

JAERI-M

7579

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プレートアウト測定のための予備実験—

1978年3月

片桐政樹・寺田博海・高橋秀武

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

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 プレートアウト測定のための予備実験 —

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部
片桐 政樹・寺田 博海・高橋 秀武⁺

(1978年2月1日受理)

高温ガス炉の安全解析を行う上で、一次冷却系の配管および機器への FP プレートアウト量を評価する事は、重要な事である。この目的のために、JMTR に設置された高温ガスインパイルループ(OGL-1)を使用した被覆燃料粒子照射試験の際に放出される FP の配管および機器へのプレートアウト量を、外部から Ge 検出器を使用して測定する方法により求める実験が計画されている。この実験を実施するにあたり、測定法の有効性の確認と測定上の問題点を解決するために、鉛コリメータ付きの可搬型 Ge(Li) 検出器を使用して予備実験を行なった。

実験は JMTR 第 39 サイクルおよび第 40 サイクルの終了後実施され、炉内管出口配管、3ヶ所の高温配管、再生熱交換器およびフィルターの 6ヶ所を測定した。測定の結果、配管および機器の内面に、 ^{131}I 、 ^{133}I 、 ^{95}Zr 、 ^{95}Nb 、 ^{99}Mo 、 ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 、 ^{65}Zn 、 ^{59}Fe 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{124}Sb 、 ^{122}Sb 、 ^{182}Ta 、 ^{140}La 、 ^{46}Sc 、 ^{181}Hf 、 ^{24}Na 、 ^{137}Cs などの核種が、 $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ から $10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ にわたってプレートアウトしている事がわかった。

実験の結果、この測定法による FP プレートアウトの測定が有効である事が確認された。又、実験には長時間の測定と測定箇所に適したコリメータの設計が必要である事がわかった。さらに、プレートアウト量の測定精度を良くするためにはモックアップ実験を必要とする事がわかった。

この報告書では、鉛コリメータ付きの可搬型 Ge(Li) 検出器の特性、各サイクルにおける測定結果および測定上の問題点について詳細に報告する。

⁺ 大洗研究所材料試験炉部

Measurement of FP plate-out using a portable Ge(Li) detector

— Preliminary measurement of FP plate-out with OGL-1 —

Masaki KATAGIRI, Hiromi TERADA and

Hidetake TAKAHASHI⁺

Division of Reactor Engineering, Tokai Research
Establishment, JAERI

(Received February 1, 1978)

In safety analysis of a multi-purpose high-temperature gas cooled reactor, it is important to evaluate the amount of fission product (FP) plate-out in piping and machinery of the primary circuit. Germanium spectroscopy of gamma-rays due to the plate-out appears to be useful. Preliminary measurement of FP plate-out was made preceding the FP plate-out measurement project with high-temperature gas loop OGL-1. The purpose was to confirm effectiveness of the method and reveal technical problems.

Upon termination of 39th cycle and 40th cycle of JMTR operation, using a portable Ge(Li) detector and lead collimator, an in-pile tube, three high-temperature pipes, a regenerative heat exchanger and a filter in the OGL-1 were measured. Plate-out nuclide ^{131}I , ^{133}I , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{59}Fe , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{182}Ta , ^{140}La , ^{46}Sc , ^{181}Hf , ^{24}Na and ^{137}Cs could be identified, with concentrations of $10^{-5}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2 \sim 10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$.

The method was found to be effective, and useful results could be obtained for the FP plate-out measurement project.

Keywords: Plate-out, Fission Product, Corrosion Product, Gamma-ray, Portable Ge(Li) Detector, Pipes, Machinery, Primary Circuit, High-temperature Gas Loop, OGL-1 In-pile Loop, JMTR, Preliminary Measurement

⁺ Division of JMTR, Oarai Research Establishment, JAERI

目 次

1. まえがき	1
2. 測定装置	1
2.1 可搬型Ge(Li)検出器	1
2.2 コリメータ	2
2.3 測定装置の特性	2
2.4 現場測定	3
3. 測定箇所	4
4. 測定結果	5
4.1 第39サイクル停止後の測定結果	5
4.2 第40サイクル停止後の測定結果	7
4.3 第42サイクル開始直前の測定結果	8
4.4 その他の測定点の測定結果	9
5. 沈着濃度の計算	11
5.1 計算方法	11
5.2 計算結果	11
6. 測定方法についての考察	12
7. 測定結果の検討	14
8. 結 論	16
謝 辞	16
参考文献	17
表	18
図	36
写真	60
付録	63

Contents

1. Introduction	1
2. Detection systems	1
2.1 Portable Ge(Li) detector	1
2.2 Collimator	2
2.3 Characteristics of detection systems	2
2.4 Measurements at OGL-1	3
3. Measuring points	4
4. Results obtained by measurements	5
4.1 Results measured after 39th cycle of JMTR	5
4.2 Results measured after 40th cycle of JMTR	7
4.3 Results measured before 42th cycle of JMTR	8
4.4 Results measured at other measuring points	9
5. Calculations of plate-out concentrations	11
5.1 Method of calculations	11
5.2 Results of calculations	11
6. Considerations of measuring method	12
7. Analysis of results obtained by measurements	14
8. Conclusions	16
Acknowledgment	16
References	17
Tables	18
Figures	36
Photos	60
Appendix	63

1. ま え が き

多目的高温ガス炉の安全解析を行う上で必要となる、一次冷却系の配管および機器へのFPのプレートアウト量の評価を行うために、材料試験炉部(JMTR)において、高温ガスインパイルループ(UGL-1)を使用したFPプレートアウト測定実験が計画され、その実施方法の検討がなされてきた。この中で、一次冷却系の配管および機器の内面にプレートアウトしたFPからのガンマ線を、外部からGe検出器を使用して測定し、核種の同定および定量を行う方法が検討および計画された。この実験を実施する前に、この方法の有効性の確認と問題点の解決のために予備実験が必要となった。本測定は上記にもとづいて実施され、プレートアウトしている核種の同定および定量に関する測定方法および解析方法の確立を目的としている。

測定に使用した装置は、有効検出体積 44 cm^3 の可搬型Ge(Li)検出器と長さ4 cm、巾1 cmの長方形の窓をあけた厚さ5 cmの鉛コリメータからなっており、総重量は67 kgであった。この装置を使用して、JMTR第39サイクルおよび第40サイクルのUGL-1における被覆燃料粒子照射試験の終了後、炉内管出口配管、3ヶ所の高圧配管、再生熱交換器およびフィルターの6ヶ所の測定を行なった。測定したガンマ線スペクトルは放射線データ処理装置ND-50/50を使用して解析し、ピーク計数率を得た。測定箇所と測定装置の幾何学的条件をモデル化して計算を行ない、ピーク計数率より配管および機器の内面にプレートアウト(沈着)した核種の絶対濃度($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)を求めた。

本報告書では、鉛コリメータ付きの可搬型Ge(Li)検出器の特性、各サイクルにおける測定結果および測定上の問題点について詳細に報告する。又、プレートアウト測定実験の解析を行う上で必要となるサンプリングガス、ハンガーロッド、グラファイトおよび炉内管トップクロージャーの内面のスミア試料の定性定量分析も行なったのであわせて報告する。

2. 測 定 装 置

UGL-1の配管および機器にプレートアウト(今後、沈着とする)したFPの定性定量分析を行うために、配管および機器の外部からガンマ線を測定する装置を製作した。UGL-1のループキュービクルは狭く配管、機器類が密集しており、測定装置を置くスペースがあまりないため、可搬型のGe(Li)検出器と適当な大きさのコリメータを製作した。以下に測定装置の説明を行う。

2.1 可搬型Ge(Li)検出器

使用した可搬型Ge(Li)検出器は筆者等が製作した 44 cm^3 同軸型Ge(Li)検出器である。検出器の大きさは、直径 $44.5 \text{ mm}\phi$ 、長さ 31.5 mm 、 n 層の厚さ 0.7 mm としてP層の直径が一端で $8 \text{ mm}\phi$ 、他端で $12 \text{ mm}\phi$ であった。検出有効体積を計算すると 44 cm^3 となった。この検出器を

1. ま え が き

多目的高温ガス炉の安全解析を行う上で必要となる、一次冷却系の配管および機器へのFPのプレートアウト量の評価を行うために、材料試験炉部(JMTR)において、高温ガスインパイルループ(UGL-1)を使用したFPプレートアウト測定実験が計画され、その実施方法の検討がなされてきた。この中で、一次冷却系の配管および機器の内面にプレートアウトしたFPからのガンマ線を、外部からGe検出器を使用して測定し、核種の同定および定量を行う方法が検討および計画された。この実験を実施する前に、この方法の有効性の確認と問題点の解決のために予備実験が必要となった。本測定は上記にもとづいて実施され、プレートアウトしている核種の同定および定量に関する測定方法および解析方法の確立を目的としている。

測定に使用した装置は、有効検出体積 44 cm^3 の可搬型Ge(Li)検出器と長さ4 cm、巾1 cmの長方形の窓をあけた厚さ5 cmの鉛コリメータからなっており、総重量は67 kgであった。この装置を使用して、JMTR第39サイクルおよび第40サイクルのUGL-1における被覆燃料粒子照射試験の終了後、炉内管出口配管、3ヶ所の高温配管、再生熱交換器およびフィルターの6ヶ所の測定を行なった。測定したガンマ線スペクトルは放射線データ処理装置ND-50/50を使用して解析し、ピーク計数率を得た。測定箇所と測定装置の幾可学的条件をモデル化して計算を行ない、ピーク計数率より配管および機器の内面にプレートアウト(沈着)した核種の絶対濃度($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)を求めた。

本報告書では、鉛コリメータ付きの可搬型Ge(Li)検出器の特性、各サイクルにおける測定結果および測定上の問題点について詳細に報告する。又、プレートアウト測定実験の解析を行う上で必要となるサンプリングガス、ハンガーロッド、グラフィイトおよび炉内管トップクロージャーの内面のスミア試料の定性定量分析も行なったのであわせて報告する。

2. 測 定 装 置

UGL-1の配管および機器にプレートアウト(今後、沈着とする)したFPの定性定量分析を行うために、配管および機器の外部からガンマ線を測定する装置を製作した。UGL-1のループキュービクルは狭く配管、機器類が密集しており、測定装置を置くスペースがあまりないため、可搬型のGe(Li)検出器と適当な大きさのコリメータを製作した。以下に測定装置の説明を行う。

2.1 可搬型Ge(Li)検出器

使用した可搬型Ge(Li)検出器は筆者等が製作した 44 cm^3 同軸型Ge(Li)検出器である。検出器の大きさは、直径 $44.5 \text{ mm}\phi$ 、長さ 31.5 mm 、 n 層の厚さ 0.7 mm そしてP層の直径が一端で $8 \text{ mm}\phi$ 、他端で $12 \text{ mm}\phi$ であった。検出有効体積を計算すると 44 cm^3 となった。この検出器を

Fig. 2.4 に示す容量 7.5 ℓ の小型冷却容器 (Cryogenic Associates 社製 SD-107J) の下に垂直方向に取り付けた。取り付け位置は冷却容器のアルミキャップの先端から 1 cm の所が Ge(Li) 検出器の表面となるようにした。取り付けてクリーンアップ処理を行なった後、検出器を 77°K に冷却し、漏洩電流と静電容量のバイアス電圧依存性を測定した。得られた特性を Fig. 2.1 に示す。バイアス電圧 2000 V を印加した時に、漏洩電流は 0.2 nA 以下、静電容量は 15 PF であった。この検出器に前置増巾器 ORTEC-120-4 F と高圧フィルタ-ORTEC-119B を取り付け使用した。⁶⁰Co ガンマ線源の 1.33 MeV のガンマ線に対する特性を測定した結果、線源-検出間距離 25 cm の時の 3" × 3" NaI(Tℓ) 検出器の検出効率に対する相対検出効率が 8%, そして半値巾エネルギー分解能が 2.1 KeV であった。液体窒素 7.5 ℓ を入れた時の検出器の総重量は 15 kg であった。又、液体窒素の最大保持日数は 7 日であったが、通常は 4 日おきに補充を行なった。

2.2 コリメータ

第 2.1 節で述べた Ge(Li) 検出器の先端の検出器部分の所に鉛コリメータをかぶせて配管および機器から来るガンマ線のみを測定するようにした。バックグラウンドを少なくするためにはできるだけコリメータの鉛の厚さを厚くする必要があるが、可搬型とするためには、二人で手で持ち上げられるような重さでなければならない。このため、設計する際、50 kg 程度の重さという事で設計した。Fig. 2.2 にコリメータの設計図を示す。直径 20 cm, 長さ 18.5 cm の井戸型のコリメータで、下側と側面にコリメータ窓として長さ 4 cm, 巾 1 cm の長方形の窓を作った。コリメータ窓を塞ぐメクラ板を用意して、下側および側面のどちらからでも測定ができるようにした。鉛の厚さは 5 cm としてまわりは 1 cm のステンレスでカバーした。側面のコリメータ窓の位置は Ge(Li) 検出器の位置と丁度合うように設計した。又、コリメータと Ge(Li) 検出器とを接続するためにコリメータの上部に厚さ 2 mm のアルミニウムでできた高さ 30 cm の円筒型の保持台を作った。コリメータの総重量は 52 kg であった。

このコリメータのガンマ線に対する阻止能を知るため、参考に Fig. 2.3 に厚さ 5 cm の鉛のガンマ線に対する透過率の計算結果を示す。0.5 MeV のガンマ線に対して 0.02%, 1 MeV のガンマ線に対して 2.5%, 1.5 MeV のガンマ線に対して 5.2% が透過して来る事がわかる。実際にこの測定装置を使用して測定をする場合には、測定対象が大きい事としゃへいをしていない上部からの透過が大きいために、この値よりも悪くなる。

2.3 測定装置の特性

可搬型 Ge(Li) 検出器とコリメータを組み合わせた装置の概略図を Fig. 2.4 に示す。装置は直径 20 cm, 長さ 75 cm で総重量が 67 kg である。側面のコリメータ窓を使用した場合のこの装置のガンマ線に対するピーク検出効率 (cps/photon flux) を Fig. 2.5 に示す。コリメータの側面から 10 cm の距離に線源をおいて測定しており、1 MeV のガンマ線に対して 0.4 cps/photon flux の検出効率が得られた。

コリメータ窓の特性を測定するために、コリメータのまわりでガンマ線標準線源の位置を変え

た場合の絶対ピーク検出効率の変化を測定する実験を行なった。Fig. 2.6 に検出器の中心と線源との距離を 20 cm に保ったまま、 ^{152}Eu 線源を水平方向に角度を変えた場合の、121 KeV, 433 KeV, 779 KeV, 1407 KeV のガンマ線に対する絶対ピーク検出効率の変化を示す。121 KeV のガンマ線に対しては半値巾角度が約 10° であり、1407 KeV のガンマ線に対しては半値巾角度が約 15° であった。このようにガンマ線のエネルギーによりコリメータ窓の望む範囲が変化するため、沈着濃度を計算する場合には考慮が必要であった。又、1407 KeV のガンマ線に対してコリメータ窓と関係ない角度でも 5×10^{-6} の絶対ピーク検出効率を得られており、ガンマ線エネルギーが高くなるとまわりからのバックグラウンドを計測してしまう事がわかる。Fig. 2.7 に検出器の中心と線源との距離を 20 cm として ^{152}Eu 線源を垂直方向に角度を変えた場合の 121 KeV, 433 KeV, 779 KeV, 1407 KeV のガンマ線に対する絶対ピーク検出効率の変化を示す。121 KeV のガンマ線に対して半値巾角度が約 20° であるのに対して 1407 KeV のガンマ線に対しては約 30° となる事がわかる。

この装置のバックグラウンドに対する特性を得るために、線源を垂直方向に 180° 変化させた場合の絶対ピーク検出効率の変化を測定した。測定結果を Fig. 2.8 に示す。線源と検出器の間を 70 cm とし、 ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{60}Co の 4 種類の線源を使用して測定した。又、コリメータ窓にはメクラ板をして測定を行なった。測定の結果、下側に角度を移動した場合 -45° の所が一番しゃへい効果があり、平均すると 0° でコリメータ窓をあけた時の検出効率の 10% 以下である事がわかった。一方、上側に移動した場合には、 30° までは良いしゃへい効果が得られるが、これ以上の角度になると検出効率が増加してしまい、 45° 以上になると 0° でコリメータ窓をあけた時の検出効率とほぼ同じ検出効率となってしまうことがわかった。従って、この装置を実際使用するためには上部にバックグラウンドとなるものがあるかどうか注意して測定する必要がある事がわかった。

2.4 現場測定

この装置を使用した OGL-1 の現場での測定例を Fig. 2.9 に示す。Ge(Li) 検出器で測定されたガンマ線信号は前置増巾器 ORTEC-120-4F で増巾された後、約 10 m のケーブルを使ってスペクトロスコピアンプ CANBERRA-2010 に導かれる。増巾された後バイポーラ信号をタイミングシングルチャンネル CANBERRA-1437 に送り、レートメータ TOYO BM-700 を使用してガンマ線ピーク計数率を得た。ユニポーラ信号は 100 m のケーブルを使用して JMTR 1 階に置いた波高分析器に送られ波高分布を測定した。波高分析器としては CANBERRA-8100 (4096 チャンネル) を使用した。測定されたデータは、高速度紙テープパンチ Tally P-2100 を使って紙テープに打ち出し集録した。

集録された紙テープは、東海研究所原子炉計測室にある放射線データ処理装置 ND-50/50 を使用して解析を行なった。紙テープはカセットテープに変換された後、解析およびデジタルプロットが行なわれた。解析プログラムは、この装置のために開発された MACAL¹⁾ という言語を使用したプログラムである。4096 チャンネルのデータの解析とプロットに約 30 分の時間を要した。

3. 測定箇所

今回の予備実験で測定した6ヶ所の測定点は、OGL-1 ガスループの中で測定する必要がある測定点約30ヶ所の中から、特徴のある測定点である事および測定が比較的容易な場所という2つの理由から選ばれた。6ヶ所の測定点について、Fig. 3.1 に配置図を示すと共に以下に簡単に説明する。

1) 測定点1 (炉内管出口配管)

JMTRの圧力容器上蓋部にあるOGL-1 炉内管出口部分の高温配管である。Fig. 3.2 に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.1 に写真を示す。この配管には運転時に約600°CのHeガスが流れており、運転中は水プールの中にある。従って測定はJMTRが停止した後プールの水を抜いた時に行う事ができる。この測定点のまわりにはJMTRの他の配管がありバックグラウンドの高い場所である。測定にはJMTRに付属しているクレーンを使用するため、クレーンの使用時間に制限があり短時間の測定しかできなかった。

2) 測定点2 (2重管構造の高温配管)

JMTR地下1階のOGL-1 ループキュービクル内の上部にある2重管構造の高温配管で、測定点1の直後の位置にある。Fig. 3.3 に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.2 に写真を示す。運転時には2重管の内側を約500°Cの高温Heガスが流れ、外側を加熱器から戻って来る約500°CのHeガスが流れる。測定では2重管の内側と外側を測定してしまうので外側を流れるHeガスの中にFPが含まれていると外側にも沈着してしまい内側に沈着した量を明確に測定できない。今回は沈着していないと仮定して測定した。測定点へ、測定装置を設置するにはチェーンブロックを使用した。周囲に配管および機器類が密集しているため長時間を要した。この測定点では上部からのバックグラウンドはなく下側の配管からのバックグラウンドが主であった。

3) 測定点3 (2重管から1重管に移行した直後の高温配管)

JMTR地下1階のOGL-1 ループキュービクル内の下部にある2重管から1重管へ移行した直後のL字型の高温配管である。Fig. 3.4 に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.3 に写真を示す。運転時には約500°Cの高温Heガスが流れている。この測定点におけるバックグラウンドは上部にある配管および機器によるので、第2章で述べたようにコリメータのシャヘいがされていない部分からバックグラウンドガンマ線が入って来ってしまう。従って測定後バックグラウンドの測定を行う事が不可欠の場所である。

4) 測定点4 (地下3階の高温配管)

JMTR地下3階にあるOGL-1 ループキュービクル内の高温配管である。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横に水平に曲げられた後続く比較的長い直管の高温配管の丁度中間の位置を測定した。Fig. 3.5 に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.4 に写真を示す。この配管には約450°CのHeガスが流れる。この測定点のバックグラウンドとしては、丁度真下にあるOWL-1ループの廃棄溜からのガンマ線が考えられる。従って測定する際

に測定装置の下側に厚さ10cmの鉛のブロックを積んで測定を行なった。

5) 測定点5 (# 1 再生熱交換器)

JMTR地下3階のOGL-1 ループキュービクル内にある#1再生熱交換器の入口付近である。Fig. 3.6 に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.5 に写真を示す。測定点4の高温配管から#1再生熱交換器に入ったHeガスはガス循環器からの低温のHeガスを使って熱交換されて、約450°Cの温度から約220°Cの温度に下げられる。この測定箇所でのバックグラウンドは、#1再生熱交換器が大きいため自分自身のバックグラウンドによるものと背後にあるフィルターからのものとが考えられる。

6) 測定点6 (フィルター)

JMTR地下3階のOGL-1 ループキュービクル内にあるフィルターである。測定位置は一番計数率の多かった丁度中間を測定した。Fig. 3.7 に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.6 に写真を示す。再生熱交換器を出たHeガスは冷却器で冷却され、フィルターには約130°C となって来る。フィルターは中に吸着面積をあげるために中空で素焼の管が7本入れてある構造になっており、Heガス中に含まれるダスト状のものを除去している。この測定点におけるバックグラウンドとしては、フィルター自身によるものと背後にある再生熱交換器によるものが考えられる。又、背後に廃棄物を流す配管が流れており、ここから来るガンマ線にも注意が必要であった。

4. 測定結果

OGL-1 ガスループの配管および機器に沈着している核種からのガンマ線の測定結果を示す。測定は、JMTR第39サイクルおよび第40サイクルの停止後に、OGL-1の温度を下げて精製運転した後、中のHeガス圧力を2気圧前後に下げた状態で各測定点の測定を行なった。

又、この章ではFP沈着実験の解析をするのに必要となる測定点(測定点7から10)の測定結果と試料(採集場所11と12)の測定結果も示す。あわせて、今回の実験の測定の記録を付録としてAPPENDIX 1 に示した。

4.1 第39サイクル停止後の測定結果

JMTR第39サイクルは熱出力50 MWで1977年3月8日から3月29日まで運転された。同時にOGL-1による最初の被覆燃料粒子照射試験が行なわれた。主な照射条件は炉内管入口Heガス流量60 g/sec, 試料出口温度1050°C, 炉内管入口圧力30 kg/cm²Gであった。Fig. 4.1 に第39サイクルのOGL-1 ガスループのヒート・バランスと測定点の位置を示す。

測定は4月1日から5月7日にかけて行なわれた。以下に各測定点における測定結果を示す。

に測定装置の下側に厚さ10cmの鉛のブロックを積んで測定を行なった。

5) 測定点5 (# 1 再生熱交換器)

JMTR地下3階のOGL-1 ループキュービクル内にある#1再生熱交換器の入口付近である。Fig. 3.6に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.5に写真を示す。測定点4の高温配管から#1再生熱交換器に入ったHeガスはガス循環器からの低温のHeガスを使って熱交換されて、約450°Cの温度から約220°Cの温度に下げられる。この測定箇所でのバックグラウンドは、#1再生熱交換器が大きいいため自分自身のバックグラウンドによるものと背後にあるフィルターからのものとが考えられる。

6) 測定点6 (フィルター)

JMTR地下3階のOGL-1 ループキュービクル内にあるフィルターである。測定位置は一番計数率の多かった丁度中間を測定した。Fig. 3.7に測定点の概略図を示すと共にPhoto 3.6に写真を示す。再生熱交換器を出たHeガスは冷却器で冷却され、フィルターには約130°Cとなって来る。フィルターは中に吸着面積をあげるために中空で素焼の管が7本入れてある構造になっており、Heガス中に含まれるダスト状のものを除去している。この測定点におけるバックグラウンドとしては、フィルター自身によるものと背後にある再生熱交換器によるものが考えられる。又、背後に廃棄物を流す配管が流れており、ここから来るガンマ線にも注意が必要であった。

4. 測定結果

OGL-1 ガスループの配管および機器に沈着している核種からのガンマ線の測定結果を示す。測定は、JMTR第39サイクルおよび第40サイクルの停止後に、OGL-1の温度を下げて精製運転した後、中のHeガス圧力を2気圧前後に下げた状態で各測定点の測定を行なった。

又、この章ではFP沈着実験の解析をするのに必要となる測定点(測定点7から10)の測定結果と試料(採集場所11と12)の測定結果も示す。あわせて、今回の実験の測定の記録を付録としてAPPENDIX 1に示した。

4.1 第39サイクル停止後の測定結果

JMTR第39サイクルは熱出力50 MWで1977年3月8日から3月29日まで運転された。同時にOGL-1による最初の被覆燃料粒子照射試験が行なわれた。主な照射条件は炉内管入口Heガス流量60 g/sec, 試料出口温度1050°C, 炉内管入口圧力30 kg/cm²Gであった。Fig. 4.1に第39サイクルのOGL-1 ガスループのヒート・バランスと測定点の位置を示す。

測定は4月1日から5月7日にかけて行なわれた。以下に各測定点における測定結果を示す。

1) 測定点1 (炉内管出口配管)

JMTR停止後3日目に測定を行なった。測定時間は4000秒であった。Fig. 4.2に得られたガンマ線スペクトルを示す。 ^{24}Na , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{99}Mo , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{140}La の6種類の核種が検出された。この測定点は周囲から来るバックグラウンドがかなりあると考えられるので、真の計数率を得るためにはバックグラウンドを測定する必要がある。今回の実験では時間の都合でバックグラウンドを測定できなかつたので、正確な計数率を得る事はできなかつた。

2) 測定点2 (2重管構造の高温配管)

JMTR停止後8日目に測定を行なった。ガンマ線の全計数率が10cpsと少ないため長時間の測定が必要となり60000秒の測定を行なった。Fig. 4.3に得られたガンマ線スペクトルを示す。検出された核種は ^{51}Cr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{181}Hf , ^{131}Ba , ^{122}Sb , ^{99}Mo , ^{58}Cr , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{140}La の13核種である。 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ と ^{54}Mn のガンマ線ピークがかなり強く出ている。

3) 測定点3 (2重管から1重管に移行した直後の高温配管)

JMTR停止後38日目に測定された。時間が少し経過した後測定しているため、短寿命核種は崩壊してしまつて測定されなかつた。Fig. 4.4に得られたガンマ線スペクトルを示す。検出された核種は $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{124}Sb の6核種であつた。この測定点でも $^{110\text{m}}\text{Ag}$ と ^{54}Mn のガンマ線ピークが強く出ている。

4) 測定点4 (地下3階の高温配管)

JMTR停止後6日目に測定した。測定時間は60000秒であつた。Fig. 4.5に得られたガンマ線スペクトルを示す。検出された核種は ^{181}Hf , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{182}Ta , ^{140}La , ^{124}Sb の7核種であつた。この測定点では ^{54}Mn と ^{60}Co のガンマ線ピークが強く出ている。

5) 測定点5 (#1再生熱交換器)

JMTR停止後3日目に計測時間60000秒の測定を行なった。Fig. 4.6に得られたガンマ線スペクトルを示す。検出された核種は ^{51}Cr , ^{131}I , ^{181}Hf , ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{24}Na , ^{140}La の10核種であつた。この測定点では $^{110\text{m}}\text{Ag}$ が検出されず、 ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co のガンマ線ピークが強く出ている。

6) 測定点6 (フィルター)

JMTR停止後4日目に計測時間60000秒の測定を行なった。Fig. 4.7に得られたガンマ線スペクトルを示す。検出された核種は ^{181}Hf , ^{131}I , ^{51}Cr , ^{133}I , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{46}Sc , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{182}Ta , ^{140}La の13核種であつた。この測定点で一番多くの核種が検出された。

6ヶ所の測定点で検出された核種のガンマ線ピーク計数率(cps)の結果をTable 4.1に示す。又、次節の第40サイクルの測定結果で述べるように、コリメータが不完全であるためかなりのバックグラウンドが計測されており、真の計数率を得るためにはバックグラウンドを測定する必要がある。しかし今回の測定ではバックグラウンドの測定を行ななかつたので補正を行う事ができない。そのため、39サイクルについては、40サイクルと全く同様にバックグラウンドが計測されるとして、40サイクルで得られた補正係数を使用して補正を行なった。補正の後、半減期の補正を行なって得られた、JMTR停止時(3月29日)における沈着核種からのガンマ線ピーク計数率(cps)をTable 4.2に示す。測定点1については40サイクルに測定しなかつたので補正係数がなく計算できなかつた。又、40サイクルの測定で補正係数が得られなかつた重要と思われる核種

については半減期の補正のみ行なってTableにのせた。計数値の後に*印をつけて区別している。

4.2 第40サイクル停止後の測定結果

JMTR第40サイクルは熱出力50 MWで1977年5月13日から6月7日まで運転された。同時にOGL-1による第2回目の被覆燃料粒子照射試験が行なわれた。被覆燃料粒子は第39サイクルの時のものである。主な照射条件は炉内管入口Heガス流量60 g/sec, 試料出口温度1050°Cであった。Fig. 4.8に第40サイクルのOGL-1ガスループのヒートバランスと測定点(測定点1-12)の位置を示す。

測定は6月14日から7月7日にかけて行なわれた。今回の測定では測定点の測定後コリメータ窓にメラ板を差し込んでバックグラウンドの測定を行なった。以下に各測定点における測定結果を示す。

1) 測定点1(炉内管出口配管)

今回は時間の都合で測定できなかった。

2) 測定点2(2重管構造の高温配管)

JMTR停止後16日目に測定を行なった。得られたガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.9に示す。39サイクルに検出されなかった核種の ^{95}Zr と ^{59}Fe が新しく検出された。今回の測定の特徴であるが、39サイクルと比較して ^{54}Mn の量が他の核種と比較して極めて多くなり、コンプトン部分に乗る600 KeV以下のガンマ線の検出感度を低下させたため低エネルギーの核種としては ^{51}Cr を除いて検出されなかった。ガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルを比較するとかなりバックグラウンドが下がっており、この測定点ではバックグラウンドの寄与率が低い事がわかる。

3) 測定点3(2重管から1重管に移行した直後の高温配管)

JMTR停止後14日目に計測時間80000秒の測定を行なった。得られたガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.10に示す。39サイクルと比較して新しく検出された核種はなかった。 ^{54}Mn のガンマ線ピークがこの測定でも強く出てきた。ガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルを比較すると差があまりなく、この測定点ではバックグラウンドの寄与が大きい事がわかる。

4) 測定点4(地下3階の高温配管)

JMTR停止後29日目に計測時間75700秒の測定を行なった。得られたガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.11に示す。39サイクルと比較して新しく検出された核種はなかった。この測定点でも ^{54}Mn のガンマ線ピークが強く出ている。

5) 測定点5(#1再生熱交換器)

JMTR停止後10日目に計測時間80000秒の測定を行なった。得られたガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.12に示す。39サイクルと比較して新しい核種として ^{137}Cs が検出された。ガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルを比較してみると834 KeV以上のガンマ線に対してほとんど一致していることがわかる。 ^{65}Zn および ^{60}Co に対して

は9割以上がバックグラウンドであった。

6) 測定点6 (フィルター)

JMTR停止後7日目に計測時間80000秒の測定を行なった。得られたガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.13に示す。39サイクルと比較して新しく検出された核種はなかった。ガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルを比較してみると1.33MeVの ^{60}Co のピークまでかなり良くコリメートされている事がわかる。この中で ^{54}Mn , ^{65}Zn および ^{60}Co のガンマ線ピークのバックグラウンドが多く、これらの核種が測定点のまわりにバックグラウンドとしてある事がわかる。

5ヶ所の測定点で検出された核種のガンマ線ピーク計数率(cps)とバックグラウンドのガンマ線ピーク計数率(cps)をTable 4.3とTable 4.4に示す。Table 4.5にコリメータの不完全な事によるバックグラウンドの補正を行うための補正係数(ガンマ線ピーク計数率からバックグラウンド計数率を差し引いた値をガンマ線ピーク計数率で割った値)を示す。バックグラウンドの補正を行なった後半減期の補正を行なってJMTR第40サイクルの停止時(6月7日)における沈着核種からのガンマ線ピーク計数率(cps)の計算結果をTable 4.6に示す。

4.3 第42サイクル開始直前の測定結果

JMTR第40サイクル停止後、原子炉のトラブルのため第41サイクルの運転が行なわれなかった。このため第42サイクルが始まるまでに半年間ほど時間が経過した。この間OGL-1は9月6日から9月9日にわたって流速調整運転(最大Heガス流速100g/secおよび最大加熱器出口温度500°Cの条件)が行なわれた。時間の経過とOGL-1の運転による影響を調べるために第42サイクルが開始される前に5ヶ所の測定点を測定した。測定は11月28日から12月8日にかけて行なわれた。以下に各測定点における測定結果を示す。

1) 測定点2 (2重管構造の高温配管)

測定は1977年12月5日と12月6日に行なった。測定時間は80000秒であった。得られたガンマ線スペクトルをFig. 4.14に示す。検出された核種は ^{124}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{152}Eu であった。半減期の長い核種のみしか検出されなかった。

2) 測定点3 (2重管から1重管へ移行した直後の高温配管)

測定は12月7日と12月8日に行なった。測定時間は65171秒であった。得られたガンマ線スペクトルをFig. 4.15に示す。検出された核種は $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{152}Eu , ^{124}Sb であった。測定点2と全く同じ核種が検出された。

3) 測定点4 (地下3階の高温配管)

測定は11月30日と12月1日に行なった。測定時間は80000秒であった。得られたガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.16に示す。検出された核種は $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{124}Sb であった。

4) 測定点5 (#1再生熱交換器)

測定は12月5日と12月6日に行なった。測定時間は80000秒であった。得られたガンマ線

スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.17に示す。検出された核種は ^{124}Sb , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co であった。

5) 測定点6 (フィルター)

測定は11月28日と11月29日に行なった。測定時間は80000秒であった。得られたガンマ線スペクトルとバックグラウンドスペクトルをFig. 4.18に示す。検出された核種は ^{51}Cr , ^{95}Nb , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{124}Sb であった。

5ヶ所の測定点におけるガンマ線ピーク計数率(cps)とバックグラウンドのガンマ線ピーク計数率(cps)をTable 4.7とTable 4.8に示す。Table 4.9にバックグラウンドの補正係数を示す。Table 4.10にガンマ線ピーク計数率からバックグラウンドのガンマ線ピーク計数率を差し引いた真のピーク計数率(cps)を示す。

4.4 その他の測定点の測定結果

OGL-1のFPプレートアウトの挙動を知る上で必要な4ヶ所の測定点(測定点7-10)と2個の試料(採集場所11と12)の測定を行なった。第40サイクルの運転中に、ガス循環器の後にあるガスのサンプリング配管(測定点9)を測定した。第40サイクル停止後、中低温配管(測定点8), #1再生熱交換器の低温側出口配管付近(測定点7)およびハンガーロッド(測定点10)を測定した。又、炉内管内部の黒鉛ブロックのかけら試料(採集場所11)および炉内管のトップクロージャのスマア試料を 54cm^3 のGe(Li)検出器を使用して測定した。測定点7から10までと採集場所11と12の位置はFig. 4.8に示した。以下に各測定の結果を示す。

1) #1再生熱交換器の低温側出口配管(測定点7)

#1再生熱交換器の低温側配管の出口付近を測定した。測定は1977年7月22日と7月23日に行なった。得られたガンマ線スペクトルをFig. 4.19に示す。検出された核種は ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{124}Sb であったが、バックグラウンドを差し引くと ^{65}Zn のみが少量測定されている事がわかった。Table 4.11にガンマ線ピーク計数率(cps), バックグラウンドガンマ線ピーク計数率(cps)およびバックグラウンドを差し引いた真の計数率(cps)を示す。

2) 中低温配管(測定点8)

JMTR地下3階にあるOGL-1ループキュービクル内の中にあるガス循環器から#2再生熱交換器まで引かれている中低温配管を中2階に測定装置を置いて測定した。測定は第40サイクル終了後の7月14日と7月16日に行なわれた。得られたスペクトルをFig. 4.20に示す。測定された核種は ^{131}I , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{124}Sb であったが、バックグラウンドを差し引くと全部なくなってしまうため、全部の核種がバックグラウンドである事がわかった。この様に今回の測定では、中低温配管にはまだ核種は沈着していない事がわかったので、この後に位置する房りのHeガスが流れる2重管構造の外側の配管についても沈着していないことが確認された。Table 4.12にガンマ線ピーク計数率(cps), バックグラウンドガンマ線ピーク計数率(cps)およびバックグラウンドを差し引いた真の計数率(cps)を示す。バックグラウンドの原因については検討中である。

3) ガス循環器の後にあるガスサンプリング配管 (測定点 9)

OGL-1 運転中の希ガスFPを測定するために、地下3階にあるOGL-1のサブキュービクル内にあるガスサンプリング配管を測定した。測定はJMTR第40サイクル運転中の6月2日に行なった。得られたガンマ線スペクトルをFig. 4.21に示す。検出された核種は ^{85m}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{89}Kr , ^{90}Kr , ^{89}Rb , ^{138}Cs , ^{60}Co であった。Table 4.13に各ガンマ線に対するピーク計数率(cps)を示す。 ^{60}Co を除いて希ガスFPおよびその娘核種であった。 ^{60}Co はバックグラウンドと考えられる。

4) ハンガーロッド (測定点 10)

第40サイクル終了後、被覆燃料粒子の交換が行なわれた際に炉内管内部にあるハンガーロッドの測定が可能となった。原子炉本体の脇にあるチャンネルの中に入れてあったハンガーロッドをクレーンを使用して空中に宙づりにして測定した。測定箇所は丁度中間の比較的放射能強度の強い所である。測定は8月18日に計測時間20000秒の測定を行なった。得られたスペクトルをFig. 4.22に示す。検出された核種は ^{152}Eu , ^{51}Cr , ^{124}Sb , ^{110m}Ag , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{154}Eu , ^{59}Fe の8核種であった。測定されたガンマ線のピーク計数率(cps)をTable 4.14に示す。

5) 炉内管内部の黒鉛ブロックのかけら試料 (採集場所 11)

第40サイクル終了後の被覆燃料粒子の交換作業の際、燃料集合体の外側の黒鉛ブロックのかけら試料を得た。この試料の重量は25mgであった。この試料を原子炉計測研究室の 54cm^3 Ge(Li)検出器を使用して8月24日に測定し定性定量分析を行なった。測定は試料の表と裏を測定した。定性定量分析の結果をTable 4.15に示す。Fig. 4.23にはガンマ線スペクトルを示す。検出された核種は ^{159}Dy , ^{51}Cr , ^{181}Hf , ^{124}Sb , ^{110m}Ag , ^{95}Nb , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{182}Ta , ^{60}Co であった。これらの核種が $0.02\mu\text{Ci/g}$ から $2\mu\text{Ci/g}$ にわたって検出された。ベータ線測定用のGM計数器(Aloka TDC-1)を使用してグラフィット試料の表と裏のベータ線を測定した結果、表の計数率が6967cpmで裏が1662cpmであった。表の方が裏よりも4倍ほど強かった。これは検出された核種がグラフィットの表面に沈着しているためと考えられる。

6) トップクロージャー内面のスミア試料 (測定点 12)

第40サイクル終了後に行なわれた被覆燃料粒子の交換の際に炉内管のトップクロージャー内面のスミアを行なった。スミアを行なった範囲は約 100cm^2 であった。このスミア試料の定性定量分析を 54cm^3 Ge(Li)検出器を使用して8月24日に行なった。Fig. 4.24に得られたガンマ線スペクトルを示す。定性定量分析の結果をTable 4.16に示す。検出された核種は ^{159}Dy , ^{181}Hf , ^{51}Cr , ^{95}Nb , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{110m}Ag であった。これらの核種が約 100cm^2 の面積に $10^{-3}\mu\text{Ci}$ から $10^{-4}\mu\text{Ci}$ にわたって沈着している事がわかった。この測定箇所はHeガスが来ない時には約 60°C の温度であるが第40サイクル運転中の温度は 100°C 前後であった。従って、この部分に少し高温のHeガスが流れ込んだため核種が沈着していると考えられる。

5. 沈着濃度の計算

鉛コリメータ付きの可搬型 Ge(Li) 検出器を使用して測定された各測定点のガンマ線に対するピーク計数率を使って、配管および機器の内面に沈着した核種の沈着濃度を計算した。以下に計算方法を説明すると共に計算結果を示す。計算方法の詳細については別稿²⁾で詳しく説明される。

5.1 計算方法

ガンマ線ピーク計数率を x (cps) とすると配管内面に沈着している核種の表面濃度 y ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) は較正係数 K を用いて、次式のように定義される。

$$y = x / K \quad (1)$$

較正係数 K は次式で定義される。

$$K = \frac{N_o}{\phi} \cdot \frac{\phi}{S} \cdot \frac{N_f}{N_o} \quad (2)$$

(2) 式の各項について以下に説明する。

N_o/ϕ ; コリメータ付 Ge(Li) 検出器の検出効率を示しており、軸に平行に入射する非散乱ガンマ線束当りのピーク計数率 (cps/photon flux) である。今回の計算では Fig. 2.5 に示した検出効率を使用した。

ϕ/S ; 配管内面に表面濃度 S ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) で沈着しているガンマ線放出核種が、Ge(Li) 検出器に与えるガンマ線線束を ϕ と定義した時の両者の比である。この係数の中で、核種のガンマ線分岐比、配管の内厚による吸収の効果の補正および測定箇所における幾可学的条件の補正が行なわれる。

N_f/N_o ; 第 1 項の N_o/ϕ はガンマ線の入射角度に依存するので、 N_f/N_o はこの依存性を補正する補正係数である。今回の計算では簡単にするため $N_f/N_o = 1$ と仮定して行なった。

以上の計算式を各測定点の条件にあわせて計算を行なった。

5.2 計算結果

第 5.1 節の計算方法を使って第 39 サイクルおよび第 40 サイクルの停止後測定された各測定点 (測定点 2 から 6 まで) の主な核種の沈着濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) を計算した結果を Table 4.17 と Table 4.18 に示す。測定された核種の沈着濃度は $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ から $10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ にわたって広く分布している事がわかった。沈着濃度の誤差の評価については、今回の計算では単純化のために色々な仮定を入れているので評価する事ができない。しかし最大に誤差を見積ってもオーダーがかわる事がない事は確認した。誤差の評価を行うにはモックアップ実験を行う必要がある。

又、検出限界については計算の結果、測定時間を1日(約80000秒)とした場合に、 $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 程度である事がわかった。

6. 測定方法についての考察

この章ではOGL-1の配管および機器に沈着したFPをコリメータ付きの可搬型Ge(Li)検出器で測定する方法についての考察を行なった。以下に各項目に分けて検討する。

1) 可搬型Ge(Li)検出器

今回の測定に使用した可搬型Ge(Li)検出器は1.33MeVのエネルギーのガンマ線に対して8%($3'' \times 3''$ NaI(Tl)検出器の検出効率に対して)の検出器を使用した。微量の放射能を長時間かけて測定する必要上、さらに大きな検出効率を持ったGe検出器を使用する必要がある。又、小型冷却容器の容量として7.5ℓのものを使ったが、配管および機器類のさらに密集した場所での測定では、さらに小さな容量の小型冷却容器が必要である。又、今回の測定実験中、検出器の液体窒素保持日数が現場で使用した場合に短くなり、液体窒素を切らして検出器をこわす事が2度あった。この様な実験には、液体窒素を切らしても壊れない高純度型Ge検出器を使用する必要がある。

2) コリメータ

今回の実験で使用したコリメータは、可搬型という事でできるだけ軽くするため、厚さ5cmの鉛のしゃへいを行なった。しかしFig. 2.3の5cmの鉛のしゃへい効果の計算結果をみると1MeV以上のガンマ線に対して25%以上の透過率がある。現場での測定では、測定対象以外から来るガンマ線が実際にコリメータ窓が見ている量の数倍以上はあるので1MeV以上のエネルギーを持つガンマ線に対して20%から30%ものバックグラウンドを計測する事になる。従って、5cmの鉛の厚さを持ったコリメータではバックグラウンドの補正を行う事が不可欠な条件となる。バックグラウンドの補正の一例としてTable 6.1に40サイクルのフィルターにおけるバックグラウンド補正係数を示す。この中で*がついている核種についてはガンマ線エネルギーが大きくなるに従ってバックグラウンドの影響も大きくなっている。フィルターに沈着した核種からのバックグラウンドが主であると考えられる。*がついていない核種については補正係数がガンマ線エネルギーに関係なく変化している。周囲にバックグラウンドとなる核種が存在していると考えられる。

第39サイクル停止後に、測定点3(2重管から1重管へ移行した直後の高温配管)において、コリメータを付けた場合とはずして裸で測定した場合のガンマ線スペクトルを測定した。Fig. 6.1に両方のガンマ線スペクトルを示す。両方のスペクトルを比較するとバックグラウンド核種はコリメータ付で測定すると相対的に小さくなるのですぐ識別する事ができる。Table 6.2にコリメータを付けた場合と付けない場合のガンマ線ピーク計数率、その比(A/B)および40サイクルの測定から得られたバックグラウンドの補正係数を使ってコリメータ付きで測定したピーク計数率を真のピーク計数率とバックグラウンド計数率に分配した後、コリメータなしの

又、検出限界については計算の結果、測定時間を1日(約80000秒)とした場合に、 $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 程度である事がわかった。

6. 測定方法についての考察

この章ではOGL-1の配管および機器に沈着したFPをコリメータ付きの可搬型Ge(Li)検出器で測定する方法についての考察を行なった。以下に各項目に分けて検討する。

1) 可搬型Ge(Li)検出器

今回の測定に使用した可搬型Ge(Li)検出器は1.33MeVのエネルギーのガンマ線に対して8%($3'' \times 3''$ NaI(Tl)検出器の検出効率に対して)の検出器を使用した。微量の放射能を長時間かけて測定する必要上、さらに大きな検出効率を持ったGe検出器を使用する必要がある。又、小型冷却容器の容量として7.5ℓのものを使ったが、配管および機器類のさらに密集した場所での測定では、さらに小さな容量の小型冷却容器が必要である。又、今回の測定実験中、検出器の液体窒素保持日数が現場で使用した場合に短くなり、液体窒素を切らして検出器をこわす事が2度あった。この様な実験には、液体窒素を切らしても壊れない高純度型Ge検出器を使用する必要がある。

2) コリメータ

今回の実験で使用したコリメータは、可搬型という事でできるだけ軽くするため、厚さ5cmの鉛のしゃへいを行なった。しかしFig. 2.3の5cmの鉛のしゃへい効果の計算結果をみると1MeV以上のガンマ線に対して2.5%以上の透過率がある。現場での測定では、測定対象以外から来るガンマ線が実際にコリメータ窓が見ている量の数倍以上はあるので1MeV以上のエネルギーを持つガンマ線に対して20%から30%ものバックグラウンドを計測する事になる。従って、5cmの鉛の厚さを持ったコリメータではバックグラウンドの補正を行う事が不可欠な条件となる。バックグラウンドの補正の一例としてTable 6.1に40サイクルのフィルターにおけるバックグラウンド補正係数を示す。この中で*がついている核種についてはガンマ線エネルギーが大きくなるに従ってバックグラウンドの影響も大きくなっている。フィルターに沈着した核種からのバックグラウンドが主であると考えられる。*がついていない核種については補正係数がガンマ線エネルギーに関係なく変化している。周囲にバックグラウンドとなる核種が存在していると考えられる。

第39サイクル停止後に、測定点3(2重管から1重管へ移行した直後の高温配管)において、コリメータを付けた場合とはずして裸で測定した場合のガンマ線スペクトルを測定した。Fig. 6.1に両方のガンマ線スペクトルを示す。両方のスペクトルを比較するとバックグラウンド核種はコリメータ付で測定すると相対的に小さくなるのですぐ識別する事ができる。Table 6.2にコリメータを付けた場合と付けない場合のガンマ線ピーク計数率、その比(A/B)および40サイクルの測定から得られたバックグラウンドの補正係数を使ってコリメータ付きで測定したピーク計数率を真のピーク計数率とバックグラウンド計数率に分配した後、コリメータなしの

場合のピーク計数率との比をとった値 True/B および $\text{Back.}/B$ を示す。 A/B の比よりコリメータを付けて測定した場合には全体の量の約5%から10%が計測される事がわかる。 True/B の比を検討してみるとほとんどのガンマ線が5%から7%の値を示しており、エネルギーに依存していない事がわかる。この値は定義から測定点とコリメータ窓の幾何学的条件で決まる値である。 ^{60}Co と ^{65}Zn についてはほとんど0になっており、バックグラウンド核種である事を示している。一方 $\text{Back.}/B$ の比を検討してみるとガンマ線エネルギーが増加すると共にこの値も増加する。この傾向は Fig. 2.3 に示した5cmの厚さの鉛のガンマ線に対する透過率といっしょである。

次に上部のコリメータがない部分について検討する。 Fig. 2.8 に示した様に上側の 45° の角度を越えると厚さ5cmの鉛のコリメータの効果がおよばない領域となる。このため、この角度より上にバックグラウンド核種がある場合にはバックグラウンドの影響が大となる。この影響を少なくするためにはコリメータの底を深くして検出器をコリメータの奥に入れてしまう必要がある。又は、検出器の上部にある冷却容器のまわりを鉛で覆う必要がある。いずれにしても可搬型の場合には重量とのかねあいとなり、何度も同じ場所を測定する場合には常設型のコリメータを付けて測定した方が良い。常設型の場合には鉛の厚さをさらに厚くできるので10cm程度の厚さを持ったコリメータを作ればかなり良い結果が得られる。

コリメータ窓に関して、今回の測定では長さ4cm、巾1cmの長方形の窓、一種類で測定を行なったが、測定箇所とコリメータ窓の幾何学的条件を検討すると測定箇所以外の余分な所の測定も行なっている場合があった。実際には測定場所ごとにコリメータ窓の形を変えて必要な所だけ測定する必要がある。

幾何学的条件に関連して、コリメータ窓が見ている範囲の配管あるいは機器の背後にバックグラウンド核種があった場合にはこの測定法ではバックグラウンドと沈着した核種の区別がつかなくなってしまう。このような場合には測定する前に測定箇所の検討を行ない必要なら背後に鉛ブロックを積んでしゃへいをする必要がある。今回の測定でもフィルターについては背後に放射能廃棄物を流す配管があるため十分なデータの検討が必要である。いずれにしてもバックグラウンドがどこから来るか測定する際に知っていなければならない。

3) 測定系

今回の測定では、測定装置と共に電子回路を OGL-1 のループキュービクル内に持ち込んで測定を行なった。JMTRの建屋内の温度は通常、空調を行なっていれば一定であったため、増巾器と波高分析器のゲイン安定度は測定上問題なかった。又、同様に温度変化によるケーブルの心線抵抗値の変化によるゲイン安定度も問題なかった。しかし、空調が止まっている場合には温度変化があり5から10チャンネルのピーク変動をおこして、測定ができなかった。現場測定なので充分温度変化に気をつけると共に、少なく共、波高分析器だけは空調のある部屋に入れて測定する必要がある。

雑音については、配管および機器類から測定装置を完全に浮かすと共に波高分析器もグラウンドラインより浮かす事によりほとんど問題なく測定する事ができた。実際に1ヶ所でも配管類と測定装置が接触しているとかかなりの雑音が発生し測定を困難にした。現場ではコリメータおよび $\text{Ge}(\text{Li})$ 検出器の露出部分に絶縁用のテープをはって測定を行なった。

4) バックグラウンドの補正

今回の測定では39サイクル後の測定を除いて、コリメータ窓に鉛のメクラ板を入れてバックグラウンドの測定を行なった。そして真のピーク計数率を得るためにバックグラウンドの計数率を差し引いた。2)のコリメータの所でも述べた様にコリメータの不完全性によるバックグラウンドの寄与を差し引くためにはこの方法が有効である。しかし、この方法には微少な沈着量の核種のバックグラウンドを測定する事が難かしい事と長時間の測定を2度も行なわなければならない事そして測定している間にバックグラウンドが変化した場合には誤差となるという3つの欠点がある。又、真の計数率を計算する場合にバックグラウンドの誤差が加算されるため誤差も大きくなってしまふ。従って、このような実験にはできるだけバックグラウンドを落とす様に設計されたコリメータが不可欠となる。

5) 測定の再現性

今回の測定では時間の都合で測定の再現性に関する実験をほとんど行なわなかった。その中で、フィルターについて位置を少しずらして測定したデータを解析した結果、核種によっては1.5倍の差がある事がわかった。可搬型の測定装置を使用した場合、測定装置の設置位置の再現性が大きな問題となる。

6) 解析方法

今回の測定ではガンマ線ピーク計数率より沈着した核種の沈着濃度を求める際に、測定箇所とコリメータの間の幾何学的条件をモデル化を行なって計算で求めている。このため、モデル化の行ない方により、計算値はかなり異なったものとなってしまう。又、配管の肉厚によるガンマ線の吸収の補正、検出器の角度依存性、コリメータのガンマ線エネルギー依存性などを単純化して計算を行なった。このため計算値の誤差がどの程度か今の所計算する事ができない。上記の問題を解決するにはモックアップ実験を行う必要がある。

7. 測定結果の検討

この章では、今回の測定で得られた測定結果に対して簡単に検討を加え、今後の測定の進め方の参考とする。詳細な測定結果の解析については別稿³⁾で述べられる。

1) OGL-1の配管および機器に沈着した核種

Table 7.1に今回の測定で測定された測定点1から10までと試料採集場所11と12で検出された核種を示す。あわせて核種の半減期も示す。検出された核種は核分裂生成物(FP)核種⁴⁾と構造材の腐食生成物および黒鉛物中に含まれる不純物などが放射化されてきた核種である。

^{131}I , ^{133}I , ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{99}Mo は核分裂生成物(FP)であるが、熱中性子捕獲反応でも生成するので検討が必要である。希ガスおよびその娘核種である $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{88}Rb , ^{89}Kr , ^{90}Kr , ^{135}Xe , ^{137}Cs , ^{138}Cs はFPである。一方、 ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{60}Co ,

4) バックグラウンドの補正

今回の測定では39サイクル後の測定を除いて、コリメータ窓に鉛のメクラ板を入れてバックグラウンドの測定を行なった。そして真のピーク計数率を得るためにバックグラウンドの計数率を差し引いた。2)のコリメータの所でも述べた様にコリメータの不完全性によるバックグラウンドの寄与を差し引くためにはこの方法が有効である。しかし、この方法には微少な沈着量の核種のバックグラウンドを測定する事が難しい事と長時間の測定を2度も行なわなければならない事そして測定している間にバックグラウンドが変化した場合には誤差となるという3つの欠点がある。又、真の計数率を計算する場合にバックグラウンドの誤差が加算されるため誤差も大きくなってしまふ。従って、このような実験にはできるだけバックグラウンドを落す様に設計されたコリメータが不可欠となる。

5) 測定の再現性

今回の測定では時間の都合で測定の再現性に関する実験をほとんど行なわなかった。その中で、フィルターについて位置を少しずらして測定したデータを解析した結果、核種によっては1.5倍の差がある事がわかった。可搬型の測定装置を使用した場合、測定装置の設置位置の再現性が大きな問題となる。

6) 解析方法

今回の測定ではガンマ線ピーク計数率より沈着した核種の沈着濃度を求める際に、測定箇所とコリメータの間の幾何学的条件をモデル化を行なって計算で求めている。このため、モデル化の行ない方により、計算値はかなり異なったものになってしまう。又、配管の肉厚によるガンマ線の吸収の補正、検出器の角度依存性、コリメータのガンマ線エネルギー依存性などを単純化して計算を行なった。このため計算値の誤差がどの程度か今の所計算する事ができない。上記の問題を解決するにはモックアップ実験を行う必要がある。

7. 測定結果の検討

この章では、今回の測定で得られた測定結果に対して簡単に検討を加え、今後の測定の進め方の参考とする。詳細な測定結果の解析については別稿で述べられる。³⁾

1) OGL-1の配管および機器に沈着した核種

Table 7.1に今回の測定で測定された測定点1から10までと試料採集場所11と12で検出された核種を示す。あわせて核種の半減期も示す。検出された核種は核分裂生成物(FP)核種と構造材の腐食生成物および黒鉛物中に含まれる不純物などが放射化されてできた核種である。⁴⁾

^{131}I , ^{133}I , ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{99}Mo は核分裂生成物(FP)であるが、熱中性子捕獲反応でも生成するので検討が必要である。希ガスおよびその娘核種である $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{88}Rb , ^{89}Kr , ^{90}Kr , ^{135}Xe , ^{137}Cs , ^{138}Cs はFPである。一方、 ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{60}Co ,

^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{131}Ba , ^{140}La , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{159}Dy , ^{181}Hf , ^{182}Ta などは、構造材の腐食生成物および黒鉛物中に含まれる不純物が熱中性子捕獲反応をおこして生成したものである。これらの核種の発生源についてはデータの詳細な検討とさらに多くの実験が必要である。

2) 沈着分布の傾向

Table 7.2 と Table 7.3 に 39 サイクルおよび 40 サイクルに生成して沈着した核種の主なガンマ線のピーク計数率を示す。40 サイクルに生成して沈着したガンマ線のピーク計数率の値は 40 サイクルの停止時におけるピーク計数率から 39 サイクルに沈着したガンマ線の計数率（半減期の補正を行なって 40 サイクル停止時の値に計算した後の値）を差し引いた値である。各測定点における計測条件が異なるので相対的な比較しか行えないが、沈着核種の沈着分布はいくつかのグループに分けられる。 ^{51}Cr , ^{58}Co , ^{60}Co の様に他の測定点にも極少量の沈着を行うがフィルターに主に沈着する核種、 ^{131}I , ^{181}Hf の様にフィルターに主に沈着し少量が再生熱交換器に沈着する核種、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ の様に配管の経路に対して次第に沈着濃度が減少する核種、 ^{54}Mn , ^{124}Sb の様にフィルターにはあまり沈着せず他の測定点に多量に沈着する核種、その他にフィルターのみで検出される核種、再生熱交換器のみに検出される核種などに分類される。

詳細な沈着分布を調べるためには各測定点における絶対濃度をできるだけ正確に求める必要がある。誤差が大きいと各測定点における小さな変化を知る事ができず誤った傾向を得る可能性がある。

3) 40 サイクルにおける沈着量の増加

Table 4.2 と Table 7.4 に 39 サイクルおよび 40 サイクルに生成して沈着した核種のピーク計数率を示す。又 Table 7.5 に 39 サイクルに生成して沈着した核種によるピーク計数率と 40 サイクルに生成して沈着した核種によるピーク計数率との比、すなわち生成量の増加率を示す。 ^{181}Hf , ^{131}I , ^{51}Cr , ^{95}Zr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ などの核種が 1.5 倍から 2 倍増加している。 ^{124}Sb は各測定点で 3 倍から 6 倍増加している。さらに ^{54}Mn については各測定点で 3 倍から 11 倍にわたって増加している。一方 ^{58}Co , ^{182}Ta , ^{99}Mo の様な核種では逆に減少してしまっている。 ^{60}Co については傾向が良くわからないが減少している測定点が多い。

沈着した核種の内 ^{54}Mn については 40 サイクルにおける沈着量の増加が大きいため、コンプトン部分である 600 KeV 以下の領域でガンマ線の検出感度の低下の原因となっている。従ってもしこの割り合いで各サイクルごとに増加する場合には測定上の大きな問題となる。

沈着量の増加については被覆燃料粒子の種類や OGL-1 における照射条件によって異なると考えられるので今後、様々な条件のもとで実験する必要がある。

4) 42 サイクル開始直前に測定したデータの解析

40 サイクル停止後に各測定点（測定点 2 から 6）を約半年の期間をあけて 2 回測定した。1 回目は停止直後の 6 月に、2 回目は 42 サイクル直前の 11 月末から 12 月始めにかけて測定した。ここで、両方の結果を比較検討する。Table 7.6 は第 1 回目の測定結果を各核種について半減期の補正を行なって 1977 年 12 月 3 日の値に計算した結果である。この値と 42 サイクル開始直前に測定した結果との比を Table 7.7 に示す。この値が 1 であれば良いわけであるがほとんど 1 にならなかった。この原因として、各測定における統計誤差、測定位置の再現性、

OGL-1の流量調整運転(9月に3日間運転した)による沈着核種の移動などがある。 ^{54}Mn について検討してみるとこの核種のガンマ線ピーク計数率はかなり強く、測定位置の再現性もかなりあると考えられるのに対して、この比は0.28から1.24と変化している。このため、OGL-1の流量調整運転が主な原因と考えられる。今後、確認のためOGL-1のみの運転で沈着した核種が移動するかどうか測定する必要がある。

8. 結 論

厚さ5cmの鉛コリメータと可搬型Ge(Li)検出器とを使ってOGL-1の配管および機器に沈着したFPの沈着濃度を外部から測定した。この方法によって配管および機器の内面に沈着したFPの量を測定できる事が確認できた。測定された沈着濃度は $10^{-5}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ から $10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ にわたっていた。

測定における大きな問題点としては、沈着濃度が少ないため長時間(約1日)の測定が必要である事、コリメータの不完全性のためバックグラウンドの測定が不可欠である事、測定場所に合ったコリメータの設計を行う必要がある事などである。又、このような測定に使用する可搬型Ge検出器としてはできるだけ検出効率の高いものを使用し、液体窒素を切らしても壊れない高純度型Ge検出器を使用する必要がある事がわかった。

一方、ガンマ線のピーク計数率から沈着濃度を計算する場合の誤差を評価するためには、モックアップ実験を行なって、配管あるいは機器とコリメータの幾何学的条件を含めた検出効率を測定し解析する事が必要である事がわかった。

配管および機器を壊す事なく、内面に沈着した核種の沈着量を外部から測定できるこの測定法はOGL-1以外でも有効に使用できるので、今後この測定法の確立を行うと共に応用面の開発を行う予定である。

謝 辞

本測定実験に協力していただいた、材料試験炉部照射第2課課長 伊丹宏治氏、同課運転管理係係長 坪長氏、同課 大竹政男氏、飯島昇氏、福島征二氏、猿田徹氏、照射第1課 小野寺一幸氏、に深く感謝致します。又、本測定実験を行う上で色々な援助をいただきました、照射第1課課長 松永朔郎氏、同課設計第3係係長 馬場治氏、同課設計第3係係長 田中利幸氏、動力炉開発・安全性研究管理部多目的炉設計研究室 鈴木勝男氏、原子炉計測研究室副主任研究員 五藤博氏に深く感謝致します。本測定実験を行うにあたって有効な議論をしていただくと共に励ましを与えていただきました原子炉計測研究室主任研究員 阪井英次氏と同室主任研究員 若山直昭氏に深く感謝致します。

OGL-1の流量調整運転(9月に3日間運転した)による沈着核種の移動などがある。 ^{54}Mn について検討してみるとこの核種のガンマ線ピーク計数率はかなり強く、測定位置の再現性もかなりあると考えられるのに対して、この比は0.28から1.24と変化している。このため、OGL-1の流量調整運転が主な原因と考えられる。今後、確認のためOGL-1のみの運転で沈着した核種が移動するかどうか測定する必要がある。

8. 結 論

厚さ5cmの鉛コリメータと可搬型Ge(Li)検出器とを使ってOGL-1の配管および機器に沈着したFPの沈着濃度を外部から測定した。この方法によって配管および機器の内面に沈着したFPの量を測定できる事が確認できた。測定された沈着濃度は $10^{-5}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ から $10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ にわたっていた。

測定における大きな問題点としては、沈着濃度が少ないため長時間(約1日)の測定が必要である事、コリメータの不完全性のためバックグラウンドの測定が不可欠である事、測定場所に合ったコリメータの設計を行う必要がある事などである。又、このような測定に使用する可搬型Ge検出器としてはできるだけ検出効率の高いものを使用し、液体窒素を切らしても壊れない高純度型Ge検出器を使用する必要がある事がわかった。

一方、ガンマ線のピーク計数率から沈着濃度を計算する場合の誤差を評価するためには、モックアップ実験を行なって、配管あるいは機器とコリメータの幾何学的条件を含めた検出効率を測定し解析する事が必要である事がわかった。

配管および機器を壊す事なく、内面に沈着した核種の沈着量を外部から測定できるこの測定法はOGL-1以外でも有効に使用できるので、今後この測定法の確立を行うと共に応用面の開発を行う予定である。

謝 辞

本測定実験に協力していただいた、材料試験炉部照射第2課課長 伊丹宏治氏、同課運転管理係係長 坪 長氏、同課 大竹政男氏、飯島昇氏、福島征二氏、猿田徹氏、照射第1課 小野寺一幸氏、に深く感謝致します。又、本測定実験を行う上で色々な援助をいただきました、照射第1課課長 松永朔郎氏、同課設計第3係前係長 馬場治氏、同課設計第3係係長 田中利幸氏、動力炉開発・安全性研究管理部多目的炉設計研究室 鈴木勝男氏、原子炉計測研究室副主任研究員 五藤博氏に深く感謝致します。本測定実験を行うにあたって有効な議論をしていただくと共に励ましを与えていただきました原子炉計測研究室主任研究員 阪井英次氏と同室主任研究員 若山直昭氏に深く感謝致します。

OGL-1の流量調整運転(9月に3日間運転した)による沈着核種の移動などがある。 ^{54}Mn について検討してみるとこの核種のガンマ線ピーク計数率はかなり強く、測定位置の再現性もかなりあると考えられるのに対して、この比は0.28から1.24と変化している。このため、OGL-1の流量調整運転が主な原因と考えられる。今後、確認のためOGL-1のみの運転で沈着した核種が移動するかどうか測定する必要がある。

8. 結 論

厚さ5cmの鉛コリメータと可搬型Ge(Li)検出器とを使ってOGL-1の配管および機器に沈着したFPの沈着濃度を外部から測定した。この方法によって配管および機器の内面に沈着したFPの量を測定できる事が確認できた。測定された沈着濃度は $10^{-5}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ から $10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ にわたっていた。

測定における大きな問題点としては、沈着濃度が少ないため長時間(約1日)の測定が必要である事、コリメータの不完全性のためバックグラウンドの測定が不可欠である事、測定場所に合ったコリメータの設計を行う必要がある事などである。又、このような測定に使用する可搬型Ge検出器としてはできるだけ検出効率の高いものを使用し、液体窒素を切らしても壊れない高純度型Ge検出器を使用する必要がある事がわかった。

一方、ガンマ線のピーク計数率から沈着濃度を計算する場合の誤差を評価するためには、モックアップ実験を行なって、配管あるいは機器とコリメータの幾何学的条件を含めた検出効率を測定し解析する事が必要である事がわかった。

配管および機器を壊す事なく、内面に沈着した核種の沈着量を外部から測定できるこの測定法はOGL-1以外でも有効に使用できるので、今後この測定法の確立を行うと共に応用面の開発を行う予定である。

謝 辞

本測定実験に協力していただいた、材料試験炉部照射第2課課長 伊丹宏治氏、同課運転管理係係長 坪長氏、同課 大竹政男氏、飯島昇氏、福島征二氏、猿田徹氏、照射第1課 小野寺一幸氏、に深く感謝致します。又、本測定実験を行う上で色々な援助をいただきました、照射第1課課長 松永朔郎氏、同課設計第3係前係長 馬場治氏、同課設計第3係係長 田中利幸氏、動力炉開発・安全性研究管理部多目的炉設計研究室 鈴木勝男氏、原子炉計測研究室副主任研究員 五藤博氏に深く感謝致します。本測定実験を行うにあたって有効な議論をしていただくと共に励ましを与えていただきました原子炉計測研究室主任研究員 阪井英次氏と同室主任研究員 若山直昭氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 片桐政樹；波高分析装置 ND-50/50 のデータ処理(1), JAERI-M 6989 (1977)
- 2) 現在執筆中 (JAERI-M 報告書)
- 3) 現在執筆中 (JAERI-M 報告書)
- 4) 村岡進, 伊丹宏治, 野村末雄；高温ガス炉用耐熱材料の両立性 第1報くつき試験
JAERI-M 6088 (1975)

Table 4.1 Data of FP plate out measurement after JMTR 39th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
132	Hf-181	/	/	/	/	/	0.0358
186		/	0.0149	/	/	/	/
283	I-131	/	/	/	/	/	0.0175
320	Cr-51	/	0.0239	/	/	0.0027	0.2334
346	Hf-181	/	/	/	/	/	0.0400
365	I-131	/	/	/	/	0.0270	0.2849
447	Ag-110m	/	0.0076	/	/	/	/
482	Hf-181	/	0.0039	/	0.0035	0.0250	0.1107
496	Ba-131	/	0.0047	/	/	/	/
529	I-133	/	/	/	/	/	0.0097
564	Sb-122	/	0.0110	/	/	0.0090	/
603	Sb-124	/	0.0184	/	/	0.0257	/
637	I-131	/	/	/	/	/	0.0192
658	Ag-110m	0.1403	0.1035	0.0487	0.0170	/	/
677	Ag-110m	/	0.0116	0.0053	/	/	/
686	Ag-110m	/	0.0086	/	/	/	/
707	Ag-110m	/	0.0204	/	/	/	/
724	Zr-95	/	/	/	/	/	0.0273
739	Mo-99	0.3613	0.0060	/	/	/	/
756	Zr-95	/	/	/	/	/	0.0149
764	Ag-110m	/	0.0241	0.0088	/	/	/
766	Nb-95	/	/	/	/	/	0.0161
778	Mo-99	0.0273	/	/	/	/	/
810	Co-58	/	0.0105	0.0041	/	/	0.0879
834	Mn-54	0.2924	0.4566	0.2394	0.5767	0.2289	0.0419
885	Ag-110m	0.1480	0.0830	0.0426	0.0127	/	/
889	Sc-46	/	/	/	/	/	0.0227
1099	Fe-59	/	/	/	/	/	0.0106
1115	Zn-65	/	0.0002	0.0034	0.0175	0.3316	0.0406
1120	Ta-182	/	/	/	/	/	0.0253
1173	Co-60	3.4365	0.0346	0.0019	0.0834	0.1642	0.3051
1189	Ta-182	/	/	/	/	/	0.0243
1221	Ta-182	/	/	/	0.0034	/	0.0334
1292	Fe-59	/	/	/	/	/	0.0146
1332	Co-60	4.1001	0.0343	0.0036	0.1251	0.1663	0.3144
1368	Na-24	0.0582	/	/	/	0.0054	/
1383	Ag-110m	0.0963	0.0330	0.0173	0.0054	/	/
1408	Eu-152	/	0.0021	/	/	/	/
1460	K-40	/	0.0180	0.0194	0.0159	0.0181	0.0167
1476	Ag-110m	0.0276	0.0045	0.0027	/	/	/
1505	Ag-110m	0.0589	0.0160	0.0109	0.0032	/	/
1562	Ag-110m	/	0.0003	/	/	/	/
1597	La-140##	0.0147	0.0028	/	0.0038	0.0068	0.0211
1691	Sb-124	/	0.0098	0.0047	0.0064	0.0055	/
1728	Na-24DE	0.0305	/	/	/	0.0017	/
937	Ag-110m	0.1934	0.0386	0.0210	0.0051	/	/

##; La-140 and Bi-214(2612 keV DE) double peak

Table 4.2 Data of FP plate out measurement at shut down of JMTR
39th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
132	Hf-181	/	/	/	/	/	0.0376
283	I-131	/	/	/	/	/	0.0227
320	Cr-51	/	0.0271	/	/	0.0029	0.2503
346	Hf-181	/	/	/	/	/	0.0420
365	I-131	/	/	/	/	0.0101	0.3222
447	Ag-110m	/	0.0076*	/	/	/	/
482	Hf-181	/	0.0039*	/	0.0036	0.0255	0.1652
496	Ba-131	/	0.0047*	/	/	/	/
564	Sb-122	/	/	/	/	0.0116*	/
603	Sb-124	/	0.0191	/	/	0.0166	/
637	I-131	/	/	/	/	/	0.0163
658	Ag-110m	/	0.1025	0.0268	0.0143	/	/
677	Ag-110m	/	0.0115	0.0027	/	/	/
707	Ag-110m	/	0.0189	/	/	/	/
724	Zr-95	/	/	/	/	/	0.0268
739	Mo-99	/	0.0054	/	/	/	/
756	Zr-95	/	/	/	/	/	0.0141
764	Ag-110m	/	0.0227	/	/	/	/
810	Co-58	/	0.0107*	/	/	/	0.0841
834	Mn-54	/	0.4200	0.1118	0.4159	0.1233	0.0087
885	Ag-110m	/	0.0759	0.0236	0.0093	/	/
889	Sc-46	/	/	/	/	/	0.0204
937	Ag-110m	/	0.0332	/	0.0037	/	/
1099	Fe-59	/	/	/	/	/	0.0116*
1115	Zn-65	/	/	0.0034*	0.0023	0.0378	0.0192
1173	Co-60	/	0.0092	0.0005	0.0073	0.0000	0.1175
1189	Ta-182	/	/	/	/	/	0.0152
1221	Ta-182	/	/	/	/	/	0.0208
1292	Fe-59	/	/	/	/	/	0.0120
1332	Co-60	/	0.0087	0.0013	0.0078	0.0000	0.1063
1368	Na-24	/	/	/	/	0.0164*	/
1383	Ag-110m	/	0.0218	0.0058	0.0032	/	/
1408	Eu-152	/	0.0015	/	/	/	/
1476	Ag-110m	/	0.0031	0.0012	/	/	/
1505	Ag-110m	/	0.0100	0.0040	0.0014	/	/
1597	La-140	/	/	/	/	0.0103*	0.0432
1691	Sb-124	/	0.0053	0.0012	0.0023	0.0018	/
766	Nb-95	/	/	/	/	/	0.0118

Table 4.3 Data of FP plate out measurement after JMTR
40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
132	Hf-181	/	/	/	/	0.0711
283	I-131	/	/	/	/	0.0106
320	Cr-51	0.0071	/	/	/	0.4556
328		/	/	0.0213	/	/
346	Hf-181	/	/	/	/	0.0652
365	I-131	/	/	/	0.0243	0.4235
482	Hf-181	/	/	/	/	0.2467
603	Sb-124	0.0711	0.0184	0.0342	0.0602	/
637	I-131	/	/	/	/	0.3550
658	Ag-110m	0.2261	0.1023	0.0226	/	/
662	Cs-137	/	/	/	0.0182	/
677	Ag-110m	0.0189	0.0110	/	/	/
707	Ag-110m	0.0339	0.0185	/	/	/
724	Zr-95	0.0193	0.0197	/	/	0.0459
744	Ag-110m	0.0085	0.0057	/	/	/
764	Ag-110m#	0.0525	0.0300	0.0057	/	/
796		/	/	/	0.00125	/
810	Co-58	/	/	/	/	0.0863
818	Ag-110m	0.0141	/	/	/	/
834	Mn-54	1.9183	1.0136	4.0746	2.9037	0.3562
885	Ag-110m	0.1746	0.0845	/	/	/
937	Ag-110m	0.1746	0.0845	/	/	/
1046		0.0040	0.0032	/	0.0081	/
1099	Fe-59	0.0059	0.0037	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.0113	0.1047	0.1546
1173	Co-60	0.0497	0.0079	0.0193	0.1623	0.3536
1189	Ta-182	/	/	/	/	0.0220
1221	Ta-182	/	/	/	/	0.0447
1292	Fe-59	0.0034	0.0025	/	/	0.0083
1332	Co-60	0.0498	0.0112	0.0285	0.1698	0.3620
1383	Ag-110m	0.0677	0.0348	0.0121	/	/
1408	Eu-152	0.0057	0.0039	0.0014	/	/
1460	K-40	0.0188	0.0204	0.0199	0.0182	0.0173
1476	Ag-110m	0.0102	0.0063	0.0010	/	/
1505	Ag-110m	0.0386	0.0187	0.0063	/	/
1562	Ag-110m	0.0032	0.0014	/	/	/
1597	La-140##	0.0031	0.0047	0.0018	0.0078	0.0196
1691	Sb-124	0.0397	0.0190	0.0238	0.0359	0.0100
766	Nb-95	/	/	/	/	0.0768
889	Sc-46	/	/	/	/	0.0361

; Ag-110m and Nb-95(766 keV) double peak

##; La-140 and Bi-214(2612 keV DE) double peak

Table 4.4 Background data of FP plate out measurement after
JMTR 40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
320	Cr-51	/	/	/	/	0.0026
365	I-131	/	/	/	0.0146	0.0584
447	Ag-110m	/	/	/	/	/
482	Hf-181	/	/	/	/	0.0052
603	Sb-124	/	0.0041	0.0078	0.0213	/
637	I-131	/	/	/	/	0.0134
658	Ag-110m	0.0051	0.0309	0.0038	/	/
662	Cs-137	/	/	/	0.0080	/
677	Ag-110m	/	0.0047	/	/	/
685	Ag-110m	0.0008	/	/	/	/
707	Ag-110m	0.0029	0.0036	/	/	/
724	Zr-95	0.0008	/	/	/	0.0022
744	Ag-110m	/	0.0023	/	/	/
764	Ag-110m#	0.0037	/	/	/	/
796	/	/	/	/	0.0051	/
810	Co-58	/	/	/	/	0.0057
834	Mn-54	0.1741	0.4962	1.1681	1.3709	0.2827
885	Ag-110m	0.0172	0.0323	/	/	0.0044
937	Ag-110m	0.0134	0.0175	0.0045	/	/
1046	/	/	0.0010	/	0.0054	/
1115	Zn-65	/	0.0072	0.0098	0.0928	0.0823
1173	Co-60	0.0365	0.0057	0.0176	0.1665	0.2174
1189	Ta-182	/	/	/	/	0.0085
1221	Ta-182	/	/	/	/	0.0171
1292	Fe-59	0.0005	0.0013	/	/	0.0021
1332	Co-60	0.0372	0.0069	0.0267	0.1733	0.2396
1383	Ag-110m	0.0237	0.0191	0.0047	/	/
1408	Eu-152	/	0.0026	0.0009	/	/
1460	K-40	0.0191	0.0188	0.0190	0.0178	0.0166
1476	Ag-110m	0.0031	0.0034	0.0015	/	/
1505	Ag-110m	0.0148	0.0118	0.0036	/	/
1562	Ag-110m	/	0.0018	/	/	/
1597	La-140##	0.0012	0.0027	0.0012	0.0058	0.0080
1691	Sb-124	0.0053	0.0138	0.0158	0.0242	0.0079
766	Nb-95	/	/	/	/	0.0202
1099	Fe-59	0.0005	/	/	/	/
889	Sc-46	/	/	/	/	0.0044

; Ag-110m and Nb-95(766 keV) double peak

##; La-140 and Bi-214(2612 keV DE) double peak

Table 4.5 Background correction factor of FP plate out
measurement after JMTR 40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
320	Cr-51	/	/	/	/	0.994
365	I-131	/	/	/	0.400	0.862
482	Hf-181	/	/	/	/	0.979
603	Sb-124	/	0.777	0.772	0.646	/
637	I-131	/	/	/	/	0.623
658	Ag-110m	0.977	0.698	0.832	/	/
662	Cs-137	/	/	/	0.560	/
677	Ag-110m	/	0.573	/	/	/
707	Ag-110m	0.914	0.805	/	/	/
724	Zr-95	0.959	/	/	/	0.952
744	Ag-110m	0.882	0.596	/	/	/
756	Zr-95	/	/	/	/	0.917
764	Ag-110m#	0.930	/	/	/	/
796		/	/	/	0.592	/
810	Co-58	/	/	/	/	0.929
818	Ag-110m	0.993	/	/	/	/
834	Mn-54	0.909	0.510	0.713	0.539	0.206
885	Ag-110m	0.901	0.618	/	/	/
889	Sc-46	/	/	/	/	0.878
937	Ag-110m	0.847	0.604	0.713	/	/
1046		/	0.688	/	0.333	/
1099	Fe-59	0.915	/	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.133	0.114	0.468
1173	Co-60	0.265	0.278	0.088	0.000	0.385
1189	Ta-182	/	/	/	/	0.614
1221	Ta-182	/	/	/	/	0.617
1292	Fe-59	0.853	0.480	/	/	0.746
1332	Co-60	0.253	0.384	0.063	0.000	0.338
1408	Eu-152	0.719	0.333	0.357	/	/
1476	Ag-110m	0.696	0.460	/	/	/
1505	Ag-110m	0.617	0.369	0.429	/	/
1597	La-140##	0.613	0.426	/	0.256	0.592
1691	Sb-124	0.544	0.274	0.336	0.326	0.210
766	Nb-95	/	/	/	/	0.737
1383	Ag-110m	0.650	0.451	0.611	/	/

; Ag-110m and Nb-95(766 keV) double peak
##; La-140 and Bi-214(2612 keV DE) double peak

Table 4.6 Data of FP plate out measurement at shut down of JMTR 40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
132	Hf-181	/	/	/	/	0.0783
283	I-131	/	/	/	/	0.0363
320	Cr-51	0.0105	/	/	/	0.5261
346	Hf-181	/	/	/	/	0.0719
365	I-131	/	/	/	0.0183	0.6201
482	Hf-181	/	/	/	/	0.2662
603	Sb-124	0.0856	0.0164	0.0361	0.0399	/
637	Ag-110m	/	/	/	/	0.0391
658	Ag-110m	0.2309	0.0738	0.0202	/	/
662	Cs-137	/	/	/	0.0102	/
677	Ag-110m	0.0197	0.0065	/	/	/
707	Ag-110m	0.0324	0.0154	/	/	/
724	Zr-95	0.0217	0.0224*	/	/	0.0466
739	Mo-99	0.0078	/	/	/	/
756	Zr-95	/	/	/	/	0.0354
764	Ag-110m#	0.0548	0.0221	0.0043	/	/
810	Co-58	/	/	/	/	0.0791
818	Ag-110m	0.0147	/	/	/	/
834	Mn-54	1.8090	0.5318	3.092	1.5630	0.0745
885	Ag-110m	0.1644	0.0539	0.0228	/	/
937	Ag-110m	0.0774	0.0276	0.0121	/	/
1099	Fe-59	0.0068	/	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.0016	0.0144	0.0736
1173	Co-60	0.0132	0.0022	0.0015	0.0000	0.1362
1189	Ta-182	/	/	/	/	0.0140
1221	Ta-182	/	/	/	/	0.0286
1292	Fe-59	0.0036	0.0014	/	/	0.0068
1332	Co-60	0.0126	0.0043	0.0017	0.0000	0.1224
1383	Ag-110m	0.0460	0.0162	0.0080	/	/
1408	Eu-152	0.0057	0.0013	0.0014	/	/
1476	Ag-110m	0.0074	0.0030	/	/	/
1505	Ag-110m	0.0249	0.0071	0.0027	/	/
1597	La-140	/	/	/	/	0.1399*
1691	Sb-124	0.0259	0.0060	0.0082	0.0128	0.0023
766	Nb-95	/	/	/	/	0.0637
889	Sc-46	/	/	/	/	0.0317

Table 4.7 Data of FP plate out measurement before JMTR
42th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
320	Cr-51	/	/	/	/	0.0166
603	Sb-124	0.0241	/	/	0.0152	/
658	Ag-110m	0.1081	0.0346	0.470	/	/
677	Ag-110m	0.0135	/	/	/	/
707	Ag-110m	0.0187	/	/	/	/
764	Ag-110m	0.0242	0.0079	/	/	/
766	Nb-95	/	/	/	/	0.0139
796	/	/	/	/	0.0119	/
810	Co-58	/	/	/	/	0.0953
834	Mn-54	1.0702	0.4084	1.9086	1.6452	0.1356
885	Ag-110m	/	0.0319	0.0139	/	/
937	Ag-110m	0.0404	0.0140	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.0106	0.0405	0.0753
1332	Co-60	0.0304	0.0089	0.0311	0.1271	0.7176
1383	Ag-110m	0.0313	0.0119	0.0050	/	/
1408	Eu-152	0.0049	0.0023	0.0018	/	/
1460	K-40	0.0151	0.0137	0.0130	0.0116	0.0112
1476	Ag-110m	0.0052	0.0021	/	/	/
1505	Ag-110m	0.0167	0.0073	0.0030	/	/
1562	Ag-110m	0.0021	/	/	/	/
1691	Sb-124	0.0061	0.0017	0.0027	0.0039	0.0017
1173	Co-60	0.0304	0.0089	0.0311	0.1271	0.7176

Table 4.8 Background data of FP plate out measurement before
JMTR 42th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
658	Ag-110m	/	0.0085	/	/	/
834	Mn-54	0.0793	0.2750	0.5688	0.4717	0.1216
885	Ag-110m	/	0.0147	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.0063	0.0331	0.0453
1173	Co-60	0.0207	0.0042	0.0194	0.1175	0.2337
1332	Co-60	0.0209	0.0066	0.0272	0.1248	0.2648
1383	Ag-110m	0.0094	0.0104	/	/	/
1460	K-40	0.0119	0.0139	0.0126	0.0111	0.0112
1505	Ag-110m	0.0052	0.0049	0.0019	/	/
1691	Sb-124	/	/	/	0.0021	/

Table 4.9 Background correction factor of FP plate out
measurement before JMTR 42th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
658	Ag-110m	/	0.754	/	/	/
834	Mn-54	0.926	0.327	0.702	0.713	0.103
885	Ag-110m	/	0.539	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.406	0.183	0.398
1173	Co-60	0.313	0.440	0.198	0.010	0.330
1332	Co-60	0.309	0.281	0.125	0.017	0.257
1383	Ag-110m	0.671	0.126	/	/	/
1505	Ag-110m	0.689	0.329	0.367	/	/
1691	Sb-124	/	/	/	0.462	/

Table 4.10 Data without background of FP plate out
measurement before JMTR 42th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
320	Cr-51	/	/	/	/	0.0166
603	Sb-124	0.0241*	/	/	0.0152*	/
658	Ag-110m	0.1081	0.0261	0.0194	/	/
677	Ag-110m	0.0135*	/	/	/	/
707	Ag-110m	0.0187*	/	/	/	/
764	Ag-110m	0.0242	0.0079	/	/	/
766	Nb-95	/	/	/	/	0.0139
796		/	/	/	0.0119	/
810	Co-58	/	/	/	/	0.0953
834	Mn-54	0.9909	0.1334	1.3398	1.1735	0.0140
885	Ag-110m	/	0.0172	0.0139*	/	/
937	Ag-110m	0.0404	0.0140*	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.0043	0.0074	0.0300
1173	Co-60	0.0100	0.0033	0.0048	0.0012	0.4748
1332	Co-60	0.0095	0.0025	0.0039	0.0023	0.4528
1383	Ag-110m	0.0219	0.0015	0.0050*	/	/
1408	Eu-152	0.0049*	0.0023*	0.0018*	/	/
1476	Ag-110m	0.0052*	0.0021*	/	/	/
1505	Ag-110m	0.0115	0.0024	0.0011	/	/
1562	Ag-110m	0.0021	/	/	/	/
1691	Sb-124	0.0061*	0.0017*	0.0027	0.0018	0.0017*

Table 4.11 Data of FP plate out measurement at outlet of lower regenerative heat exchanger in B3F loop-cubicle

Energy (keV)	Nuclide	Counting rate(cps)	Background (cps)	True counting rate(cps)
834	Mn-54	0.3518	0.3528	-0.0010
1115	Zn-65	0.0522	0.0362	0.0162
1173	Co-60	0.1237	0.1229	0.0008
1332	Co-60	0.1331	0.1323	0.0008
1460	K-40	0.0182	0.0186	-0.0004
1594	Bi-214DE	0.0028	0.0026	0.0002

Table 4.12 Data of FP plate out measurement at middle and lower temperature piping in B3F loop-cubicle

Energy (keV)	Nuclide	Counting rate(cps)	Background (cps)	True counting rate(cps)
364	I-131	0.0142	0.0143	-0.0001
834	Mn-54	0.1381	0.1377	0.0004
1115	Zn-65	0.1541	0.1534	0.0007
1173	Co-60	0.2359	0.2356	0.0003
1332	Co-60	0.2366	0.2367	-0.0001
1460	K-40	0.0171	0.0173	-0.0002
1594	Bi-214DE	0.0023	0.0024	-0.0001
1691	Sb-124	0.0030	0.0031	-0.0001

Table 4.13 Data measured at outlet of gas circulator in JMTR 40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Counting rate(cps)
151	Kr-85m	0.0071
196	Kr-88	0.0080
220	Kr-89	0.0108
250	Xe-135	0.0011
403	Kr-87	0.0101
1031	Rb-89	0.0024
1118	Kr-90	0.0021
1173	Co-60	0.0107
1332	Co-60	0.0098
1434	Cs-138	0.0019
1764	Cs-138	0.0016
1831	Rb-88	0.0013
2195	Kr-88	0.0015
2392	Kr-88	0.0021

Table 4.14 Data of a hanger rod measured after JMTR 40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Counting rate(cps)	Background (cps)
122	Eu-152	0.2017	/
320	Cr-51	0.1513	/
344	Eu-152	0.2262	/
603	Sb-124	0.3018	/
658	Ag-110m	0.0665	/
723	Ag-110m	0.0491	/
779	Eu-152	0.1007	/
810	Co-58	0.6281	/
834	Mn-54	7.0672	/
885	Ag-110m	0.0665	/
964	Eu-152	0.0879	/
1004	Eu-154	0.0260	/
1085	Eu-152	0.0759	/
1099	Fe-59	0.0613	/
1112	Eu-152	0.0867	/
1173	Co-60	0.8870	0.0482
1274	Eu-154	0.0445	/
1291	Fe-59	0.0428	/
1332	Co-60	0.8936	0.0608
1383	Ag-110m	0.0225	/
1408	Eu-152	0.1343	/
1505	Ag-110m	0.0115	/
1691	Sb-124	0.1203	/

Table 4.15 Data of a sample of graphite block measured by 54 cm³ coaxial Ge(Li) detector

Energy (keV)	Nuclide	Front (cps)	Back (cps)	Average (cps)	Activity (μCi)	Activity (μCi/g)
58	Dy-159	5.28	4.20	4.74	5.12E-3	0.204
67	Ta-182	10.38	10.74	10.56		
99	Ta-182	3.97	3.36	3.67		
132	Hf-181	0.84	0.76	0.80		
151	Ta-182	1.66	1.66	1.66		
178	Ta-182	0.84	0.76	0.80		
197	Ta-182	0.40	0.36	0.38		
221	Ta-182	0.63	0.81	0.72		
262	Ta-182	0.75	0.68	0.72		
320	Cr-51	3.46	3.32	3.39	4.48E-3	0.179
482	Hf-181	0.51	0.53	0.52	1.04E-3	0.042
603	Sb-124	0.36	0.44	0.40	1.02E-3	0.041
658	Ag-110m	/	0.16	0.16	4.79E-4	0.019
766	Nb-95	0.26	0.24	0.25	8.44E-4	0.034
810	Co-58	0.60	0.55	0.58	2.03E-3	0.081
834	Mn-54	15.39	14.16	14.78	5.12E-2	2.048
1099	Fe-59	/	0.11	0.11	9.48E-4	0.038
1121	Ta-182	1.49	1.34	1.42	8.72E-3	0.348
1173	Co-60	3.10	2.72	2.91		
1189	Ta-182	0.74	0.67	0.71		
1221	Ta-182	1.01	0.91	0.96		
1232	Ta-182	0.45	0.38	0.42		
1256	Ta-182	0.07	0.05	0.06		
1332	Co-60	2.72	2.41	2.57	1.55E-2	0.620
1691	Sb-124	0.07	0.07	0.07		
889	Sc-46	0.04	/	0.04	1.33E-4	0.005

Table 4.16 Data of a sample of smear measured by
54 cm³ Ge(Li) detector

Energy (keV)	Nuclide	Counting rate(cps)	Activity (μ Ci)	Average (μ Ci)
57	Dy-159	0.0969	1.05E-4	1.05E-4
132	Hf-181	0.2182	2.61E-4	3.00E-4
320	Cr-51	1.5417	2.03E-3	2.03E-3
482	Hf-181	0.1700	3.40E-4	3.00E-4
764	Nb-95	0.0443	3.05E-4	3.05E-4
810	Co-58	0.0745	2.57E-4	2.57E-4
834	Mn-54	0.8866	3.07E-3	3.07E-3
889	Sc-46	0.0262	1.00E-4	1.00E-4
1115	Zn-65	0.3767	1.89E-3	1.89E-3
1173	Co-60	0.1451	7.54E-4	7.64E-4
1332	Co-60	0.1288	7.74E-4	7.64E-4
1383	Ag-110m	0.0037	1.08E-4	1.08E-4

Table 4.17 Concentrations of Plateout Activity in OGL-1 after No.39cy. of

JMTR

Nuclide	Energy keV	Concentrations of Plateout Activity (μ Ci/cm ²)				
		Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
Cr-51	320	6.20E-4	—	—	2.52E-5	2.99E-3
I-131	364	—	—	—	1.08E-5	4.71E-4
Hf-181	482	1.25E-5	—	—	3.02E-5	2.65E-4
Ag-110m	658	3.38E-4	1.85E-4	6.38E-5	—	—
Mn-54	835	1.47E-3	8.34E-4	2.00E-3	1.51E-4	1.42E-5
Zn-65	1115	—	6.00E-5	2.62E-5	1.06E-4	6.40E-5
Co-60	1173	3.77E-5	4.42E-6	4.17E-5	—	2.21E-4
Sb-124	1691	6.04E-5	2.98E-5	3.70E-5	6.82E-6	—
Zr-95	757	—	—	—	—	4.02E-5
Nb-95	766	—	—	—	—	1.91E-5
Co-58	810	—	—	—	—	1.36E-4
Sc-46	889	—	—	—	—	3.43E-5
Fe-59	1289	—	—	—	—	5.48E-5
Ta-181	1220	—	—	—	—	1.40E-4

Table 4.18 Concentrations of Plateout Activity in OGL-1 after No.40cy. of

Nuclide	Energy keV	Concentrations of Plateout Activity ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)				
		Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
Cr-51	320	2.40E-4	—	—	—	6.29E-3
I-131	364	—	—	—	1.96E-5	9.07E-4
Hf-181	482	—	—	—	—	4.27E-4
Ag-110m	658	7.62E-4	5.09E-4	9.02E-5	—	—
Mn-54	834	5.82E-3	3.97E-4	1.49E-2	1.92E-3	1.22E-4
Zn-65	1115	—	—	1.82E-5	4.03E-5	2.45E-4
Co-60	1173	5.41E-5	1.95E-5	8.57E-6	—	2.56E-4
Sb-124	1691	2.95E-4	1.49E-4	1.32E-4	4.85E-5	—
Zr-95	757	—	—	—	—	1.01E-4
Nb-95	766	—	—	—	—	5.13E-4
Co-58	810	—	—	—	—	1.28E-4
Sc-46	889	—	—	—	—	5.34E-5
Fe-59	1289	—	—	—	—	3.11E-5
Ta-181	1220	—	—	—	—	1.92E-4

Table 6.1 Correction factor of background at filter in B3F loop-cubicle(JMTR 40th cycle)

Gamma-ray energy (keV)	Nuclide	Correction factor	Comment
320	Cr-51	0.994	*
364	I-131	0.873	
484	Hf-181	0.979	*
756	Zr-95	0.917	*
810	Co-58	0.929	*
835	Mn-54	0.206	
885	AG-110m	0.873	*
1115	Zn-65	0.385	
1221	Sc-46	0.617	*
1332	Co-60	0.338	

Table 6.2 Data measured with a collimator and without it at high temperature piping (lower piping) in B1F loop-cubicle

Energy (keV)	Nuclide	Collimator A (cps)	No collimator B (cps)	Ratio A/B	Ratio True/B	Ratio Back./B
238	Pb-212	/	0.0956	/	/	/
294	Pb-214	/	0.0347	/	/	/
320	Cr-51	/	0.1360	/	/	/
338	Ac-228	/	0.0011	/	/	/
446	Ag-110m	/	0.0362	/	/	/
482	Hf-181	/	0.1095	/	/	/
583	Tl-208	/	0.0760	/	/	/
603	Sb-124	/	0.1310	/	/	/
658	Ag-110m	0.0487	0.8202	0.060	0.050	0.010
677	Ag-110m	0.0053	0.0831	0.064	/	/
686	Ag-110m	/	0.0181	/	/	/
707	Ag-110m	0.0068	0.1377	0.049	/	/
724	Ag-110m	/	0.0114	/	/	/
744	Ag-110m	/	0.0449	/	/	/
764	Ag-110m	0.0088	0.1857	0.047	/	/
796	/	/	0.0287	/	/	/
810	Co-58	0.0041	0.0812	0.051	/	/
834	Mn-54	0.2394	4.1945	0.057	0.041	0.016
885	Ag-110m	0.0426	0.5433	0.078	/	/
908	Ac-228	0.0047	0.0490	0.096	/	/
937	Ag-110m	0.0211	0.2480	0.085	0.061	0.024
964	Eu-152	/	0.0169	/	/	/
1087	Eu-152	/	0.0069	/	/	/
1100	Eu-152	/	0.0123	/	/	/
1115	Zn-65	0.0034	0.1918	0.018	0.002	0.015
1173	Co-60	0.0019	0.1333	0.013	0.000	0.013
1332	Co-60	0.0036	0.1237	0.029	0.000	0.029
1383	Ag-110m	0.0173	0.1419	0.122	0.075	0.047
1408	Eu-152	/	0.0121	/	/	/
1460	K-40	0.0194	0.3634	0.053	0.000	0.053
1476	Ag-110m	0.0027	0.0220	0.135	/	/
1505	Ag-110m	0.0109	0.0744	0.147	0.063	0.084
1562	Ag-110m	/	0.0056	/	/	/
1592	Ag-110m	0.0012	0.0168	0.071	/	/
1691	Sb-124	0.0047	0.0389	0.120	0.039	0.080

Table 7.1 Plate-out nuclides in OGL-1 gas loop

Nuclide	Half life	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na-24	14.96 h	*	*			*	*						
Sc-46	83.9 d						*					*	*
Cr-51	27.8 d		*			*	*				*	*	*
Mn-54	303.0 d	*	*	*	*	*	*				*	*	*
Co-58	71.3 d		*	*			*				*	*	*
Fe-59	45.6 d		*	*			*				*	*	
Co-60	5.26 y	*	*	*	*		*				*	*	*
Zn-65	245.0 d		*	*	*	*	*	*					*
Kr-85m	4.4 h									*			
Kr-87	76.0 m									*			
Kr-88	2.80 h									*			
Rb-88	17.8 m									*			
Kr-89	3.18 m									*			
Rb-89	15.4 m									*			
Kr-90	33.0 s									*			
Zr-95	65.5 d		*				*						
Nb-95	35.0 d		*				*					*	*
Mo-99	66.7 h	*	*										
Ag-110m	255.0 d	*	*	*	*		*				*	*	*
Sb-122	2.80 d		*				*						
Sb-124	60.4 d		*	*	*	*	*				*	*	
Ba-131	12.0 d		*										
I-131	8.05 d						*	*					
I-133	20.3 h						*						
Xe-135	9.14 d									*			
Cs-137	30.0 y						*						
Cs-138	32.2 m									*			
La-140	40.2 h	*	*	*	*	*	*						
Eu-152	12.7 y		*	*	*							*	
Eu-154	16.0 y											*	
Dy-159	144.0 d											*	*
Hf-181	42.5 d		*	*		*	*					*	*
Ta-182	115.1 d					*	*					*	

1; In-pile tube, 2; High temperature piping(upper), 3; High temperature piping(lower), 4; High temperature piping(B3F), 5; Regenerative heat exchanger, 6; Filter, 7; Outlet of Regenerative heat exchanger, 8; Middle and lower temperature piping, 9; Outlet of gas circulator, 10; Hanger rod, 11; Graphite block, 12; A sample of smear

Table 7.2 Gamma-ray peak counting rate of nuclides
produced at JMTR 39th cycle

Nuclide	Energy (keV)	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
Cr-51	320	0.0271	/	/	0.0029	0.2503
I-131	365	/	/	/	0.0101	0.3222
Hf-181	482	0.0039	/	0.0036	0.0255	0.1652
Ag-110m	658	0.1025	0.0268	0.0143	/	/
Co-58	810	0.0107	/	/	/	0.0841
Mn-54	834	0.4200	0.1118	0.4159	0.1233	0.0087
Zn-65	1115	/	0.0034	0.0023	0.0378	0.0192
Co-60	1173	0.0092	0.0005	0.0073	0.0000	0.1175
Sb-124	1691	0.0053	0.0012	0.0023	0.0018	/
Sb-122	564	/	/	/	0.0116	/
Zr-95	724	/	/	/	/	0.0268
Nb-95	766	/	/	/	/	0.0118
Mo-99	739	0.0054	/	/	/	/
Sc-46	889	/	/	/	/	0.0204
Fe-59	1292	/	/	/	/	0.0120
Na-24	1368	/	/	/	0.0164	/
Eu-152	1408	0.0015	/	/	/	/
La-140	1597	/	/	/	0.0103	/
Ta-182	1221	/	/	/	/	0.0208

Table 7.3 Gamma-ray peak counting rate of nuclides
produced at JMTR 40th cycle

Nuclide	Energy (keV)	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
Cr-51	320	0.0057	/	/	/	0.4825
I-131	365	/	/	/	0.0183	0.6189
Hf-181	482	/	/	/	/	0.2163
Ag-110m	658	0.1459	0.0629	0.0084	/	/
Co-58	810	/	/	/	/	0.0369
Mn-54	834	1.4500	0.4187	2.7380	1.4370	0.0638
Zn-65	1115	/	/	-0.0002	/	0.0578
Co-60	1173	0.0043	0.0017	-0.0056	/	0.0214
Sb-124	1691	0.0234	0.0055	0.0067	0.0114	0.0023
Zr-95	724	/	/	/	/	-0.0339
Nb-95	766	/	/	/	/	0.0578
Mo-99	739	0.0032	/	/	/	/
Fe-59	1292	/	/	/	/	0.0060
Eu-152	1408	0.0042	0.0013	0.0014	/	/
La-140	1597	/	/	0.0016	/	0.1399
Ta-182	1221	/	/	/	/	0.0148
Cs-137	662	/	/	/	0.0102	/

Table 7.4 Counting rate of nuclides produced at JMTR
40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
132	Hf-181	/	/	/	/	0.0664
283	I-131	/	/	/	/	0.0363
320	Cr-51	0.0057	/	/	/	0.4825
346	Hf-181	/	/	/	/	0.0586
365	I-131	/	/	/	0.0183	0.6189
482	Hf-181	/	/	/	/	0.2163
603	Sb-124	0.0769	/	0.0361	0.0330	/
637	I-131	/	/	/	/	0.0389
658	Ag-110m	0.1459	0.0629	0.0084	/	/
677	Ag-110m	0.0102	0.0042	/	/	/
707	Ag-110m	0.0167	/	/	/	/
724	Zr-95	/	/	/	/	0.0339
739	Mo-99	0.0032	/	/	/	/
756	Zr-95	/	/	/	/	0.0287
766	Nb-95	/	/	/	/	0.0578
810	Co-58	/	/	/	/	0.0369
834	Mn-54	1.4500	0.4187	2.7380	1.4370	0.0638
885	Ag-110m	0.1016	0.0300	0.0151	/	/
937	Ag-110m	0.0499	0.0160	0.0096	/	/
1115	Zn-65	/	/	-0.0002	/	0.0578
1173	Co-60	0.0043	0.0017	-0.0056	/	0.0214
1189	Ta-182	/	/	/	/	0.0040
1221	Ta-182	/	/	/	/	0.0148
1292	Fe-59	/	/	/	/	0.0060
1332	Co-60	0.0041	0.0030	-0.0060	/	0.0189
1383	Ag-110m	0.0279	0.0111	0.0052	/	/
1408	Eu-152	0.0042	0.0013	0.0014	/	/
1476	Ag-110m	0.0047	0.0005	/	/	/
1505	Ag-110m	0.0165	0.0034	/	/	/
1597	La-140	/	/	0.0016	/	0.1399
1691	Sb-124	0.0234	0.0055	0.0067	0.0114	0.0023
889	Sc-46	/	/	/	/	0.0190

Table 7.5 The increasing rate of counting rate of nuclides produced in JMTR 39th cycle and 40th cycle

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
132	Hf-181	/	/	/	/	1.77
283	I-131	/	/	/	/	1.60
320	Cr-51	0.21	/	/	/	1.93
346	Hf-181	/	/	/	/	1.40
365	I-131	/	/	/	1.81	1.92
482	Hf-181	/	/	/	/	1.31
603	Sb-124	4.02	/	/	1.99	/
637	I-131	/	/	/	/	2.39
658	Ag-110m	1.42	2.34	0.59	/	/
677	Ag-110m	0.89	1.56	/	/	/
724	Zr-95	/	/	/	/	1.26
739	Mo-99	0.59	/	/	/	/
756	Zr-95	/	/	/	/	2.04
766	Nb-95	/	/	/	/	4.90
810	Co-58	/	/	/	/	0.44
834	Mn-54	3.45	3.75	6.58	11.65	7.33
885	Ag-110m	1.34	1.27	1.62	/	/
937	Ag-110m	1.56	/	2.59	/	/
1115	Zn-65	/	/	-0.09	/	3.01
1173	Co-60	0.47	3.40	-0.77	/	0.20
1189	Ta-182	/	/	/	/	0.26
1221	Ta-182	/	/	/	/	0.71
1292	Fe-59	/	/	/	/	0.50
1332	Co-60	0.47	2.30	-0.76	/	0.18
1383	Ag-110m	1.28	1.91	1.63	/	/
1408	Eu-152	2.80	/	/	/	/
1505	Ag-110m	1.65	0.57	/	/	/
1691	Sb-124	4.18	3.67	3.05	6.33	/
889	Sc-46	/	/	/	/	0.84
1597	La-140	/	/	/	/	3.24

Table 7.6 Data of FP plate out measurement of 40th cycle corrected by half life at December 3, 1977

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
320	Cr-51	/	/	/	/	0.0061
603	Sb-124	0.0109	/	/	0.0051	/
658	Ag-110m	0.1418	0.0453	0.0124	/	/
677	Ag-110m	0.0120	/	/	/	/
707	Ag-110m	0.0198	/	/	/	/
810	Co-58	/	/	/	/	0.0139
834	Mn-54	0.7975	0.3531	2.0530	1.0380	0.0494
885	Ag-110m	/	0.0330	0.0140	/	/
937	Ag-110m	0.0475	0.0169	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	0.0010	0.0069	0.0444
1173	Co-60	0.0122	0.0021	0.0015	0.0012	0.4444
1332	Co-60	0.0088	0.0023	0.0017	0.0022	0.4212
1383	Ag-110m	0.0282	0.0099	0.0049	/	/
1408	Eu-152	0.0048	0.0023	0.0018	/	/
1476	Ag-110m	0.0045	0.0018	/	/	/
1505	Ag-110m	0.0153	0.0044	0.0016	/	/
1691	Sb-124	0.0033	0.0007	0.0011	0.0014	/

Table 7.7 Comparison between data measured before 42th
cycle and data of 40th cycle corrected by half
life at December 3, 1977(42th data/40th data)

Energy (keV)	Nuclide	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
320	Cr-51	/	/	/	/	2.72
603	Sb-124	2.21	/	/	2.98	/
658	Ag-110m	0.76	0.58	1.56	/	/
677	Ag-110m	1.13	/	/	/	/
707	Ag-110m	0.94	/	/	/	/
810	Co-58	/	/	/	/	6.86
834	Mn-54	1.24	0.38	0.65	1.13	0.28
885	Ag-110m	/	0.52	0.99	/	/
937	Ag-110m	0.85	0.83	/	/	/
1115	Zn-65	/	/	4.30	1.07	0.68
1173	Co-60	0.82	1.57	3.20	1.00	1.07
1332	Co-60	1.08	1.86	2.29	1.05	1.08
1383	Ag-110m	0.78	0.15	1.02	/	/
1408	Eu-152	1.19	0.57	0.78	/	/
1476	Ag-110m	1.16	1.17	/	/	/
1505	Ag-110m	0.75	0.55	0.69	/	/
1691	Sb-124	1.84	2.43	1.63	1.21	/

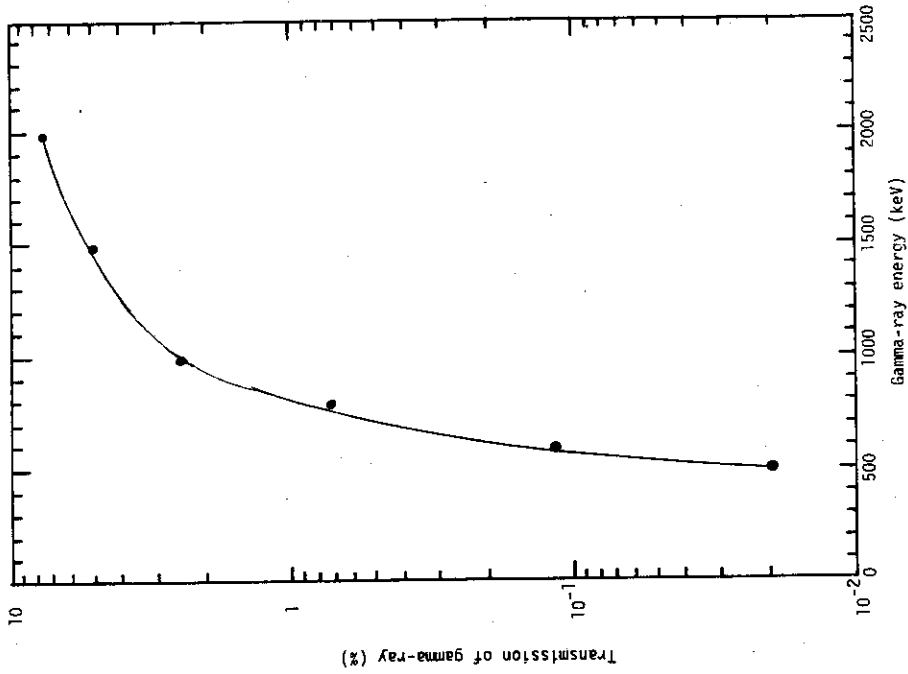


Fig. 2.3 Transmission of gamma-ray in 5 cm lead
(calculate)

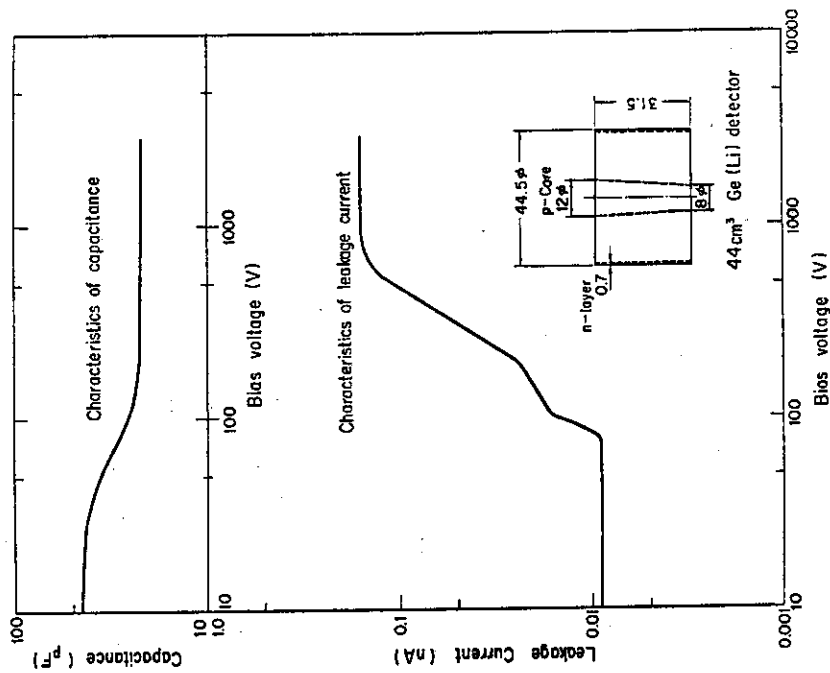


Fig. 2.1 Capacitance and leakage current vs. bias voltage characteristics of a Ge(Li) detector

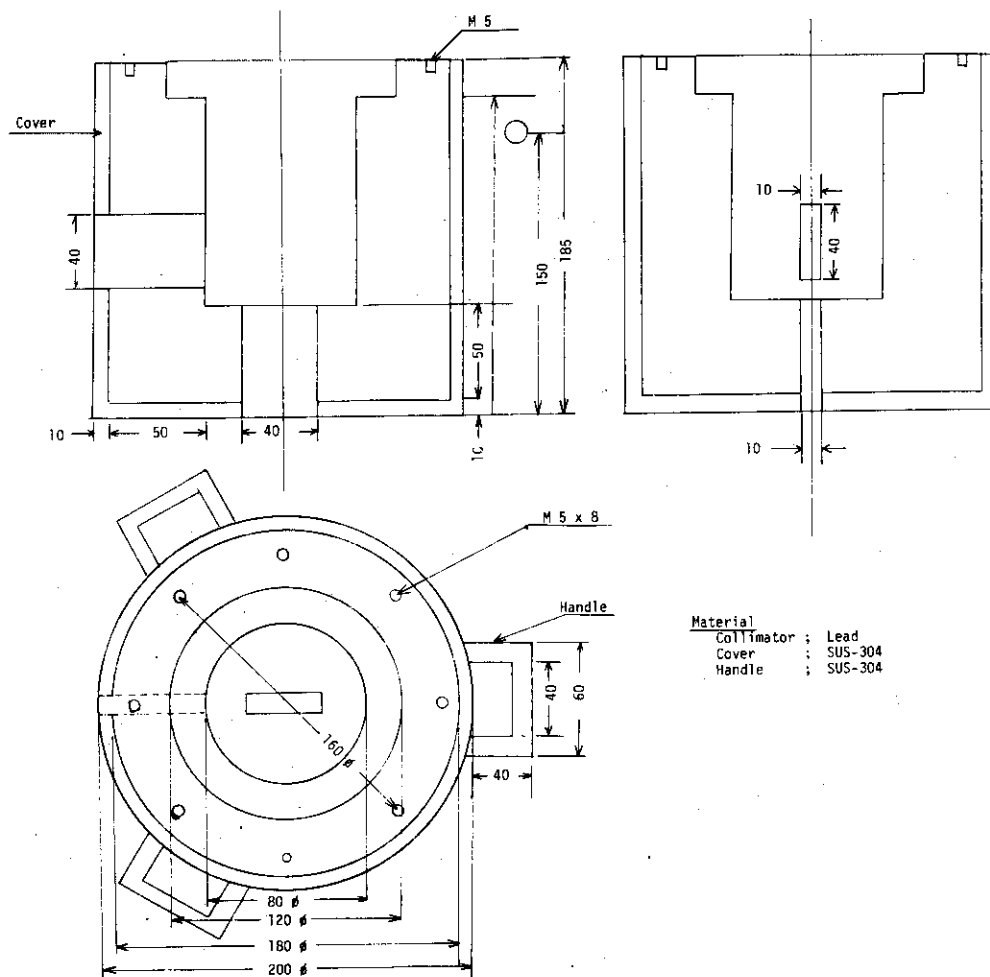
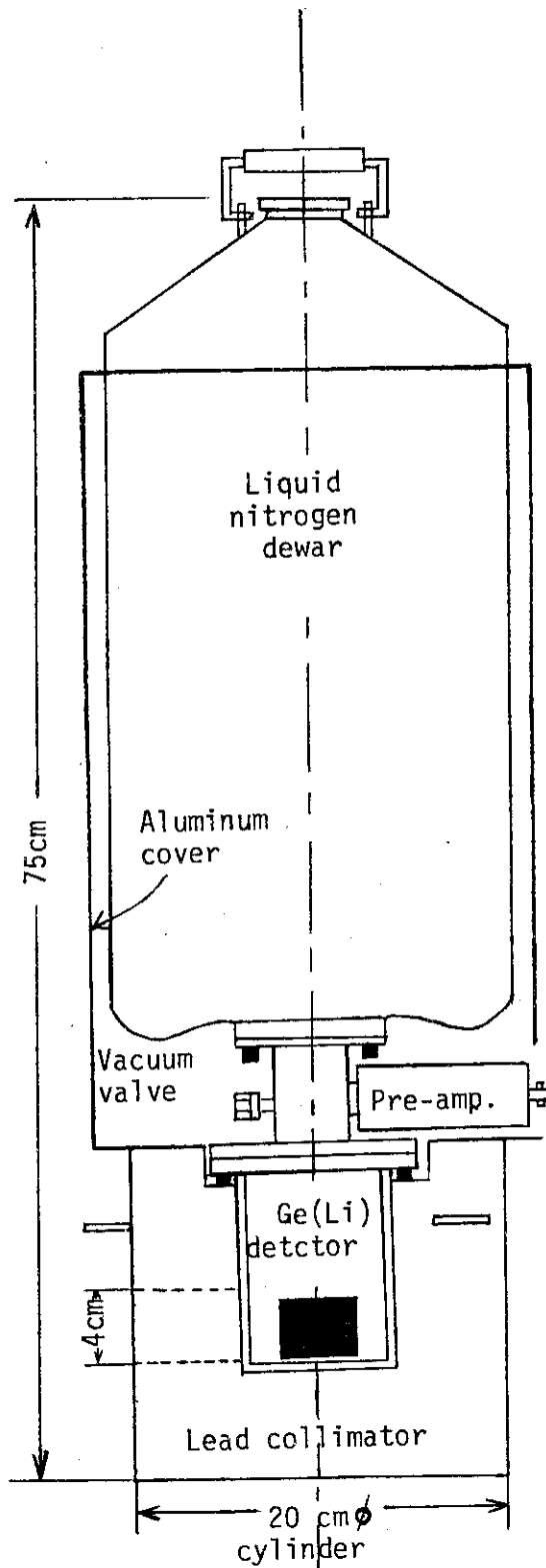


Fig. 2.2 A collimator for measurements of FP plate-out



Performance of Ge(Li) detector

Efficiency 8%
 Resolution 2.1keV
 (for 1332keV)
 Bias voltage 2500V₃
 True coax. 44cm³

Weight

Ge(Li)detector 15kg
 (with 7.5l liq.N₂)
 Lead collimator 52kg
 Total weight 67kg

Lead collimator

Thickness 5cm
 Rectangular window
 (4cm x 1cm)

Fig. 2.4 Portable Ge(Li) detector with lead collimator

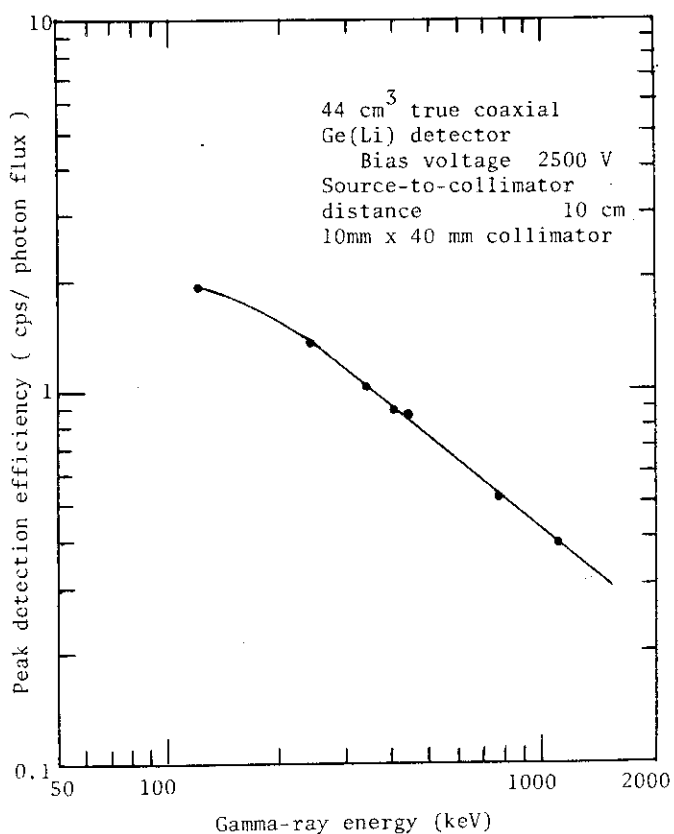


Fig. 2.5 Peak detection efficiency of 44 cm³ Ge(Li) detector with 10mm × 40mm lead collimator

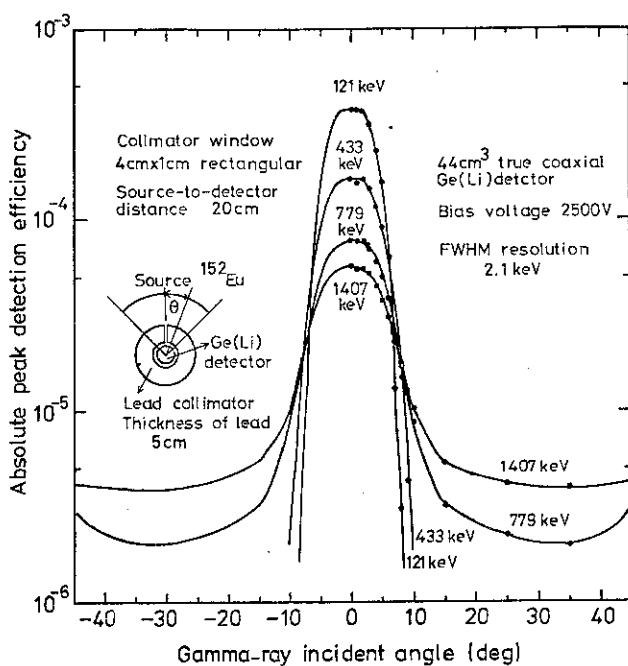


Fig. 2.6 Horizontal direction characteristics of a Ge(Li) detector with a lead collimator

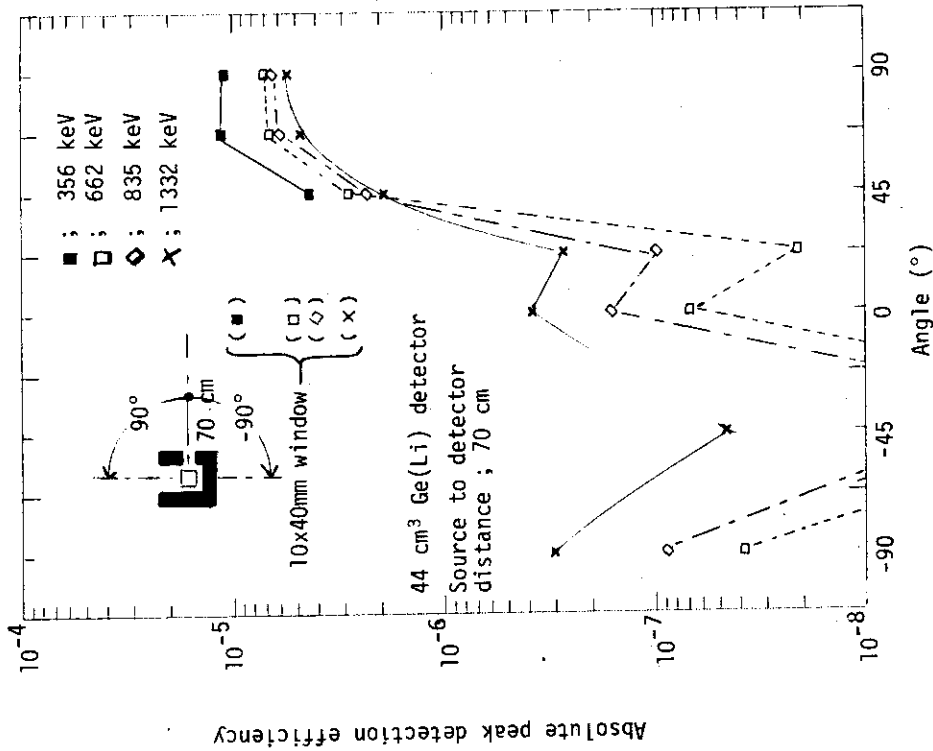


Fig. 2.8 Angular dependence of absolute peak detection efficiency using a collimator

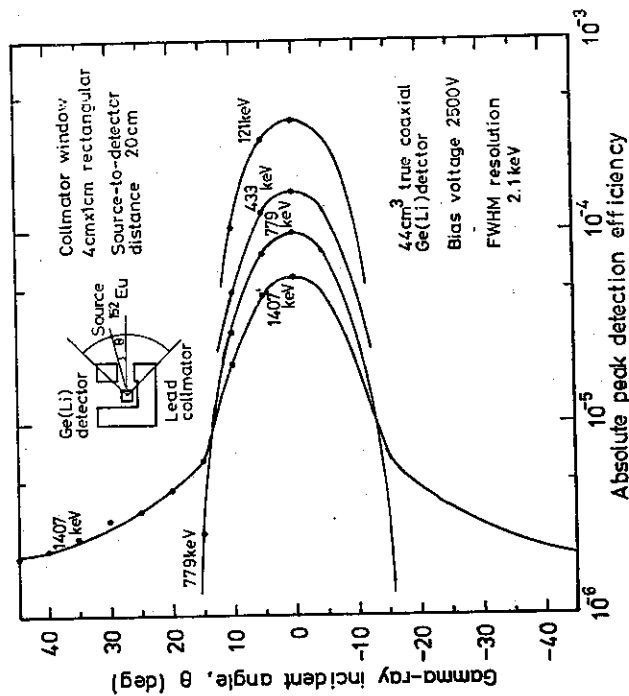


Fig. 2.7 Vertical direction characteristics of a Ge(Li) detector with a lead collimator

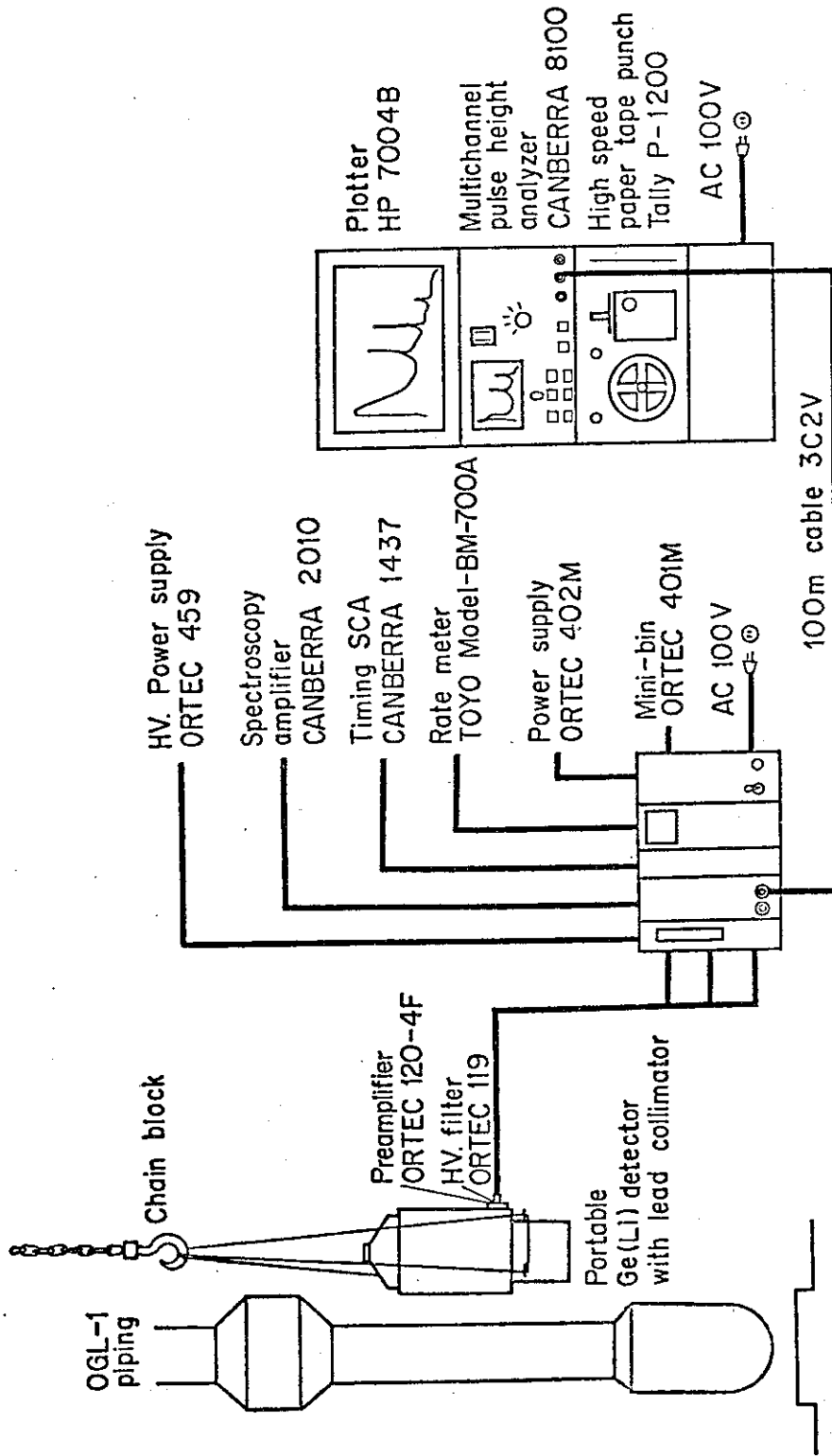


Fig. 2.9 Schematic diagram of portable Ge(Li) detector system

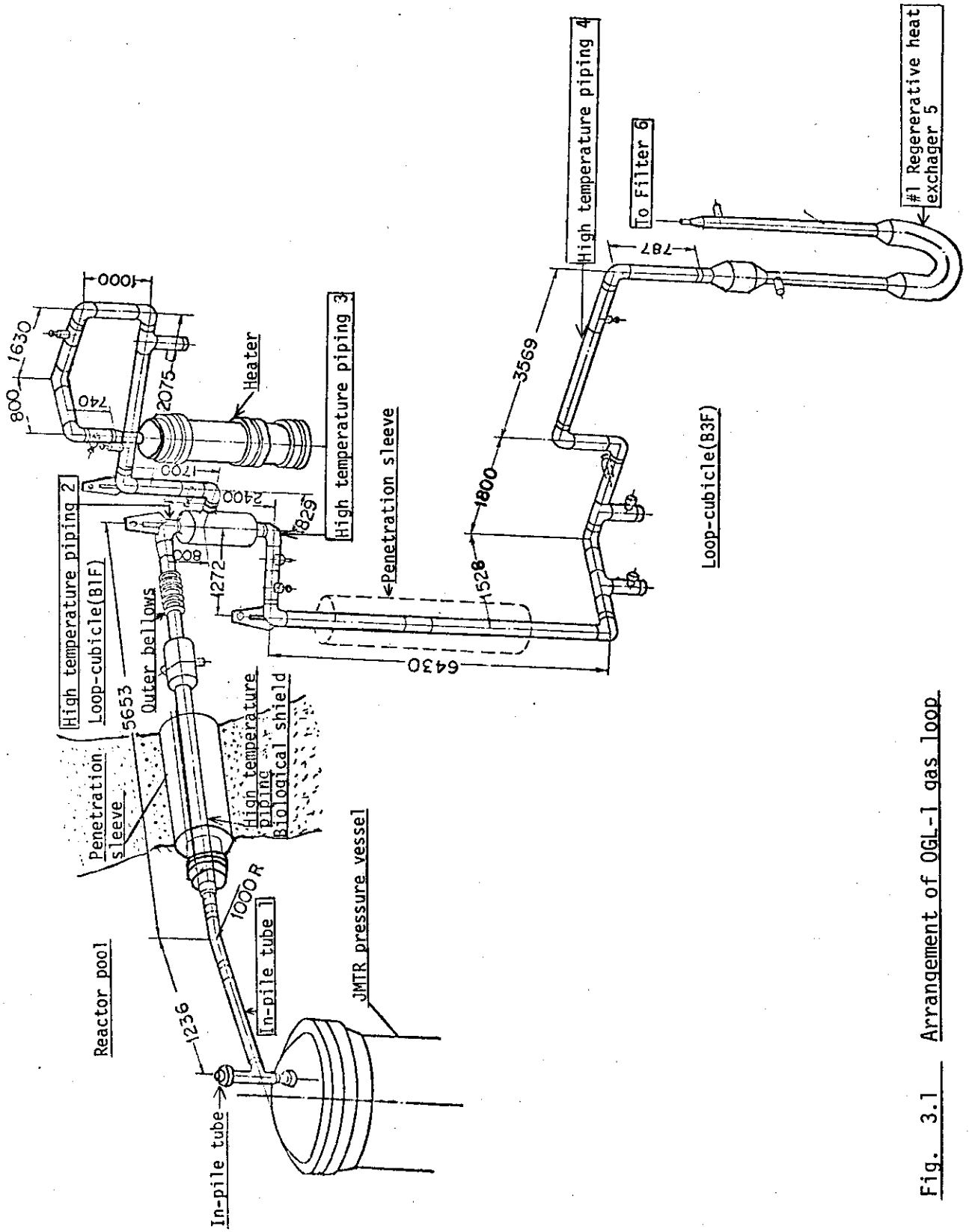


Fig. 3.1 Arrangement of OGL-1 gas loop

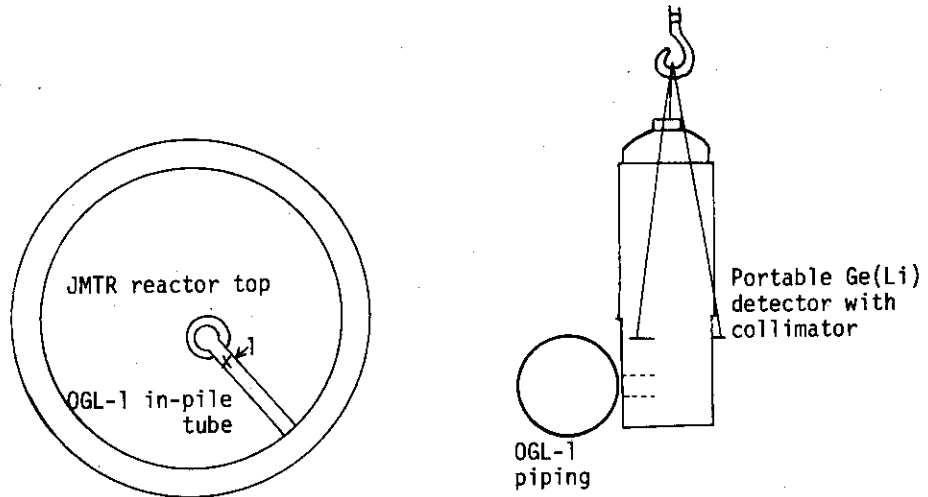


Fig. 3.2 Detector position of the measuring point 1
(in-pile tube at reactor top)

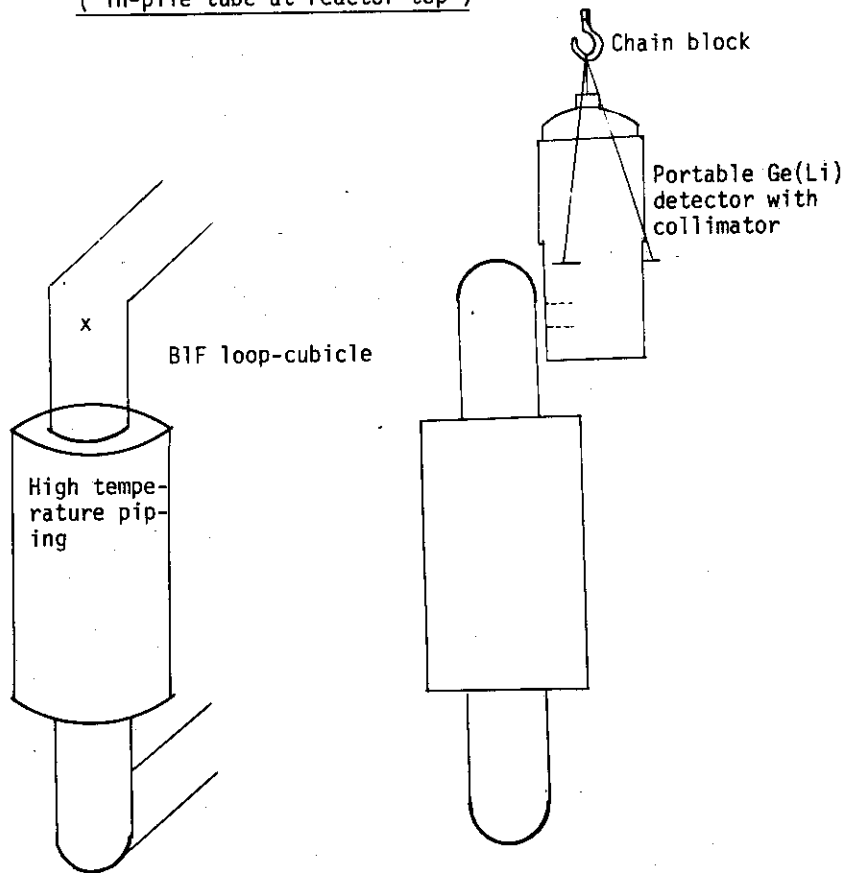


Fig. 3.3 Detector position of the measuring point 2
(high temperature piping (upper piping))

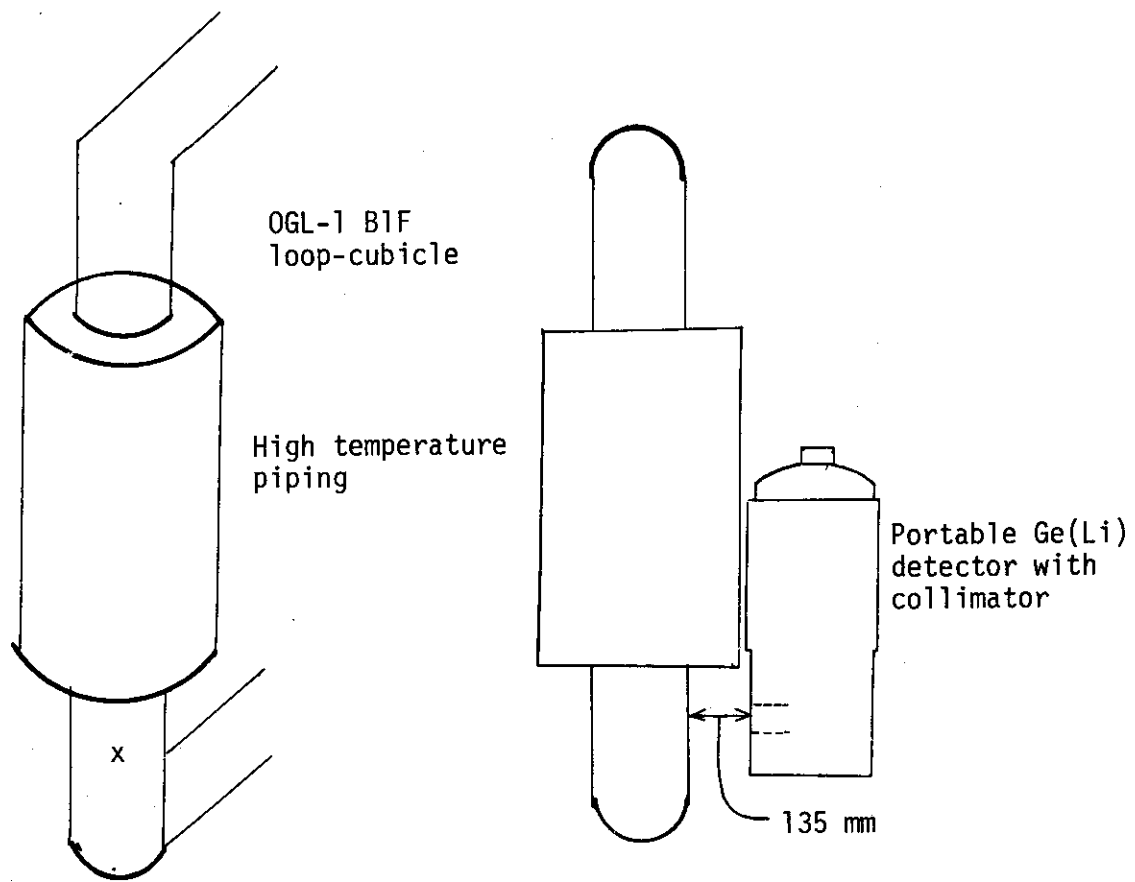


Fig. 3.4 Detector position of measuring point 3
(high temperature piping (lower piping))

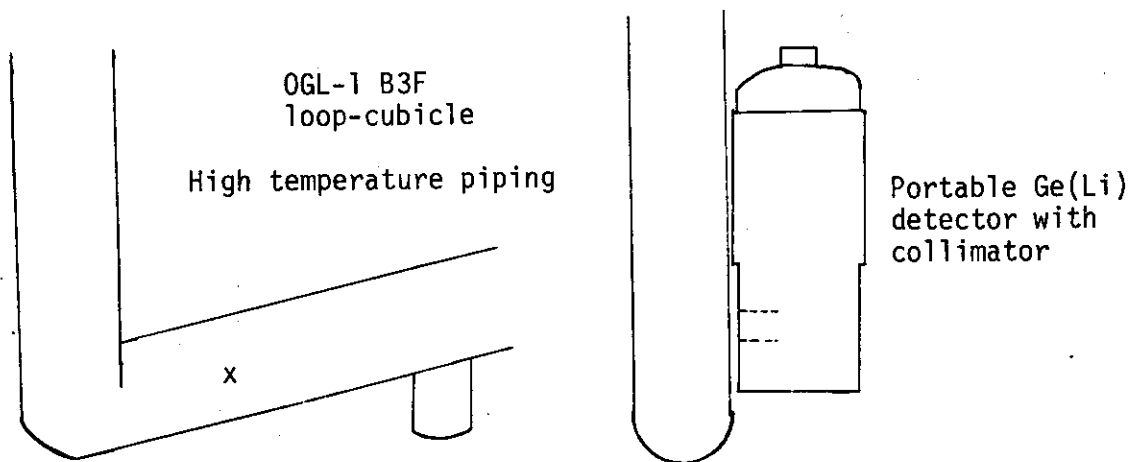


Fig. 3.5 Detector position of the measuring point 4
(high temperature piping (B3F piping))

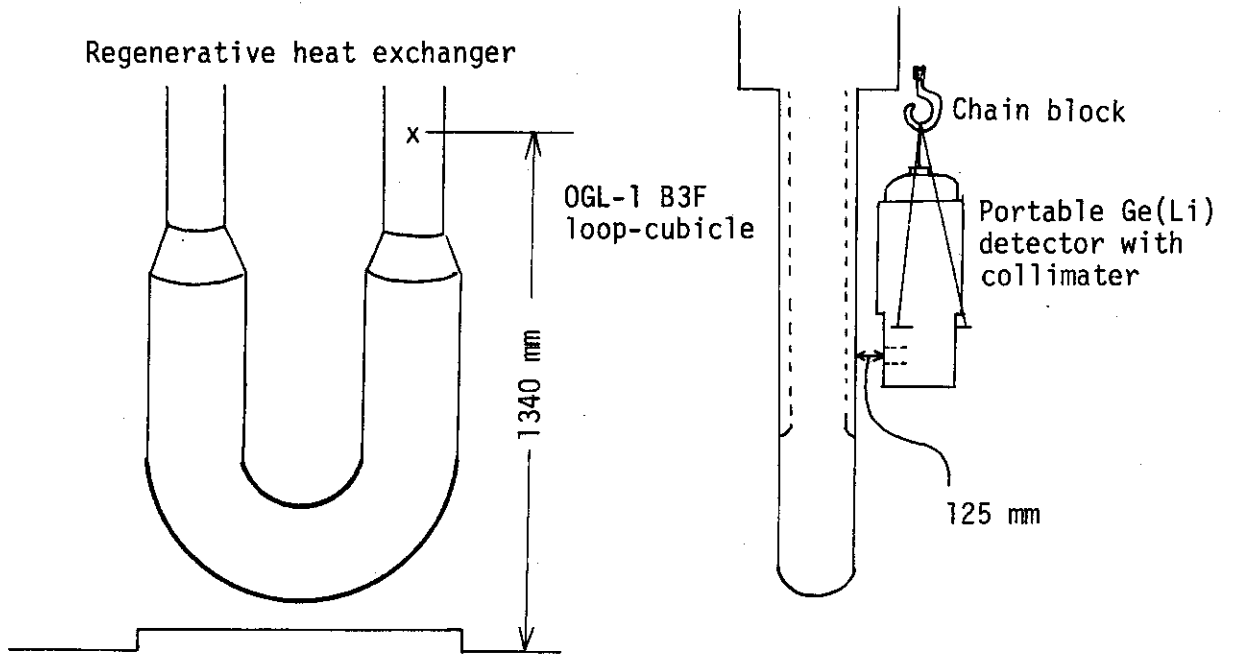


Fig. 3.6 Detector position of measuring point 5 (regenerative heat exchanger)

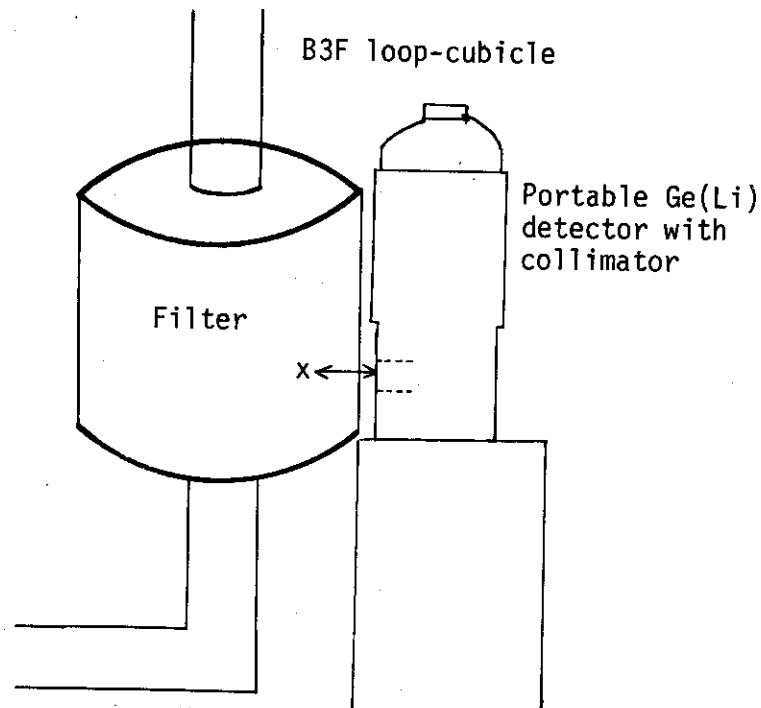


Fig. 3.7 Detector position of measuring point 6 (Filter)

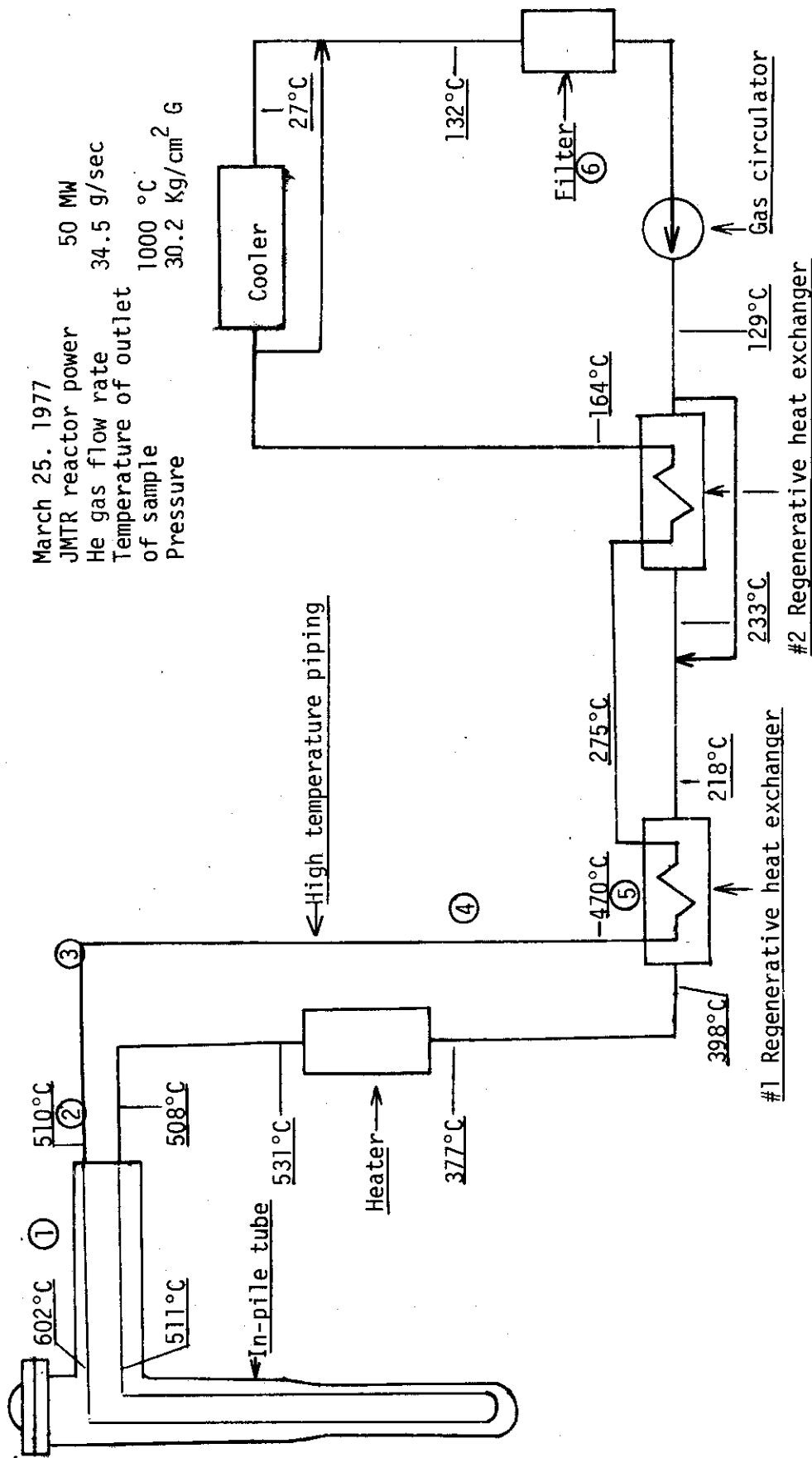


Fig. 4.1 Heat balance of OG-1 gas loop in JMTR 39th cycle

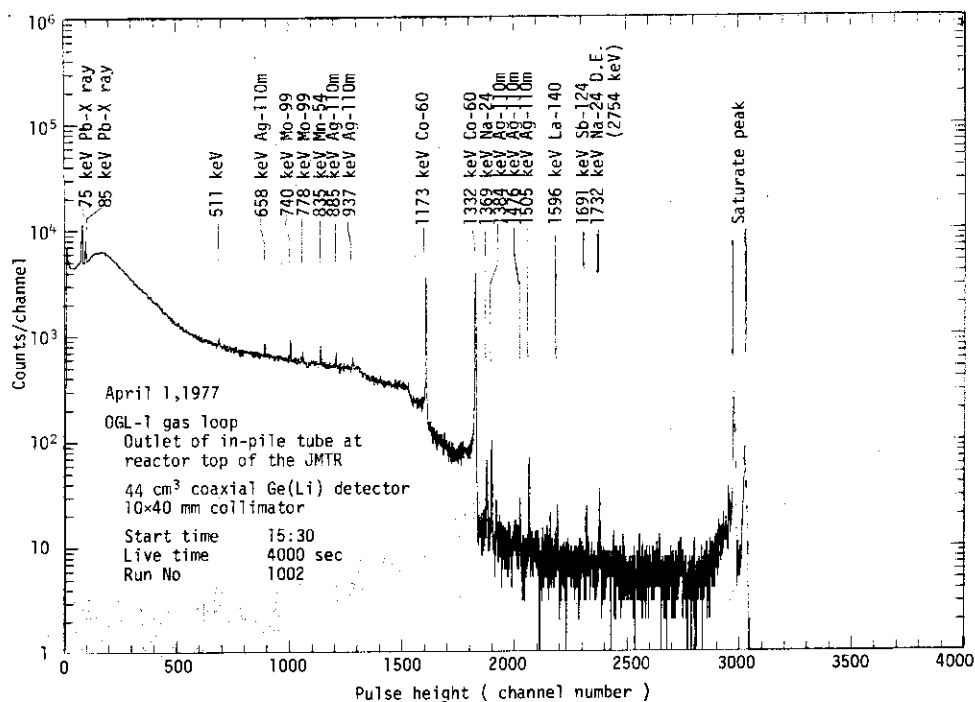


Fig. 4.2 Gamma-ray pulse height distribution at outlet of in-pile tube at reactor top of the JMTR measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (39th cycle)

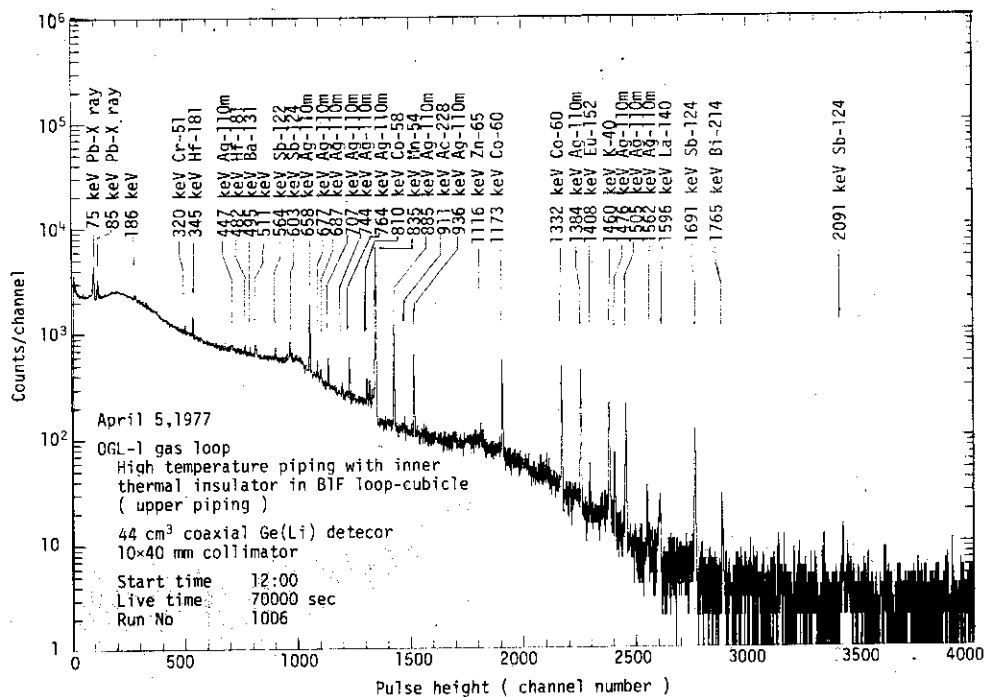


Fig. 4.3 Gamma-ray pulse height distribution at high temperature piping with inner thermal insulator in BIF loop-cubicle (upper piping) measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (39th cycle)

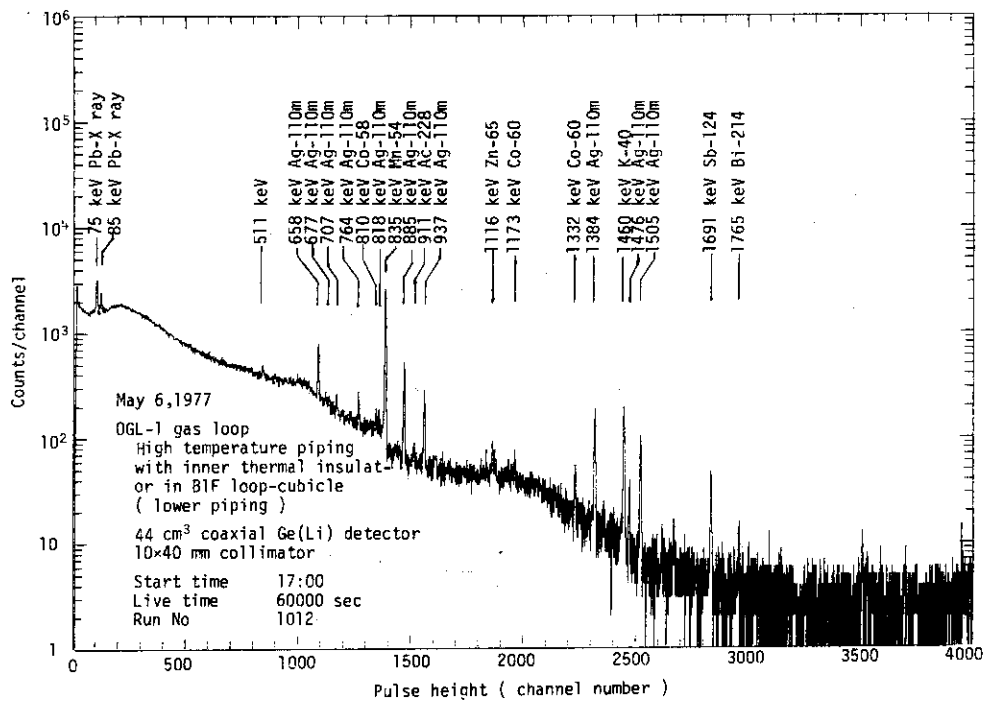


Fig. 4.4 Gamma-ray pulse height distribution at high temperature piping with inner thermal insulator in B1F loop-cubicle (lower piping) measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (39th cycle)

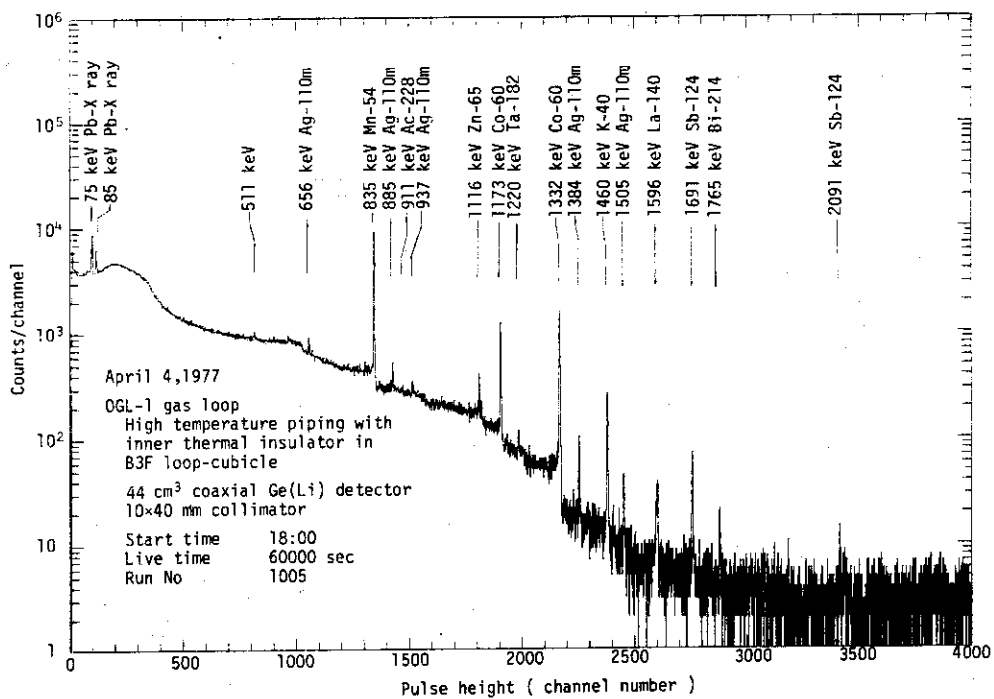


Fig. 4.5 Gamma-ray pulse height distribution at high temperature piping with inner thermal insulator in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (39th cycle)

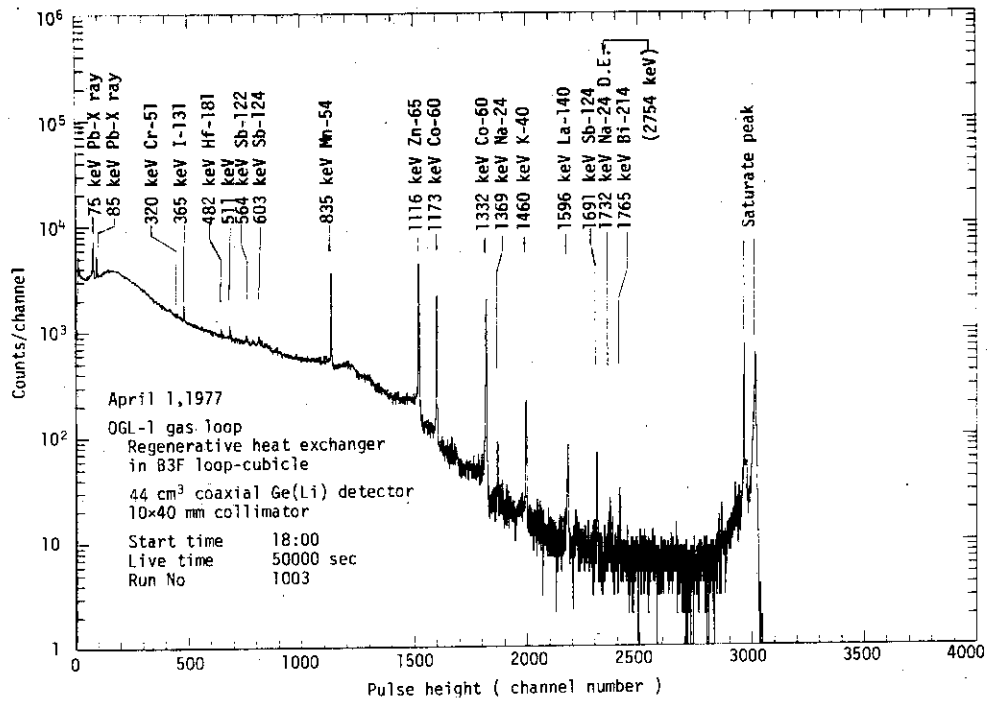


Fig. 4.6 Gamma-ray pulse height distribution at regenerative heat exchanger in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (39th cycle)

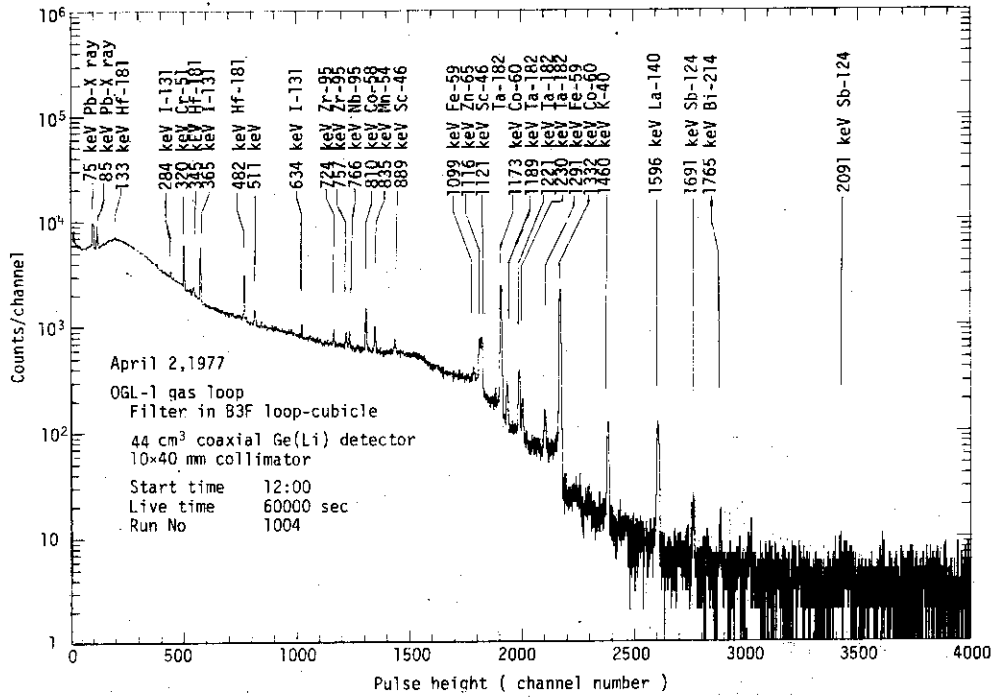


Fig. 4.7 Gamma-ray pulse height distribution at filter in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (39th cycle)

June 4, 1977
 JMTR reactor power 50 MW
 He gas flow rate 30.8 g/sec
 Temperature of outlet of sample 950 °C
 Pressure 30 kg/cm² G

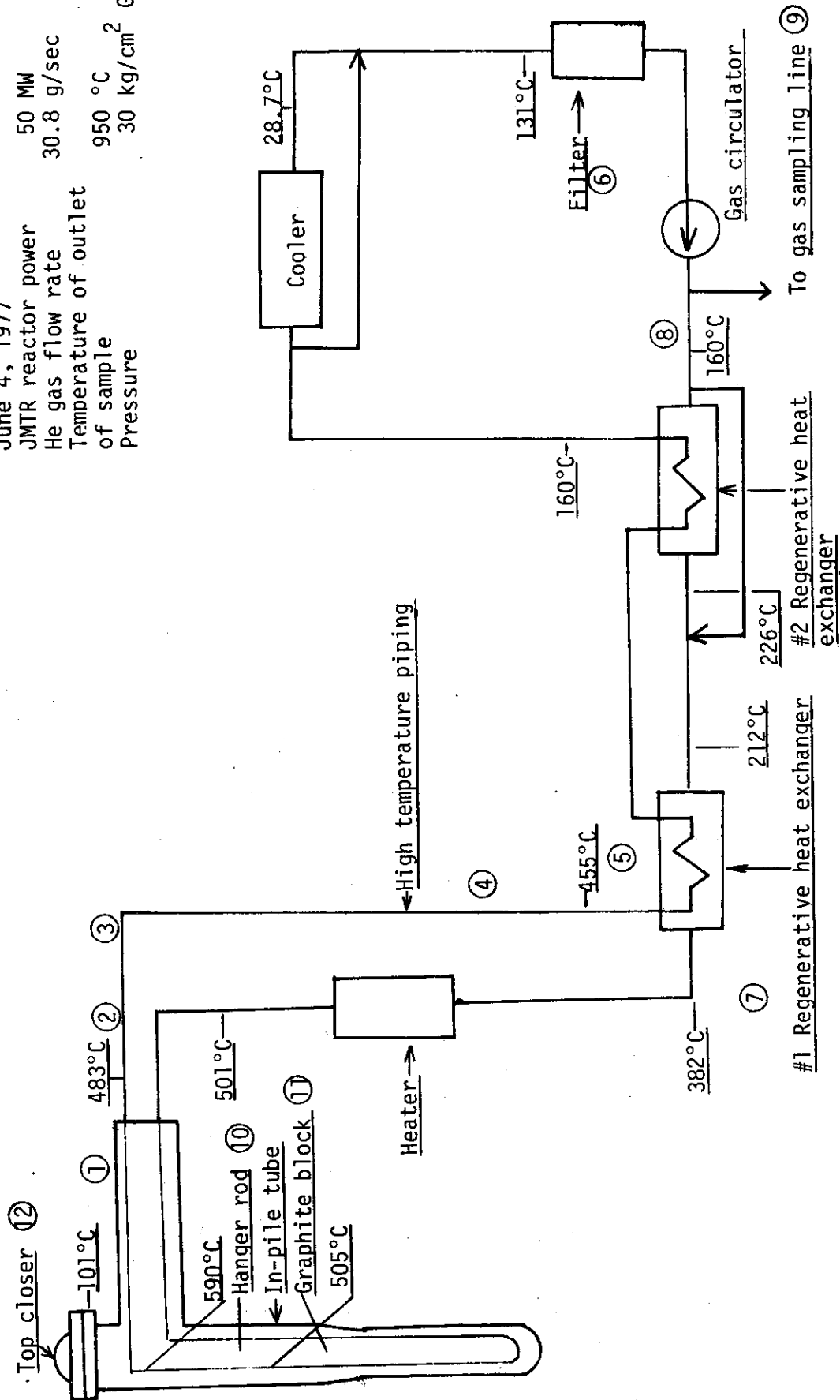


Fig. 4.8 Heat balance of OGL-1 gas loop in JMTR 40th cycle and measurement points of FP plate-out measurement (measurement point 1 - 12)

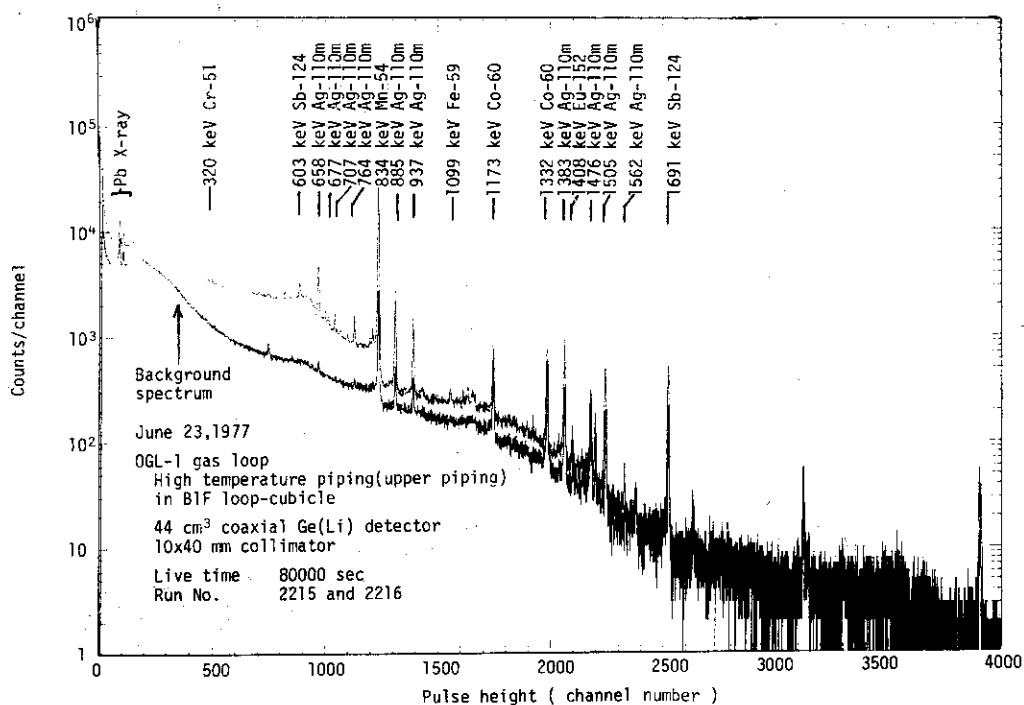


Fig. 4.9 Gamma-ray pulse height distributions at high temperature piping (upper piping) with inner thermal insulator in B1F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

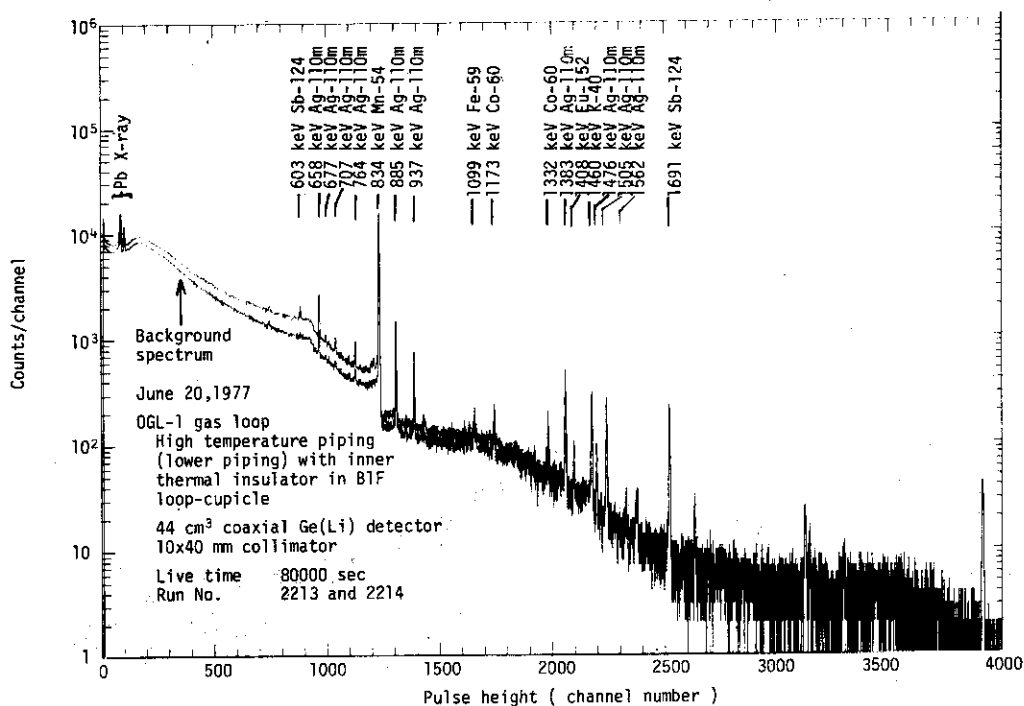


Fig. 4.10 Gamma-ray pulse height distributions at high temperature piping (lower piping) with inner thermal insulator in B1F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

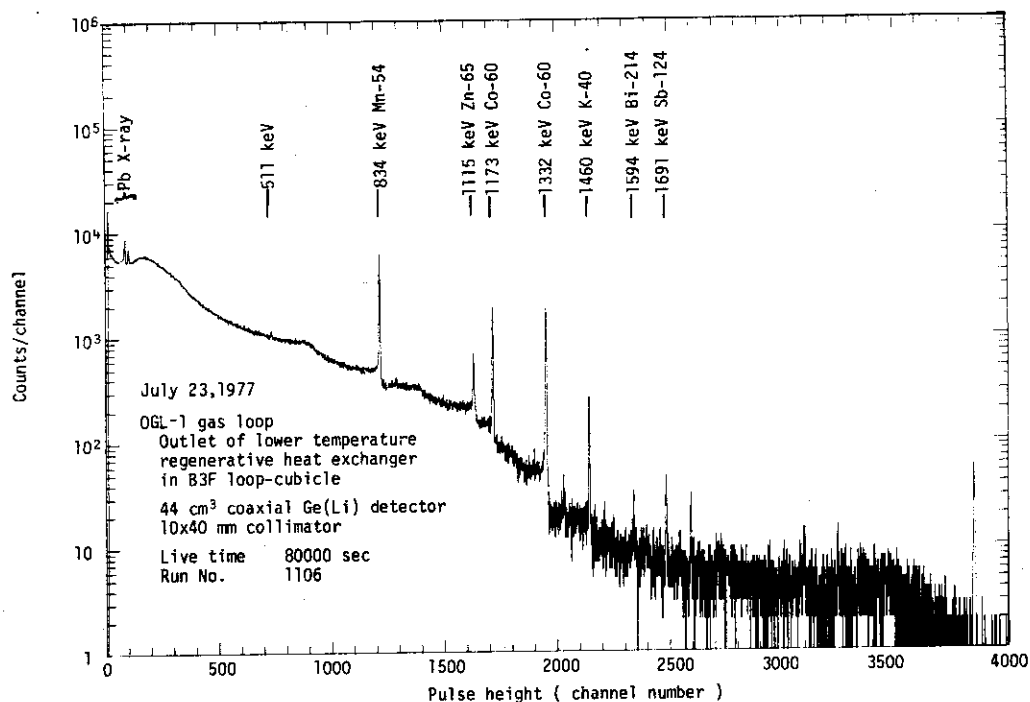


Fig. 4.11 Gamma-ray pulse height distribution at outlet of lower temperature regenerative heat exchanger in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

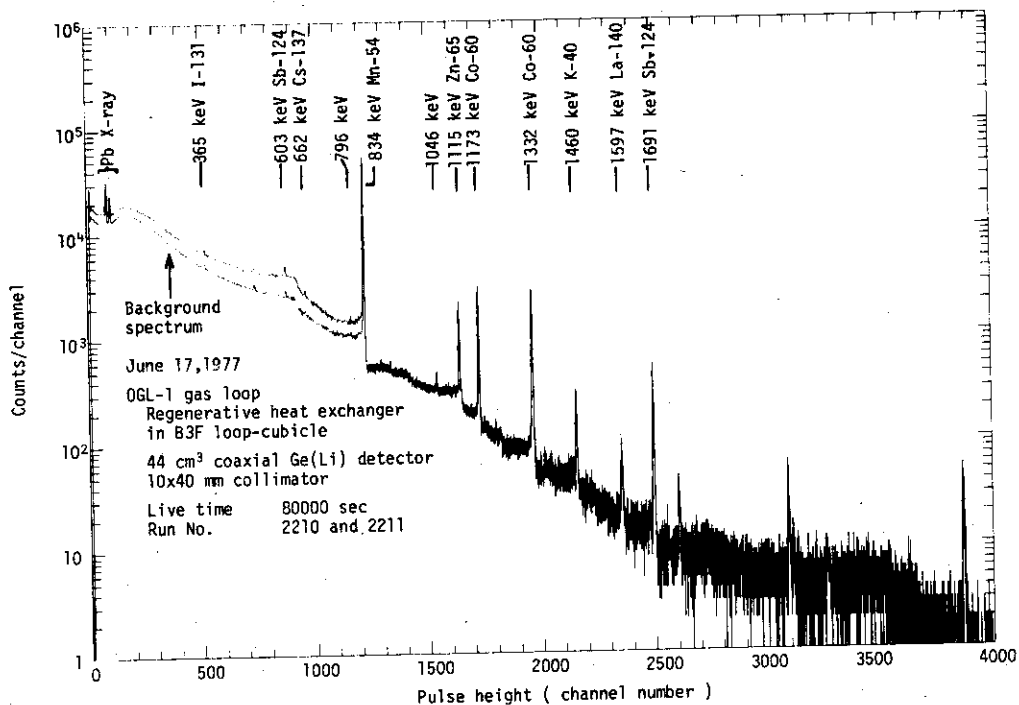


Fig. 4.12 Gamma-ray pulse height distributions at regenerative heat exchanger in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

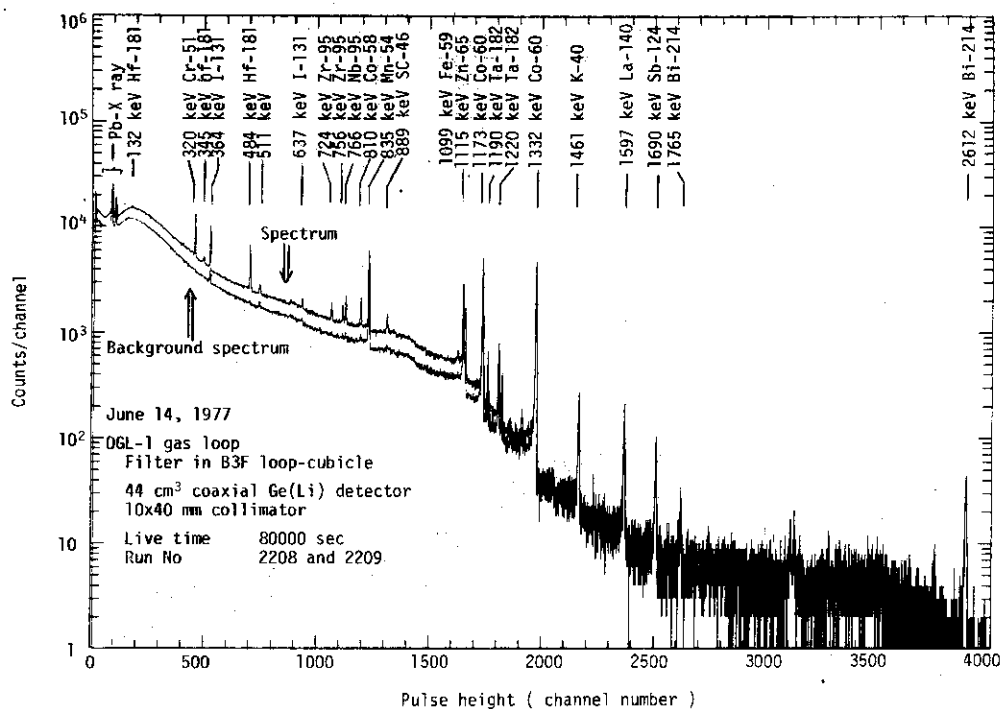


Fig. 4.13 Gamma-ray pulse height distributions at filter in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

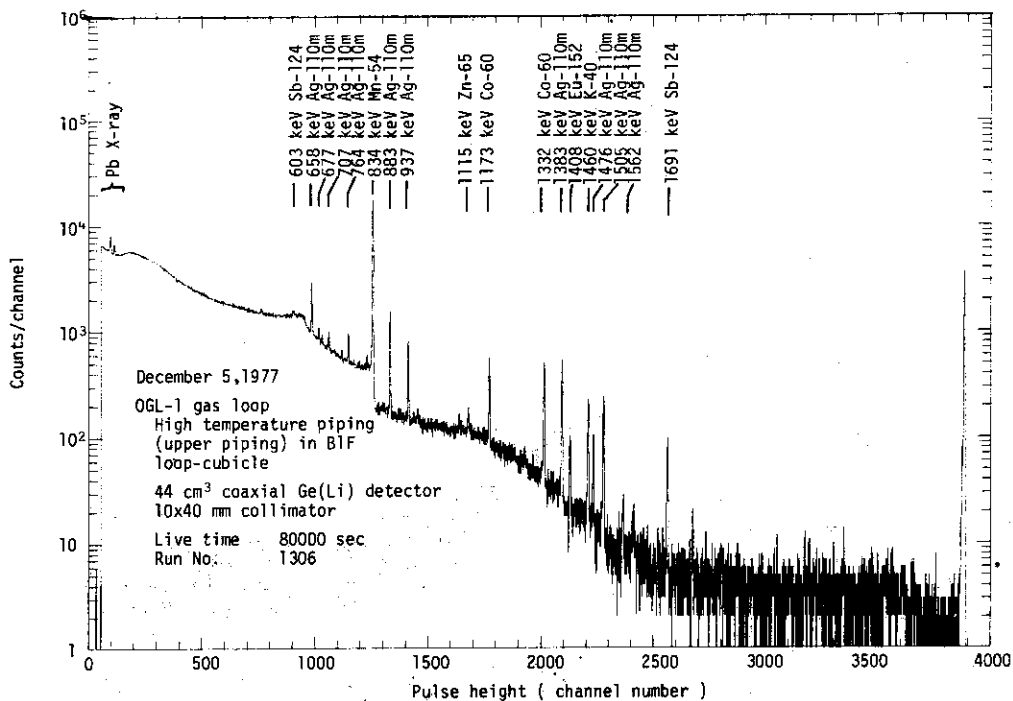


Fig. 4.14 Gamma-ray pulse height distribution at high temperature piping (upper piping) with inner thermal insulator in B1F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (before 42th cycle)

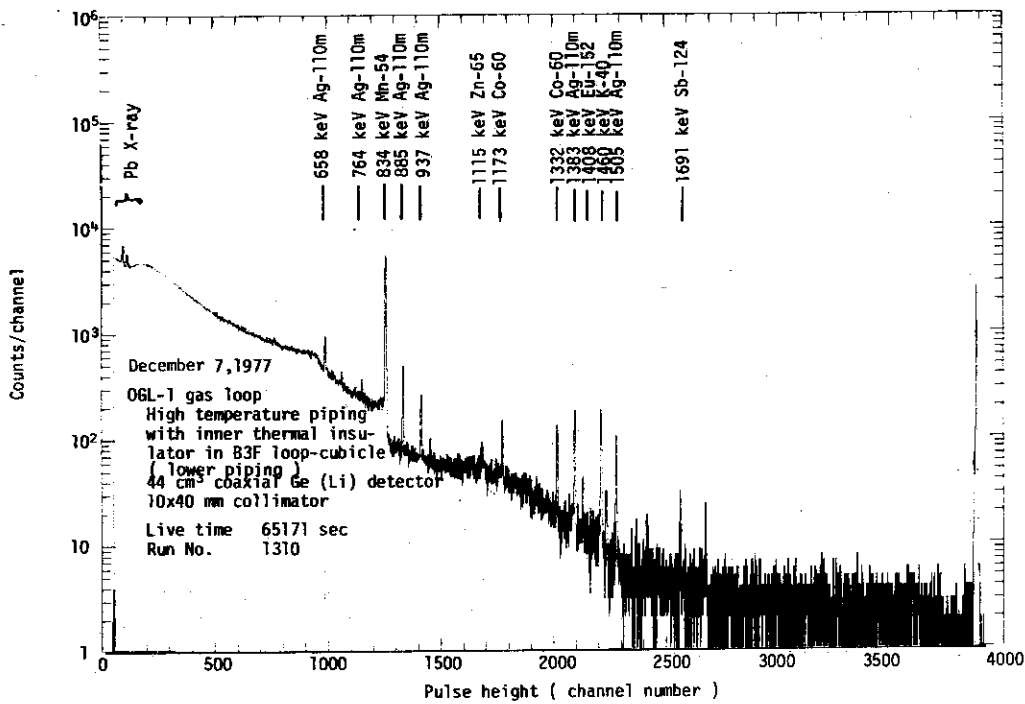


Fig. 4.15 Gamma-ray pulse height distribution at high temperature piping(lower) with inner thermal insulator in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (before 42th cycle)

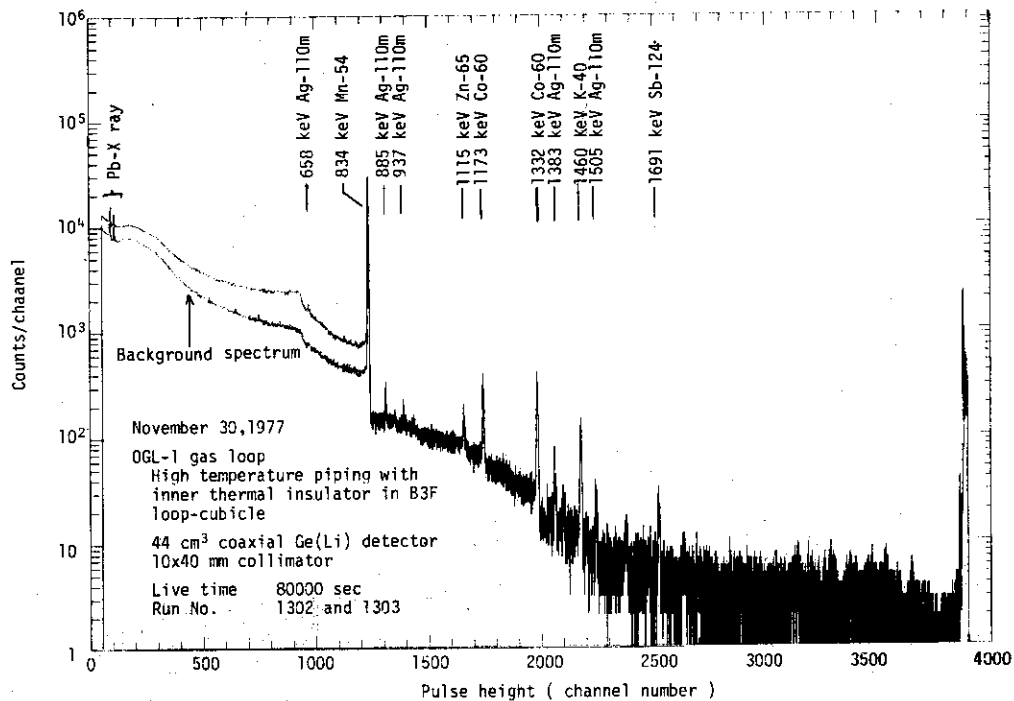


Fig. 4.16 Gamma-ray pulse height distribution at high temperature piping with inner thermal insulator in B3F loop-cubicle and background gamma-ray pulse height distribution measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (Before 42th cycle)

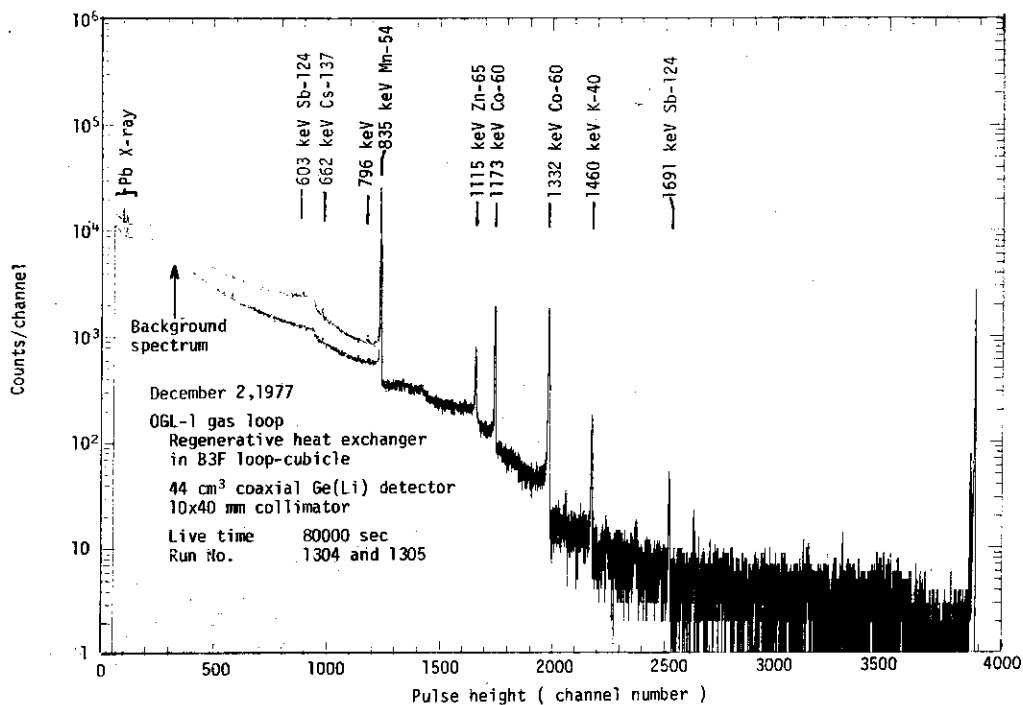


Fig. 4.17 Gamma-ray pulse height distributions at regenerative heat exchanger in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (before 42th cycle)

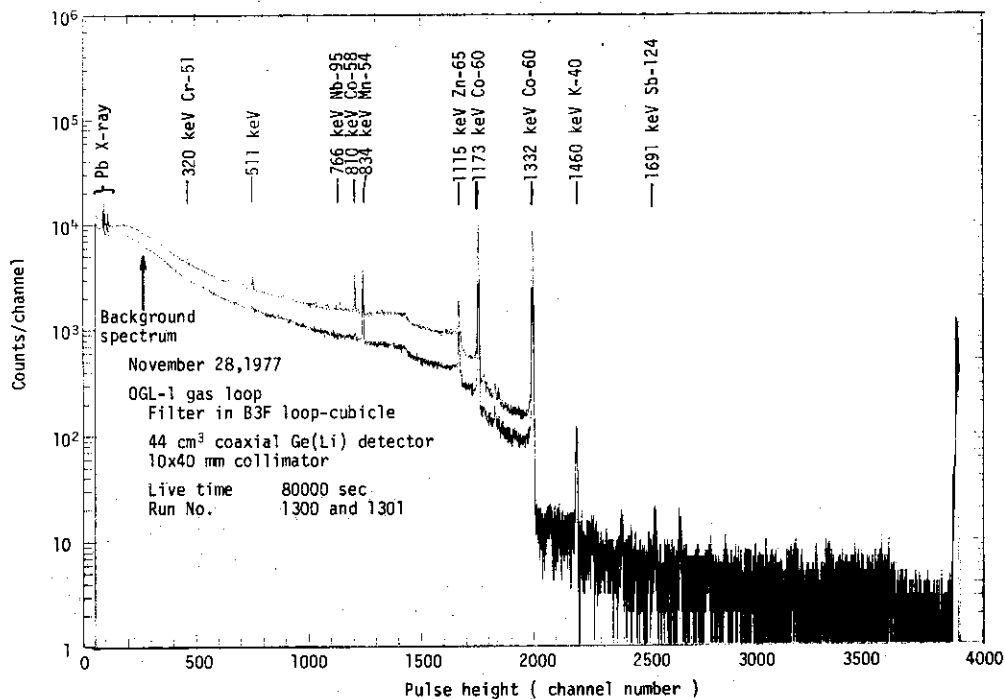


Fig. 4.18 Gamma-ray pulse height distributions at filter in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (before 42 cycle)

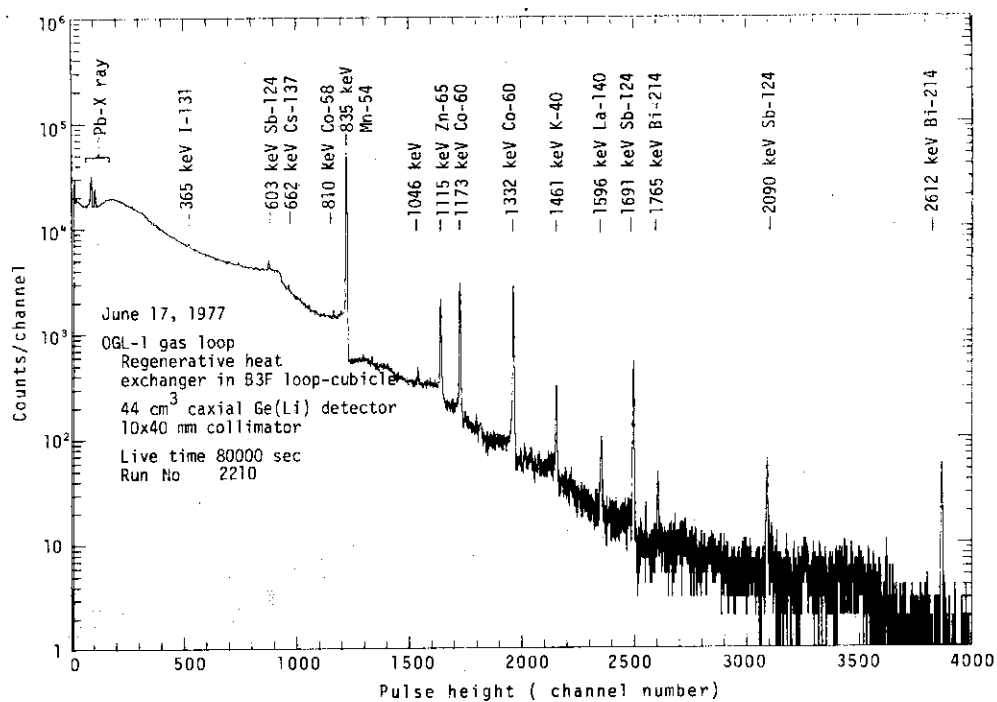


Fig. 4.19 Gamma-ray pulse height distribution at regenerative heat exchanger in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

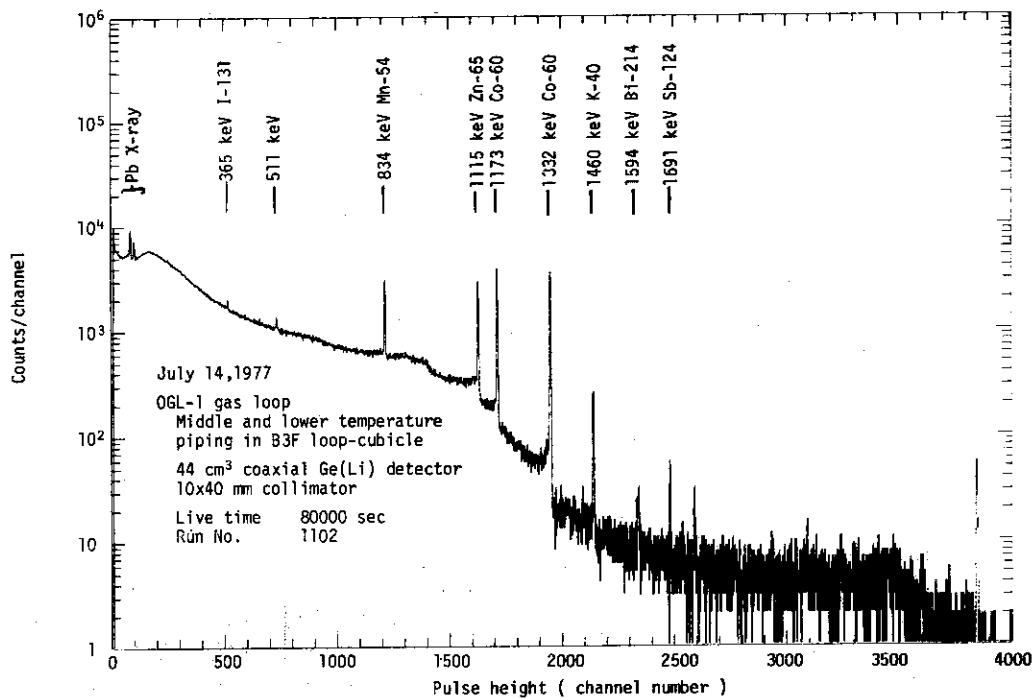


Fig. 4.20 Gamma-ray pulse height distribution at middle and lower temperature piping in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

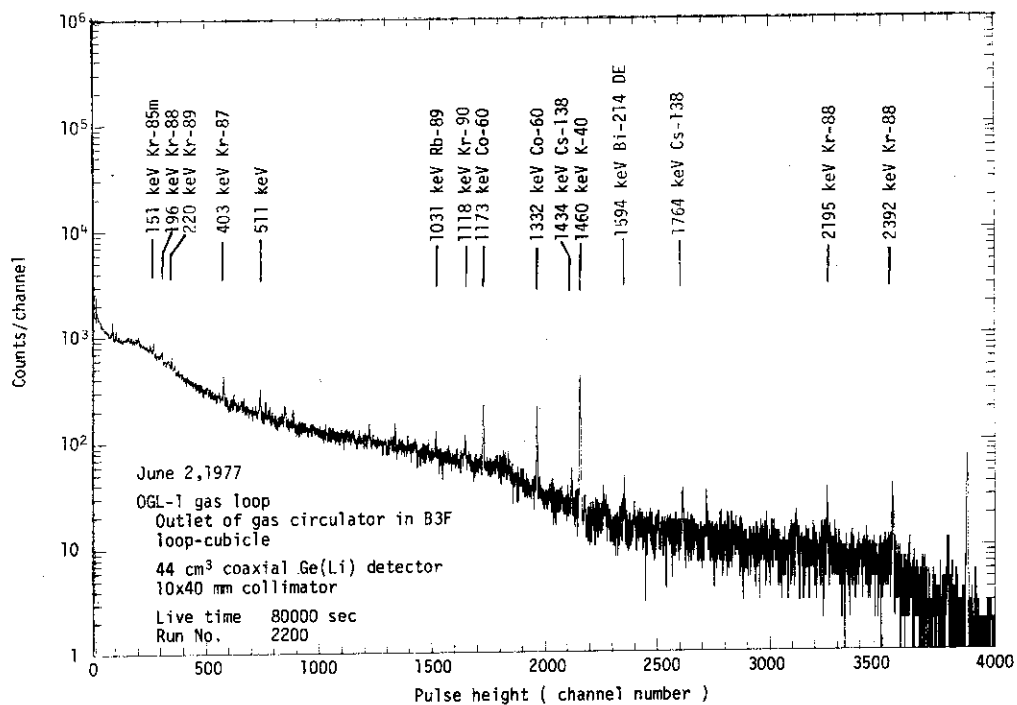


Fig. 4.21 Gamma-ray pulse height distribution at outlet of gas circulator in B3F loop-cubicle measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

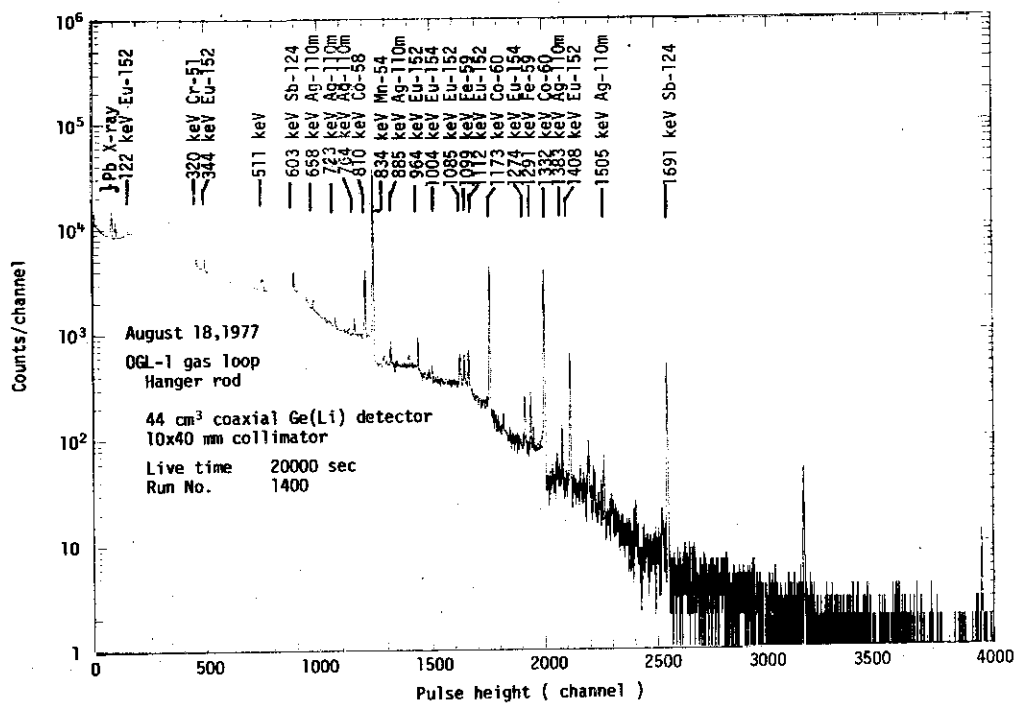


Fig. 4.22 Gamma-ray pulse height distribution at hanger rod measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator (40th cycle)

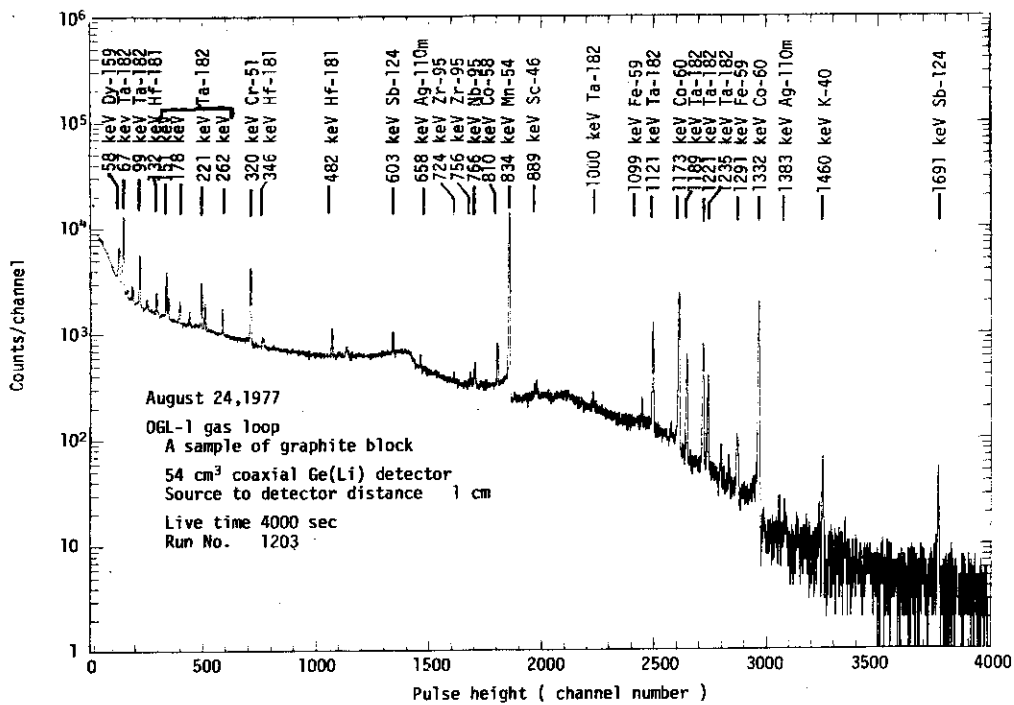


Fig. 4.23 Gamma-ray pulse height distribution of a sample of graphite block measured by 54 cm³ coaxial Ge(Li) detector

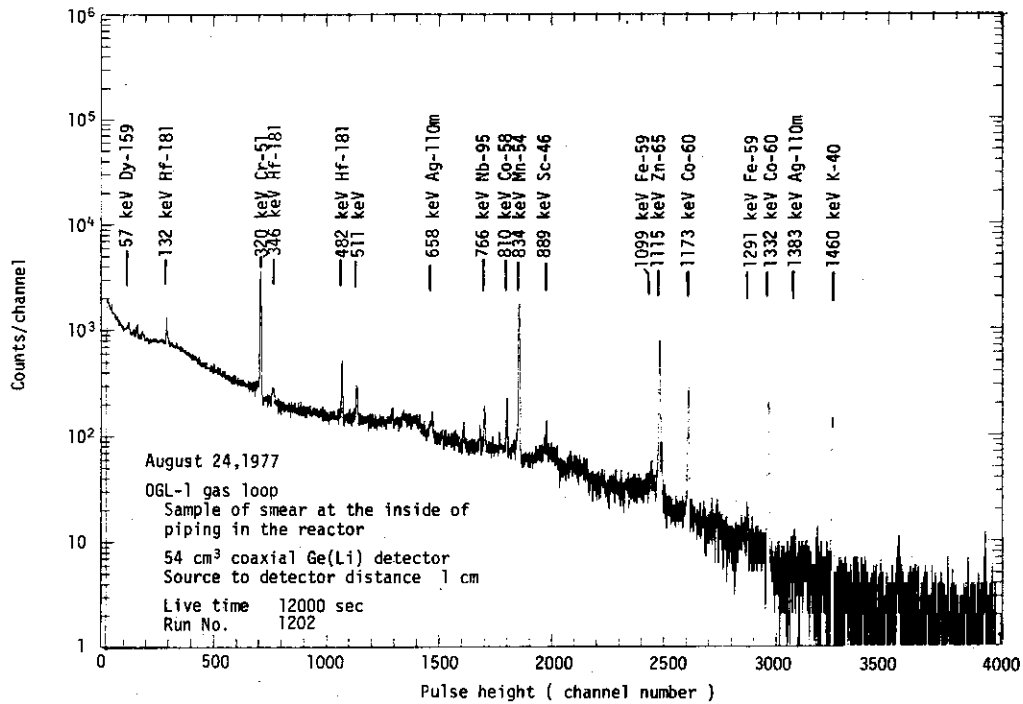


Fig. 4.24 Gamma-ray pulse height distribution of a sample of smear at the inside of piping in the reactor measured by 54 cm³ coaxial Ge(Li) detector

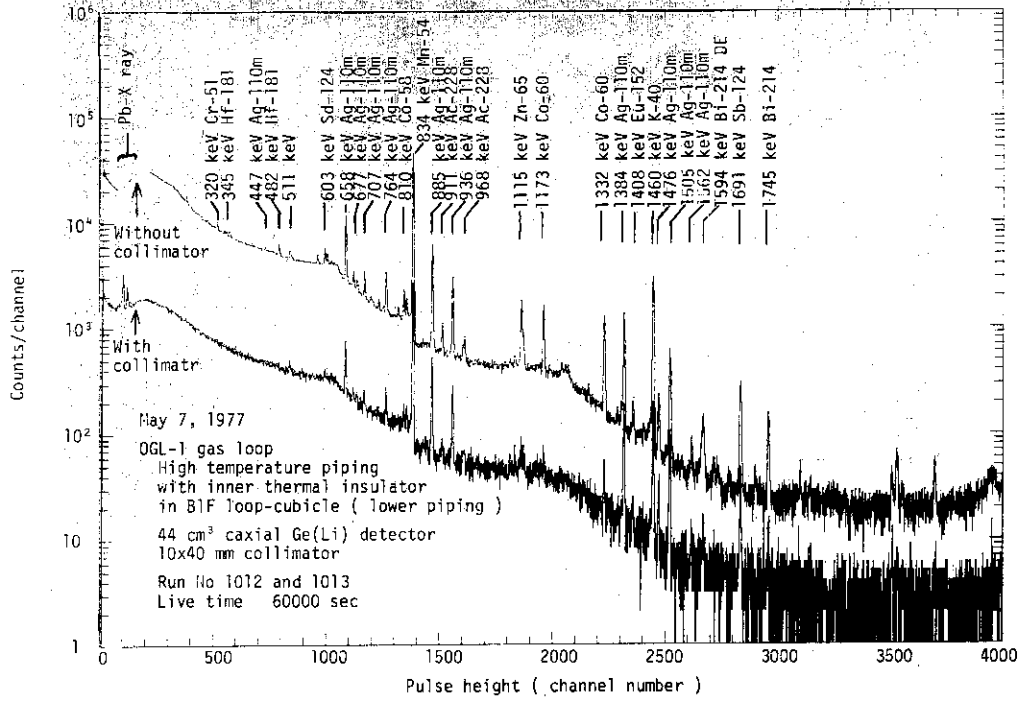


Fig. 6.1 Gamma-ray pulse height distributions at high temperature piping with inner thermal insulator in BIF loop-cubicle (lower piping) measured by 44 cm³ coaxial Ge(Li) detector with 10x40 mm collimator and without a collimator (39th cycle)

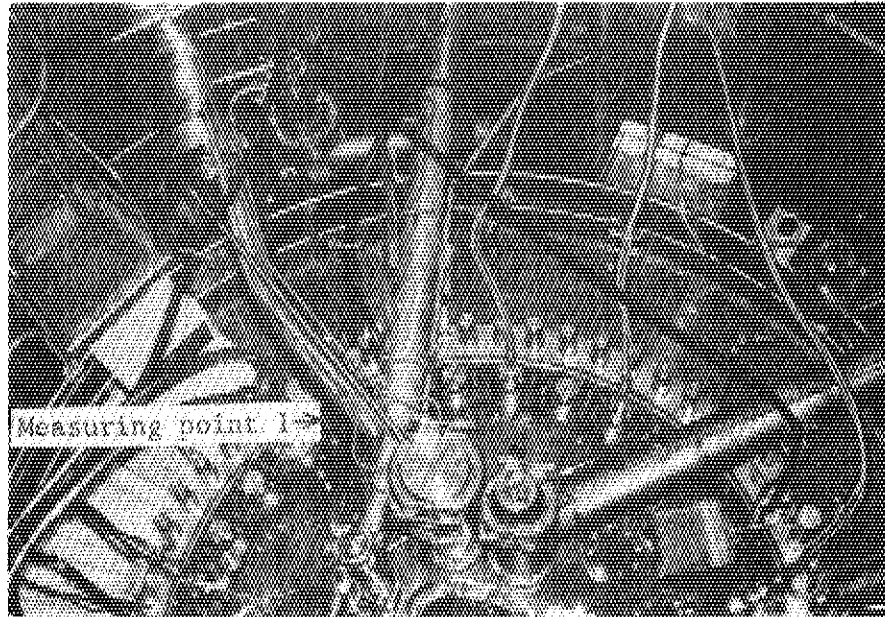


Photo 3.1 OGL-1 in-pile tube at reactor top (measuring point 1)

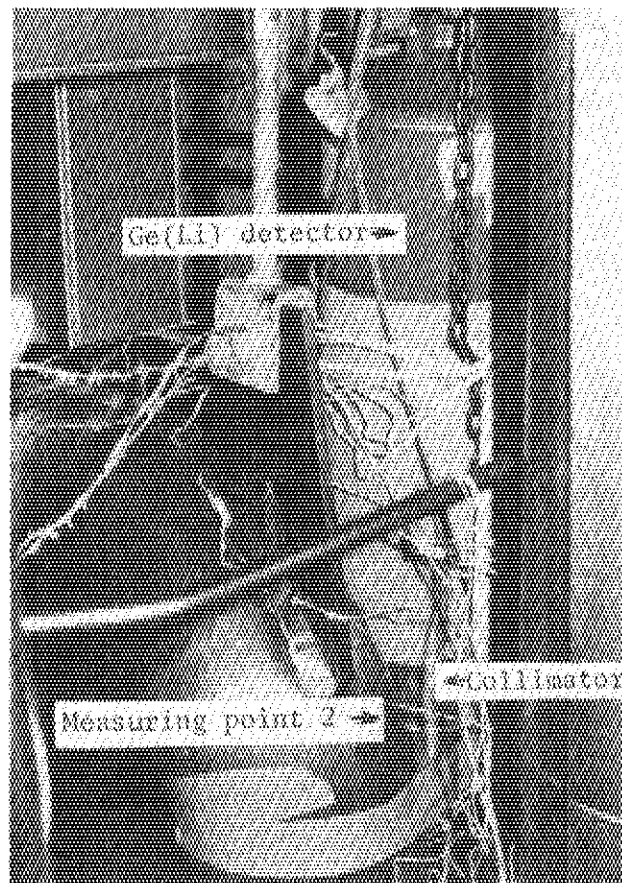


Photo 3.2 High temperature piping(upper piping) in B1F loop-cubicle (measuring point 2)

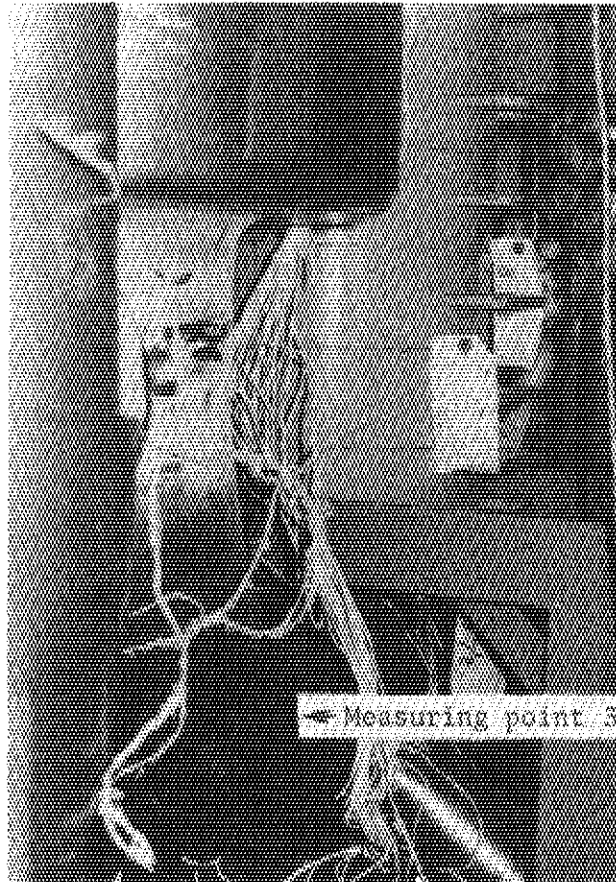


Photo 3.3 High temperature piping(lower piping) in B1F loop-cubicle (measuring point 3)

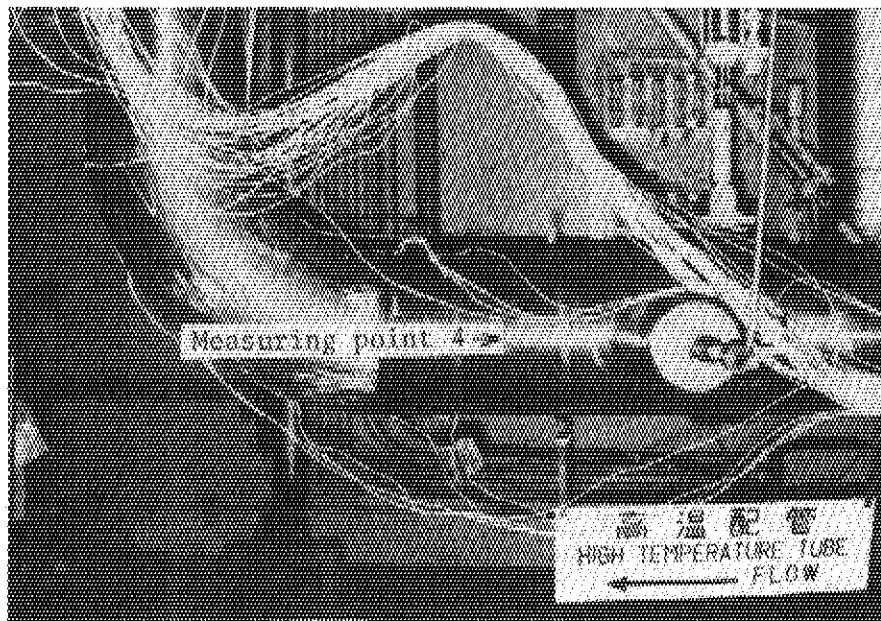


Photo 3.4 High temperature piping in B3F loop-cubicle (measuring point 4)

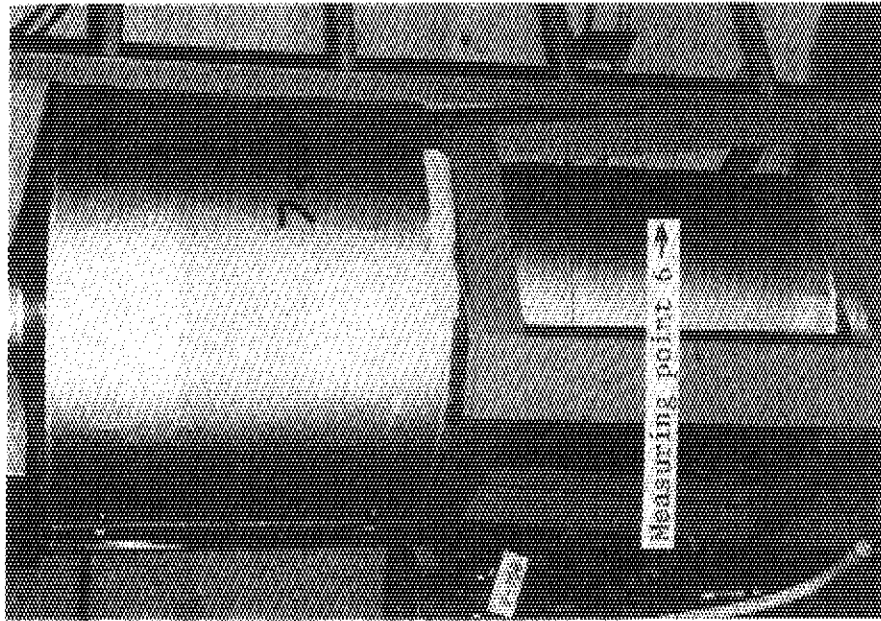


Photo 3.6 Filter at B3F loop-cubicle
(measuring point 6)

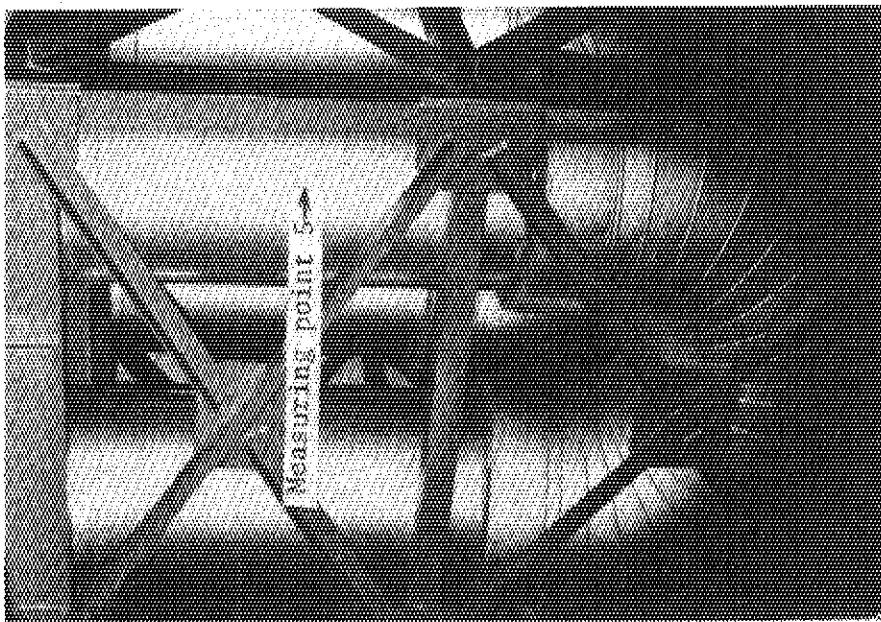


Photo 3.5 Regenerative heat exchanger in
B3F loop-cubicle (measuring
point 5)

Appendix 1 Records of the preliminary plate-out measurement at OGL-1

No	Date	Live time	Run No	Cycle	Measurement point
1	4/1	4000sec	1002	39	In-pile tube(point 1)
2	4/1	50000	1003	39	Regenerative heat Exchanger(point 5)
3	4/2	60000	1004	39	Filter(point 6)
4	4/4	60000	1005	39	High temperature piping(B3F)(point 4)
5	4/5	60000	1006	39	High temperature piping(upper)(point 2)
6	5/6	60000	1012	39	High temperature piping(lower)(point 3)
7	5/7	60000	1013	39	High temperature piping(lower)without coll..
8	6/2	60000	2200	40	Outlet of gas circulator
9	6/14	80000	2207	40	Point 6
10	6/15	76500	2209	40	Point 6 Back.
11	6/17	80000	2210	40	Point 5
12	6/18	80000	2211	40	Point 5 Back.
13	6/21	80000	2213	40	Point 3
14	6/22	80000	2214	40	Point 3 Back.
15	6/23	80000	2215	40	Point 2
16	6/24	80000	2216	40	Point 2 Back.
17	7/5	75700	2218	40	Point 4
18	7/7	80000	2219	40	Point 4 Back.
19	7/14	78447	1102	40	Middle and lower temperature piping
20	7/16	80000	1103	40	Middle and lower temperature piping Back.
21	7/22	80000	1105	40	Outlet of lower regenerative heat exchanger
22	7/23	80000	1106	40	Outlet of lower reg. heat exchanger Back.
23	8/18	20000	1400	40	Hanger rod
24	8/18	20000	1401	40	Hanger rod Back.
25	8/24	4000	1201	40	A sample of graphite block (back)
26	8/24	12000	1202	40	A sample of smear
27	8/24	4000	1203	40	A sample of graphite block (front)
28	11/28	80000	1300	40	Point 6
29	11/29	80000	1301	40	Point 6 Back.
30	11/30	80000	1302	40	Point 4
31	12/1	80000	1303	40	Point 4 Back.
32	12/2	80000	1304	40	Point 5
33	12/3	80000	1305	40	Point 5 Back.
34	12/5	80000	1306	40	Point 2
35	12/6	70000	1307	40	Point 2 Back.
36	12/7	65171	1310	40	Point 3
37	12/8	25000	1309	40	Point 3 Back.
38	12/24	80000	1312	42	Point 6
39	12/25	80000	1313	42	Point 6 Back.