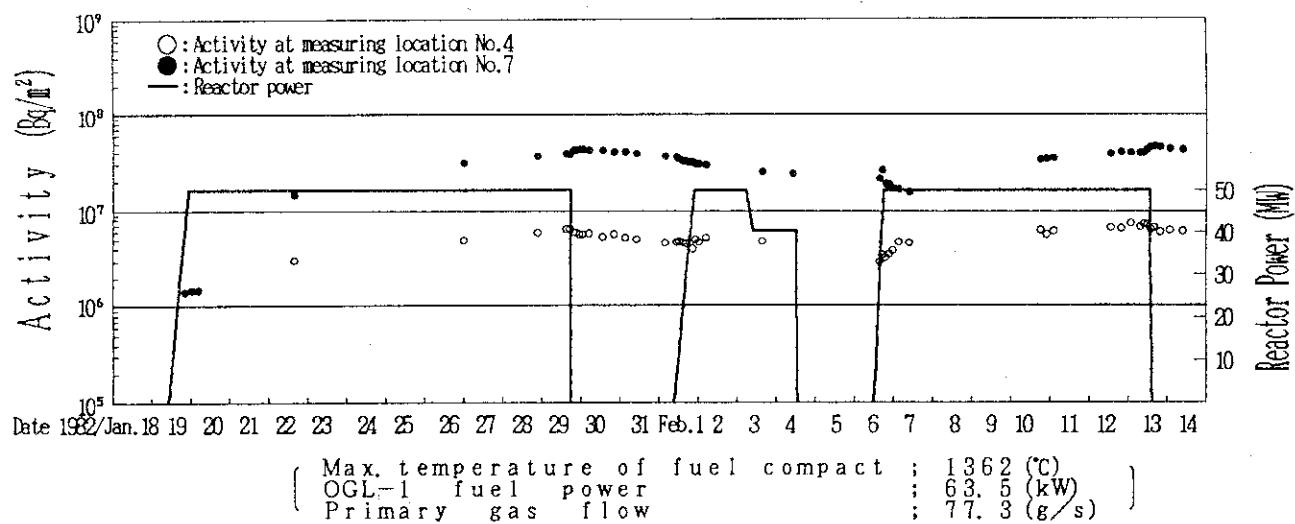


Fig. 4.1.1 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(57th JMTR operating cycle)

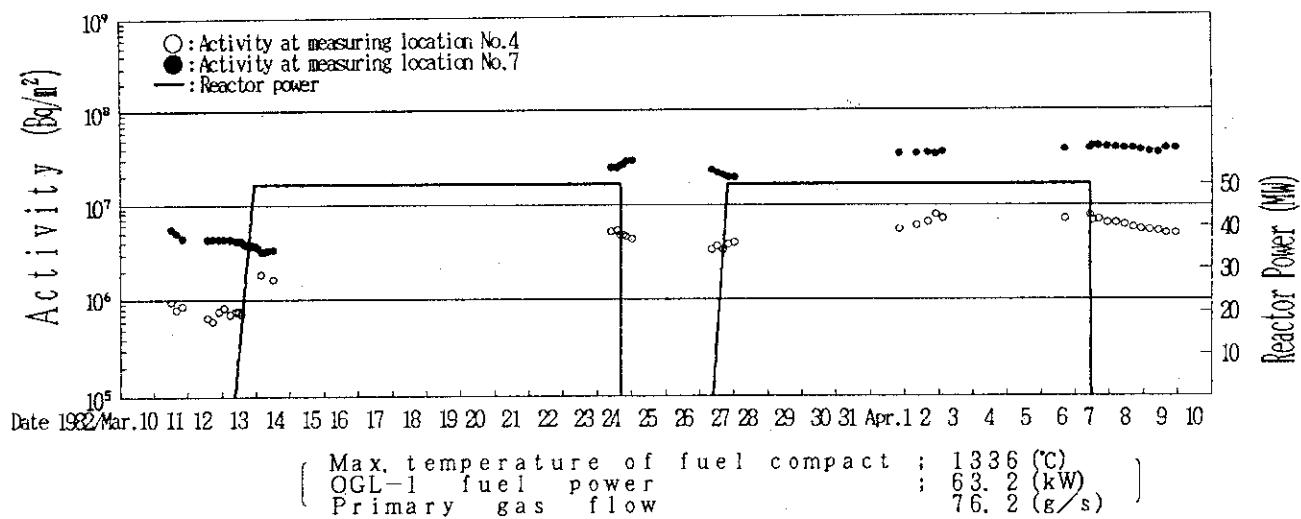


Fig. 4.1.2 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(58th JMTR operating cycle)

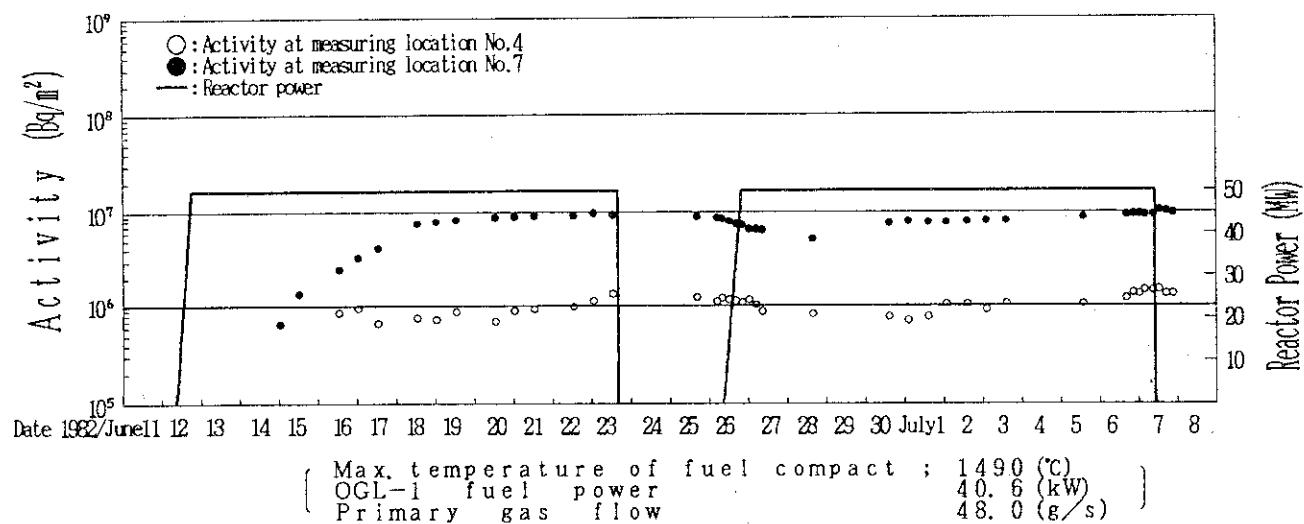


Fig. 4.1.3 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(59th JMTR operating cycle)

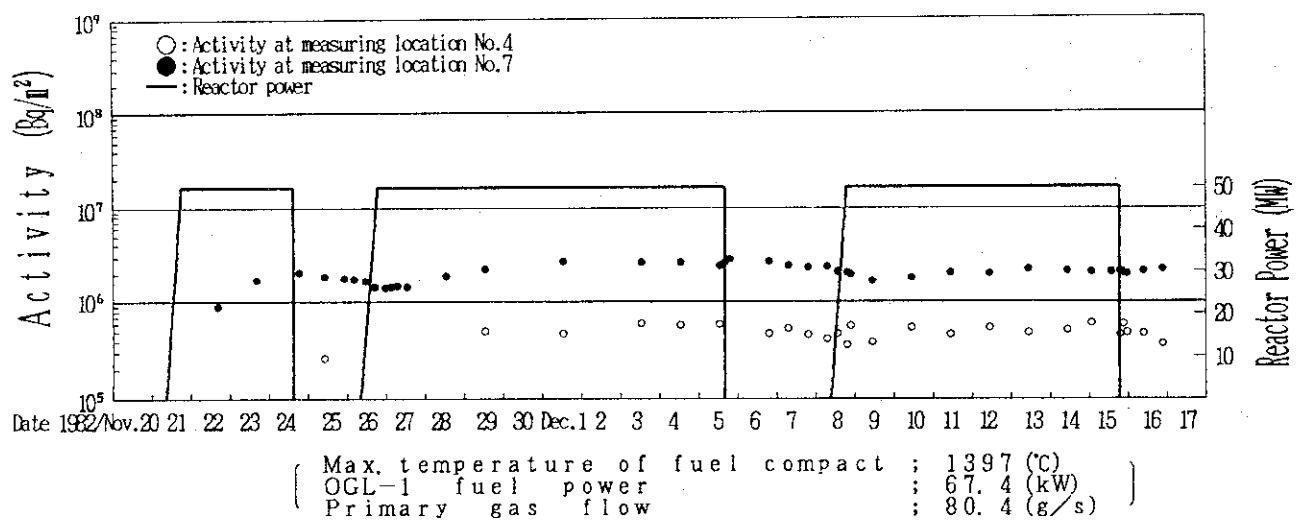


Fig. 4.1.4 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(60th JMTR operating cycle)

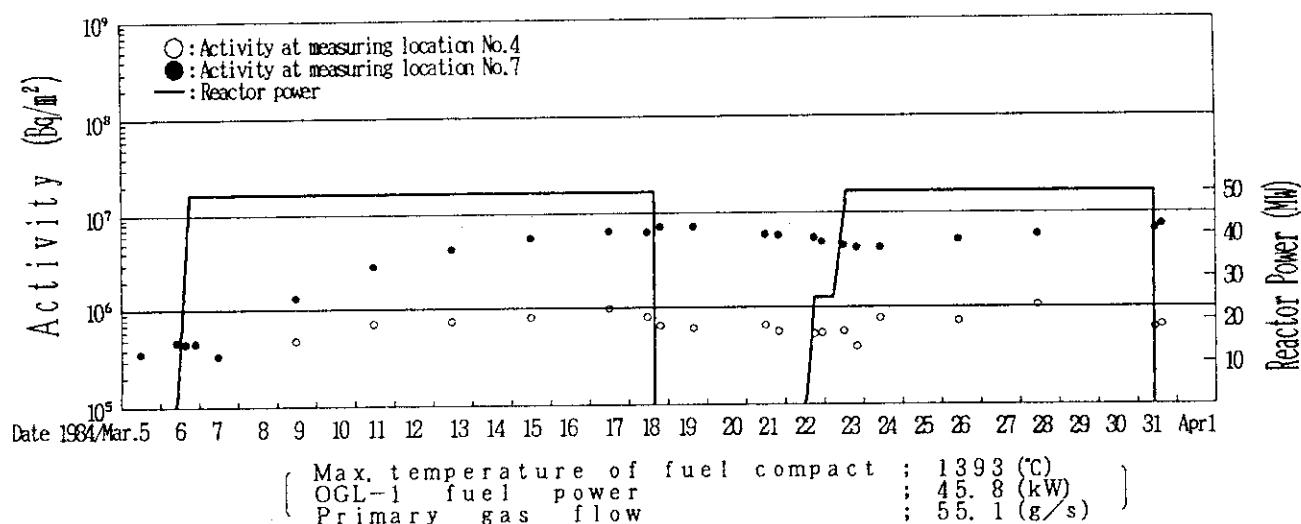


Fig. 4.1.5 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(65th JMTR operating cycle)

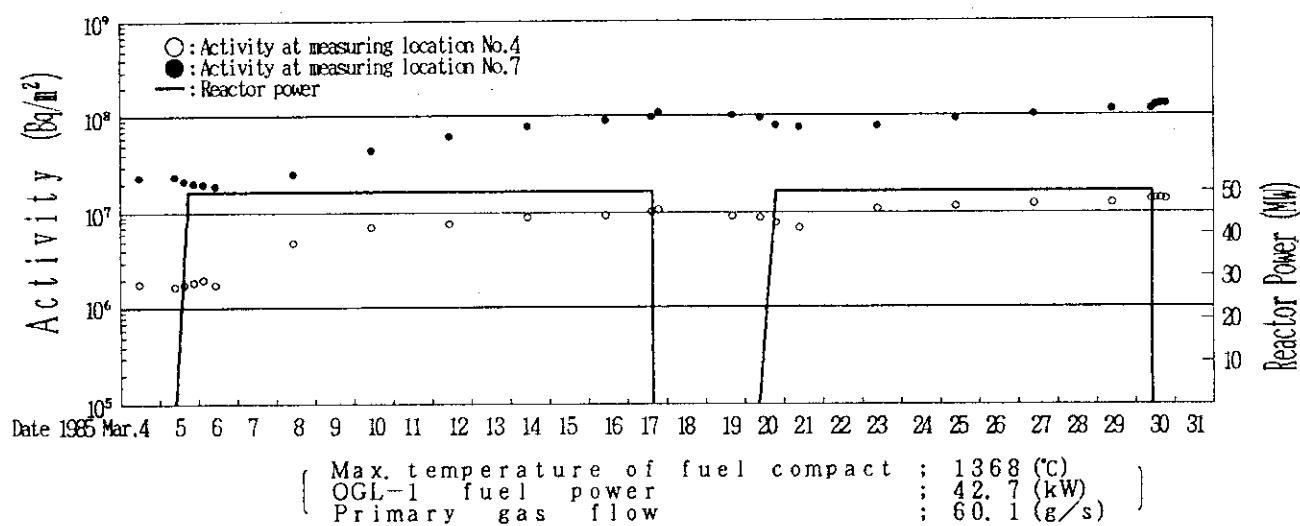


Fig. 4.1.6 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(68th JMTR operating cycle)

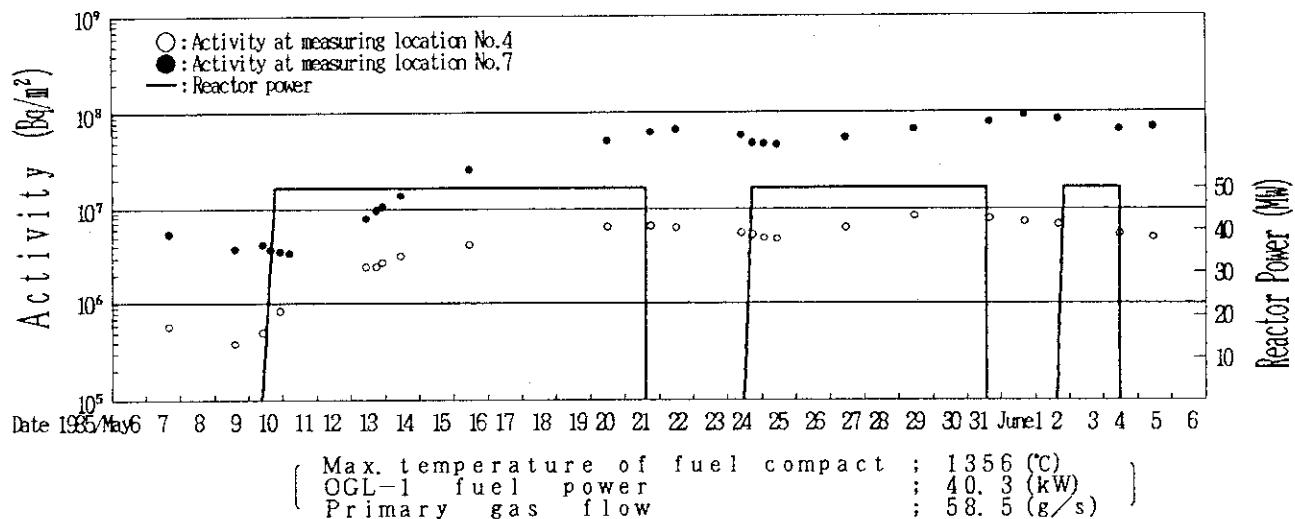


Fig. 4.1.7 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(69th JMTR operating cycle)

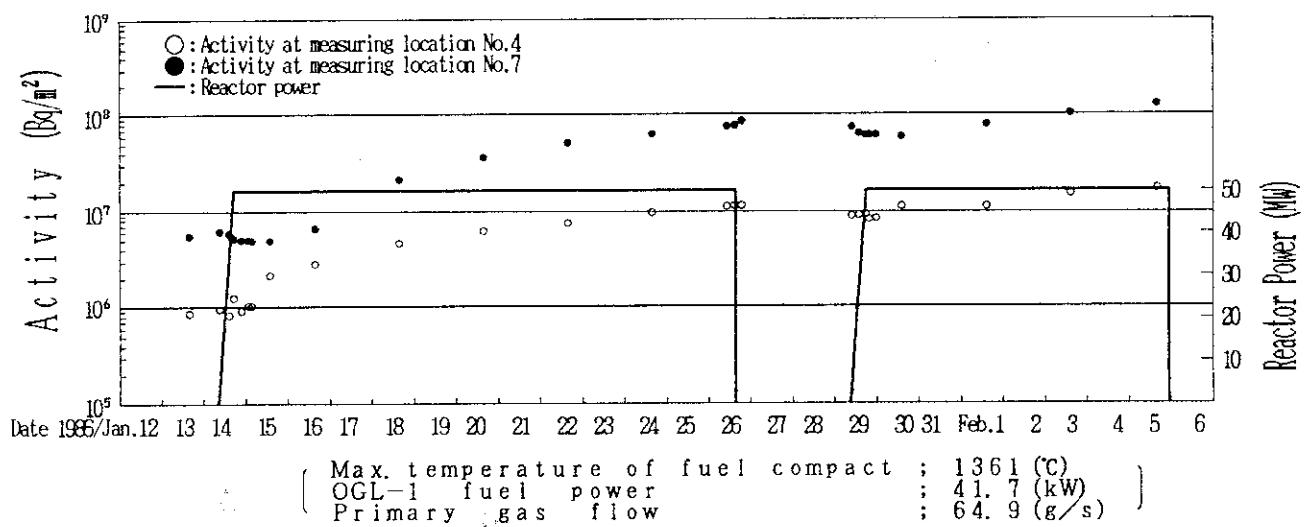


Fig. 4.1.8 Activity of I-131 plated-out during reactor operating
(72nd JMTR operating cycle)

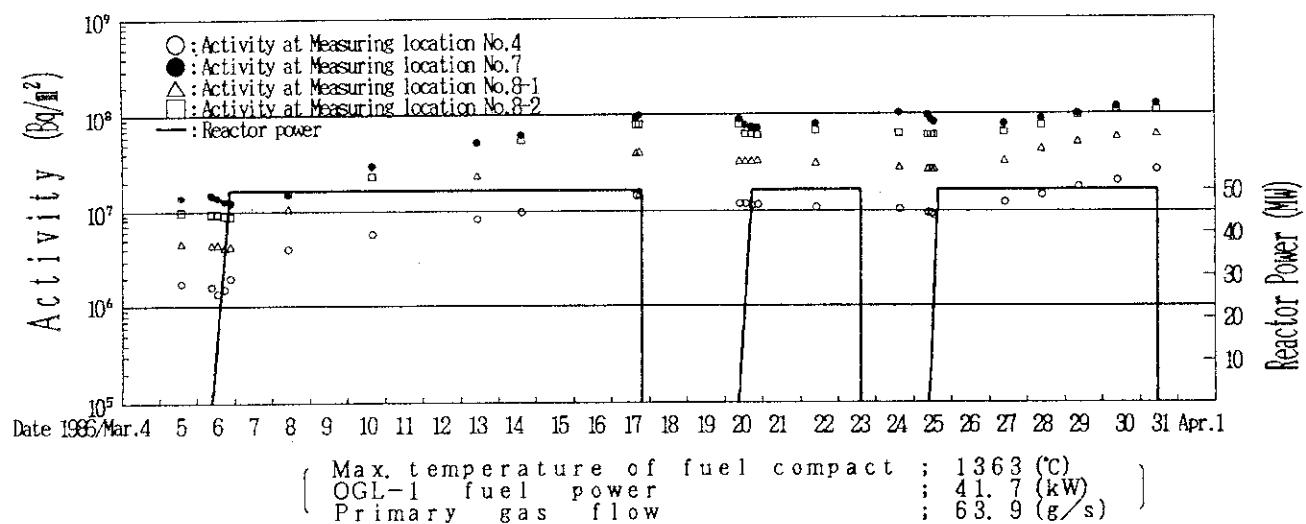


Fig. 4.1.9 Activity of I-131 plated-out during reactor operating (73rd JMTR operating cycle)

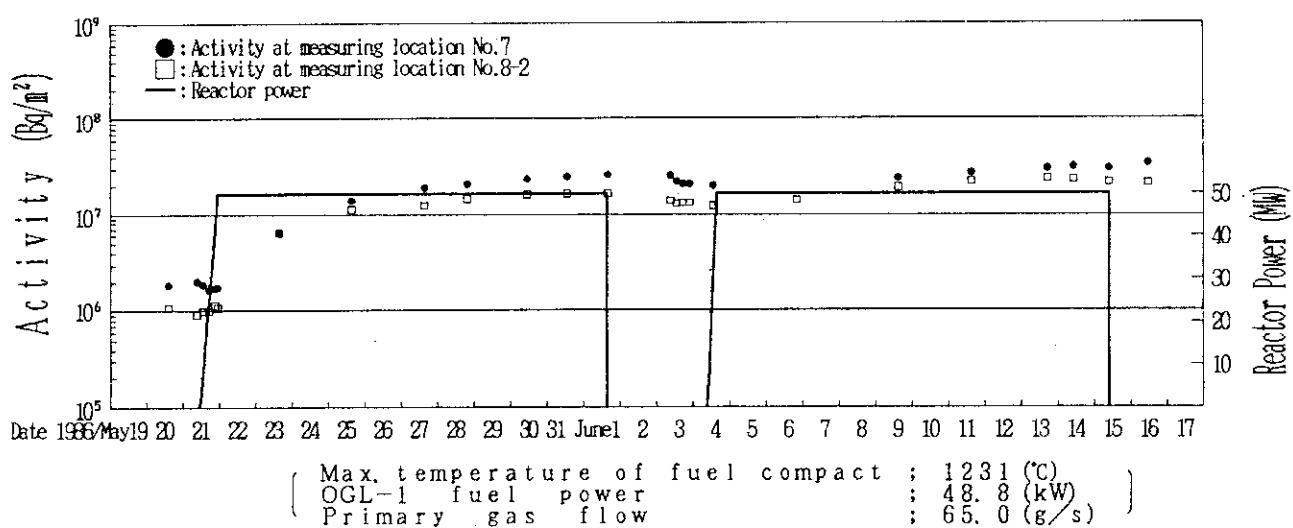


Fig. 4.1.10 Activity of I-131 plated-out during reactor operating (74th JMTR operating cycle)

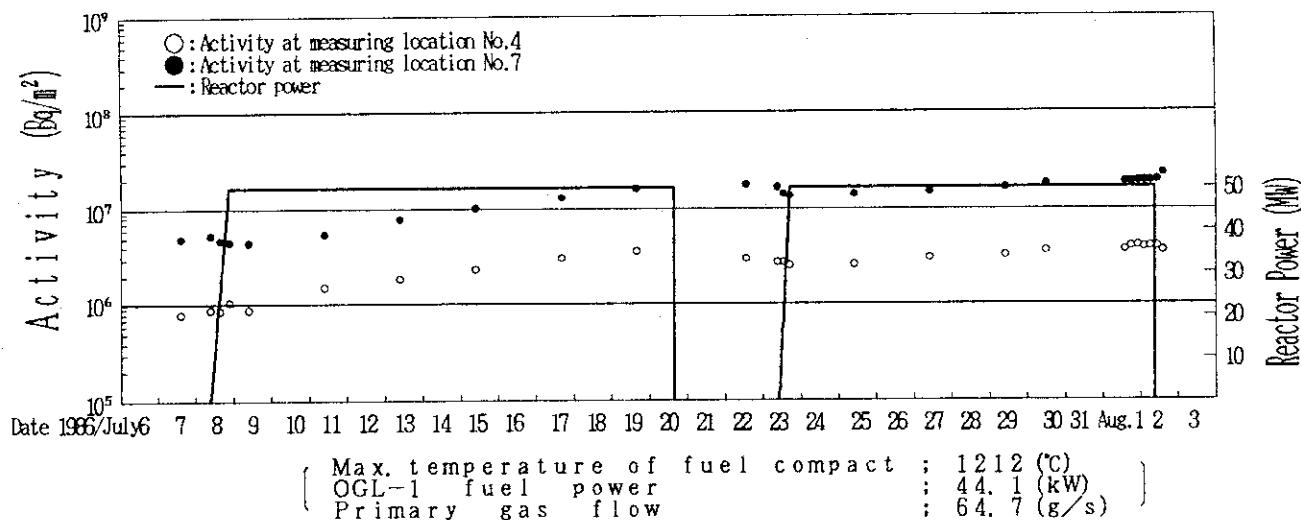


Fig. 4.1.11 Activity of I-131 plated-out during reactor operating (75th JMTR operating cycle)

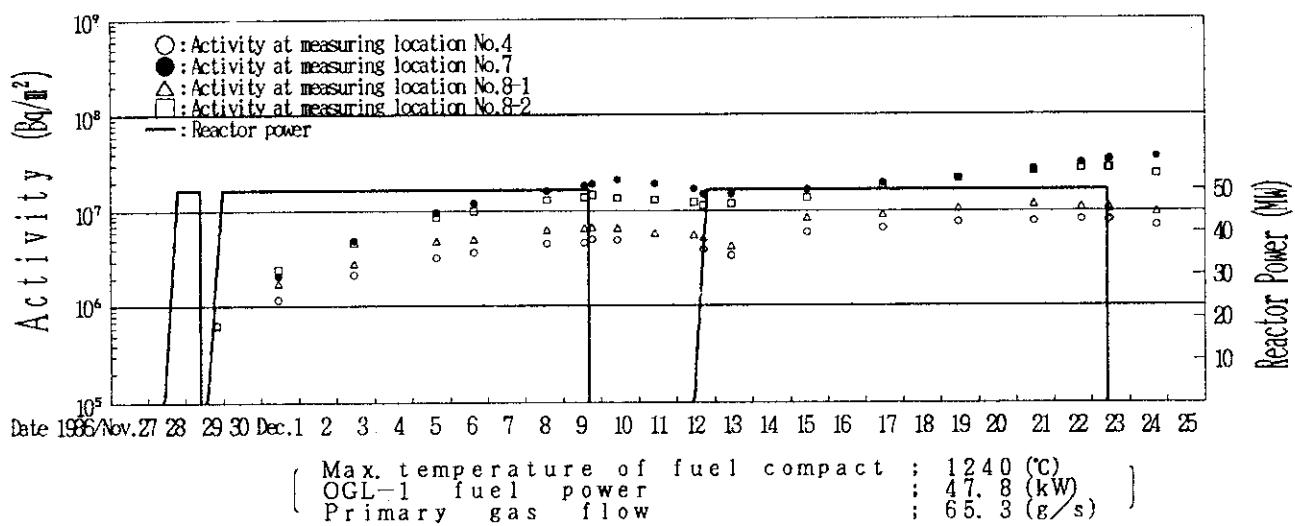


Fig. 4.1.12 Activity of I-131 plated-out during reactor operating (76th JMTR operating cycle)

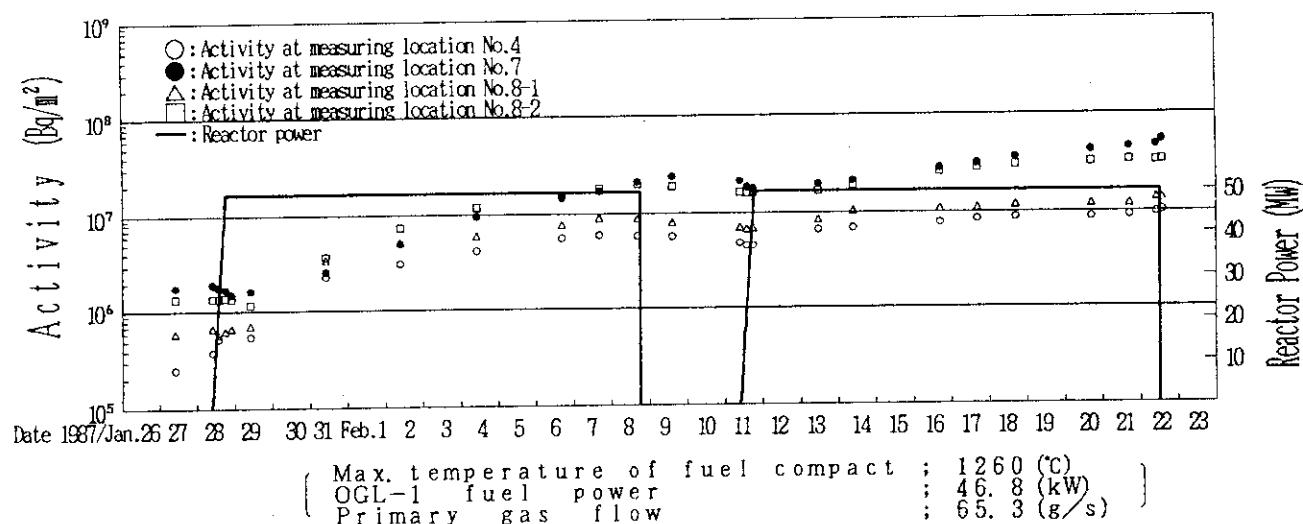


Fig. 4.1.13 Activity of I-131 plated-out during reactor operating (77th JMTR operating cycle)

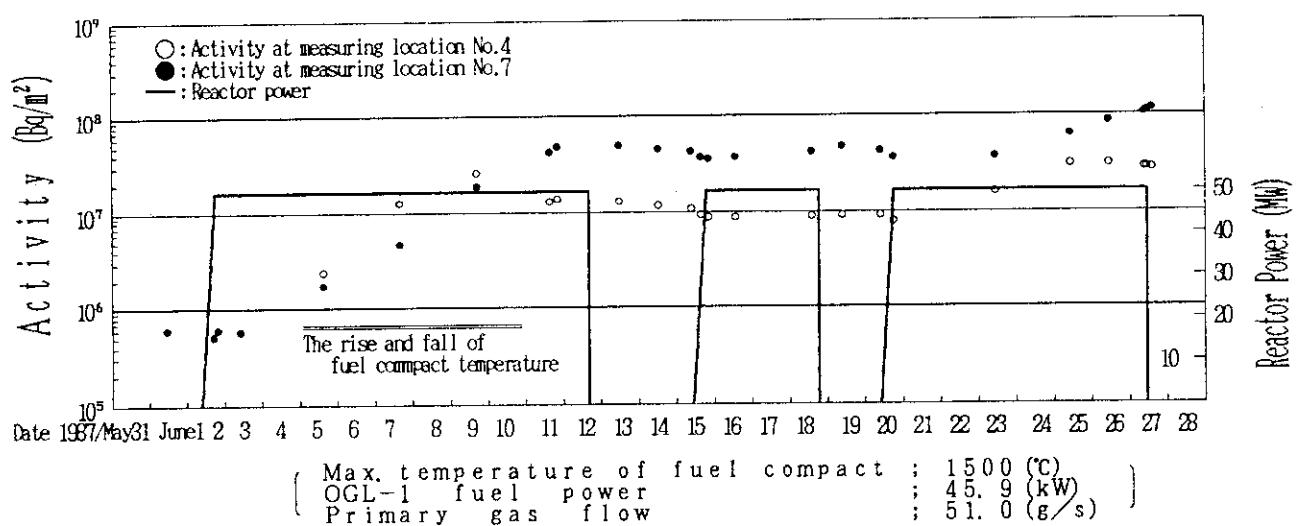


Fig. 4.1.14 Activity of I-131 plated-out during reactor operating (79th JMTR operating cycle)

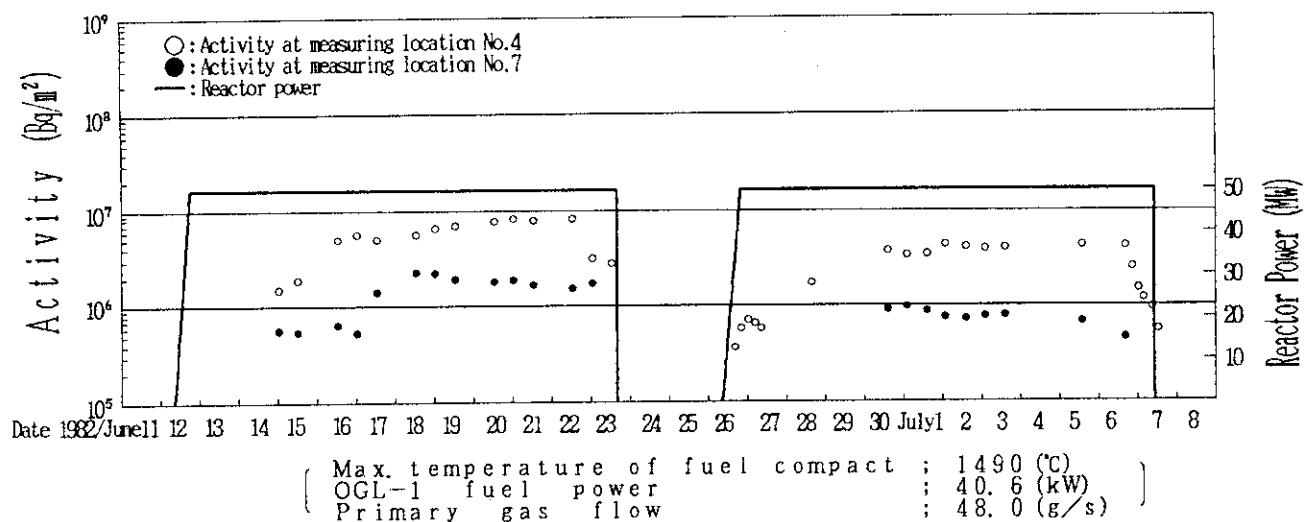


Fig. 4.2 Activity of I-132 plated-out during reactor operating (59th JMTR operating cycle)

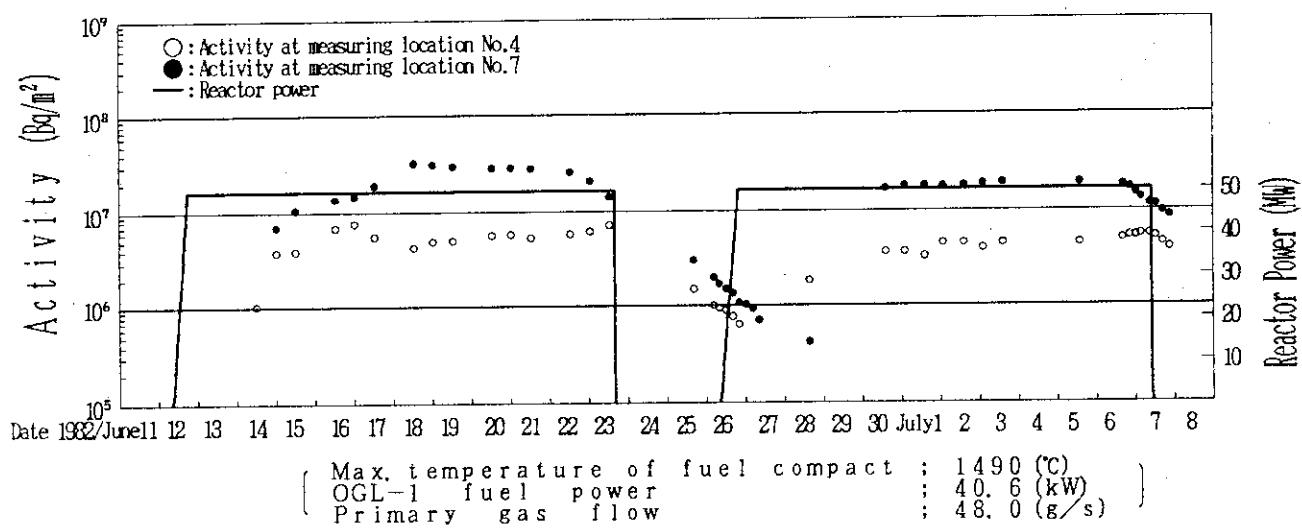


Fig. 4.3 Activity of I-133 plated-out during reactor operating (59th JMTR operating cycle)

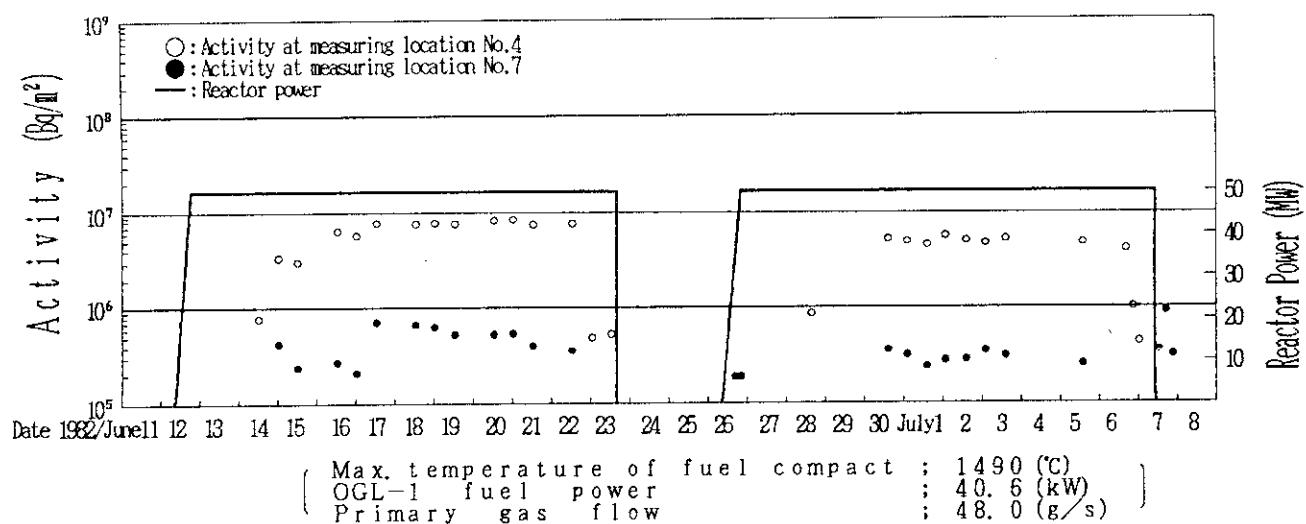


Fig. 4.4 Activity of I-134 plated-out during reactor operating (59th JMTR operating cycle)

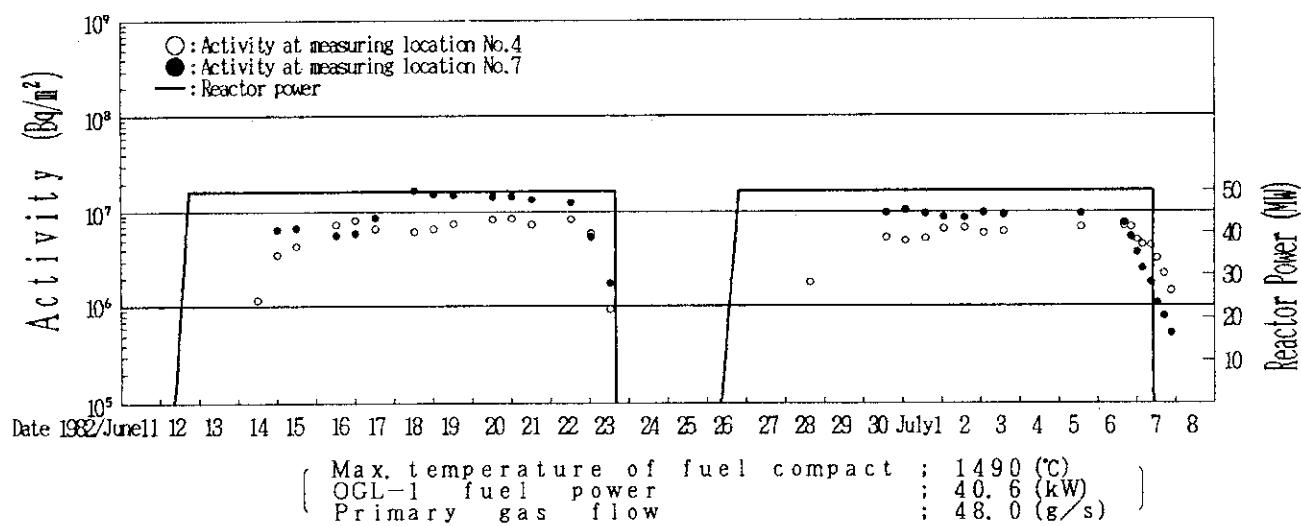


Fig. 4.5 Activity of I-135 plated-out during reactor operating (59th JMTR operating cycle)

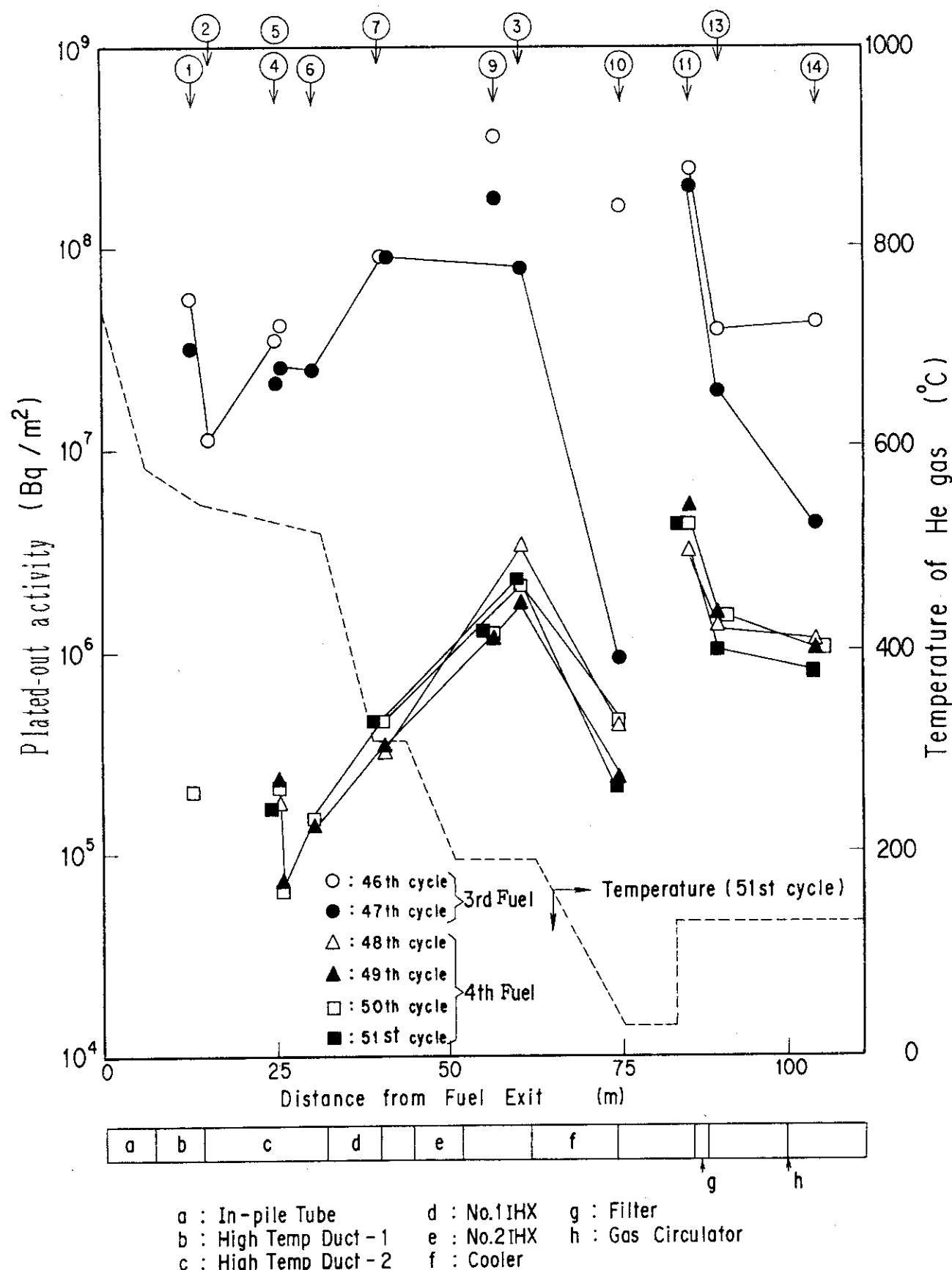


Fig. 4.6.1 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 3rd and 4th test fuels

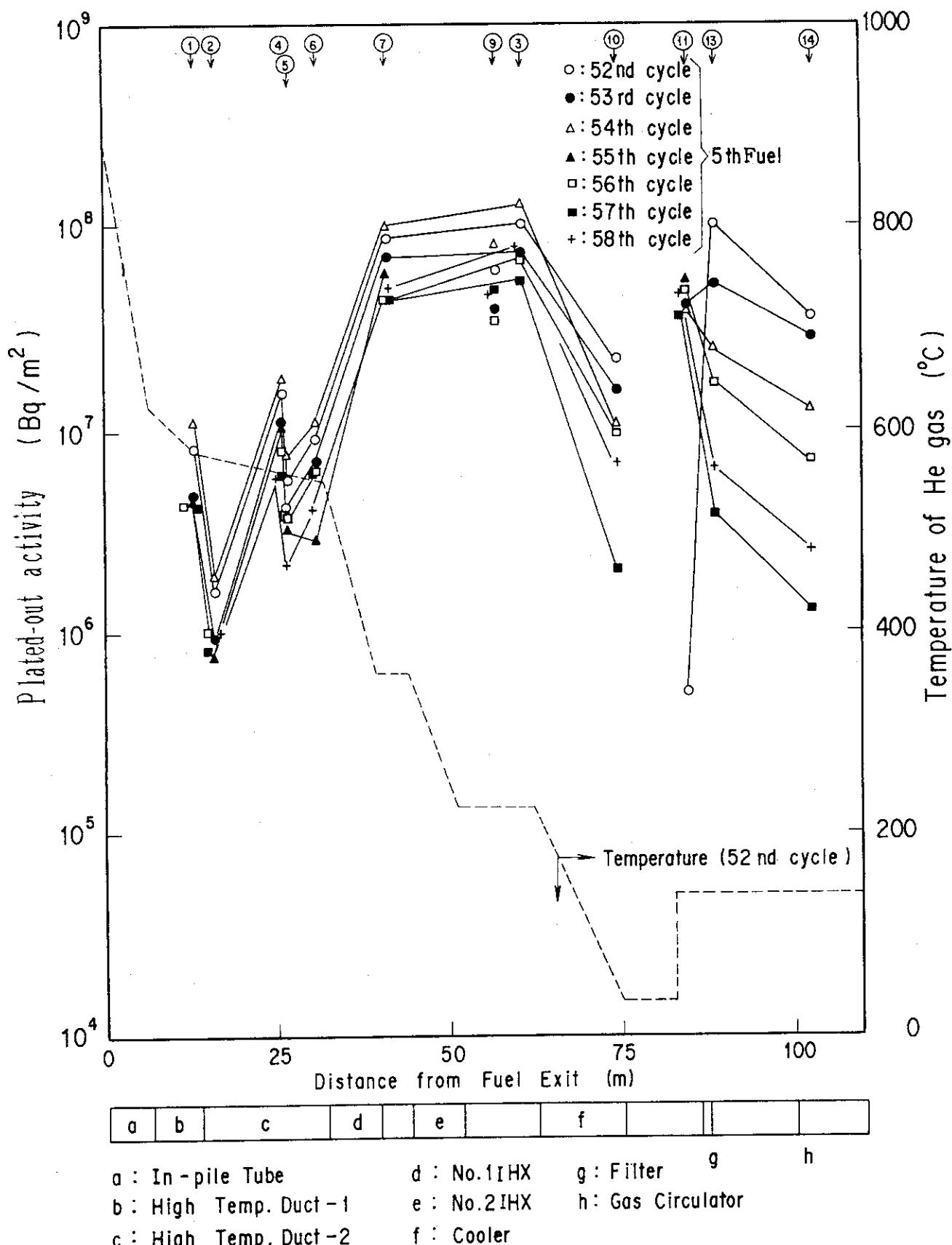


Fig. 4.6.2 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 5th test fuel

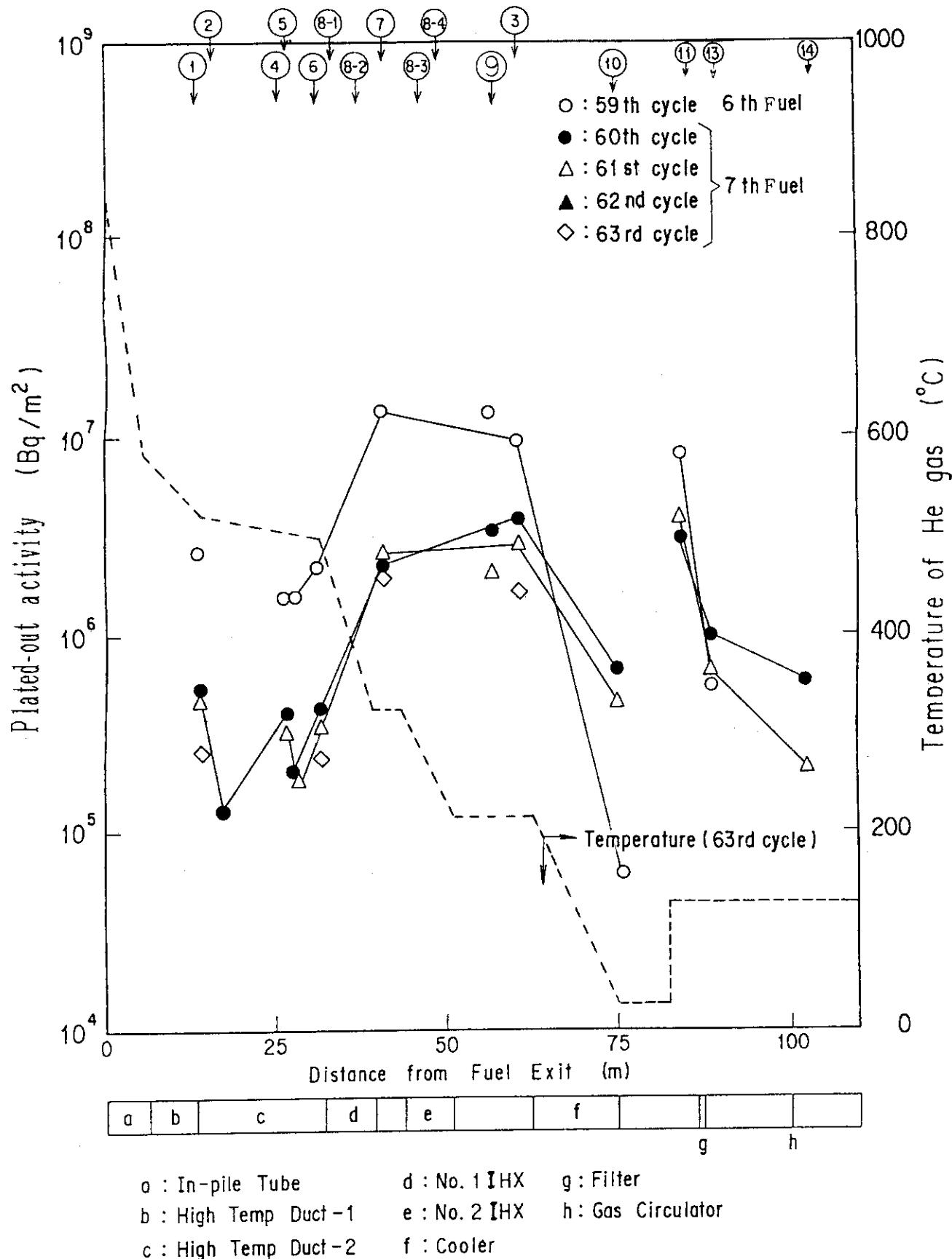
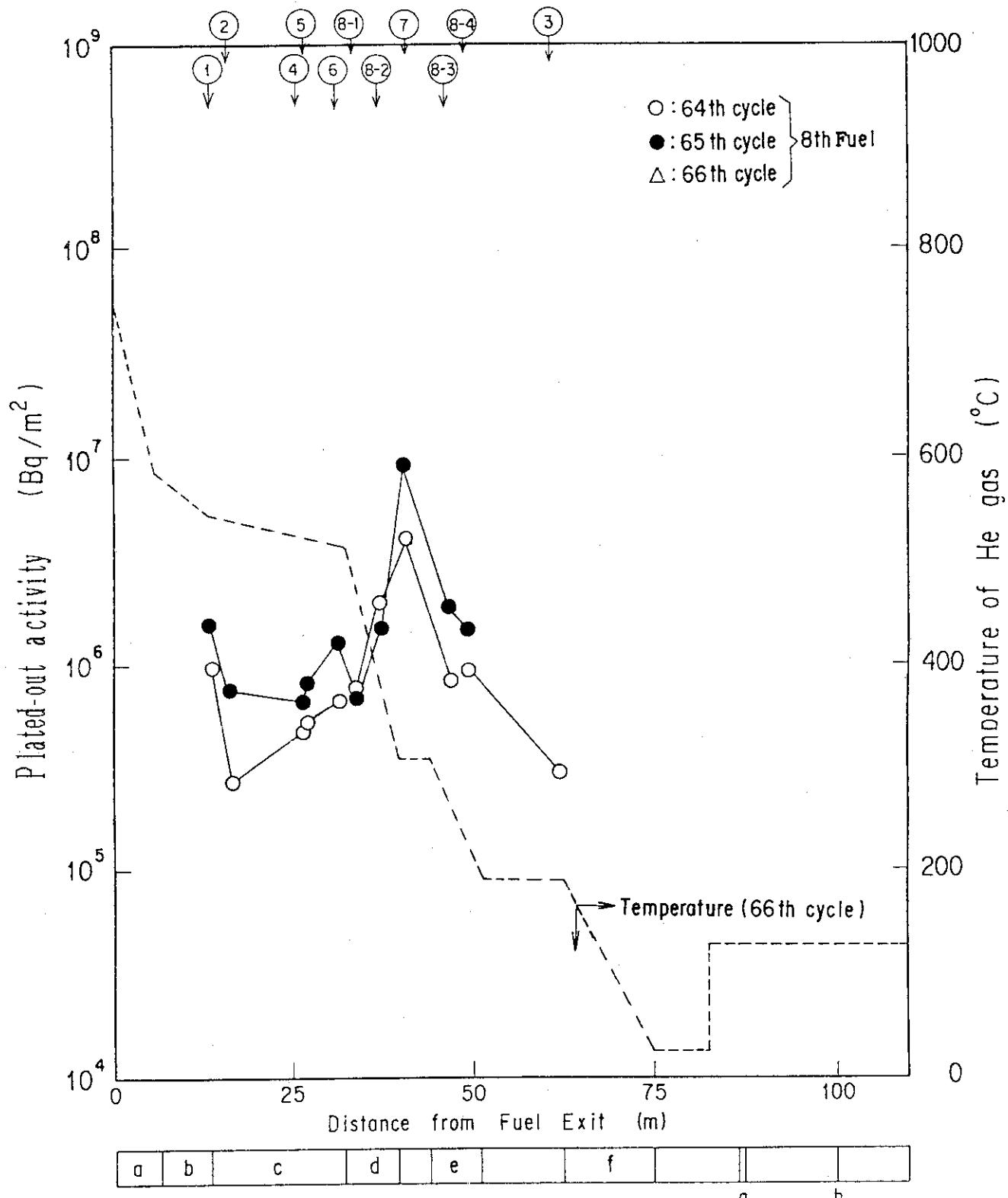


Fig. 4.6.3 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 6th and 7th test fuels



a : In-pile Tube

b : High Temp Duct -1

c : High Temp Duct -2

d : No. 1 IHX

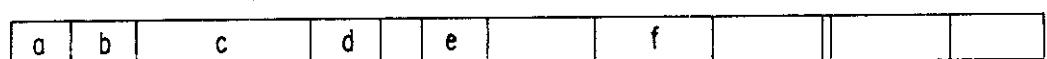
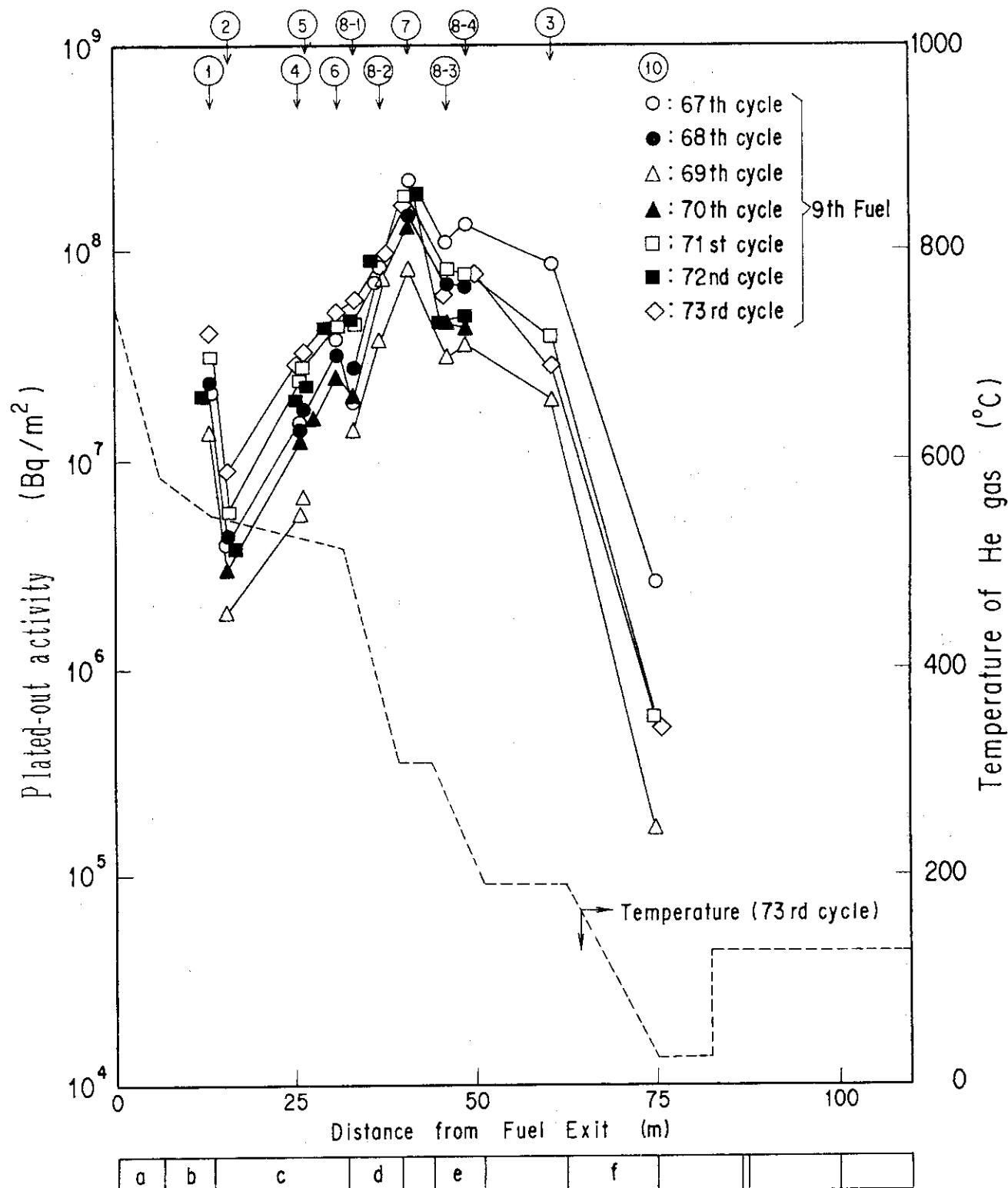
e : No. 2 IHX

f : Cooler

g : Filter

h : Gas Circulator

Fig. 4.6.4 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 8th test fuel



- a : In-pile Tube
- b : High Temp Duct -1
- c : High Temp Duct -2
- d : No. 1 IHX
- e : No. 2 IHX
- f : Cooler
- g : Filter
- h : Gas Circulator

Fig. 4.6.5 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 9th test fuel

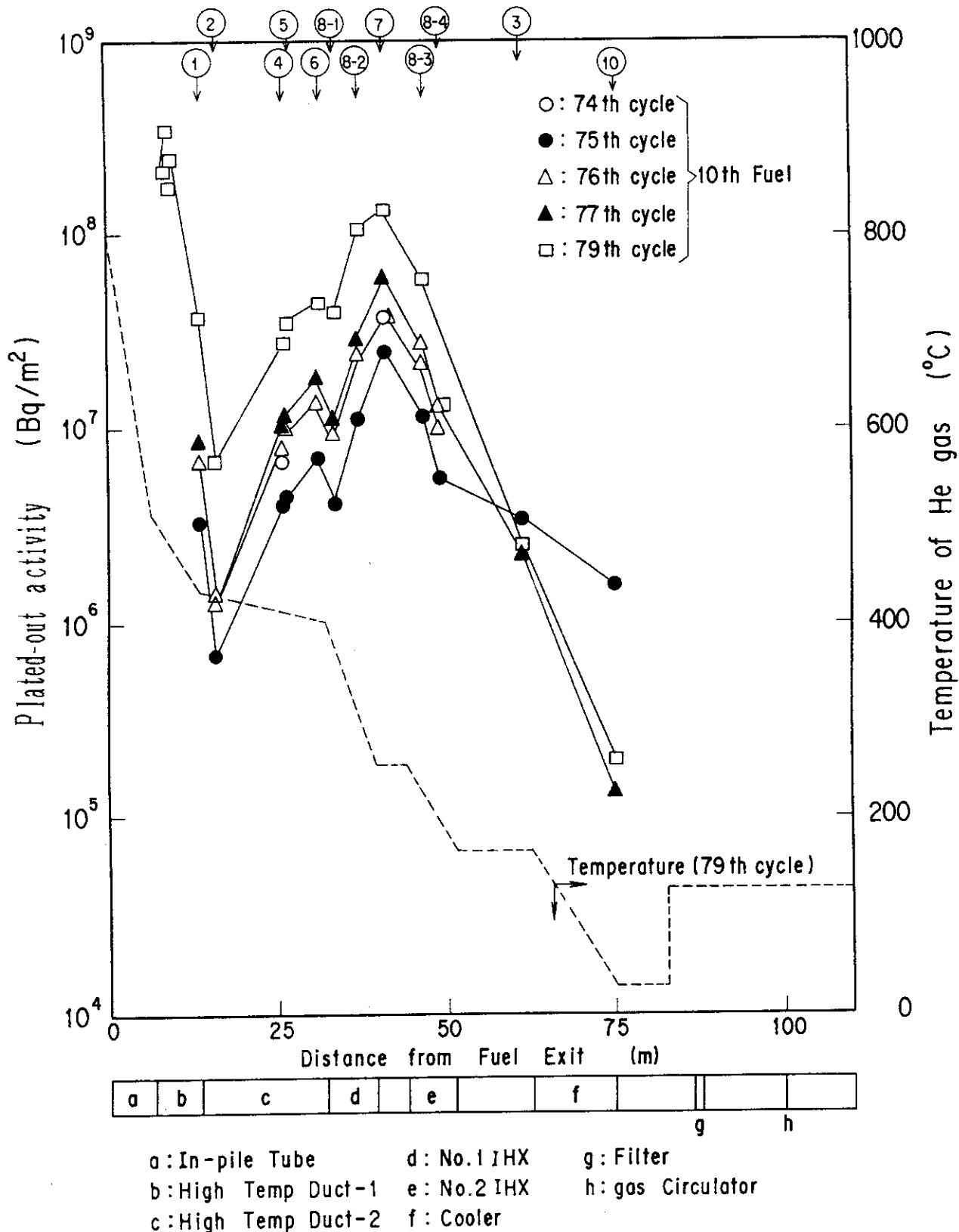
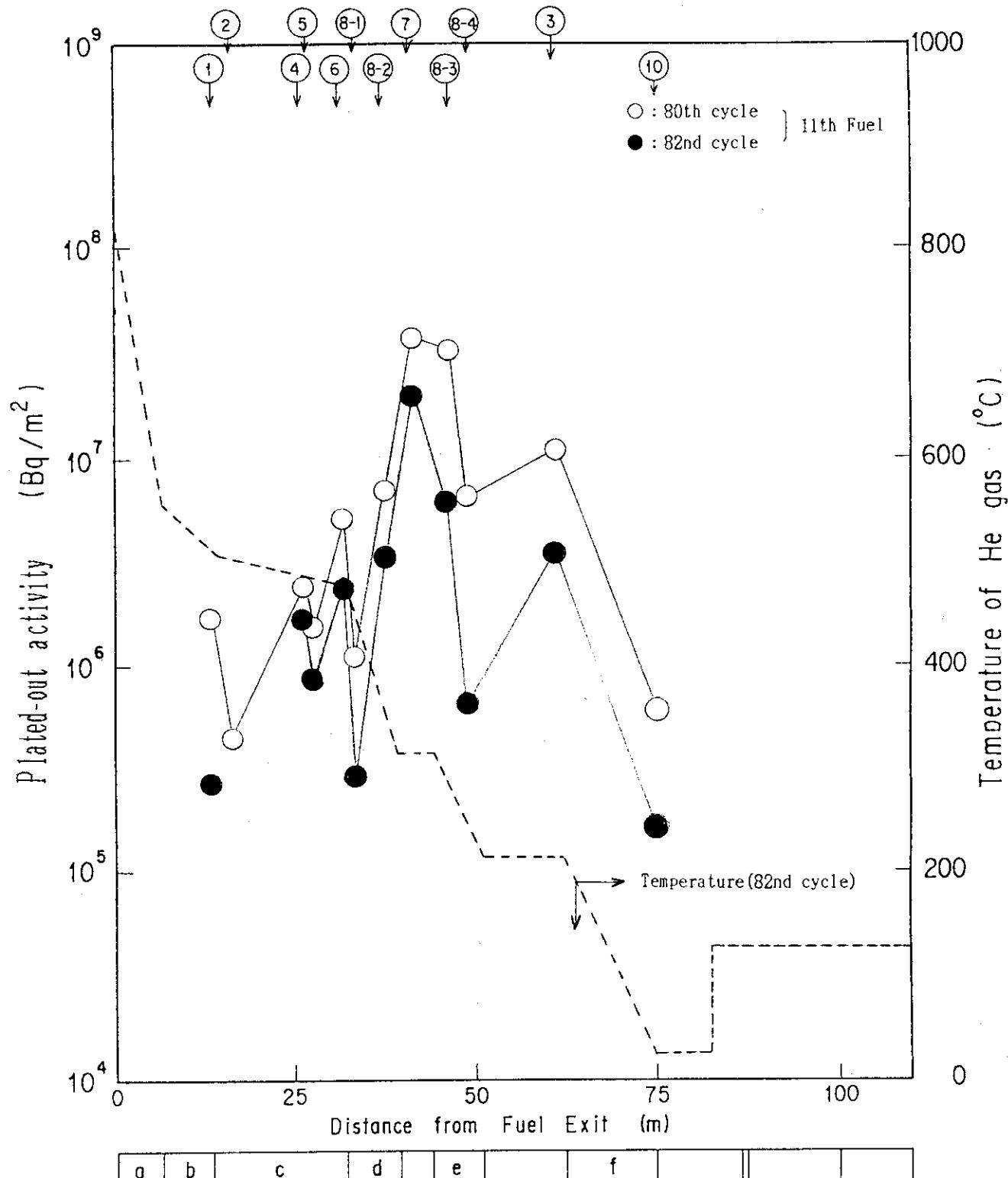


Fig. 4.6.6 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 10th test fuel



a : In-pile Tube d : No. 1 IHX g : Filter
 b : High Temp Duct-1 e : No. 2 IHX h : Gas Circulator
 c : High Temp Duct-2 f : Cooler

Fig. 4.6.7 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 11th test fuel

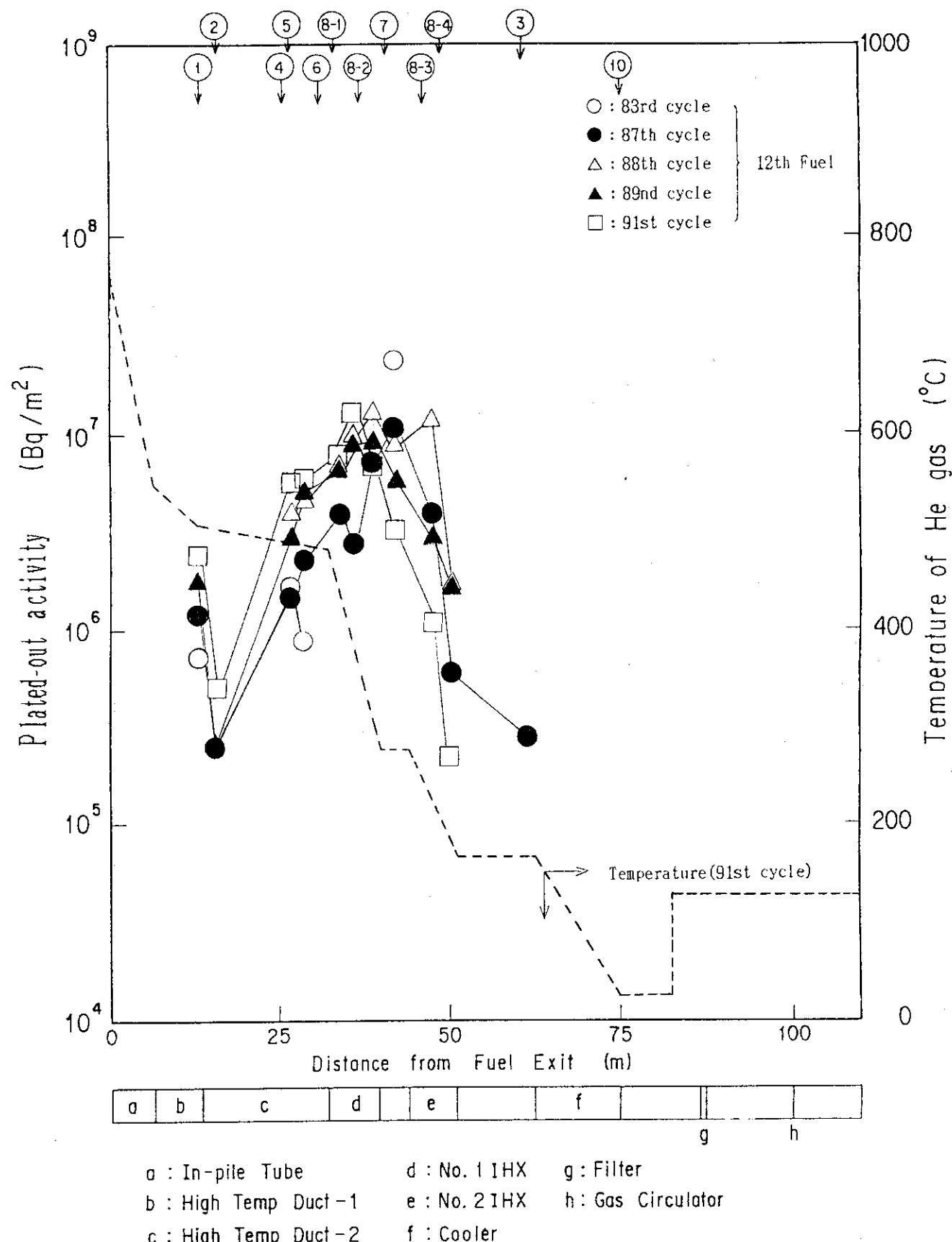


Fig. 4.6.8 Distribution of I-131 plated-out in OGL-1 primary coolant circuit during irradiation of 12th test fuel

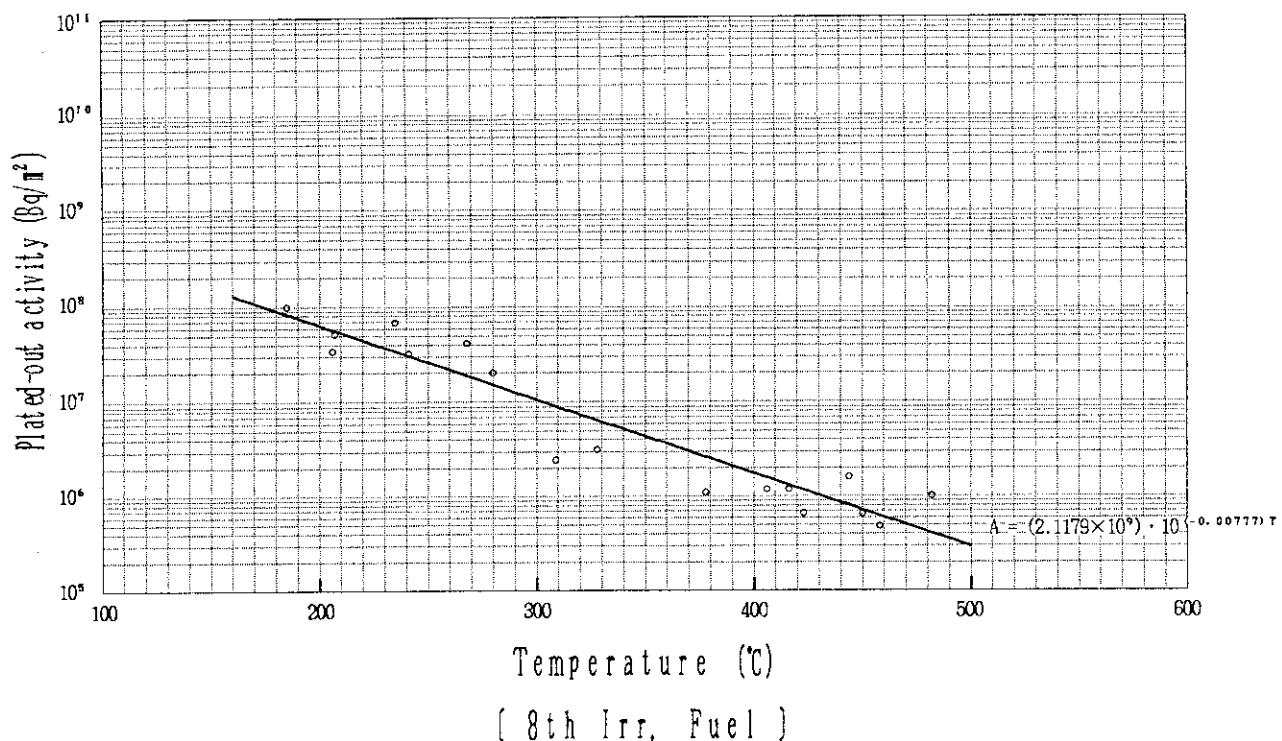


Fig. 5.1.1 Plated-out activity of I-131 due to helium gas temperature

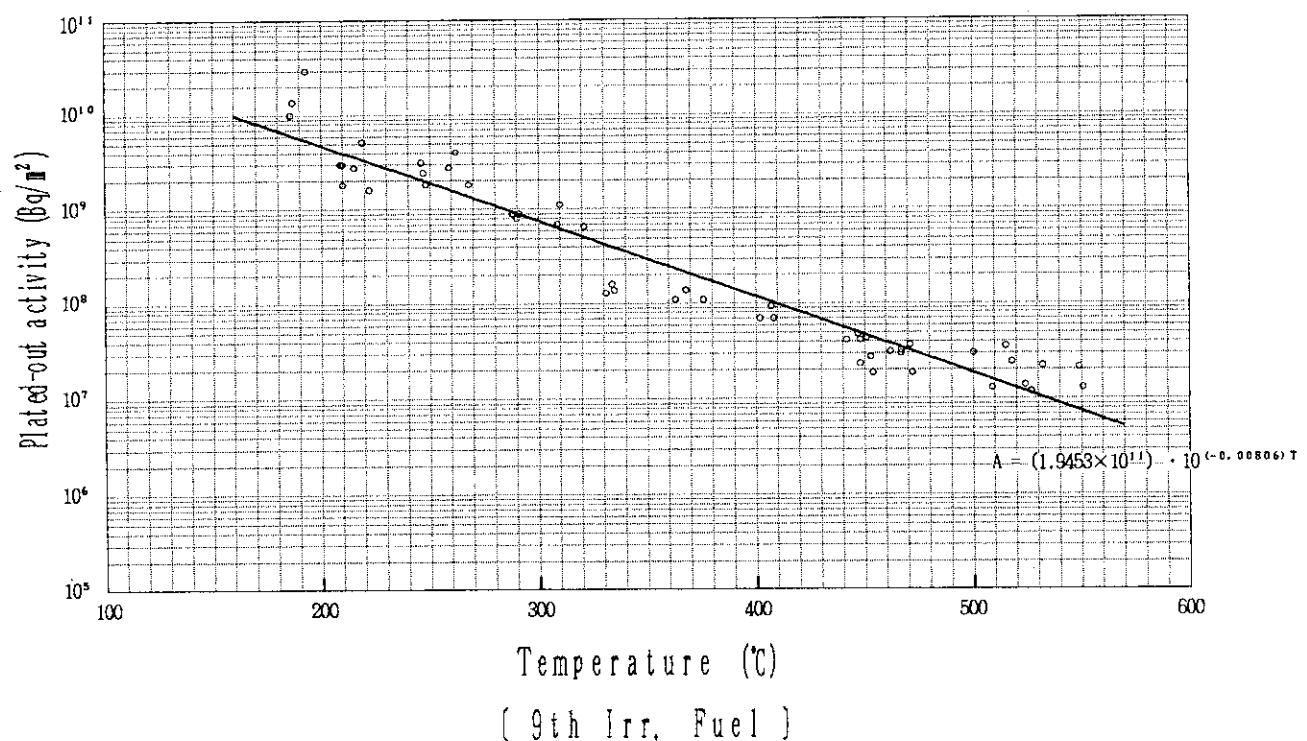


Fig. 5.1.2 Plated-out activity of I-131 due to helium gas temperature

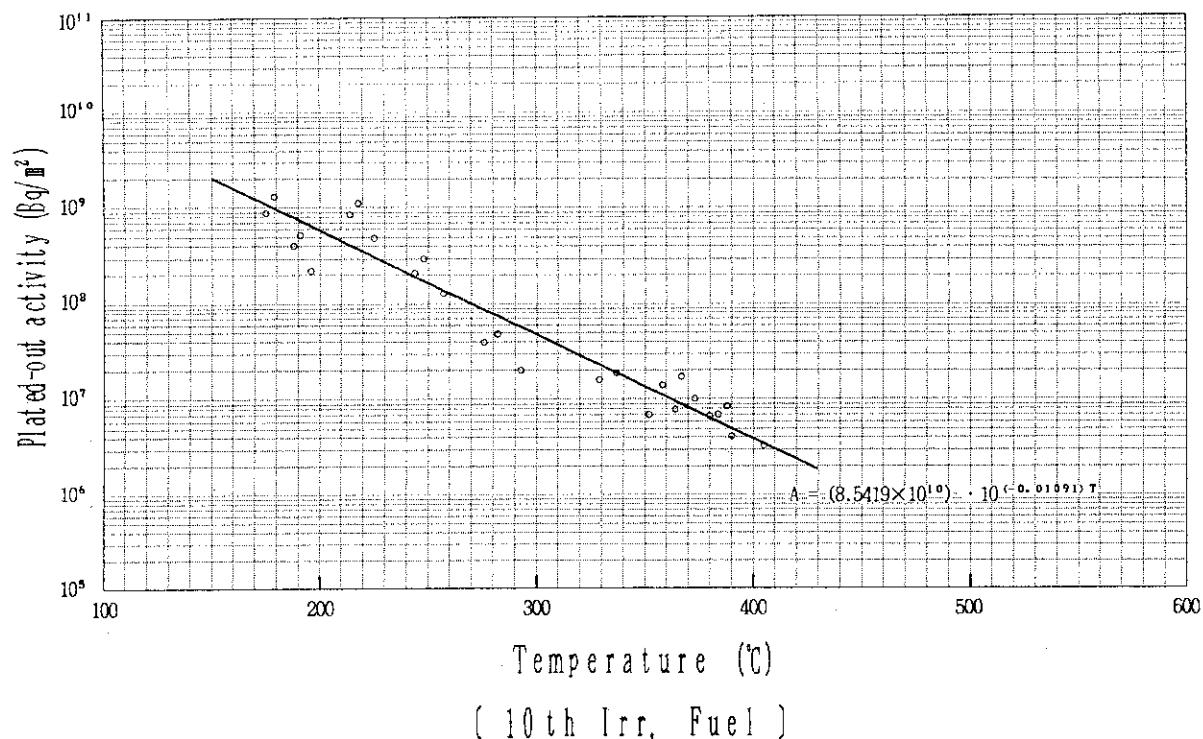


Fig. 5.1.3 Plated-out activity of I-131 due to helium gas temperature

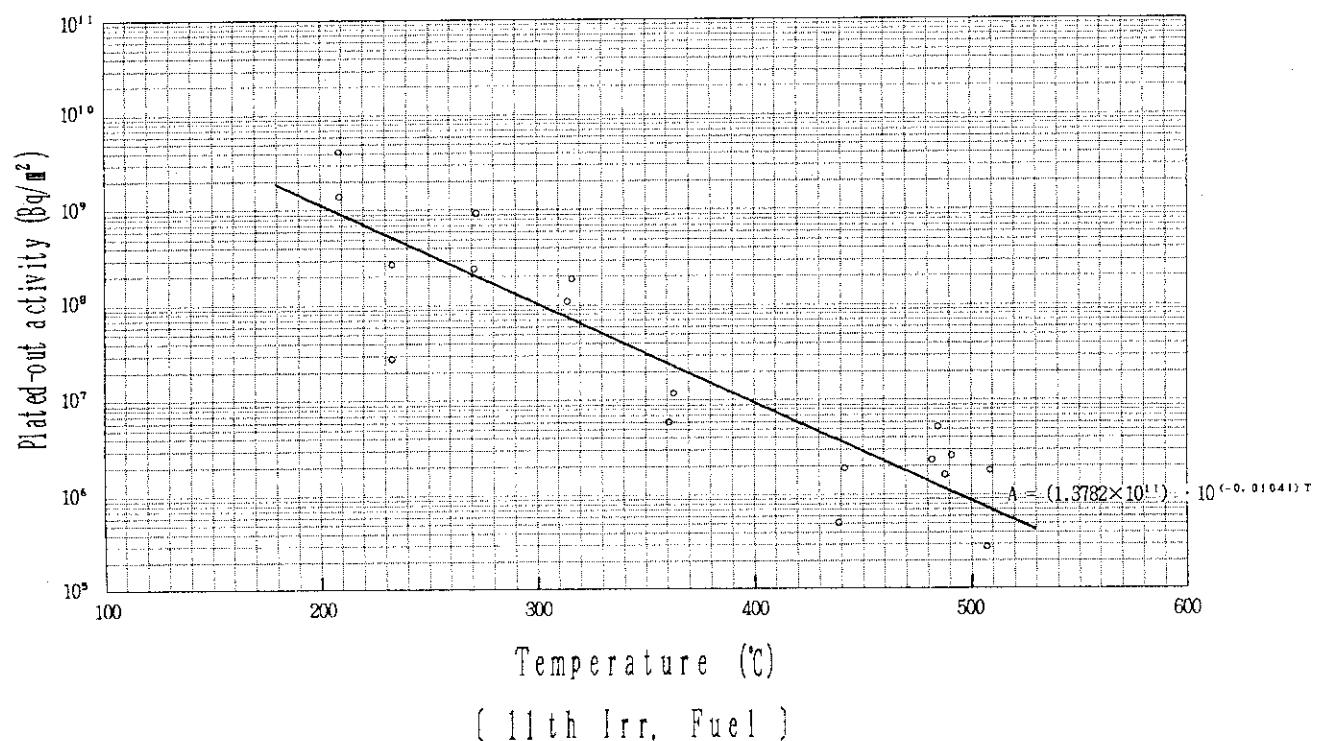


Fig. 5.1.4 Plated-out activity of I-131 due to helium gas temperature

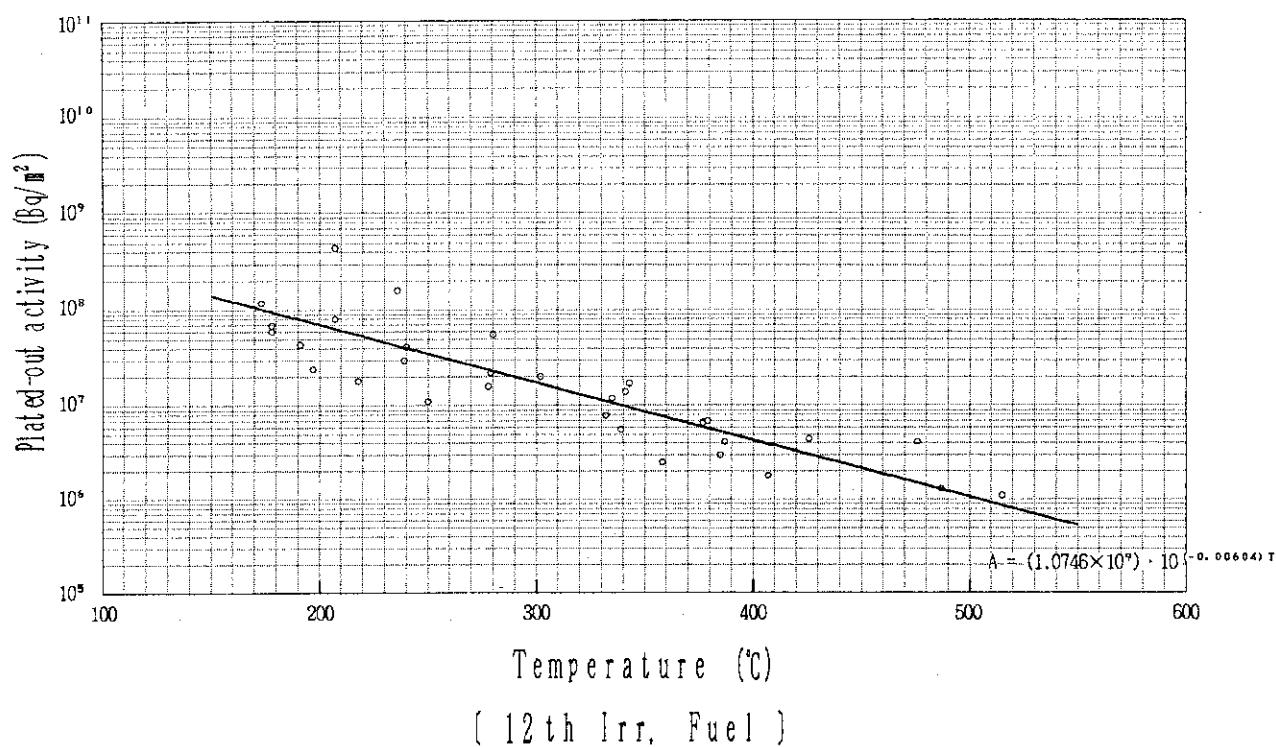


Fig. 5.1.5 Plated-out activity of I-131 due to helium gas temperature

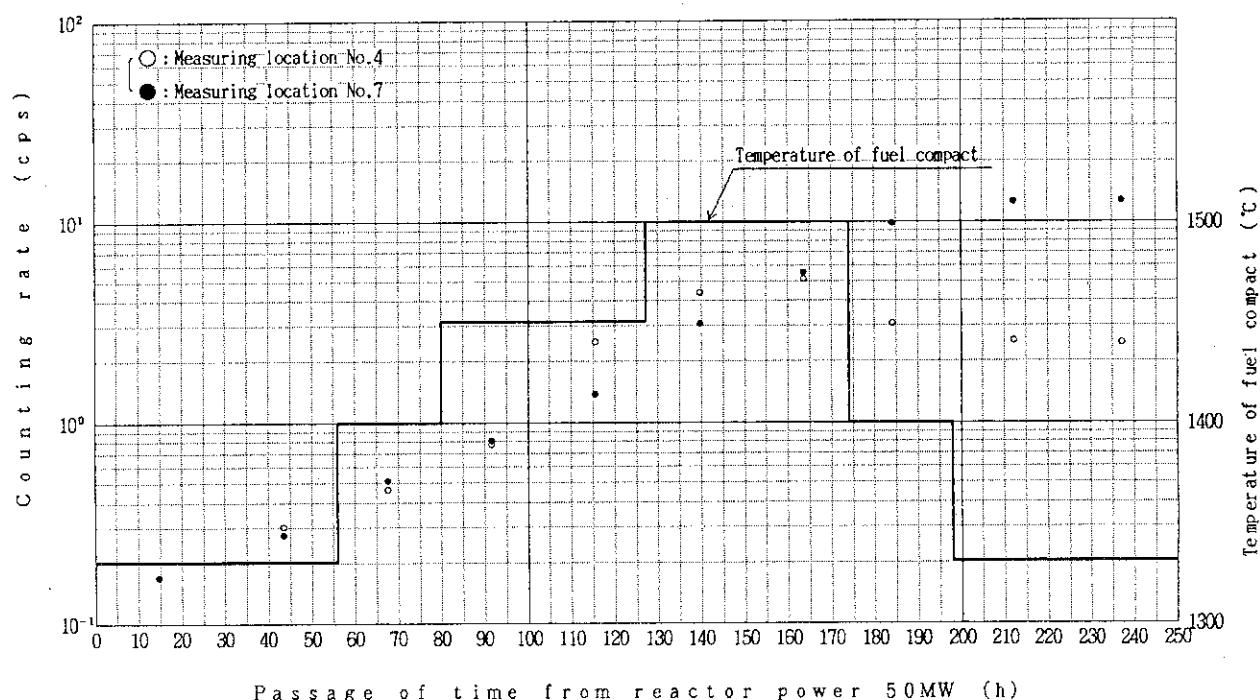


Fig. 5.2 Counting rate of I-131 and temperature history of fuel compact (79th JMTR operating cycle)

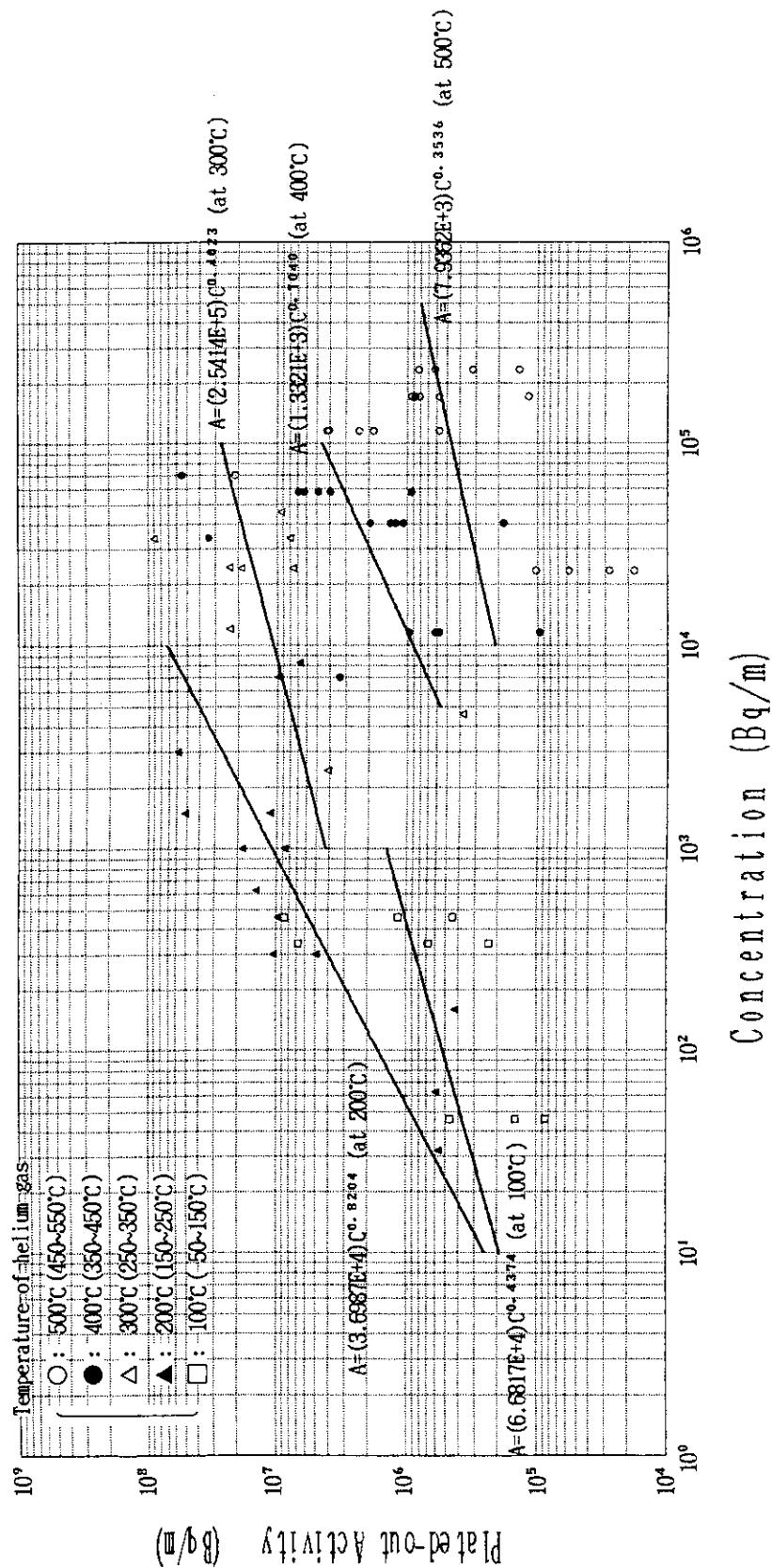


Fig. 5.3 Plated-out activity of I-131 due to concentration in helium gas