

JAERI-M  
92-002

化学試験及び放射化学試験  
(原子力船「むつ」出力上昇試験報告)

1992年2月

吉島 哲夫・鈴木 邦彦\*・向井 悟\*  
田中 孝和・落合 政昭

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

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

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

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 日立高速印刷株式会社

化学試験及び放射化学試験  
(原子力船「むつ」出力上昇試験報告)

日本原子力研究所むつ事業所原子力船技術部

吉島 哲夫・鈴木 邦彦<sup>\*</sup>・向井 智<sup>\*</sup>

田中 孝和<sup>†</sup>・落合 政昭

(1991年12月24日受理)

原子力船「むつ」の出力上昇試験は、1990年3月から開始され、12月に終了した。

この一環として、化学試験及び放射化学試験を実施した。本報告書は、化学及び放射化学試験の方法及び結果をとりまとめたものである。

「むつ」の原子炉は、熱出力36MWのPWRタイプの原子炉であるが、化学及び放射化学の観点からは、発電用PWRと異なり燃料被覆管がステンレス鋼製であること及びケミカルシムを使用していないことが特徴である。

化学試験の結果からは、一次冷却水及び二次冷却水の水質は良好であることを明かにした。また、放射化学試験の結果からは、燃料集合体、蒸気発生器伝熱管及び補機冷却系統に漏洩のないことを確認した。

---

むつ事業所：〒035 青森県むつ市大字関根字北関根400

+ 原子力船「むつ」

\* 現在、三菱原子力工業（株）

Chemistry and Radiochemistry Tests of N.S.MUTSU  
(Reports on N.S.MUTSU Power-up Tests)

Tetsuo YOSHIIJIMA, Kunihiro SUZUKI<sup>\*</sup>, Satoru MUKAI<sup>\*</sup>  
Takakazu TANAKA<sup>+</sup> and Masaaki OCHIAI

Department of Nuclear Ship Engineering  
Mutsu Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Mutsu-shi, Aomori-ken

(Received December 24, 1991)

The power-up test of N.S.MUTSU started in March 1990 and finished in December. The chemistry test and radiochemistry test were performed during the power-up tests. This paper describes the methods and the results of the chemistry and radiochemistry tests performed during the power-up tests of N.S.MUTSU.

The N.S.MUTSU is equipped with a PWR type reactor having a thermal power output of 36MW. The chemical and radiochemical characteristics of the reactor are fuel rod cladding tubes made of stainless steel and reactivity control without chemical shim.

The chemistry test yielded the good results in quality of the primary cooling water and the secondary cooling water. The radiochemistry test confirmed that there is no leakages from fuel rod tubes, SG U-tubes and reactor component cooling systems.

Keywords: Nuclear Ship, Water Chemistry, Power-up Test, Primary Coolant, Secondary Coolant

---

+ Nuclear Ship Mutsu

\* Present address: Mitsubishi Atomic Power Industry Co.

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 原子炉冷却系の概要 .....	2
3. 化学試験及び放射化学試験の目的 .....	5
3.1 一次冷却水の水・ガス管理 .....	5
3.2 体積制御タンク気相部のガス管理 .....	6
3.3 二次冷却水の水管理 .....	6
3.4 補機冷却水の水管理 .....	7
4. 化学及び放射化学試験の分析方法 .....	9
5. 化学及び放射化学試験の実施工程 .....	9
6. 化学試験及び放射化学試験の結果 .....	12
6.1 化学分析結果 .....	12
6.2 放射化学分析結果 .....	13
7. 考察 .....	39
7.1 化学分析 .....	39
7.2 放射化学分析 .....	40
8. まとめ .....	47
謝 辞 .....	48
参考文献 .....	48
付録－I 二次冷却設備水モニタ警報設定値確認試験 .....	49
付録－II 漏洩監視設備警報設定値確認試験 .....	52
付録－III 凈化系性能確認試験 .....	55

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Outline of Reactor Cooling Water System .....	2
3. Objectives of Chemistry and Radiochemistry Tests .....	5
3.1 Water and Gas Control of the Primary Cooling Water .....	5
3.2 Gas Control of the Gas Phase of Volume Control Tank .....	6
3.3 Water Control of the Secondary Cooling water .....	6
3.4 Water Control of the Components Cooling Water .....	7
4. Analytical Method in Chemistry and Radiochemistry Tests .....	9
5. Progress of Chemistry and Radiochemistry Tests .....	9
6. Results of Chemistry and Radiochemistry Tests .....	12
6.1 Results of Chemical Analysis .....	12
6.2 Results of Radiochemical Analysis .....	13
7. Discussions .....	39
7.1 Chemical Analysis .....	39
7.2 Radiochemical Analysis .....	40
8. Conclusions .....	47
Acknowledgments .....	48
References .....	48
Appendix-I Alarm Level Setting Test of the Blow Down Monitor of Secondary Cooling Water System .....	49
Appendix-II Alarm Level Setting Test of the Dust and Gas Monitor of Reactor Cooling Pressure Boundary Leakage detection System .....	52
Appendix-III Removal Ability Test of the Coolant Purification System ....	55

## 1 . まえがき

原子力船「むつ」の出力上昇試験は、1974年8月の出力上昇試験中に起きた「放射線漏洩」以来中断されていたが、その後、遮蔽改修工事、安全性総点検補修工事、原子炉蓋開放点検及び船体点検等を行った後の1990年3月から16年ぶりに再開された。

今回の出力上昇試験は、原子炉施設の性能を確認するため、初回臨界から原子炉出力約20%の基底負荷までの低出力試験(Phase 0～Phase I)を「むつ」を関根浜港の岸壁に係留した状態で行い、原子動力航行を伴う高出力試験(Phase II～Phase V)を北太平洋の洋上において実施した。この出力上昇試験の一環として化学試験及び放射化学試験を実施した。本報告書は、化学及び放射化学試験とその他の水モニタ等の警報設定試験の結果についてまとめたものである。

化学試験及び放射化学試験は、基底負荷運転状態、50%、70%、90%及び100%の各出力運転状態において実施した。化学試験によって一次冷却系統、同付属系統、二次冷却系統及び補機冷却系統の水とガスの分析を行い、原子炉プラントの正常な運転を維持管理するために予め定められている基準値及び制限値を満足していることを明かにした。また、放射化学試験によって燃料被覆管、蒸気発生器伝熱管及び補機冷却系の使用機器のそれぞれの健全性を確認した。

## 2. 原子炉冷却系の概要

原子力第一船である「むつ」(以下本船と云う)には、熱出力36MWの加圧水型原子炉(PWR)が搭載されている。原子炉容器は、厚さ約6mmのステンレス鋼で内張りされた厚さ約93mmの低合金鋼製である。炉心には、厚さ0.4mmの低コバルト含有の304ステンレス鋼を被覆材とした全長約1,120mmの燃料棒112本を使用した燃料集合体32体が装荷されている。制御棒は、厚さ0.3mmの低コバルト含有の304ステンレス鋼を被覆材とした全長約3,000mmで銀・インジウム・カドミウム合金製の棒状十字型であり、フォロワにジルカロイが使用されていて、合計12本が炉心に挿入されている。

原子炉冷却系は、一次冷却系(primary cooling system)、二次冷却系(secondary cooling system)及び補機冷却系(component cooling system)から構成されている。一次冷却系統の概略図をFig. 2.1に示す。一次冷却系は、2系統あり、2台の一次冷却水ポンプで炉心と2基の蒸気発生器(Steam Generator:以下SGと云う)との間を約1,800m<sup>3</sup>/hの流量で一次冷却水を循環し、炉心で発生した熱をSGを介して二次冷却系に熱交換する密閉隔離された系統である。一次冷却水は、約11m<sup>3</sup>の脱気されたイオン交換水であり、原子炉の運転状態での一次冷却系の平均温度は約273°C、圧力は約110kg/cm<sup>2</sup>である。一次冷却系統の補助系統(auxiliary system)は、体積制御系(volume control system)、余熱除去系(residual heat removal system)、非常用崩壊熱除去系(emergency decay heat removal system)及びサンプリング系(sampling system)から構成されている。体積制御系には、一次冷却水の浄化用として2基の混床式イオン交換塔(mixed bed demineralizers)(1基当たりの樹脂量:陽イオン交換樹脂50ℓ、陰イオン交換樹脂117ℓの計167ℓ)が設置されている。この内の1基を常時使用し、1基を予備としている。このイオン交換塔に約2m<sup>3</sup>/h(SV=12)の浄化流量で一次冷却水を通水し、不純物や放射性物質を吸着除去して浄化している。また、一次冷却水の放射線分解を抑制するために、体積制御タンク気相部のカバーガスを原子炉運転前の温態停止時に、窒素ガスから水素ガスに置換している。

二次冷却系統の概略図をFig. 2.2に示す。二次冷却系は、SG(伝熱管本数:406本/基、伝熱面積:147m<sup>2</sup>/基)で発生した蒸気(以下、主蒸気と云う)を主機タービン、主発電機タービン等に供給する系統である。原子炉の定格運転状態での主蒸気の圧力は、約40kg/cm<sup>2</sup>・G、温度は、約250°Cである。この時の2基のSGでの発生蒸気量の和は、約60t/hである。蒸気系配管と蒸気発生器胴体は、炭素鋼製で、伝熱管は厚さ約1.4mmのインコネル600製である。二次冷却水には、イオン交換水(SG缶満水量:約4m<sup>3</sup>/基)が使用され、脱酸素剤のヒドラジンを注入するボラタイル方式(All Volatiled Treatment:以下AVTと云う)で処理し、溶存酸素を除去して、蒸気発生器伝熱管の応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking:以下SCCと云う)の発生を防止すると共に、SG1基当たり約0.34t/hの流量で連続的にSG内の水(以下SG缶水と云う)を連続的に排出(ブローダウン)して、適切な水質に維持管理している。

また、補機冷却系は、一次冷却水ポンプ、余熱除去系熱交換器等を冷却し、補機冷却系熱交換器で海水により冷却される系統である。補機冷却水には、イオン交換水が使用され、防食剤として重クロム酸及びクロム酸を添加している。

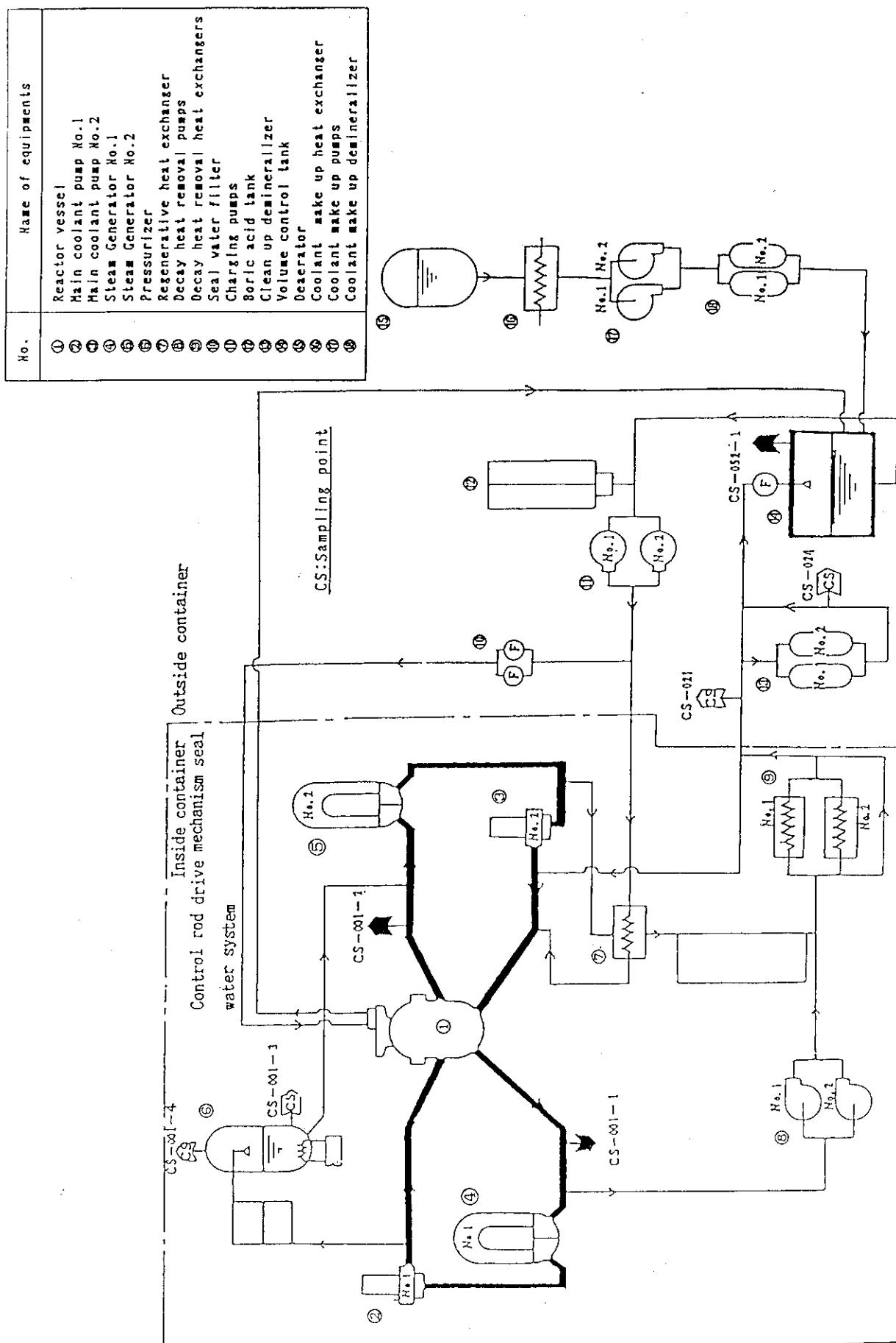


Fig. 2.1 Schematic flow diagram of the primary cooling water system

No.	Name of equipments
①	Steam generator
②	Blow down tank
③	Moisture separator(Main steam)
④	High pressure turbine
⑤	Moisture separator(Main equipment)
⑥	Low pressure turbine
⑦	Main condenser
⑧	Main extract ejector
⑨	Low pressure water supply heater
⑩	Deaerator
⑪	Main supply pump
⑫	High pressure feed water heater
⑬	Aux. boiler
⑭	Main generator
⑮	Aux. condenser
⑯	Aux. condenser pump
⑰	Aux. extract ejector

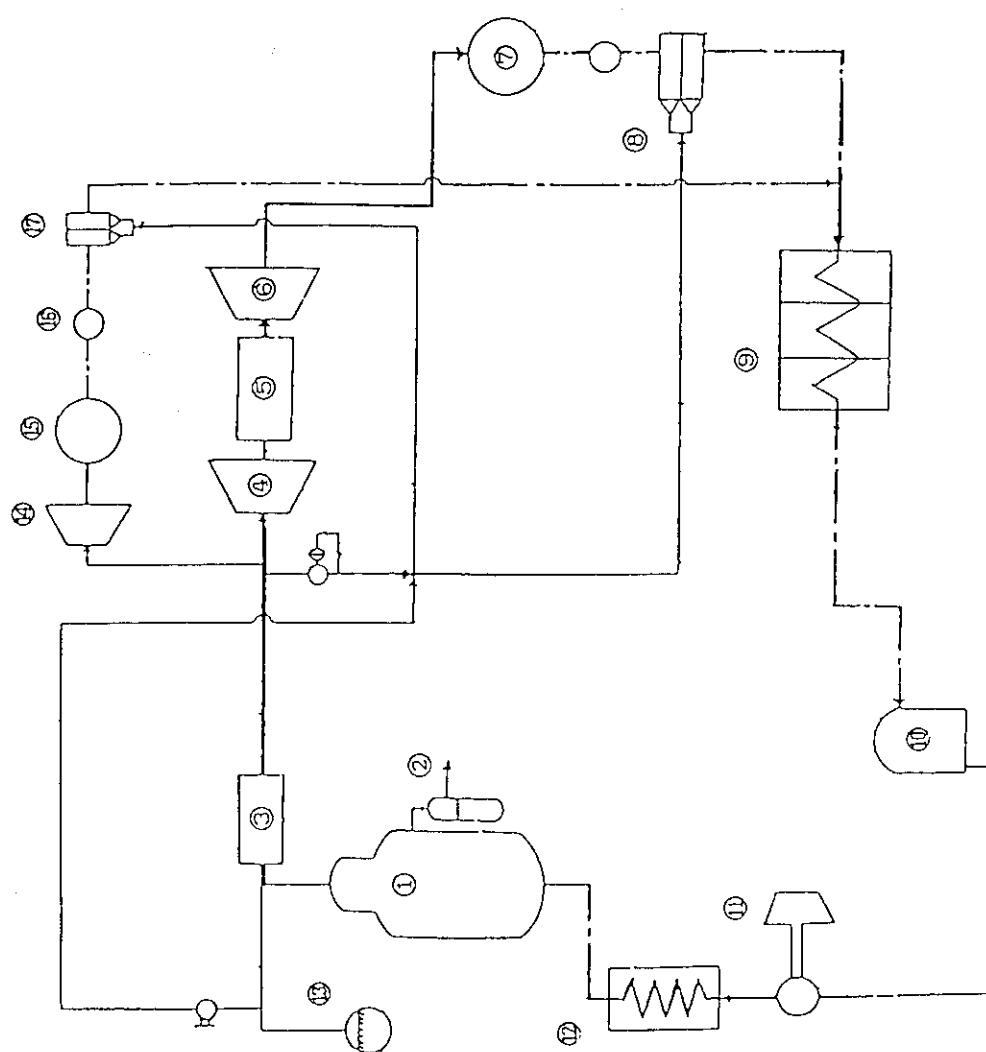


Fig. 2.2 Schematic flow diagram of the Secondary cooling water system

### 3. 化学試験及び放射化学試験の目的

本船の原子炉の冷却系統の水とガスは、原子炉の運転を安全且つ安定に維持するために、基準値や制限値を設定して管理している。化学試験及び放射化学試験時の各冷却系統の基準値と制限値をTable 3.1に示す。ここで、基準値とは、プラントが正常に運転されている場合の達成可能な期待値であり、これを超えるかまたは超えるおそれのある場合には適切な措置を講じ、基準内に維持するよう努めなければならない性格を有している。また、制限値とは、通常運転中、これを超えるかまたは超えるおそれのある場合には、修復の操作を強制するか、使用を禁止するか又はプラントの停止を警告する性質を有している。本船と陸上PWRとの水・ガス管理での主な相違点としては、本船の一次冷却水には、反応度制御材(ケミカルシム)としてのほう酸及びpH制御材としての水酸化リチウムが添加されていないことである。このため、本船の一次冷却水の水質の基準値と制限値は、陸上炉のPWRとは異なるが、水・ガス管理（化学的な管理と放射化学的な管理を含む）の基本的な考え方は同様である。

#### 3.1 一次冷却水の水・ガス管理

一次冷却水の化学的な管理の目的は、系統内で使用されている機器等の構成材の腐食監視と抑制及びプラント機器の運転管理上で必要な情報を得ることにある。一次冷却水の分析項目のうち、pH、導電率、濁度、溶存酸素及び塩素イオン濃度の分析は、一次冷却水に接する原子炉構成材の腐食状況の監視と抑制のために必要である。ステンレス鋼材にSCCを発生させる要因は、塩素イオン、溶存酸素、pH及び温度である。特に、塩素イオン濃度と溶存酸素濃度が重要な要因である。温度200°Cでのこれらの境界濃度は、塩素イオンで5ppm、溶存酸素で1ppmである<sup>1)</sup>。このため、塩素イオン濃度と溶存酸素濃度の基準値は、それぞれ0.05ppm以下、0.01ppm以下として管理し、ステンレス鋼材のSCCの発生を防止している。溶存水素濃度は、一次冷却水の放射線分解で発生する溶存酸素を除去するために予め定められている。

一次冷却水の放射化学的な管理の目的は、燃料被覆管の健全性の確認と運転員の放射線被曝の原因となる放射性の腐食生成物(Corrosion Products:CP)濃度の監視である。燃料被覆管に異常が発生すると、一次冷却水中に核分裂生成物(Fission Products:FP)が漏洩してこれらの濃度が上昇する。FP核種の中で核分裂収率が高く、比較的半減期の長い放射性ヨウ素(<sup>131</sup>I T<sub>1/2</sub>=8.04d, <sup>133</sup>I T<sub>1/2</sub>=20.8h)と放射性希ガス(<sup>133</sup>Xe T<sub>1/2</sub>=5.29d)に着目し、これらの水中濃度を監視して燃料被覆管の健全性を確認している。燃料棒全数(3,584本)の0.1%(約4本)の燃料棒が破損した場合に想定される<sup>131</sup>I濃度の1.1kBq/cm<sup>3</sup>を制限値とし、この1/10の0.11kBq/cm<sup>3</sup>を基準値として管理を行い、燃料破損の有無を検出すると共に、破損の程度を推定する。また、一次冷却却水に接する原子炉構成材の腐食の進行に伴って放射性腐食生成物の濃度が上昇する。なお、基準値等は設定していないが、一次冷却水中の放射

能濃度の全体的な挙動を把握するために全 $\beta$ 放射能濃度を測定している。

### 3.2 体積制御タンク気相部のガス管理

体積制御系は、温度変動による一次冷却水の体積変化を制御する系統である。冷態停止状態での体積制御タンク気相部には、一次冷却系内の防食を目的として窒素ガスが充填されている。原子炉運転前の温態停止状態(hot shut down)の時に、体積制御タンク気相部の窒素ガスは、水素ガス濃度で95Vol%以上になるまで置換すると同時に、一次冷却水中に15cc/kg-H<sub>2</sub>O以上の水素ガスを溶解させ、一次冷却水の放射線分解を抑制し、溶存酸素を除去して原子炉構成材のSCCの発生を防止している。気相部の水素濃度と酸素濃度の分析は、空気の混入による水素ガスとの爆発性混合気体の形成防止と一次冷却水中の溶存酸素濃度の上昇を抑制するために行っている。また、ガス置換時の放射性ガスの放出量を知るために放射性ガス濃度を測定している。

### 3.3 二次冷却水の水管理

二次冷却水の化学的な管理の第一の目的は、SG伝熱管の腐食を防止することにある。「むつ」の二次冷却水の処理は、陸上のPWRと同様に当初リン酸塩方式で行っていたが、この方式では、クレビス部(細い隙間)にリン酸塩が濃縮して減肉腐食が発生しやすいことが陸上PWRの運転経験から判明した。このために脱酸素剤のヒドラジン注入によるAVT方式に変更し、これに伴って、水質管理方法も変更した。AVT処理方式への変更後では、SG缶水を連続的にブローダウンと共に、ナトリウムと塩素のモル比を0.7以下で管理して遊離アルカリ(NaOH)の形成を抑制し、粒界応力腐食割れ(Intergranular Attack SCC:IGA SCC)の発生を防止している。また、塩化物の混入によるデンティング(局部的なへこみ腐食)の防止対策として、復水ポンプ出口で導電率と酸導電率(陽イオン交換樹脂を通過させた後の導電率)を連続的に測定して海水混入の監視を行っている。原子炉を長期停止する場合には、蒸気発生器缶水にヒドラジンを高濃度(1ヶ月停止で500±100ppm)で注入して防食対策を講じることとしている。

なお、原子炉運転前の昇温時に、溶存酸素量に応じたヒドラジンを二次冷却系に注入して溶存酸素を除去している。すなわち、二次冷却系の温度上昇に伴って、ヒドラジンが熱分解されてアンモニア( $3\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NH}_4\text{OH} + \text{N}_2$ )が形成される。微量なヒドラジンの分解によって形成されるアンモニアにより二次冷却水のpHを9±0.2の範囲に維持し、炭素鋼配管内面に形成されるマグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )の溶解を抑制して腐食の進行を防止している。

二次冷却水の放射化学的な管理は、蒸気発生器伝熱管の健全性を確認することが目的で、蒸気発生器伝熱管からの一次冷却水の漏洩を監視するために放射性よう素濃度と全 $\beta$ 放射能濃度を測定している。

なお、二次冷却水の水質を良好に維持するために、通常は船外にブローダウンを

しているが、ブローダウン水の放射能濃度をブローダウンモニタ(CS-14)で連続的に監視し、異常が認められた場合には、運動弁を切り替えて船外への放出を停止すると共に、必要な措置を講ずる。

### 3.4 補機冷却水の水管理

補機冷却水の放射化学的な管理は、一次冷却系から補機冷却系への漏洩監視のために全 $\beta$ 放射能濃度を測定している。

Table 3.1 Specifications of chemistry and radiochemistry tests

Chemistry				
Samples	Items	Units	Standard values	Limit values
Primary cooling water	Conductivity	$\mu\text{S}/\text{cm}$	<1	<1
	pH	---	6~8	6~8
	Chloride	ppm	<0.05	Max.0.15
	Dissolved Oxygen	ppm	<0.01	Max.0.1
	Dissolved Hydrogen	cc/kg	25~35	Max.50
	Turbidity	ppm	<1	---
Secondary cooling water	Conductivity	$\mu\text{S}/\text{cm}$	<6	---
	pH	---	9±0.2	8.5~9.5
	Chloride	ppm	<0.1	Max.2
Volume control tank(gas phase)	Oxygen content	Vol%	<2	Max.4
Radiochemistry				
Primary cooling water	Radioiodine( $^{131}\text{I}$ )	Bq/cm <sup>3</sup>	0.11K	1.1K
	Fp gas( $^{133}\text{Xe}$ )	Bq/cm <sup>3</sup>	---	---
	Gross $\beta$ activity	Bq/cm <sup>3</sup>	---	---
Secondary cooling water	Radioiodine( $^{131}\text{I}$ )	Bq/cm <sup>3</sup>	---	---
	Gross $\beta$ activity	Bq/cm <sup>3</sup>	---	---
Component cooling water	Gross $\beta$ activity	Bq/cm <sup>3</sup>	---	---

#### 4. 化学及び放射化学試験の分析方法

化学試験及び放射化学試験に際しての分析は、水ガス管理要領<sup>2)</sup>に従って実施した。これらの分析項目と分析方法の概略をTable 4.1に示す。燃料被覆管の健全性を確認するための一次冷却水中の放射性よう素(<sup>131</sup>I、<sup>133</sup>I及び<sup>135</sup>I)濃度は、試験当日に放射性よう素を吸着した陰イオン交換膜を測定するとともに、更に放射能濃度の高い<sup>18</sup>Fを減衰させ、<sup>131</sup>I濃度の検出限界濃度を向上させるために、約1日間冷却した後に再測定して求めた。

#### 5. 化学及び放射化学試験の実施工程

これまでの化学試験及び放射化学試験の実施工程をTable 5.1に示す。出力上昇試験は、零出力より開始し、安全及び性能を確認しつつ段階的に出力を上昇させて実施した。化学試験及び放射化学試験は、出力上昇中及び各出力に到達後に通算15回実施した。

#### 4. 化学及び放射化学試験の分析方法

化学試験及び放射化学試験に際しての分析は、水ガス管理要領<sup>2)</sup>に従って実施した。これらの分析項目と分析方法の概略をTable 4.1に示す。燃料被覆管の健全性を確認するための一次冷却水中の放射性よう素(<sup>131</sup>I、<sup>133</sup>I及び<sup>135</sup>I)濃度は、試験当日に放射性よう素を吸着した陰イオン交換膜を測定するとともに、更に放射能濃度の高い<sup>18</sup>Fを減衰させ、<sup>131</sup>I濃度の検出限界濃度を向上させるために、約1日間冷却した後に再測定して求めた。

#### 5. 化学及び放射化学試験の実施工程

これまでの化学試験及び放射化学試験の実施工程をTable 5.1に示す。出力上昇試験は、零出力より開始し、安全及び性能を確認しつつ段階的に出力を上昇させて実施した。化学試験及び放射化学試験は、出力上昇中及び各出力に到達後に通算15回実施した。

Table 4.1 Analytical methods of chemistry and radiochemistry tests

Items	Analytical methods
Conductivity	Conductivity meter
pH	Digital pH meter
Chloride	Liquid ion chromatography
Dissolved Oxygen	Indigo carmine colorimetry
Dissolved Hydrogen	Gas chromatography
Turbidity	Turbidity meter
Oxygen Content	Gas chromatography
Radioiodine	Gamma-ray spectrometry
Gaseous Radionuclide	Gamma-ray spectrometry
Gross $\beta$ activity	GM counter

Table 5.1 Progress schedule of chemistry and radiochemistry tests

Phase No.	Test No.	Date	Reactor power(%)
0	Z-2	27/03/90	Before criticality
	Z-5	29/03/90	Initial criticality
	Z-9	02/04/90	Hot zero power
I	Z-13	10/04/90	1
	Z-16	11/04/90	1.5
	Z-18	11/04/90	6
	Z-22	17/04/90	14
	B-5-1	24/04/90	17
II	Z-28	13/07/90	40
	B-5-2(1)	18/07/90	50
	Z-32	23/07/90	60
III	B-5-2(2)	28/09/90	70
	Z-38	02/10/90	80
IV	B-5-3(1)	05/10/90	90
V	B-5-3(2)	13/12/90	100

## 6. 化学試験及び放射化学試験の結果

一次冷却水、二次冷却水及び補機冷却水の化学分析と放射化学分析の結果をTable 6.1(1)~6.1(10)に示す。

### 6.1 化学分析結果

一次冷却水の水質分析結果をFig. 6.1に、体積制御タンク気相部の水素ガス濃度の変化をFig. 6.2に二次冷却水の水質分析結果をFig. 6.3に示す。

#### 6.1.1 一次冷却水

##### (1) pH

一次冷却水のpHは、6.8~7.6の値で基準値(6~8)以内であった。

##### (2)導電率

導電率は、基準値(<1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ )以下の0.16~0.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。

##### (3)溶存水素

溶存水素濃度は、一次冷却水中に溶存している窒素ガスが水素ガスと置換するのに長時間要するため、初回臨界(phase 0)から基底負荷(phase I)までの出力上昇試験開始当初では、約7.6~31cc-STP/kg-H<sub>2</sub>Oの範囲で変動した。原子炉出力約50%(phase II)に到達した後は、基準値(25~35STP-cc/kg-H<sub>2</sub>O)以内となつた。

##### (4)溶存酸素

溶存酸素は、検出限界値(0.005ppm)以下であった。

##### (5)塩素イオン

塩素イオンは、検出限界値(0.01ppm)以下であった。

##### (6)濁度

濁度は、検出限界値(0.1ppm)以下であった。

#### 6.1.2 体積制御タンク気相部

##### (1) 水素濃度

出力上昇試験開始当初では、体積制御タンク内での一次冷却水中の窒素ガスの脱気効果と体積制御タンク気相部のガス置換の回数の増加によって体積制御タンク気相部の水素ガス濃度は、78%から99.8%まで徐々に上昇し、これに伴って、一次冷却水の溶存水素濃度も徐々に上昇した。原子炉出力約50%(phase II)に到達した後は、97%以上に安定した。

##### (2) 酸素濃度

酸素濃度は、全試験期間を通じて検出限界値(0.1%)以下で、基準値(2%)を十分下回っていた。

### 6.1.3 二次冷却水

#### (1) pH

pHは、原子炉の初回臨界(phase 0)から基底負荷(phase I)までは、蒸気系配管内の汚れのために8.3~9.5で基準値の範囲(9±0.2)を若干超えた。しかし、出力約50%(phase II)からは、蒸気発生量が増加し、蒸気系配管内が洗浄されたことと、SG缶水の連続的なブローダウンで二次冷却水が入れ替わったことによって8.6~9.1となり、基準値に近い値となった。

#### (2) 導電率

導電率は、原子炉の初回臨界(phase 0)から基底負荷(phase I)までは、3.2~9.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ で基準値(<6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )を超えた。しかし、出力約50%(phase II)からは、蒸気発生量が増加し、蒸気系配管内が洗浄されたことと、SG缶水の連続的なブローダウンで二次冷却水が入れ替わったことによって、3.3~5.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲の基準値以下となった。

#### (3) 塩素イオン

塩素イオンは、検出限界値(0.01ppm)以上の値が時々検出されて0.01~0.22 ppmで基準値(<0.1ppm)の2倍程度となったときがあったが、制限値(2ppm)以下であった。

## 6.2 放射化学分析結果

### 6.2.1 一次冷却水及び体積制御タンク内ガス中の放射性核種の同定

#### (1) 0.45 $\mu\text{m}$ ミリポアフィルタの $\gamma$ 線スペクトル

0.45  $\mu\text{m}$  ミリポアフィルタの $\gamma$ 線スペクトルをFig. 6.4に示す。 $\gamma$ 線スペクトルからは、ステンレス鋼材の放射化生成物である $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{56}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{99m}\text{Tc}$ 、及び $^{187}\text{W}$ 等が検出された。

#### (2) 陽イオン交換膜の $\gamma$ 線スペクトル

陽イオン交換膜の $\gamma$ 線スペクトルをFig. 6.5に示す。 $\gamma$ 線スペクトルからは、冷却材の不純物とステンレス鋼材の放射化生成物である $^{24}\text{Na}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{56}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、及び $^{60}\text{Co}$ 等が検出された。

#### (3) 陰イオン交換膜の $\gamma$ 線スペクトル

試料水採取日に測定した陰イオン交換膜の $\gamma$ 線スペクトルの測定結果をFig. 6.6に示す。 $\gamma$ 線スペクトルからは、冷却材の放射化生成物である $^{18}\text{F}$ 、ステンレス鋼材の不純物の放射化生成物である $^{99}\text{Mo}$ の娘核種の $^{99m}\text{Tc}$ 及び核分裂生成物の $^{135}\text{I}$ 等が検出された。約1日間冷却した後の陰イオン交換膜の $\gamma$ 線スペクトルの測定結果をFig. 6.7に示す。 $^{18}\text{F}$ が減衰した後の $\gamma$ 線スペクトルからは、検出限界濃度の向上によって核分裂生成物の $^{133}\text{I}$ が検出され、 $^{131}\text{I}$ も低濃度で検出された。

#### (4) 一次冷却水中の放射性ガスの $\gamma$ 線スペクトル

一次冷却水から脱ガスしたガスの $\gamma$ 線スペクトルをFig. 6.8に示す。一次冷

却水に含まれる放射性ガスとして、一次冷却水中に溶解した空気中に不純物として約1%含まれる<sup>40</sup>Arの放射化で生成された<sup>41</sup>Arが検出されたが、核分裂生成ガスである<sup>87</sup>Kr、<sup>133</sup>Xe及び<sup>135</sup>Xe等は検出されなかった。

#### (5) 体積制御タンク内ガスのγ線スペクトル

体積制御タンク気相部から採取したガスのγ線スペクトルをFig. 6.9に示す。一次冷却水に含まれる放射性ガスが体積制御タンク内で脱ガスされて蓄積された放射性ガスは、<sup>41</sup>Arと核分裂生成ガスの<sup>135</sup>Xeが検出されたが、<sup>133</sup>Xeは検出されなかった。

一次冷却水をイオン交換膜で処理して検出された放射性核種をTable 6.2に示す。

#### 6.2.2 一次冷却水中の放射性核種濃度変化

初回臨界から原子炉出力約100%までの一次冷却水中の放射性核種濃度変化をFig. 6.10とFig. 6.11に示す。種々の試験を行ったために炉出力は、一定でなく、これに伴って比較的半減期の短い放射性核種濃度が変動した。

初回臨界から原子炉出力約6%到達時までの間において、一次冷却水で検出された放射性核種のうちで、最も濃度の高い放射性核種は、<sup>18</sup>Fであった。これは、<sup>18</sup>O(p,n)<sup>18</sup>Fの反応で生成されたものである。なお、Phase IIIでの<sup>56</sup>Mn濃度は、高い値を示しているが、これは、別の試験のために浄化系をバイパスした状態で長時間サンプリングラインを循環した後にサンプリングしたためと考えられる。また、<sup>54</sup>Mn、<sup>68</sup>Co、<sup>187</sup>W等の比較的半減期の長い放射性核種と長半減期の<sup>60</sup>Coの濃度は、原子炉の長期的な運転に伴って徐々に上昇する傾向を示している。

#### 6.2.3 一次冷却水中の放射性よう素濃度変化

一次冷却水中の放射性よう素濃度の変化をFig. 6.12に示す。放射性よう素は、原子炉出力約50%のPhase II以降から定量的に検出され始めた。半減期の短い<sup>135</sup>I濃度は、試料水採取日に測定した陰イオン交換膜のγ線スペクトルから求めた。また、比較的半減期の長い<sup>131</sup>Iと<sup>133</sup>Iとの濃度は、陰イオンとして放射性よう素と同時に陰イオン交換膜に吸着される<sup>18</sup>Fを減衰させるために、約1日間冷却した後に再測定して求めた。<sup>131</sup>Iは、検出限界濃度( $7.4 \times 10^{-3} \sim 2.2 \times 10^{-2}$ Bq/cm<sup>3</sup>)と同程度の濃度であった。これらの放射性よう素濃度には、上昇傾向は認められなかった。

#### 6.2.4 体積制御タンク気相部の放射性ガス濃度の変化

体積制御タンク気相部の放射性ガス濃度の変化をFig. 6.13に示す。<sup>41</sup>Ar濃度は、原子炉運転初期で最高 $2.3 \times 10^2$ Bq/cm<sup>3</sup>まで上昇したが、水素ガス濃度の上昇と共に $1.1$ Bq/cm<sup>3</sup>まで低下した。<sup>135</sup>Xe濃度は、 $2.7 \times 10^{-1}$ Bq/cm<sup>3</sup>から $9.9 \times 10^{-1}$ Bq/cm<sup>3</sup>の範囲で変化し、上昇傾向は認められなかった。

Table 6.1(1) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests

Phase No. 0  
27. Mar. 1990 ~ 2. April. 1990

(1)									
Date Measured	Items	27/03/90	Before criticality	Initial Criticality	Criticality	Criticality	Criticality	Criticality	02/04/90
Reactor Power	%	Z=2	Z=5						
Test No.									Z=9
Temperature	°C	---	---	---	37.1	37.1	17.4	---	---
Pressure	kPa/cm <sup>2</sup>	---	---	---	1.2	1.2	3.3	---	---
P.U. Flow(cm <sup>3</sup> /h)	---	---	---	1.15	---	2.25	2.5	---	---
pH	6.8	7.3	7.4	6.8	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Cond. (μS/cm)	0.37	0.25	0.23	0.32	0.45	0.45	0.49		
D.O (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	
D.H (cc/kg)	7.6	---	1.6.5	2.2.8	1.7.5	1.7.5	1.7.2		
Chloride (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	
Turbidity (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<3.6×10 <sup>-3</sup>	<3.8×10 <sup>-3</sup>	<3.5×10 <sup>-3</sup>	<4.0×10 <sup>-3</sup>	<3.8×10 <sup>-3</sup>	<3.1×10 <sup>-3</sup>			
Water									
I-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<4.9×10 <sup>-3</sup>	<4.9×10 <sup>-3</sup>	<3.5×10 <sup>-3</sup>	<4.3×10 <sup>-3</sup>	<3.5×10 <sup>-3</sup>	<4.3×10 <sup>-3</sup>			
Xe-133(Bq/cm <sup>3</sup> )	<2.0×10 <sup>-1</sup>	<2.1×10 <sup>-1</sup>	<2.0×10 <sup>-1</sup>	<2.0×10 <sup>-1</sup>	<2.1×10 <sup>-1</sup>	<1.9×10 <sup>-1</sup>			
F-18 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	
Wn-56 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	1.9×10 <sup>-2</sup>	N. D	N. D	2.8×10 <sup>-1</sup>	N. D	N. D	N. D	
Na-24 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	
Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	
Tc-99m(Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	
Gross β (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<5.1×10 <sup>-2</sup>	<3.8×10 <sup>-2</sup>	<4.0×10 <sup>-2</sup>	<3.8×10 <sup>-1</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>			
pH	---	---	---	---	---	---	---	---	9.3
Cond. (μS/cm)	---	---	---	---	---	---	---	---	8.6
Chloride (ppm)	---	---	---	---	---	---	---	---	N. D
Gross β (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5.0×10 <sup>-2</sup>	---	---	---	---	---	---	---	<5.0×10 <sup>-2</sup>
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<4.8×10 <sup>-3</sup>	---	---	---	---	---	---	---	<4.0×10 <sup>-3</sup>
Volume									
control	O <sub>2</sub> Concn. (%)	N. D	---	---	N. D[H <sub>2</sub> :78]	N. D[H <sub>2</sub> :78]	---	---	N. D[H <sub>2</sub> :82]
tank	Xe-133(Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---	---	---
(gas phase)	Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---	---	---
Component	Gross β activity (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<5.1×10 <sup>-2</sup>	<3.8×10 <sup>-2</sup>	<4.0×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>
cooling water									

< : Detectable Limits. N.D: Not Detectable.

Phase No. 0  
6. April. 1990~11. April. 1990  
(2)

Table 6.1(2) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Date Measured	Items	06/04/90	07/04/90	08/04/90	09/04/90	10/04/90	11/04/90	11/04/90
Reactor Power	%	Criticality	Criticality	Hot shut down	Hot shut down	1	1.	5
Test No.						Z - 1.3	Z - 1.6	Z - 1.8
Temperature	°C	2.7 6	2.7 6	---	---	---	---	---
Pressure	kg/cm <sup>2</sup>	1.1 0	1.1 0	---	---	---	---	---
P.U. Flow (m <sup>3</sup> /h)	2	2	---	---	---	---	---	---
pH	7. 5	7. 1	6.	8. 2	7. 3 0	6. 9 0	7. 5 0	---
Cond. (μS/cm)	0. 5 5	0. 4 1	0.	4. 5	0. 3 0	0. 5 5	0. 2 5	---
D.O (ppm)	N.-D	N. D	---					
D.H (cc/kg)	2.2. 0	2.2. 0	2.0.	2	1.9. 3	2.3.	6	2.1. 1
Chloride (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	---
Turbidity (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	---
Primary cooling water	I-131(Bq/cm <sup>3</sup> )	<3. 7×10 <sup>-3</sup>	<3. 1×10 <sup>-3</sup>	<3. 6×10 <sup>-3</sup>	<1. 6×10 <sup>-2</sup>	<1. 4×10 <sup>-2</sup>	<3. 0×10 <sup>-2</sup>	<3. 0×10 <sup>-2</sup>
	I-133(Bq/cm <sup>3</sup> )	<4. 7×10 <sup>-3</sup>	<4. 0×10 <sup>-3</sup>	<4. 1×10 <sup>-3</sup>	<9. 2×10 <sup>-3</sup>	<7. 0×10 <sup>-3</sup>	<1. 2×10 <sup>-2</sup>	<1. 2×10 <sup>-2</sup>
	Xe-133(Bq/cm <sup>3</sup> )	<2. 0×10 <sup>-1</sup>	<2. 3×10 <sup>-1</sup>	---	<1. 8×10 <sup>-1</sup>	<2. 0×10 <sup>-1</sup>	<2. 7×10 <sup>-1</sup>	<2. 7×10 <sup>-1</sup>
	F-18 (Bq/cm <sup>3</sup> )	1.8×10 <sup>-2</sup>	N. D	N. D	---	2. 8	2. 9	1.3×10 <sup>1</sup>
	Kn-56 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	---	1. 6×10 <sup>-1</sup>	3. 5×10 <sup>-1</sup>	1. 4
	Na-24 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	---	N. D	N. D	7. 8×10 <sup>-2</sup>
	Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	---	N. D	N. D	2. 0
	Tc-99m (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	N. D	---	N. D	N. D	N. D
	Gross β (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5. 0×10 <sup>-2</sup>	<5. 1×10 <sup>-2</sup>	<4. 9×10 <sup>-2</sup>	<4. 8×10 <sup>-2</sup>	2. 8	3. 1	15
	pH	8. 4	---	9. 4	---	---	---	---
	Cond. (μS/cm)	8. 5	---	7. 8	---	---	---	---
	Chloride (ppm)	N. D	---	N. D	---	---	---	---
	Gross β (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5. 0×10 <sup>-2</sup>	---	<4. 9×10 <sup>-2</sup>	---	---	---	<4. 9×10 <sup>-2</sup>
	I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---	---
Volume	O <sub>2</sub> Concn. (V%)	N.D[Hz:83]	N.D[Hz:89]	---	N.D[Hz:90.0]	N.D[Hz:96.5]	N.D[Hz:96.8]	---
control tank (gas phase)	Xe-133(Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	<2. 1×10 <sup>-1</sup>	<2. 6×10 <sup>-1</sup>	<3. 1×10 <sup>-1</sup>	<3. 1×10 <sup>-1</sup>
	Xe-135(Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---	---
	Ar-41(Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---	---
Component cooling water	Gross β activity (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5. 0×10 <sup>-2</sup>	<5. 1×10 <sup>-2</sup>	---	---	---	---	<4. 9×10 <sup>-2</sup>

< : Detectable Limits. N.D: Not Detectable.

Table 6.1(3) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Phase No. 1  
12. April. 1990 ~ 17. April. 1990

(3)							
Date Measured	Items	12/04/90	13/04/90	14/04/90	16/04/90	17/04/90	17/04/90
Reactor Power	%	6	1.0	Hot shut down	1.0	1.4	1.8
Test No.					Z-2	Z-2	
Temperature	°C	27.3	27.3	--	27.4	27.3	--
Pressure	Kg/cm <sup>2</sup>	1.10	1.10	--	1.10	1.10	--
P.U. Flow (m <sup>3</sup> /h)		2	2	--	2	2	--
pH		6.90	7.20	7.20	7.20	7.10	--
Cond. ( $\mu$ S/cm)	0.52	0.26	0.38	0.46	0.21	--	--
D.O. (ppm)	N. D	N. D	--	N. D	N. D	--	--
D.H. (cc/Kg)	2.9	0	3.1	0	2.2	0	--
Chloride (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	--	--
Turbidity (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	--	--
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<3.9×10 <sup>-2</sup>	<5.2×10 <sup>-2</sup>	--	<5.5×10 <sup>-2</sup>	<5.4×10 <sup>-2</sup>	<7.0×10 <sup>-2</sup>	--
Cooling water	I-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<1.5×10 <sup>-2</sup>	<2.1×10 <sup>-2</sup>	--	<2.2×10 <sup>-2</sup>	<2.1×10 <sup>-2</sup>	<3.0×10 <sup>-2</sup>
Xe-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<2.8×10 <sup>-1</sup>	<2.9×10 <sup>-1</sup>	--	<3.0×10 <sup>-1</sup>	<3.3×10 <sup>-1</sup>	<4.5×10 <sup>-1</sup>	--
F-18 (Bq/cm <sup>3</sup> )	3.4×10 <sup>1</sup>	4.6×10 <sup>1</sup>	--	4.2×10 <sup>1</sup>	4.5×10 <sup>1</sup>	5.5×10 <sup>1</sup>	--
Mn-56 (Bq/cm <sup>3</sup> )	2.7	2.8	--	1.4×10 <sup>1</sup>	4.9	1.4×10 <sup>1</sup>	--
Na-24 (Bq/cm <sup>3</sup> )	1.7×10 <sup>-1</sup>	2.2×10 <sup>-1</sup>	--	2.1×10 <sup>-1</sup>	1.8×10 <sup>-1</sup>	5.0×10 <sup>-1</sup>	--
Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	3.9	9.0	--	1.2×10 <sup>1</sup>	1.7×10 <sup>1</sup>	4.5×10 <sup>1</sup>	--
Tc-99 (Bq/cm <sup>3</sup> )	N. D	N. D	--	N. D	N. D	N. D	--
Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )	5.5×10 <sup>1</sup>	8.5×10 <sup>1</sup>	1.2×10 <sup>1</sup>	7.6×10 <sup>1</sup>	1.7×10 <sup>2</sup>	2.9×10 <sup>2</sup>	--
Secondary cooling water	pH	--	8	8	9	1.0	--
Cond. ( $\mu$ S/cm)	--	3.5	4.3	5.90	--	--	--
Chloride(ppm)	N. D	0.03	N. D	N. D	N. D	0.02	--
Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )	--	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<5.1×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	--	--	--
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	--	--	--	--	--	--	--
Volume control tank (gas phase)	O <sub>2</sub> Concn. (%)	--	N. D[H <sub>2</sub> :96.5]	--	N. D[H <sub>2</sub> :93.9]	--	--
Xe-133(Bq/cm <sup>3</sup> )	--	<3.3×10 <sup>-1</sup>	--	--	--	--	--
Xe-135(Bq/cm <sup>3</sup> )	--	N. D	--	--	--	--	--
Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	--	6.6	--	--	9.9	--	--
Component cooling water	Gross $\beta$ activity (Bq/cm <sup>3</sup> )	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>

< : Detectable Limits. N.D: Not Detectable.

Table 6.1(4) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Phase No.1  
19. April. 1990 ~ 26. April. 1990

(4)

Date Measured	Items	19/04/90	20/04/90	21/04/90	23/04/90	24/04/90	25/04/90	26/04/90
Reactor Power	%	1.8	1.8	1.8	Hot zero power	1.7	1.7	Hot zero power
Test No.	o C	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
Temperature	kg/cm <sup>2</sup>	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Pressure	PU. Flow (m <sup>3</sup> /h)	2	2	2.1	2	2	2	2
	pH	7.50	7.30	6.90	7.50	7.50	7.00	7.30
	Cond. ( $\mu$ S/cm)	0.20	0.20	0.52	0.24	0.21	0.27	0.22
	D.O (ppm)	N. D	N. D	---				
	O.H (cc/kg)	2.6. 0	2.1. 0	2.6. 5	2.1. 0	2.0. 0	2.1. 0	---
	Chloride (ppm)	N. D	N. D	N. D				
	Turbidity (ppm)	N. D	N. D	N. D				
Primary cooling water	I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<7.4×10 <sup>-2</sup>	<6.0×10 <sup>-2</sup>	<7.4×10 <sup>-2</sup>	---	<4.5×10 <sup>-2</sup>	<4.3×10 <sup>-2</sup>	---
	I-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<3.0×10 <sup>-2</sup>	<2.5×10 <sup>-2</sup>	<3.3×10 <sup>-2</sup>	---	<1.7×10 <sup>-2</sup>	<1.7×10 <sup>-2</sup>	---
Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Xe-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<6.1×10 <sup>-1</sup>	<6.5×10 <sup>-1</sup>	<6.9×10 <sup>-1</sup>	---	<6.1×10 <sup>-1</sup>	<6.7×10 <sup>-1</sup>	---
	F-18 (Bq/cm <sup>3</sup> )	5.1×10 <sup>1</sup>	9.3×10 <sup>1</sup>	1.7×10 <sup>2</sup>	---	4.1×10 <sup>1</sup>	6.1×10 <sup>1</sup>	---
Mn-54 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Mn-56 (Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	---	(4.1×10 <sup>-2</sup> )	(4.6×10 <sup>-2</sup> )	---
	Na-24 (Bq/cm <sup>3</sup> )	4.9	1.6×10 <sup>1</sup>	3.3×10 <sup>1</sup>	---	3.8	4.0	---
Co-60 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	3.1×10 <sup>-1</sup>	8.3×10 <sup>-1</sup>	7.3×10 <sup>-1</sup>	---	1.8×10 <sup>-1</sup>	3.3×10 <sup>-1</sup>	---
	Co-58 (Bq/cm <sup>3</sup> )	9.4×10 <sup>1</sup>	8.7×10 <sup>1</sup>	1.4×10 <sup>2</sup>	---	8.4×10 <sup>1</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	---
Secondary cooling water	Co-60 (Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	---	(2.0×10 <sup>-1</sup> )	N. D	---
	Tc-99m (Bq/cm <sup>3</sup> )	4.5×10 <sup>-1</sup>	8.2×10 <sup>-1</sup>	1.6	---	2.7	1.6	---
(gas phase)	Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )	1.4×10 <sup>2</sup>	2.0×10 <sup>2</sup>	1.70×10 <sup>2</sup>	4.7×10 <sup>-1</sup>	6.2×10 <sup>1</sup>	3.9×10 <sup>1</sup>	3.8×10 <sup>-1</sup>
	D.H.	8. 3	8. 9	8. 9	9. 0	9. 0	9. 0	9. 0
Component cooling water	Cond. ( $\mu$ S/cm)	3. 2	3. 5	3. 4	4. 5	4. 6	6. 4	5. 5
	Chloride (ppm)	N. D	N. D	N. D	N. D	0. 02	N. D	N. D
O <sub>2</sub> concn. (%)	Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<4.6×10 <sup>-2</sup>	---
	control tank	N.D[He:88.2]	N.D[He:86.3]	N.D[He:85.4]	N.D[He:85.0]	N.D[He:81.0]	N.D[He:78.1]	---
(gas phase)	Xe-33 (Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	<5.9×10 <sup>-1</sup>	---	<1.0	<7.9×10 <sup>-1</sup>	---
	Xe-135 (Bq/cm <sup>3</sup> )	---	---	N. D	---	N. D	N. D	---
Component cooling water	Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	7.3×10 <sup>1</sup>	---	---	---	2.3×10 <sup>2</sup>	1.6×10 <sup>2</sup>	---
	Gross $\beta$ activity (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	---	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<4.6×10 <sup>-2</sup>	---

( ):One day after. &lt; :Detectable Limits. N.D:Not Detectable.

Table 6.1(5) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Phase No. II 1990~19. July 1990

Date Measured	Items	13/07/90	14/07/90	15/07/90	16/07/90	17/07/90	18/07/90	19/07/90
Reactor Power	%	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Test No.		2-28						B-50
Temperature	°C	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	B-2(1)
Pressure	Pa. Flax (m <sup>3</sup> /h)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	27.3
	pH	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.1.0
	Cond. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0.38	0.34	0.28	0.27	0.27	0.28	2.0
	D.O. (ppm)	--	--	--	--	--	--	7.1
	D.H. (cc/kg)	2.9	--	--	--	--	--	0.26
	Chloride (ppm)	--	N.D.	--	--	N.D.	--	--
	Turbidity (ppm)	--	N.D.	--	--	N.D.	--	--
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$\leq 1.2 \times 10^{-1}$	$\leq 1.1 \times 10^{-1}$	$\leq 1.5 \times 10^{-1}$	$\leq 1.1 \times 10^{-1}$	$\leq 1.3 \times 10^{-1}$	$\leq 1.3 \times 10^{-1}$	$\leq 9.4 \times 10^{-2}$	
	( $\leq 1.2 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 8.6 \times 10^{-3}$ )	( $\leq 9.5 \times 10^{-3}$ )	( $\leq 1.1 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 1.4 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 1.5 \times 10^{-3}$ )	( $\leq 7.4 \times 10^{-3}$ )	
I-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$\leq 5.9 \times 10^{-2}$	$\leq 5.6 \times 10^{-2}$	$\leq 9.5 \times 10^{-2}$	$\leq 6.2 \times 10^{-2}$	$\leq 7.4 \times 10^{-2}$	$\leq 7.1 \times 10^{-2}$	$\leq 4.4 \times 10^{-2}$	
	( $\leq 2.3 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 4.7 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 7.1 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 5.3 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 2.8 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 5.1 \times 10^{-2}$ )	( $\leq 4.8 \times 10^{-2}$ )	
I-135 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$6.6 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^{-1}$	$9.6 \times 10^{-2}$	$1.6 \times 10^{-1}$	$1.6 \times 10^{-1}$	
Xe-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$< 3.2 \times 10^{-1}$	$< 3.9 \times 10^{-1}$	$< 3.8 \times 10^{-1}$	$< 3.4 \times 10^{-1}$	$< 3.0 \times 10^{-1}$	$< 3.1 \times 10^{-1}$	$< 3.4 \times 10^{-1}$	
water	F-13 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$2.2 \times 10^2$	$3.3 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2$	$2.8 \times 10^2$	$2.9 \times 10^2$	$2.6 \times 10^2$
	Na-24 (Bq/cm <sup>3</sup> )	1.6	3.1	3.1	3.3	3.3	3.3	3.2
	Mn-54 (Bq/cm <sup>3</sup> )	( $2.1 \times 10^{-2}$ )	( $2.3 \times 10^{-2}$ )	( $2.0 \times 10^{-2}$ )	( $3.3 \times 10^{-2}$ )	( $3.6 \times 10^{-2}$ )	( $3.0 \times 10^{-2}$ )	( $5.8 \times 10^{-2}$ )
	Mn-56 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$9.8 \times 10^{-1}$	$3.3$	$3.2$	$2.0$	$2.1$	$1.7$	$2.2$
	Co-58 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$5.1 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-1}$	$9.8 \times 10^{-2}$	$8.9 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10^{-1}$
	Co-60 (Bq/cm <sup>3</sup> )	--	( $1.0 \times 10^{-2}$ )	( $1.0 \times 10^{-2}$ )	( $1.2 \times 10^{-2}$ )	( $8.9 \times 10^{-3}$ )	( $1.4 \times 10^{-2}$ )	( $1.2 \times 10^{-2}$ )
	Ni-65 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$2.6 \times 10^{-1}$	$4.9 \times 10^{-1}$	$5.7 \times 10^{-1}$	$4.6 \times 10^{-1}$	$3.6 \times 10^{-1}$	$3.0 \times 10^{-1}$	$3.7 \times 10^{-1}$
	Y-187 (Bq/cm <sup>3</sup> )	--	$1.7 \times 10^{-1}$	$2.2 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^{-1}$	$2.3 \times 10^{-1}$	$2.3 \times 10^{-1}$	$1.8 \times 10^{-1}$
	Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	2.6	3.9	4.1	4.6	3.1	2.6	2.7
	Tc-99m (Bq/cm <sup>3</sup> )	--	$1.0 \times 10^{-1}$	$3.3 \times 10^{-1}$	$3.7 \times 10^{-1}$	$4.4 \times 10^{-1}$	$3.4 \times 10^{-1}$	
	Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )	$2.8 \times 10^2$	$3.6 \times 10^2$	$3.7 \times 10^2$	$3.8 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2$	$2.4 \times 10^2$	$2.7 \times 10^2$
	Cond. pH	8.6	8.7	8.7	8.8	8.9	8.8	8.7
	Secondary cooling water	Cond. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	3.2	4.1	3.2	3.3	3.2	3.1
	Chloride (ppm)	--	0.02	--	0.01	--	--	--
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	$< 4.5 \times 10^{-3}$	$< 5.0 \times 10^{-3}$	$< 3.8 \times 10^{-3}$	$< 4.5 \times 10^{-3}$	$< 4.4 \times 10^{-3}$	$< 5.7 \times 10^{-3}$	$< 4.1 \times 10^{-3}$	
	Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )	$< 4.7 \times 10^{-2}$	$< 4.8 \times 10^{-2}$	$< 4.6 \times 10^{-2}$	$< 5.0 \times 10^{-2}$	$< 4.8 \times 10^{-2}$	$< 4.8 \times 10^{-2}$	
	O <sub>2</sub> Concn. (V%)	N.D.	--	--	N.D.	N.D.	--	
	Xe-133 (Bal.)	$< 3.1 \times 10^{-1}$	$< 3.9 \times 10^{-1}$	$< 3.5 \times 10^{-1}$	$< 4.0 \times 10^{-1}$	$< 3.5 \times 10^{-1}$	$< 3.9 \times 10^{-1}$	
	Xe-135 (Bal.)	N.D.	$3.6 \times 10^{-1}$	$5.2 \times 10^{-1}$	$7.0 \times 10^{-1}$	$5.8 \times 10^{-1}$	$4.9 \times 10^{-1}$	
	Ar-41 (Bal.)	$2.3$	6.1	5.5	6.1	4.2	4.7	
	Gas phase component	Gross $\beta$ activity (Bq/cm <sup>3</sup> )	$< 4.7 \times 10^{-2}$	$< 4.6 \times 10^{-2}$	$< 5.0 \times 10^{-2}$	$< 4.8 \times 10^{-2}$	$< 4.8 \times 10^{-2}$	$< 4.8 \times 10^{-2}$

( ): one day cooling. < : Detectable Limit. N.D.: Not Detectable.

Table 6.1(6) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Phase No. III 1990~28. Sep. 1990

		(6)							
Test No.	Reactor Power	Item	23/07/90	23/07/90	24/07/90	25/07/90	26/07/90	27/07/90	27/09/90
Temperature	°C	Z-32	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
Pressure	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>H</sub>	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
	PU. Flow (m <sup>3</sup> /h)	P <sub>H</sub>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Cond. (μS/cm)	D.O. (ppm)	P <sub>H</sub>	7.1	7.3	7.2	7.1	6.9	7.3	7.3
D.H (ccf/kg)	Chloride (ppm)	P <sub>H</sub>	0.25	0.26	0.20	0.18	0.21	0.24	0.24
Turbidity (ppm)		P <sub>H</sub>	---	---	---	---	N.D	N.D	---
I-131 (Ba/c <sup>3</sup> )	<2.8×10 <sup>-1</sup>	P <sub>H</sub>	<3.4×10 <sup>-1</sup>	<3.5×10 <sup>-1</sup>	<2.3×10 <sup>-1</sup>	<3.4×10 <sup>-1</sup>	<3.4×10 <sup>-1</sup>	<7.7×10 <sup>-2</sup>	<7.7×10 <sup>-2</sup>
I-133 (Ba/c <sup>3</sup> )	<7.9×10 <sup>-3</sup>	P <sub>H</sub>	<1.9×10 <sup>-2</sup>	<1.3×10 <sup>-2</sup>	<7.9×10 <sup>-3</sup>	<2.4×10 <sup>-2</sup>	<1.6×10 <sup>-2</sup>	<1.0×10 <sup>-2</sup>	<7.7×10 <sup>-3</sup>
I-135 (Ba/c <sup>3</sup> )	<1.0×10 <sup>-1</sup>	P <sub>H</sub>	<1.6×10 <sup>-1</sup>	<1.4×10 <sup>-1</sup>	<1.3×10 <sup>-1</sup>	<3.3×10 <sup>-2</sup>	<1.2×10 <sup>-1</sup>	<7.1×10 <sup>-2</sup>	<3.6×10 <sup>-2</sup>
Xe-133 (Ba/c <sup>3</sup> )	(2.6×10 <sup>-2</sup> )	P <sub>H</sub>	(5.6×10 <sup>-2</sup> )	(7.4×10 <sup>-2</sup> )	(6.7×10 <sup>-2</sup> )	(4.2×10 <sup>-2</sup> )	(5.0×10 <sup>-2</sup> )	(4.7×10 <sup>-2</sup> )	(4.9×10 <sup>-2</sup> )
Xe-135 (Ba/c <sup>3</sup> )	1.2×10 <sup>-1</sup>	P <sub>H</sub>	2.7×10 <sup>-1</sup>	N.D	N.D	N.D	1.4×10 <sup>-1</sup>	N.D	9.8×10 <sup>-2</sup>
Xe-133 (Ba/c <sup>3</sup> )	<2.6×10 <sup>-1</sup>	P <sub>H</sub>	<3.6×10 <sup>-1</sup>	<4.4×10 <sup>-1</sup>	<5.3×10 <sup>-1</sup>	<4.0×10 <sup>-1</sup>	<3.7×10 <sup>-1</sup>	<4.1×10 <sup>-1</sup>	<3.7×10 <sup>-1</sup>
F-18 (Ba/c <sup>3</sup> )	3.1×10 <sup>-2</sup>	P <sub>H</sub>	4.8×10 <sup>-2</sup>	4.9×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-2</sup>	1.1×10 <sup>-2</sup>	3.8×10 <sup>-2</sup>	3.8×10 <sup>-2</sup>	4.1×10 <sup>-2</sup>
Na-24 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	4.8	6.2	6.0	3.2	4.7	4.1	5.2
Mn-54 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	(1.1×10 <sup>-1</sup> )	(1.5×10 <sup>-1</sup> )	(8.1×10 <sup>-1</sup> )	(5.9×10 <sup>-1</sup> )	(6.1×10 <sup>-1</sup> )	(7.9×10 <sup>-1</sup> )	(2.0×10 <sup>-1</sup> )
Mn-55 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	7.2	3.6	4.6×10 <sup>-2</sup>	7.7×10 <sup>-1</sup>	4.0	5.3	3.5
Co-58 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	5.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-1</sup>	4.9×10 <sup>-1</sup>	5.9×10 <sup>-1</sup>	4.1×10 <sup>-1</sup>	2.3	5.5×10 <sup>-1</sup>
Co-60 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	(4.2×10 <sup>-2</sup> )	(4.6×10 <sup>-2</sup> )	(5.1×10 <sup>-2</sup> )	(4.4×10 <sup>-2</sup> )	(6.5×10 <sup>-2</sup> )	(1.6×10 <sup>-1</sup> )	(1.4×10 <sup>-1</sup> )
Ni-65 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	1.6	7.0×10 <sup>-1</sup>	9.9×10 <sup>-1</sup>	9.2×10 <sup>-1</sup>	4.6×10 <sup>-1</sup>	7.5×10 <sup>-1</sup>	6.4×10 <sup>-1</sup>
W-187 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	2.3×10 <sup>-1</sup>	2.1×10 <sup>-1</sup>	4.4×10 <sup>-1</sup>	3.0×10 <sup>-1</sup>	1.9×10 <sup>-1</sup>	1.3×10 <sup>-1</sup>	1.2×10 <sup>-1</sup>
Ar-41 (Ba/c <sup>3</sup> )	3.3	P <sub>H</sub>	4.6	4.4	4.6	3.5	3.3	1.0	1.7
Tc-99 (Ba/c <sup>3</sup> )	4.8×10 <sup>-1</sup>	P <sub>H</sub>	3.1×10 <sup>-1</sup>	1.6×10 <sup>-2</sup>	1.4	2.1×10 <sup>-1</sup>	1.8	N.D	1.2×10 <sup>-1</sup>
Gross B (Ba/c <sup>3</sup> )	3.3×10 <sup>2</sup>	P <sub>H</sub>	4.2×10 <sup>2</sup>	5.3×10 <sup>2</sup>	8.4×10 <sup>2</sup>	4.3×10 <sup>2</sup>	3.8×10 <sup>2</sup>	4.0×10 <sup>2</sup>	5.9×10 <sup>2</sup>
Cond. (μS/cm)	---	P <sub>H</sub>	8.9	8.8	8.7	8.7	8.8	9.0	8.8
Chloride (ppm)	---	P <sub>H</sub>	4.2	3.3	3.8	4.6	4.2	5.7	4.4
Secondary cooling water			---	---	---	---	0.04	0.02	---
I-131 (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	<5.0×10 <sup>-3</sup>	<4.2×10 <sup>-3</sup>	<8.2×10 <sup>-3</sup>	<5.6×10 <sup>-3</sup>	<5.8×10 <sup>-3</sup>	<5.9×10 <sup>-3</sup>	<5.1×10 <sup>-3</sup>
Gross B (Ba/c <sup>3</sup> )	---	P <sub>H</sub>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>
O <sub>2</sub> Concent. (%)	---	P <sub>H</sub>	---	---	---	---	N.D (H <sub>2</sub> :98.8)	N.D (H <sub>2</sub> :97.1)	N.D (H <sub>2</sub> :97.3)
Volume control tank	Xe-133 (Ba/c <sup>3</sup> )	P <sub>H</sub>	<3.7×10 <sup>-1</sup>	<4.0×10 <sup>-1</sup>	<4.9×10 <sup>-1</sup>	<6.1×10 <sup>-1</sup>	<4.5×10 <sup>-1</sup>	<4.3×10 <sup>-1</sup>	<4.4×10 <sup>-1</sup>
(gas phase)	Xe-135 (Ba/c <sup>3</sup> )	P <sub>H</sub>	N.D	N.D	5.7×10 <sup>-1</sup>	6.5×10 <sup>-1</sup>	5.1×10 <sup>-1</sup>	N.D	6.0×10 <sup>-1</sup>
Component cooling water	Ar-41 (Ba/c <sup>3</sup> )	P <sub>H</sub>	3.1	7.5	7.7	7.1	5.4	1.2	3.0
	Gross β activity (Ba/c <sup>3</sup> )	P <sub>H</sub>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>

( ): one day cooling. < : detectable limits. N.D: Not Detectable.

Table 6.1(7) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Phase N~V~V 2. Oct. 1990~8. Oct. 1990		(7)						
Date Measured	1-test	02/10/90	03/10/90	04/10/90	05/10/90	06/10/90	07/10/90	08/10/90
Reactor Power%	82	9.0	9.0	9.0	1.0	1.0	1.0	9.0
Test No.	Z-38	B-3(1)	B-3(1)	B-3(1)	2.73	2.73	2.73	2.73
Temperature °C	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
Pressure kPa/cm <sup>2</sup>	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Pt. Flow (m <sup>3</sup> /h)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Cond. (μS/cm)	7.6	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6	7.4	7.4
O.D. (ppm)	0.19	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.16	0.17
D.H. (cc/kg)	2.3	2.8	2.6	2.7	2.9	2.5	3.1	---
Chloride (ppm)	N.D.	---	---	N.D.	---	---	---	---
Turbidity (ppm)	N.D.	---	---	N.D.	---	---	---	---
I-131 (Ba/ci <sup>3</sup> )	<1.5×10 <sup>-1</sup>	<1.2×10 <sup>-1</sup>	<3.5×10 <sup>-1</sup>	<7.8×10 <sup>-2</sup>	<3.9×10 <sup>-1</sup>	<1.4×10 <sup>-1</sup>	<1.4×10 <sup>-1</sup>	<3.8×10 <sup>-1</sup>
I-131 (Ba/ci <sup>3</sup> )	(<1.1×10 <sup>-2</sup> )	(<8.8×10 <sup>-3</sup> )	(<2.2×10 <sup>-2</sup> )	(8.4×10 <sup>-3</sup> )	(<1.2×10 <sup>-2</sup> )	(<1.3×10 <sup>-2</sup> )	(<8.0×10 <sup>-3</sup> )	(<1.1×10 <sup>-2</sup> )
I-133 (Ba/ci <sup>3</sup> )	<8.2×10 <sup>-2</sup>	<6.4×10 <sup>-2</sup>	<1.5×10 <sup>-2</sup>	<7.8×10 <sup>-2</sup>	<1.6×10 <sup>-1</sup>	<8.8×10 <sup>-2</sup>	<7.8×10 <sup>-2</sup>	<1.8×10 <sup>-1</sup>
I-135 (Ba/ci <sup>3</sup> )	(2.4×10 <sup>-2</sup> )	(8.3×10 <sup>-2</sup> )	(<8.0×10 <sup>-2</sup> )	(9.7×10 <sup>-2</sup> )	(9.7×10 <sup>-2</sup> )	(7.6×10 <sup>-2</sup> )	(6.4×10 <sup>-2</sup> )	(9.1×10 <sup>-2</sup> )
I-135 (Ba/ci <sup>3</sup> )	9.4×10 <sup>-2</sup>	1.8×10 <sup>-1</sup>	N.D.	1.7×10 <sup>-1</sup>	N.D.	2.9×10 <sup>-1</sup>	1.9×10 <sup>-1</sup>	2.1×10 <sup>-1</sup>
Xe-33 (Ba/ci <sup>3</sup> )	<4.0×10 <sup>-1</sup>	<4.2×10 <sup>-1</sup>	<4.0×10 <sup>-1</sup>	<4.2×10 <sup>-1</sup>	<4.6×10 <sup>-1</sup>	<4.6×10 <sup>-1</sup>	<4.6×10 <sup>-1</sup>	<4.3×10 <sup>-1</sup>
Water I-18 (Ba/ci <sup>3</sup> )	3.6×10 <sup>-2</sup>	5.2×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-2</sup>	6.1×10 <sup>-2</sup>	6.1×10 <sup>-2</sup>	6.1×10 <sup>-2</sup>	5.8×10 <sup>-2</sup>	8.0×10 <sup>-2</sup>
Na-24 (Ba/ci <sup>3</sup> )	3.3	7.5	8.7	8.5	8.5	8.5	9.0	9.7
Mn-54 (Ba/ci <sup>3</sup> )	(3.2×10 <sup>-1</sup> )	(1.9×10 <sup>-1</sup> )	(2.5×10 <sup>-1</sup> )	---	(3.3×10 <sup>-1</sup> )	(3.0×10 <sup>-1</sup> )	(3.9×10 <sup>-1</sup> )	(1.9×10 <sup>-1</sup> )
Mn-56 (Ba/ci <sup>3</sup> )	5.9	4.0	2.7	4.0	4.0	4.0	4.5	1.1×10 <sup>-1</sup>
Co-60 (Ba/ci <sup>3</sup> )	9.1×10 <sup>-1</sup>	4.8×10 <sup>-1</sup>	4.2×10 <sup>-1</sup>	3.9×10 <sup>-1</sup>	4.8×10 <sup>-1</sup>	3.9×10 <sup>-1</sup>	4.2×10 <sup>-1</sup>	4.2×10 <sup>-1</sup>
Co-60 (Ba/ci <sup>3</sup> )	(1.3×10 <sup>-1</sup> )	(8.4×10 <sup>-2</sup> )	(7.1×10 <sup>-2</sup> )	---	(5.0×10 <sup>-2</sup> )	(3.5×10 <sup>-2</sup> )	(2.2×10 <sup>-2</sup> )	(2.2×10 <sup>-2</sup> )
Ni-65 (Ba/ci <sup>3</sup> )	9.9×10 <sup>-1</sup>	5.5×10 <sup>-1</sup>	5.3×10 <sup>-1</sup>	5.3×10 <sup>-1</sup>	6.5×10 <sup>-1</sup>	7.3×10 <sup>-1</sup>	3.3×10 <sup>-1</sup>	6.2×10 <sup>-1</sup>
I-137 (Ba/ci <sup>3</sup> )	1.3×10 <sup>-1</sup>	1.17×10 <sup>-1</sup>	2.3×10 <sup>-1</sup>	---	3.0×10 <sup>-1</sup>	3.5×10 <sup>-1</sup>	2.8×10 <sup>-1</sup>	2.7×10 <sup>-1</sup>
Ar-41 (Ba/ci <sup>3</sup> )	3.0	5.4	5.0	6.9	8.4	7.5	8.7	5.9
Ic-93 (Ba/ci <sup>3</sup> )	1.2×10 <sup>-1</sup>	3.6×10 <sup>-1</sup>	3.6×10 <sup>-1</sup>	1.4	9.0×10 <sup>-1</sup>	1.4	9.3×10 <sup>-1</sup>	8.0×10 <sup>-1</sup>
Gross β (Ba/ci <sup>3</sup> )	3.5×10 <sup>-2</sup>	7.2×10 <sup>-2</sup>	5.4×10 <sup>-2</sup>	6.1×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-2</sup>	8.7×10 <sup>-2</sup>	6.7×10 <sup>-2</sup>	6.3×10 <sup>-2</sup>
Secondary cooling water	8.8	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.8
Cond. (μS/cm)	4.0	4.4	4.9	4.6	5.0	4.5	4.3	4.6
Chloride (ppm)	0.2	---	0.3	0.3	---	---	---	---
I-131 (Ba/ci <sup>3</sup> )	<5.2×10 <sup>-3</sup>	<4.8×10 <sup>-3</sup>	<5.0×10 <sup>-3</sup>	<5.8×10 <sup>-3</sup>	<6.6×10 <sup>-3</sup>	<6.1×10 <sup>-3</sup>	<6.0×10 <sup>-3</sup>	<6.0×10 <sup>-3</sup>
Gross β (Ba/ci <sup>3</sup> )	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.6×10 <sup>-2</sup>	<4.6×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>
O <sub>2</sub> Content (%)	N.D.(H <sub>2</sub> :97.3)	N.D.(H <sub>2</sub> :97.3)	N.D.(H <sub>2</sub> :97.6)	---	N.D.(H <sub>2</sub> :97.7)	N.D(H <sub>2</sub> :97.7)	N.D(H <sub>2</sub> :97.9)	N.D(H <sub>2</sub> :98.1)
Volume control tank (gas phase)	<3.9×10 <sup>-1</sup>	<4.0×10 <sup>-1</sup>	<4.1×10 <sup>-1</sup>	---	<5.2×10 <sup>-1</sup>	<4.9×10 <sup>-1</sup>	<4.3×10 <sup>-1</sup>	<4.6×10 <sup>-1</sup>
Component cooling water	3.4	5.9	6.7	---	9.9×10 <sup>-1</sup>	8.8×10 <sup>-1</sup>	5.9×10 <sup>-1</sup>	7.0×10 <sup>-1</sup>
Gross β activity (Ba/ci <sup>3</sup> )	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.6×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<4.7×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>

( ):One day cooling. <:Detectable Limits. N.D:Not Detectable.

Table 6.1(8) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Phase No. V 30. Oct. 1990 ~ 4. Nov. 1990		(8)					
Date Measured	Items	30/10/90	31/10/90	01/11/90	02/11/90	03/11/90	04/11/90
Test No.	Reactor Power %	3.7	6.1	4.2	5.4	3.3	6.8
Temperature	°C	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
Pressure	Kg/cm <sup>2</sup>	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
P.U. Flow (L/h)	L/h	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
P <sub>H</sub>	pH	7.6	7.5	7.0	7.6	7.0	7.3
Cond. (μS/cm)	ppm	0.20	0.19	0.23	0.18	0.21	0.23
D.H (cc/kg)	ppm	--	--	--	--	--	--
Chloride (ppm)	ppm	--	--	2.8	--	2.9	--
Turbidity (ppm)	ppm	--	--	N.D	--	--	--
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	<7.3×10 <sup>-2</sup>	<9.6×10 <sup>-2</sup>	<7.4×10 <sup>-2</sup>	<1.0×10 <sup>-1</sup>	<8.9×10 <sup>-2</sup>	<6.0×10 <sup>-2</sup>
I-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	(<8.6×10 <sup>-3</sup> )	(<1.6×10 <sup>-2</sup> )	(1.3×10 <sup>-2</sup> )	(<3.5×10 <sup>-3</sup> )	(<1.0×10 <sup>-2</sup> )	(<9.0×10 <sup>-3</sup> )
Primary cooling water		<3.3×10 <sup>-2</sup>	5.4×10 <sup>-2</sup>	<3.4×10 <sup>-2</sup>	<5.1×10 <sup>-2</sup>	<4.4×10 <sup>-2</sup>	<3.3×10 <sup>-2</sup>
I-135 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	(4.3×10 <sup>-2</sup> )	(5.3×10 <sup>-2</sup> )	(2.8×10 <sup>-2</sup> )	(2.5×10 <sup>-2</sup> )	(<2.0×10 <sup>-2</sup> )	(5.9×10 <sup>-2</sup> )
Xe-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	<3.9×10 <sup>-1</sup>	1.4×10 <sup>-1</sup>	N.D	N.D	N.D	1.9×10 <sup>-1</sup>
F-18 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	<3.9×10 <sup>-1</sup>	<4.4×10 <sup>-1</sup>	<4.7×10 <sup>-1</sup>	<4.5×10 <sup>-1</sup>	<4.3×10 <sup>-1</sup>	<5.2×10 <sup>-1</sup>
N <sub>e</sub> -24 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	2.4×10 <sup>2</sup>	3.9×10 <sup>2</sup>	1.9×10 <sup>2</sup>	2.1×10 <sup>2</sup>	1.8×10 <sup>2</sup>	4.0×10 <sup>2</sup>
N <sub>n</sub> -54 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	3.0	5.2	3.0	3.3	3.0	6.1
N <sub>n</sub> -56 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	(3.9)	(6.4×10 <sup>-1</sup> )	(4.3×10 <sup>-1</sup> )	(4.0×10 <sup>-1</sup> )	(2.9×10 <sup>-1</sup> )	(3.4×10 <sup>-1</sup> )
Co-58 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	1.0	5.2	1.7	5.0×10 <sup>-1</sup>	1.4	2.7
Co-60 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	3.5	1.3	4.9×10 <sup>-1</sup>	2.9×10 <sup>-1</sup>	2.1×10 <sup>-1</sup>	1.9×10 <sup>-1</sup>
Ni-65 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	(6.5×10 <sup>-1</sup> )	(1.8×10 <sup>-1</sup> )	(6.2×10 <sup>-2</sup> )	(6.7×10 <sup>-2</sup> )	(3.8×10 <sup>-2</sup> )	(6.3×10 <sup>-2</sup> )
Y-187 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	N.D	5.2×10 <sup>-1</sup>	N.D	N.D	N.D	N.D
Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	1.5	2.6	(7.1×10 <sup>-2</sup> )	3.2×10 <sup>-2</sup>	N.D	N.D
Tc-99 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	N.D	4.8×10 <sup>-1</sup>	6.3×10 <sup>-1</sup>	5.1×10 <sup>-1</sup>	1.7	2.8
Gross β (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	2.7×10 <sup>2</sup>	4.6×10 <sup>2</sup>	2.7×10 <sup>2</sup>	2.9×10 <sup>2</sup>	2.3×10 <sup>2</sup>	5.8×10 <sup>2</sup>
Cond. (μS/cm)	ppm	8.8	8.8	8.7	8.8	8.7	8.8
Secondary cooling water		3.7	4.4	4.0	3.6	3.6	3.7
Chloride (ppm)	ppm	--	--	0.9	--	--	--
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	<7.3×10 <sup>-3</sup>	<8.6×10 <sup>-3</sup>	<7.0×10 <sup>-3</sup>	<6.8×10 <sup>-3</sup>	<6.5×10 <sup>-3</sup>	<6.5×10 <sup>-3</sup>
Gross β (Bq/cm <sup>3</sup> )	Bq/cm <sup>3</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>
O <sub>2</sub> Concent. (V%)	--	--	N.D[H <sub>2</sub> :99.3]	N.D[H <sub>2</sub> :99.5]	N.D[H <sub>2</sub> :99.4]	N.D[H <sub>2</sub> :99.5]	N.D[H <sub>2</sub> :99.5]
Volume control tank (gas phase)		Y <sub>e</sub> -133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<4.5×10 <sup>-1</sup>	<4.6×10 <sup>-1</sup>	<5.0×10 <sup>-1</sup>	<4.4×10 <sup>-1</sup>	<4.6×10 <sup>-1</sup>
Component cooling water		Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )	2.1	2.5	1.6	1.4	2.4
	Gross β activity (Bq/cm <sup>3</sup> )	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.9×10 <sup>-2</sup>	<5.0×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>	<4.8×10 <sup>-2</sup>

): One day cooling. :: Detectable Limits. N.D: Not Detectable.

Table 6.1(9) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

		Phase No. 1990 ~ 9. Nov. 1990						(9)	
Date Measured	Measured Item	05/11/90	06/11/90	07/11/90	08/11/90	09/11/90			
Reactor Power Test No.	%	8.8	8.3	6.5	9.1	9.1	Cold shut down		
Temperature	°C	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3			
Pressure	kg/cm <sup>2</sup>	1.1.0	1.1.0	1.1.0	1.1.0	1.1.0			
PV. flow (m <sup>3</sup> /h)	P.H	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9			
Cond. ( $\mu$ S/cm)	N.D	0.19	0.22	0.20	0.20	0.20			
D.O (ppm)		- - -	- - -	- - -	- - -	- - -			
D.H (cc/kg)		- - -	2.9	- - -	- - -	- - -			
Chloride (ppm)	N.D	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -			
Turbidity (ppm)	N.D	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -			
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<3.4X10 <sup>-1</sup> (<1.1X10 <sup>-2</sup> )	<3.4X10 <sup>-1</sup> (1.2X10 <sup>-2</sup> )	<1.2X10 <sup>-1</sup> (<1.1X10 <sup>-2</sup> )	<1.2X10 <sup>-1</sup> (<1.1X10 <sup>-2</sup> )	<2.9X10 <sup>-1</sup> (<1.0X10 <sup>-2</sup> )	<7.7X10 <sup>-2</sup> (<1.1X10 <sup>-2</sup> )			
I-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<1.5X10 <sup>-1</sup> (7.8X10 <sup>-2</sup> )	<1.6X10 <sup>-1</sup> (2.0X10 <sup>-1</sup> )	<1.6X10 <sup>-1</sup> (5.7X10 <sup>-2</sup> )	<6.9X10 <sup>-2</sup> (8.0X10 <sup>-2</sup> )	<6.9X10 <sup>-1</sup> (8.3X10 <sup>-2</sup> )	<3.7X10 <sup>-2</sup> (3.2X10 <sup>-2</sup> )			
I-135 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<1.33(Bq/cm <sup>3</sup> )	<4.7X10 <sup>-1</sup>	<5.0X10 <sup>-1</sup>	<5.0X10 <sup>-1</sup>	<4.4X10 <sup>-1</sup>	N.D	N.D		
Xe-133(Bq/cm <sup>3</sup> )	F-18(Bq/cm <sup>3</sup> )	5.1X10 <sup>2</sup>	3.7X10 <sup>2</sup>	2.8X10 <sup>2</sup>	2.8X10 <sup>2</sup>	<4.9X10 <sup>-1</sup>	N.D		
Na-24 (Bq/cm <sup>3</sup> )		6.8	5.4	6.2	6.7	1.6			
Mn-54 (Bq/cm <sup>3</sup> )		(4.2X10 <sup>-1</sup> )	(3.1X10 <sup>-1</sup> )	(3.1X10 <sup>-1</sup> )	(3.4X10 <sup>-1</sup> )	(1.6X10 <sup>1</sup> )			
Mn-56 (Bq/cm <sup>3</sup> )		5.4	5.6	3.9	3.9	2.0X10 <sup>3</sup>			
Co-58 (Bq/cm <sup>3</sup> )		9.9X10 <sup>-1</sup>	1.1.1	1.9X10 <sup>-1</sup>	3.7X10 <sup>-1</sup>	2.9X10 <sup>-1</sup>			
Co-60 (Bq/cm <sup>3</sup> )		(1.2X10 <sup>-1</sup> )	(1.2X10 <sup>-1</sup> )	(1.8X10 <sup>-2</sup> )	(4.6X10 <sup>-2</sup> )	(2.7X10 <sup>-2</sup> )			
Ni-65 (Bq/cm <sup>3</sup> )		8.0X10 <sup>-1</sup>	1.4	N.D	3.1X10 <sup>-1</sup>	N.D			
T-187 (Bq/cm <sup>3</sup> )		3.6X10 <sup>-1</sup>	6.4X10 <sup>-1</sup>	(7.6X10 <sup>-2</sup> )	1.8X10 <sup>-1</sup>	1.0X10 <sup>-1</sup>			
Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )		3.7	4.0	2.3	3.0	N.D			
Tc-99m (Bq/cm <sup>3</sup> )		4.0X10 <sup>-1</sup>	5.3X10 <sup>-1</sup>	9.4X10 <sup>-1</sup>	8.7X10 <sup>-1</sup>	5.2X10 <sup>-1</sup>			
Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )		8.2X10 <sup>2</sup>	4.7X10 <sup>2</sup>	3.7X10 <sup>2</sup>	5.9X10 <sup>2</sup>	N.D			
P.H		8.7	8.8	8.7	8.7				
Cond. ( $\mu$ S/cm)		3.6	3.5	3.8	3.7				
Chloride (ppm)		0.02	- - -	- - -	- - -				
Gross $\beta$ (Bq/cm <sup>3</sup> )		<6.7X10 <sup>-3</sup>	<6.6X10 <sup>-3</sup>	<7.4X10 <sup>-3</sup>	<6.4X10 <sup>-3</sup>				
O <sub>2</sub> concn. (ppm)		<5.0X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<5.0X10 <sup>-2</sup>	<5.0X10 <sup>-2</sup>				
VOLUME control tank (gas phase)		N.D[H <sub>2</sub> :99.6]	- - -	N.D[H <sub>2</sub> :99.5]	N.D[H <sub>2</sub> :99.5]				
Xe-133(Bq/cm <sup>3</sup> )		<4.8X10 <sup>-1</sup>	- - -	<4.9X10 <sup>-1</sup>	<5.6X10 <sup>-1</sup>				
Xe-135(Bq/cm <sup>3</sup> )		5.8X10 <sup>-1</sup>	- - -	5.7X10 <sup>-1</sup>	6.6X10 <sup>-1</sup>				
Ar-41 (Bq/cm <sup>3</sup> )		2.2	- - -	2.4	2.3				
Gross $\beta$ activity cooling water (Bq/cm <sup>3</sup> )		<5.0X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<5.0X10 <sup>-2</sup>	<5.0X10 <sup>-2</sup>				

( ): One day cooling. -: Detectable Limits. N.D: Not Detectable.

Table 6.1(10) Analyzed results of chemistry and radiochemistry tests  
during power-up tests (continued)

Phase N° V 8. Dec. 1990 ~ 13. Dec. 1990		(1/0)					
Date Measured	Test No.	08/12/90	09/12/90	10/12/90	11/12/90	12/12/90	12/13/90
Reactor Power	%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Temperature	°C	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
Pressure	kPa/c <sup>2</sup>	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
P <sub>H</sub>	PH Flow (m <sup>3</sup> /h)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Cond. (μS/cm)	0.18	0.20	0.17	0.17	0.20	0.18	B-5-3(2)
D.O (ppm)	--	--	N.D	N.D	--	--	Cold shut down
O.H (cc/Kg)	2.8	--	--	2.8	--	2.8	--
Chloride (ppm)	N.D	--	--	N.D	--	N.D	--
Turbidity (ppm)	N.D	--	--	N.D	--	N.D	--
I-131 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<1.1X10 <sup>-1</sup> (<1.2X10 <sup>-2</sup> )	<1.5X10 <sup>-1</sup> (<1.4X10 <sup>-2</sup> )	<2.2X10 <sup>-1</sup> (<1.8X10 <sup>-2</sup> )	<9.6X10 <sup>-2</sup> (<2.0X10 <sup>-2</sup> )	<1.0X10 <sup>-1</sup> (<2.7X10 <sup>-2</sup> )	<1.1X10 <sup>-1</sup> (<2.0X10 <sup>-2</sup> )	<4.2X10 <sup>-2</sup> (<7.8X10 <sup>-3</sup> )
I-133 (Bq/cm <sup>3</sup> )	<6.7X10 <sup>-2</sup> (1.9X10 <sup>-2</sup> )	<1.0X10 <sup>-1</sup> (7.5X10 <sup>-2</sup> )	<1.1X10 <sup>-1</sup> (7.0X10 <sup>-2</sup> )	<5.2X10 <sup>-2</sup> (3.0X10 <sup>-2</sup> )	<6.4X10 <sup>-2</sup> (6.1X10 <sup>-2</sup> )	<6.8X10 <sup>-2</sup> (8.8X10 <sup>-2</sup> )	<2.9X10 <sup>-2</sup> (2.8X10 <sup>-2</sup> )
Primary cooling water	I-135 (Bq/cm <sup>3</sup> )	9.4X10 <sup>-2</sup>	2.8X10 <sup>-1</sup>	N.D	9.0X10 <sup>-2</sup>	6.5X10 <sup>-1</sup>	1.5X10 <sup>-1</sup>
Y <sub>e-133</sub> (Bq/cm <sup>3</sup> )	<5.1X10 <sup>-1</sup>	<4.9X10 <sup>-1</sup>	<5.4X10 <sup>-1</sup>	<5.1X10 <sup>-1</sup>	<4.7X10 <sup>-1</sup>	<5.0X10 <sup>-1</sup>	N.D
water	F-8 (Bq/cm <sup>3</sup> )	4.0X10 <sup>-2</sup>	4.9X10 <sup>-2</sup>	4.5X10 <sup>-2</sup>	3.7X10 <sup>-2</sup>	3.8X10 <sup>-2</sup>	5.0X10 <sup>-2</sup>
Na-24 (Bq/cm <sup>3</sup> )	3.7	6.8	2.4	4.4	5.4	8.3	1.8
Mn-54 (Ba/C)	(1.1)	(8.3X10 <sup>-1</sup> )	(8.2X10 <sup>-1</sup> )	(6.8X10 <sup>-1</sup> )	(9.2X10 <sup>-1</sup> )	(7.6X10 <sup>-1</sup> )	(2.5X10 <sup>-1</sup> )
Kn-56 (Ba/C)	6.9	6.3	3.9	1.8	2.4	3.2	2.3X10 <sup>-3</sup>
Co-58 (Ba/C)	4.3	1.3	1.1	6.8X10 <sup>-1</sup>	1.0	7.3X10 <sup>-1</sup>	2.0
Cr-60 (Ba/C)	(6.9X10 <sup>-1</sup> )	(3.0X10 <sup>-1</sup> )	(2.9X10 <sup>-1</sup> )	(1.7X10 <sup>-1</sup> )	(2.0X10 <sup>-1</sup> )	(1.6X10 <sup>-1</sup> )	(5.1X10 <sup>-1</sup> )
Ni-65 (Ba/C)	1.1	8.1X10 <sup>-1</sup>	7.5X10 <sup>-1</sup>	N.D	N.D	N.D	N.D
K-87 (Ba/C)	9.4X10 <sup>-2</sup>	2.6X10 <sup>-1</sup>	4.2X10 <sup>-1</sup>	5.4X10 <sup>-2</sup>	1.1X10 <sup>-1</sup>	1.0X10 <sup>-1</sup>	N.D
Al-41 (Ba/C)	1.9	1.9	2.0	2.1	2.5	2.4	--
Tc-99 (Ba/C)	--	7.0X10 <sup>-1</sup>	6.2X10 <sup>-1</sup>	7.8X10 <sup>-1</sup>	3.3X10 <sup>-1</sup>	4.3X10 <sup>-1</sup>	1.8X10 <sup>-1</sup>
Gross β (Ba/C)	3.8X10 <sup>-2</sup>	5.6X10 <sup>-2</sup>	5.9X10 <sup>-2</sup>	4.6X10 <sup>-2</sup>	6.0X10 <sup>2</sup>	7.3X10 <sup>2</sup>	--
Secondary cooling water	P.H	8.7	9.0	8.9	9.0	9.0	--
Cond. (μS/cm)	4.3	3.6	3.7	3.9	5.4	4.5	--
Chloride (ppm)	0.8	--	--	--	0.2	0.1	--
I-31 (Ba/C)	<7.2X10 <sup>-3</sup>	<6.6X10 <sup>-3</sup>	<6.4X10 <sup>-3</sup>	<6.3X10 <sup>-3</sup>	<7.2X10 <sup>-3</sup>	<6.1X10 <sup>-3</sup>	--
Gross β (Ba/C)	<4.9X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<5.1X10 <sup>-2</sup>	<5.1X10 <sup>-2</sup>	--
O <sub>2</sub> Concn. (M)	N.D[H <sub>2</sub> :99.8]	N.D[H <sub>2</sub> :99.8]	--	--	--	--	--
Volume control tank	Xe-133(Ba/C)	<5.6X10 <sup>-1</sup>	<5.2X10 <sup>-1</sup>	<5.3X10 <sup>-1</sup>	<4.9X10 <sup>-1</sup>	<5.1X10 <sup>-1</sup>	<5.4X10 <sup>-1</sup>
(gas phase)	Xe-135(Ba/C)	N.D	4.8X10 <sup>-1</sup>	7.5X10 <sup>-1</sup>	5.3X10 <sup>-1</sup>	4.8X10 <sup>-1</sup>	5.5X10 <sup>-1</sup>
Component cooling water	Ar-41 (Ba/C)	1.1	2.4	1.9	1.4	2.6	--
Gross β activity (Ba/C)	<4.9X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<4.8X10 <sup>-2</sup>	<5.0X10 <sup>-2</sup>	<5.1X10 <sup>-2</sup>	--

( ):One day cooling. -:Detectable Limits. N.D:Not Detectable.

Table 6.2 Radionuclides detected from the cooling water

Nuclide	Hafe Life	Energy(KeV)	Formation	Source
F-18	1.83 h	511	$^{180}(p, n)^{18}F$	Coolant
Na-24	15 h	1369	$^{23}Na(n, \gamma)^{24}Na$	Dissolved impurity
Ar-41	1.83 h	1293	$^{40}Ar(n, \gamma)^{41}Ar$	Dissolved impurity
Cr-51	27.7 d	320	$^{59}Cr(n, \gamma)^{51}Cr$	Materials composition
Mn-54	312.5. d	835	$^{54}Fe(n, p)^{54}Mn$	Materials composition
Mn-56	2.6 h	847	$^{56}Mn(n, \gamma)^{56}Mn$	Materials composition
Co-58	71.3 d	811	$^{58}Ni(n, p)^{58}Co$	Materials composition
Co-60	5.26 y	1332	$^{59}Co(n, \gamma)^{60}Co$	Materials composition
Ni-65	2.56 h	1115	$^{64}Ni(n, \gamma)^{65}Ni$	Materials composition
Mo-99	66.2 h	181	$^{98}Mo(n, \gamma)^{99}Mo$	Materials composition
Tc-99m	6.02 h	140	$^{99}Mo \rightarrow ^{99m}Tc$	Daughter of $^{99}Mo$
W-187	23.9 h	686	$^{186}W(n, \gamma)^{187}W$	Materials composition
I-131	8.04 d	364	F.P.	Fission products
I-133	20.8 h	530	F.P.	Fission products
I-135	6.61 h	1260	F.P.	Fission products
Xe-135	9.083 h	250	F.P.	Fission products

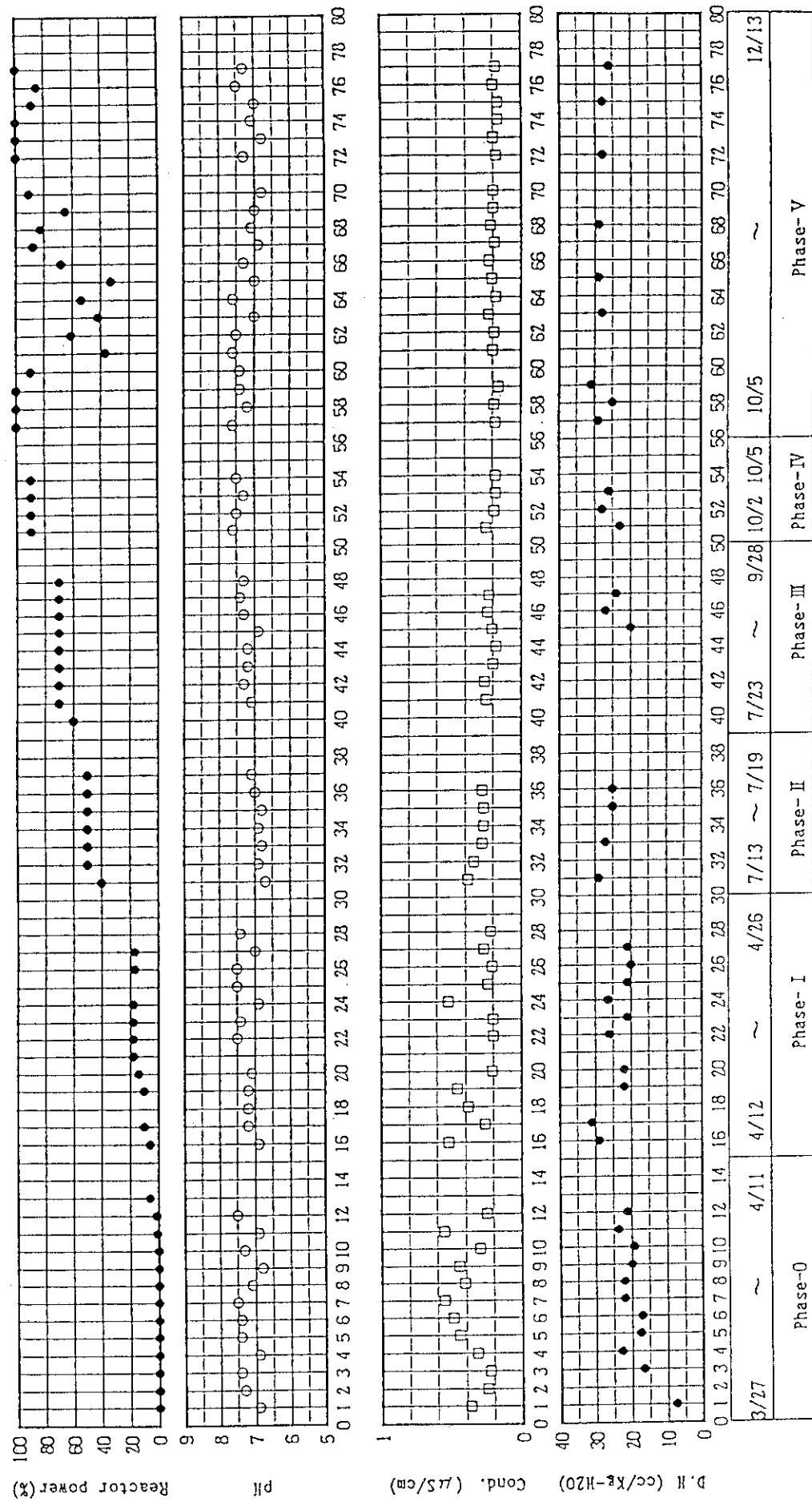


Fig. 6.1 Analyzed results of pH, conductivity and dissolved hydrogen gas in the primary cooling water

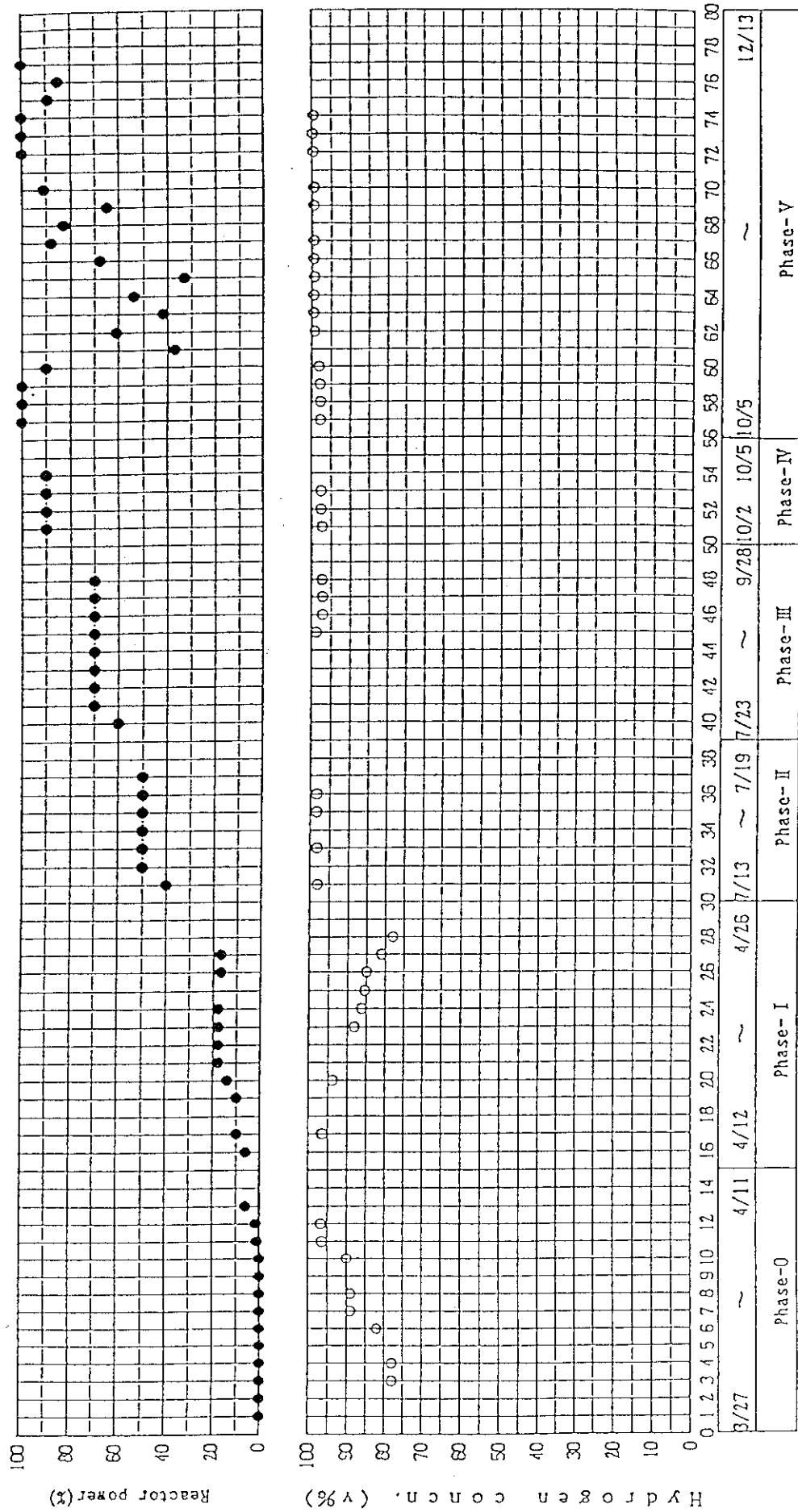


Fig. 6.2 Variation of hydrogen concentration in the volume control tank gas phase

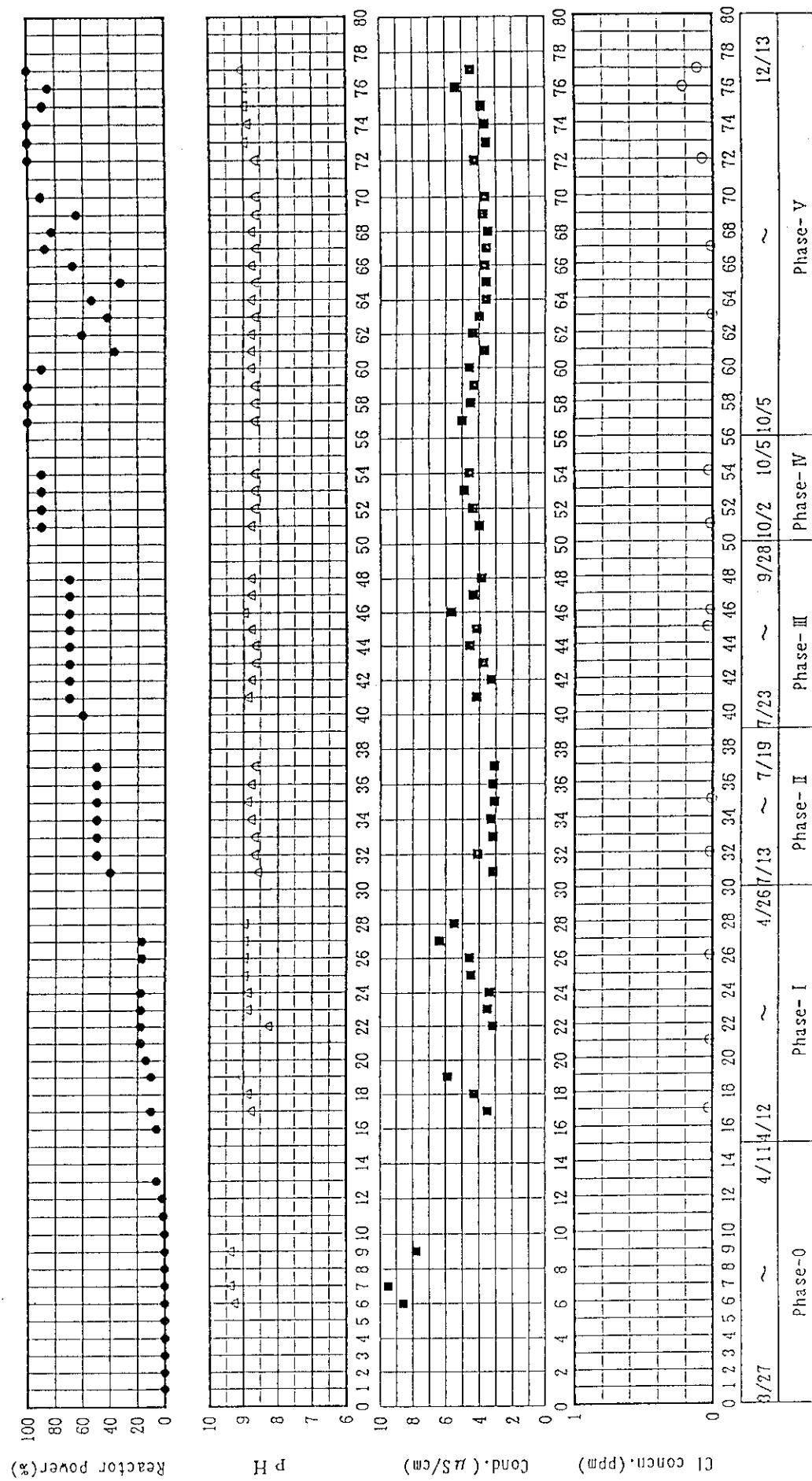
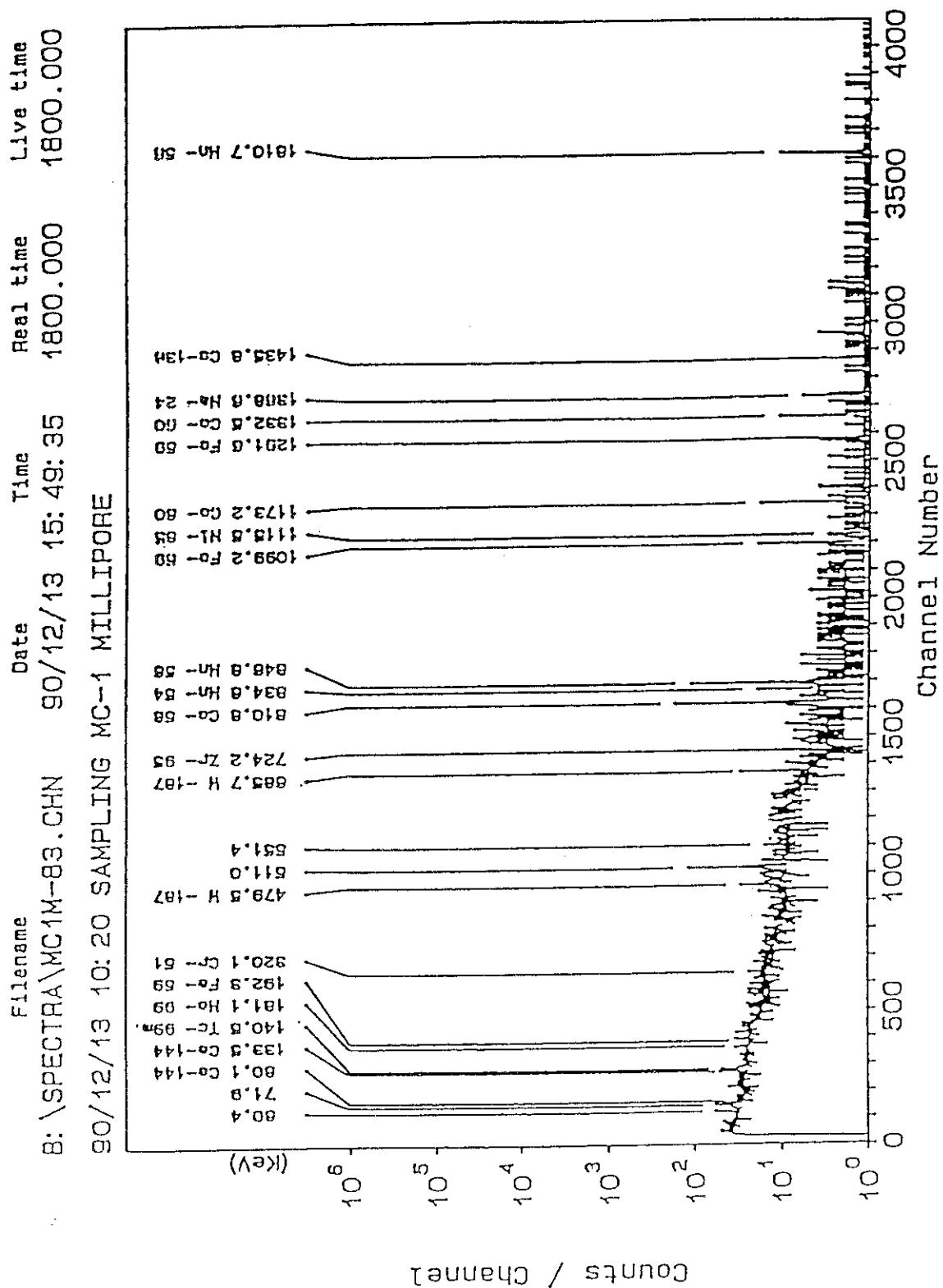


Fig. 6.3 Analyzed results of pH, conductivity and chloride concentration in the secondary cooling water

Fig. 6.4 Gamma-ray spectrum of the  $0.45\mu\text{m}$  millipore filter

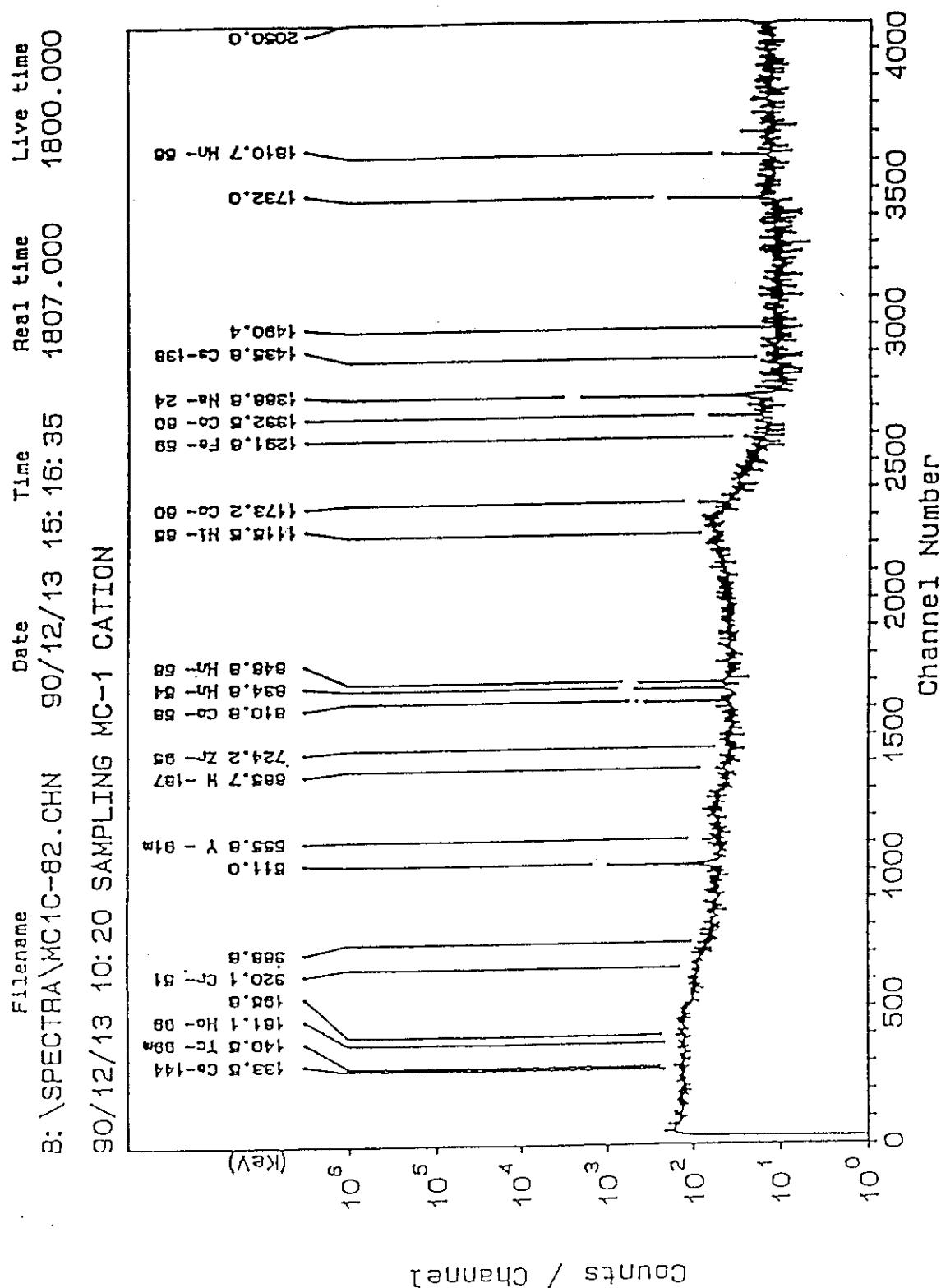


Fig. 6.5 Gamma-ray spectrum of the cation pepar

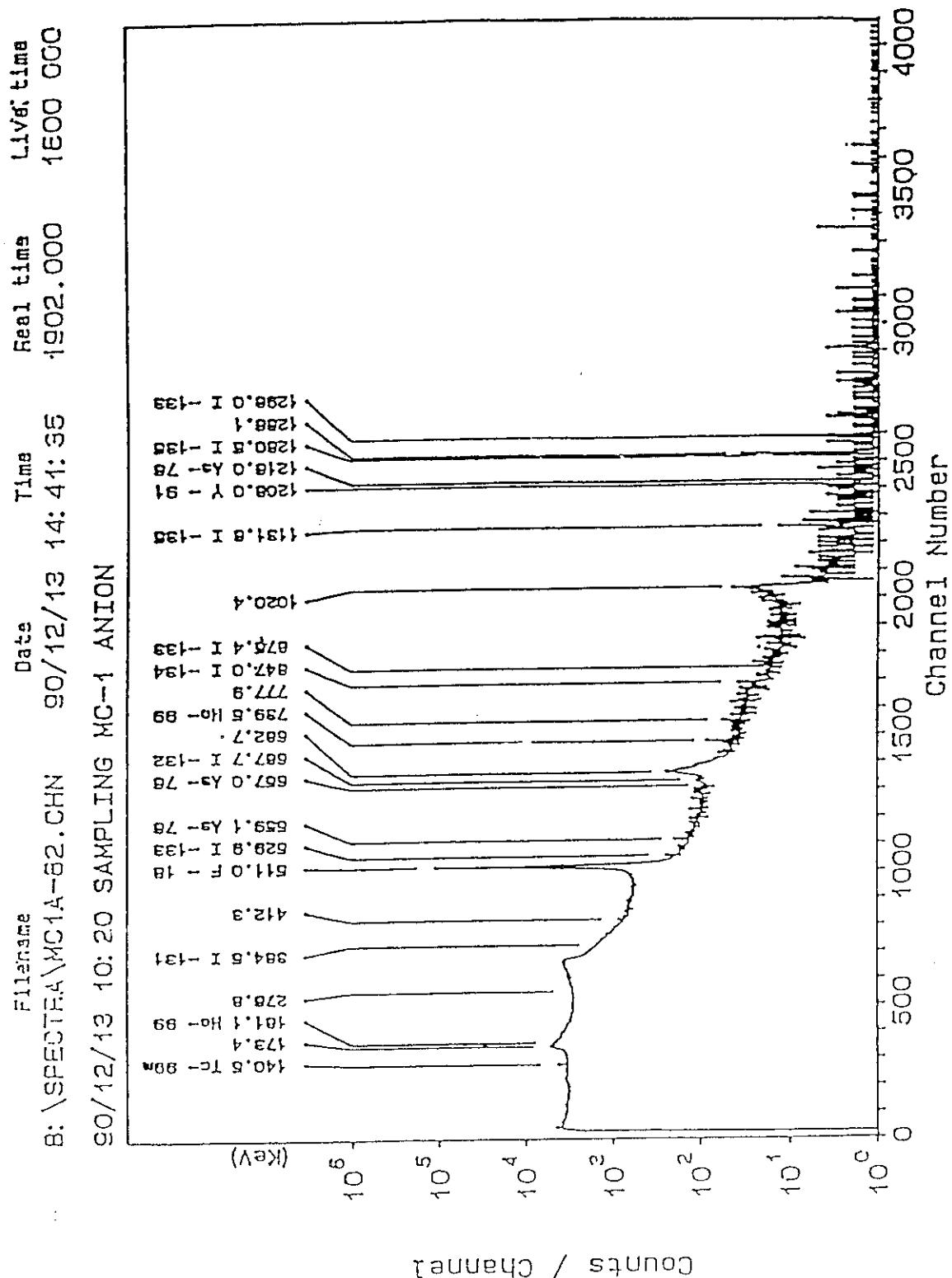


Fig. 6.6 Gamma-ray spectrum of the anion pept after at sampling time

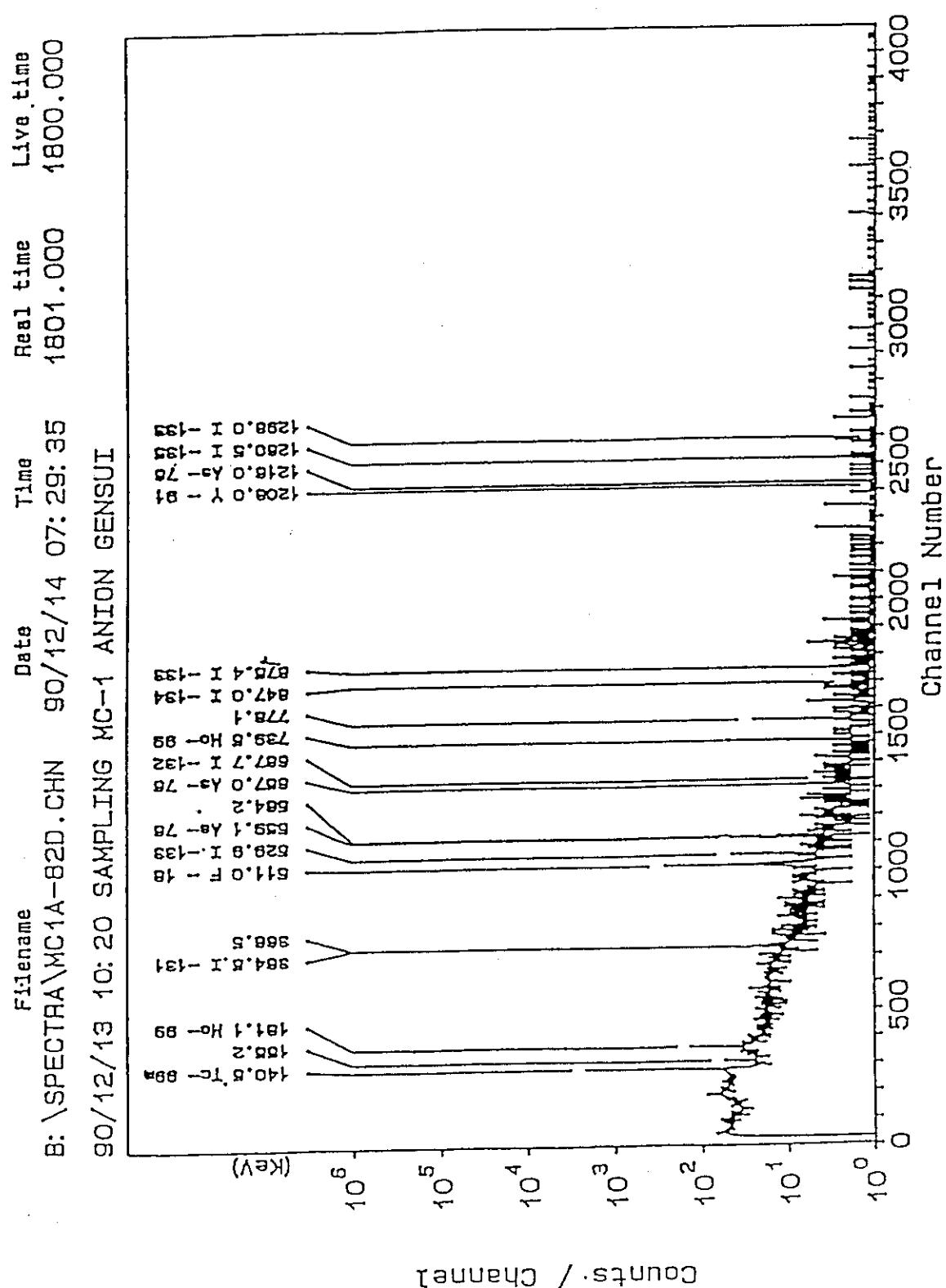


Fig. 6.7 Gamma-ray spectrum of the anion pepar after one day cooling

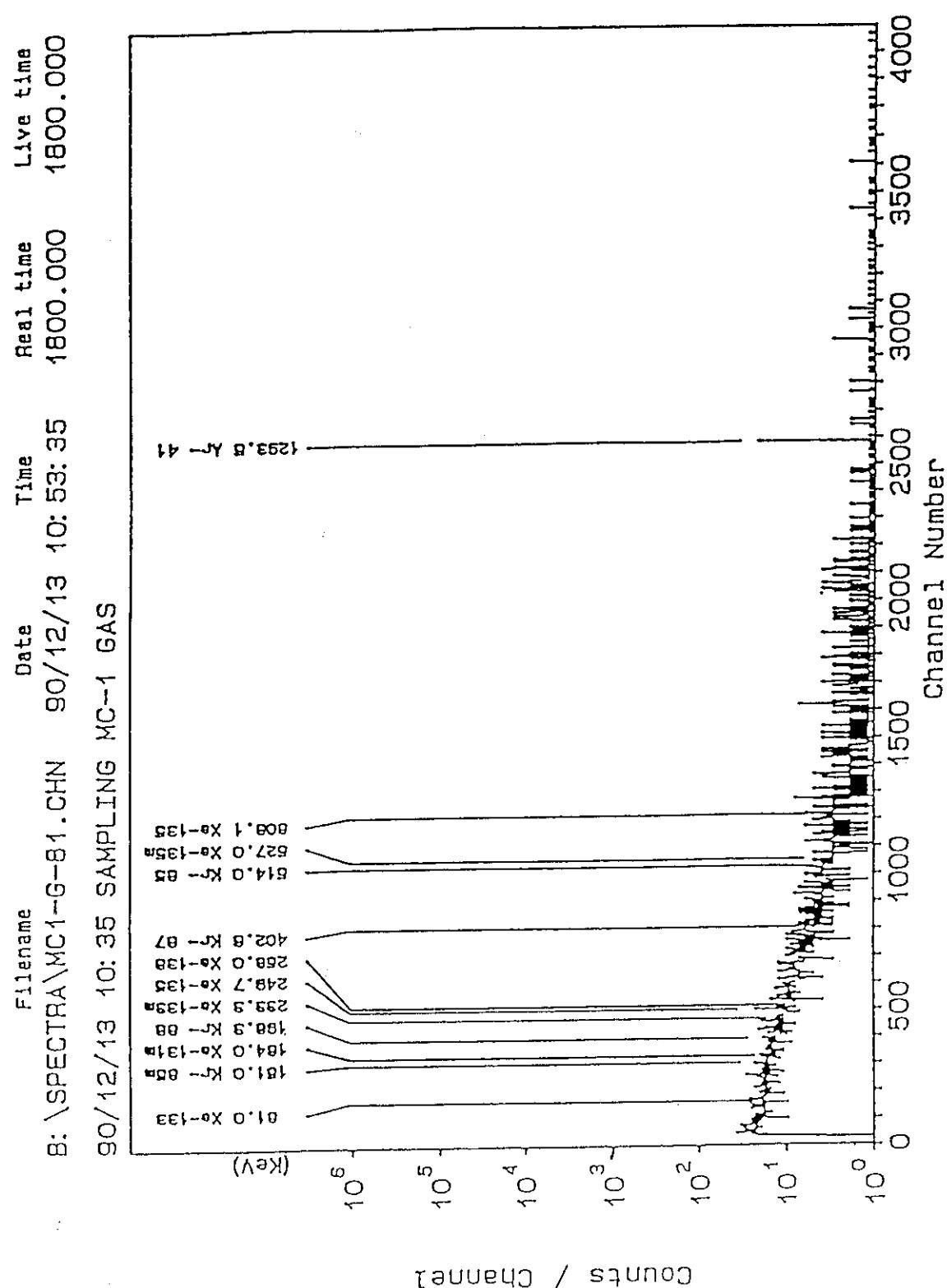


Fig. 6.8 Gamma-ray spectrum of gaseous fission products in the primary cooling water

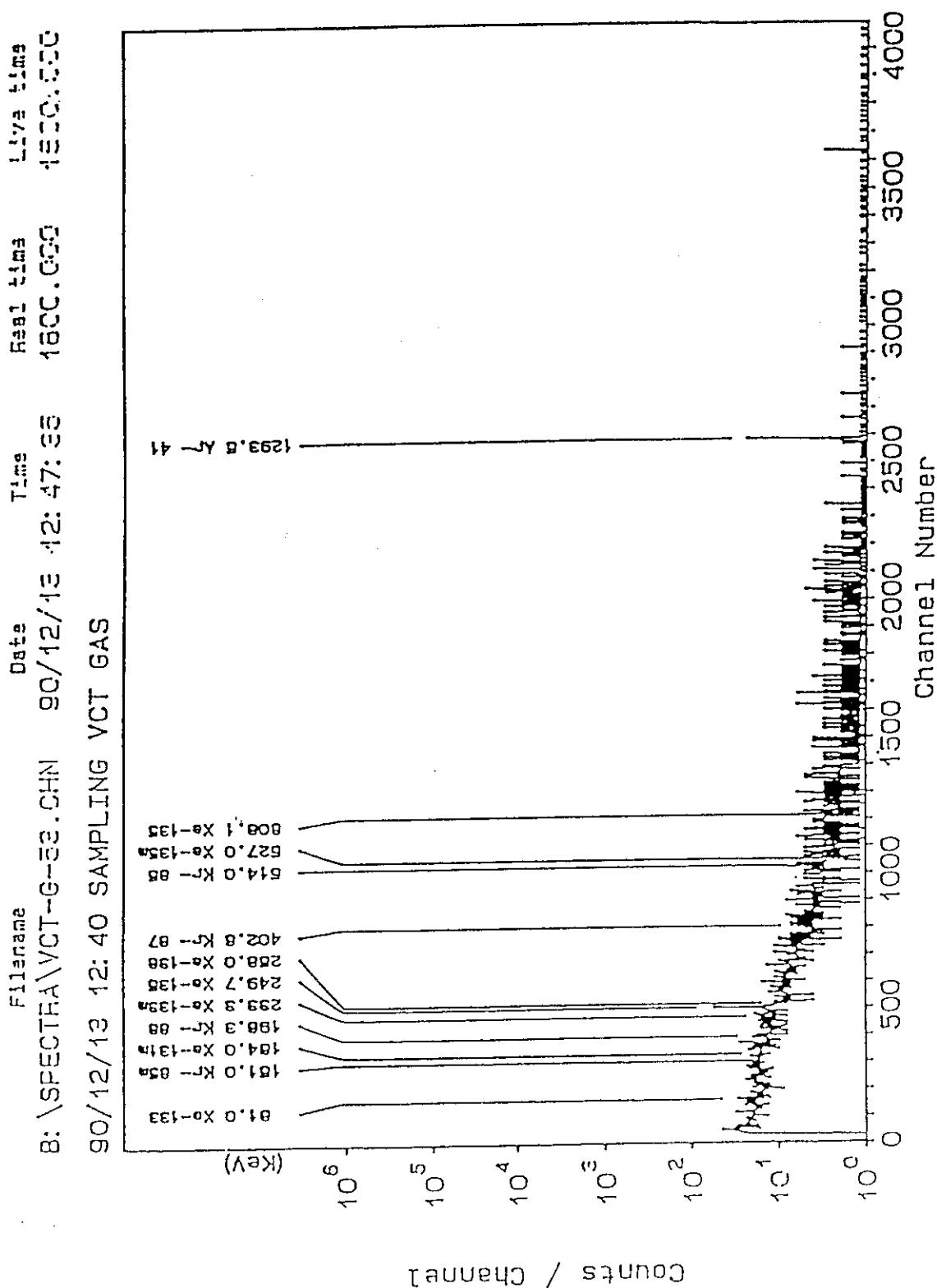


Fig. 6.9 Gamma-ray spectrum of gaseous fission products in the volume control tank gas phase

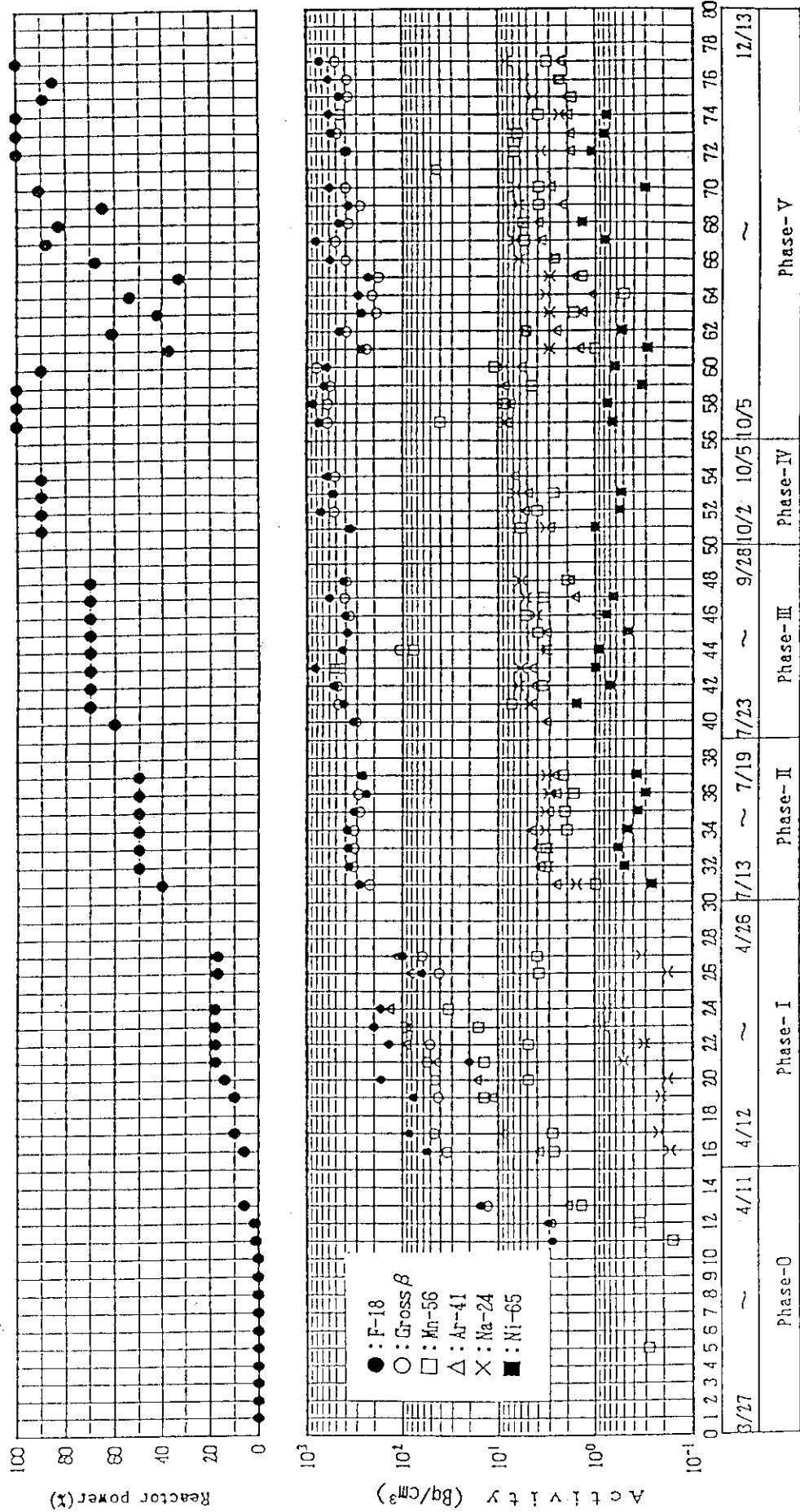


Fig. 6.10 Variation of short half life radionuclide concentrations in the primary cooling water

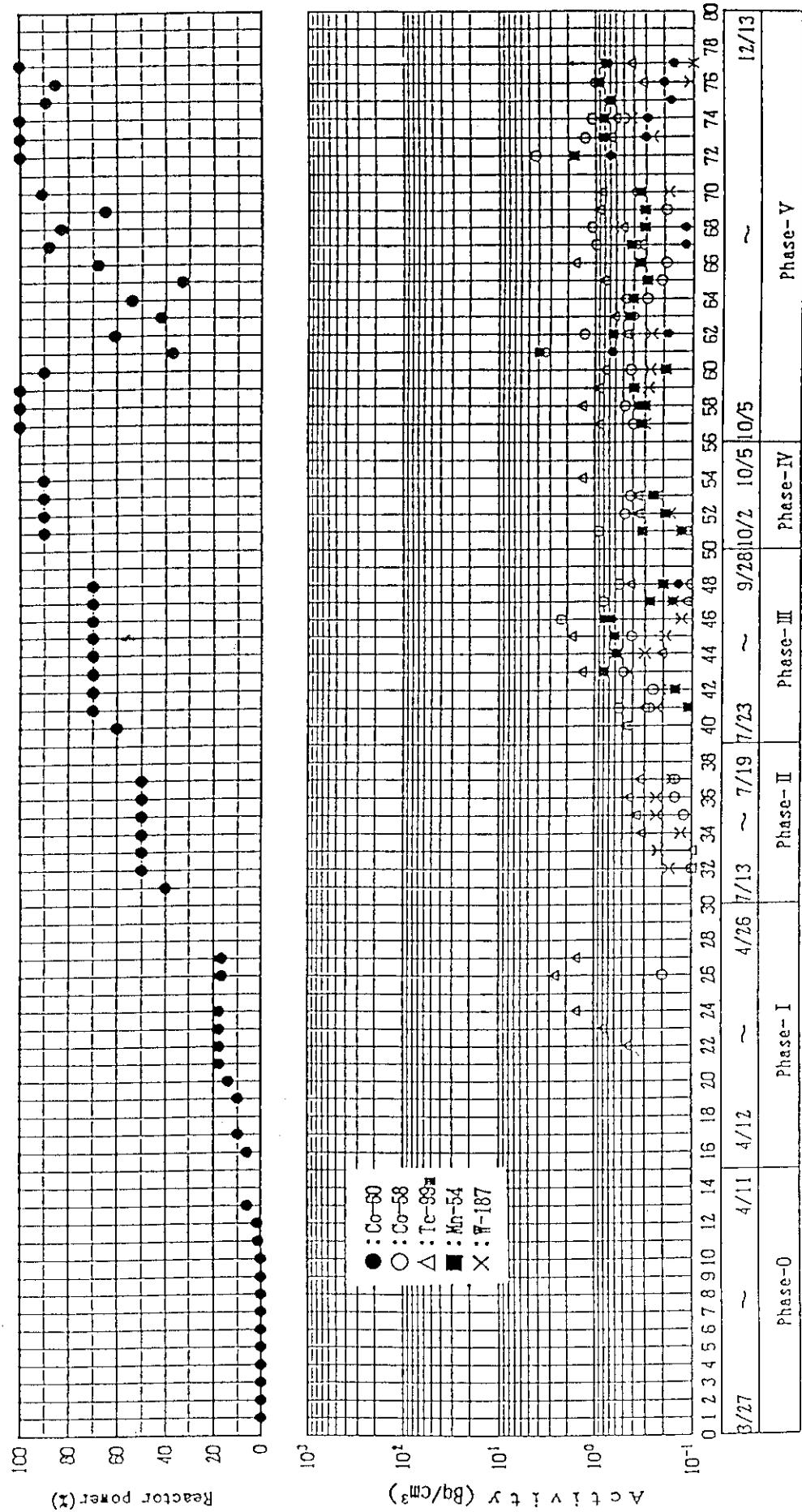


Fig. 6.11 Variation of long half life radionuclide concentrations in the primary cooling water

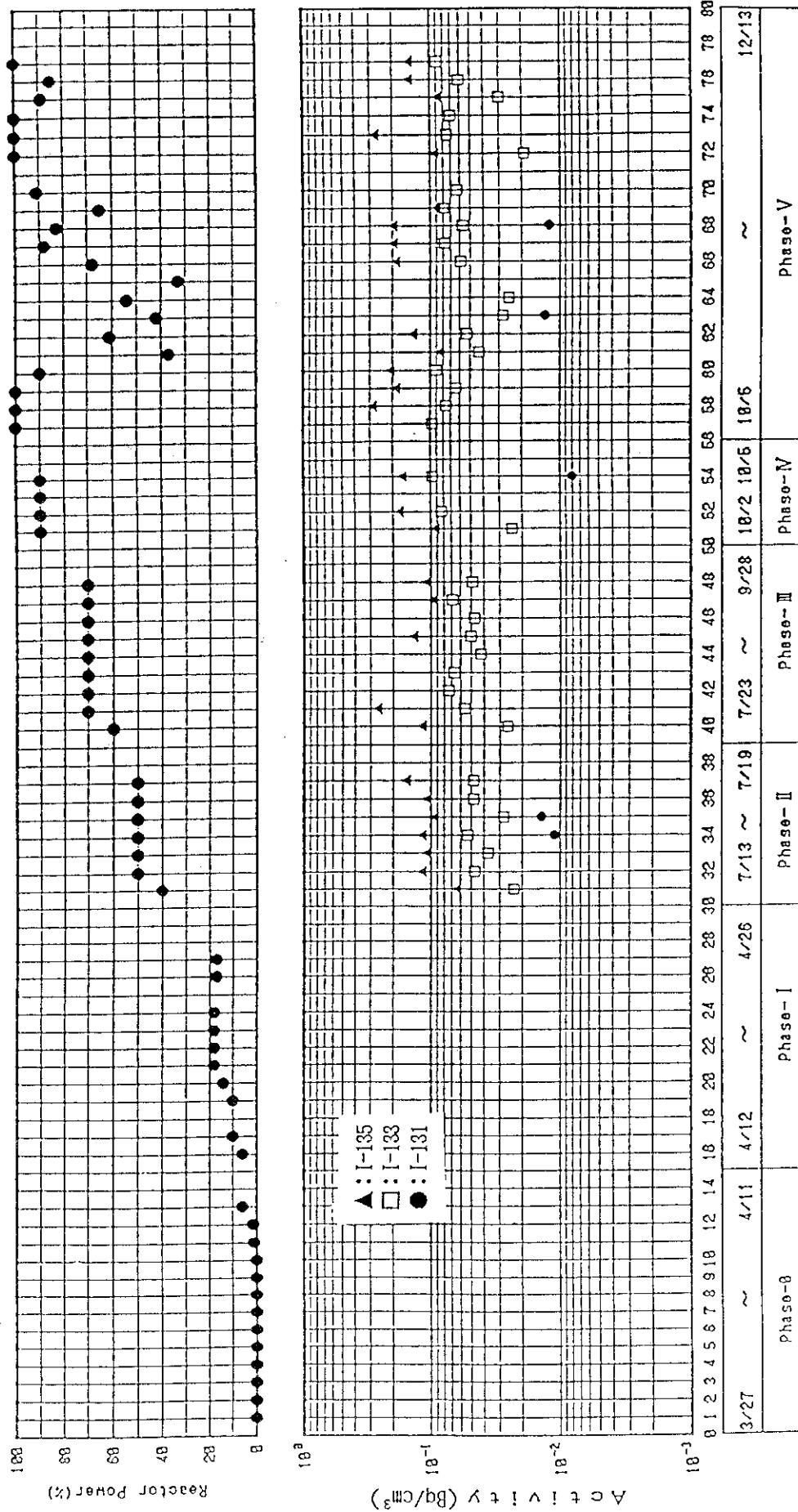


Fig. 6.12 Variation of radioiodine concentrations in the primary cooling water

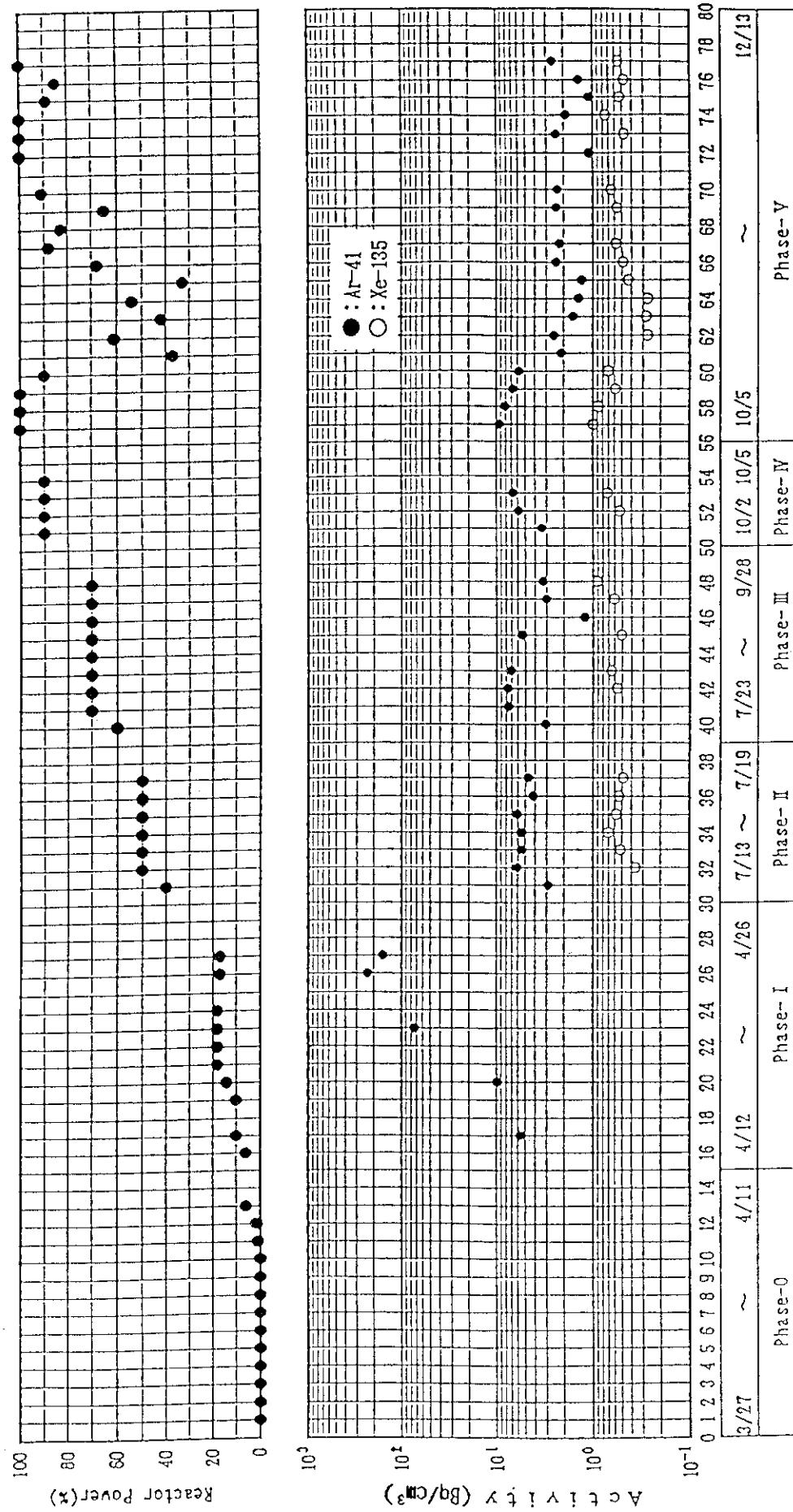


Fig. 6.13 Variation of gaseous fission products activities in the volume control tank gas phase

## 7. 考察

### 7.1 化学分析

#### 7.1.1 一次冷却水

一次冷却水のpH、導電率及び濁度は、基準値を十分に満足しており異常を示す兆候は認められなかった。溶存水素濃度は、体積制御タンク気相部の水素濃度の上昇に伴って上昇し、原子炉出力約50%から基準値の範囲以内となり、一次冷却水の放射線分解を十分に抑制することができた。

出力上昇試験期間中の一次冷却水中の溶存酸素と塩素イオンは、何れも検出限界値(溶存酸素:0.005ppm、塩素イオン:0.01ppm)以下でSCCを発生させる環境にはならなかった。

沸騰水型原子炉(Boiling Water Reactor:BWR)では、一次冷却水中の溶存酸素濃度が、約 280ppb と高いのと溶接時の加熱による引張残留応力の発生並びに材料の銳敏化によって304ステンレス鋼材の粒界型応力腐食割れ(Intergranular stress corrosion cracking:IGSCC)が発生し、問題となっていた。このために炉構成材のSUS304からSUS316への交換、炉構成材の腐食電位の測定及び溶存酸素濃度の低減化対策としての一次冷却水中への水素ガス添加(Hydrogen Water Chemistry:HWC)等の対策が講じられている<sup>3)</sup>。

一方、「むつ」では、一次冷却水中に水素ガスを約30cc/kg-H<sub>2</sub>O(約3ppm)まで溶解して還元性雰囲気にすると同時に、一次冷却水中の溶存酸素濃度を10ppb以下、pHを中性の6~8での水質管理を行っていることから、一次冷却系でのIGSCCの発生は無いのもと考えられる。

#### 7.1.2 体積制御タンク気相部

体積制御タンク気相部の水素濃度は、最高99.8%まで上昇し、酸素濃度は、検出限界値以下(0.1%)で爆発性混合気体が形成されず安全性を確保することができた。

#### 7.1.3 二次冷却水

初回臨界から基底負荷までの二次冷却水のpHと導電率は、長期的なプラントの停止による蒸気系配管内面が汚れていたことにより基準値を若干超えたが、原子炉の高出力運転に伴う蒸気の発生量の増加とSG缶水の連続的なブローダウンによる二次冷却水の入れ替えによって徐々に基準値以内の分析値となった。また、塩素イオン濃度は、基準値0.1ppmの約2倍の0.22ppmを示すこともあったが、制限値(2ppm)以下であった。溶存酸素は、0.2~2ppmの濃度範囲でヒドラジンを二次冷却系に注入してN<sub>2</sub>H<sub>4</sub>+O<sub>2</sub>=N<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub>Oの反応で除去しているため、検出限界値(0.005ppm)以下であった。これまでに陸上PWRで発生している蒸気発生器伝熱管損傷(Steam Generator Tube Rupture:SGTR)のうち、水質に関連する原因としては、①リン酸ソーダの局部濃縮による減肉損傷、②塩素イオンと溶存酸素との濃度上昇によるSCC損傷及

び③復水器や熱交換器伝熱管損傷等からの海水漏洩によって酸生成物質が混入して生ずるデンティング(Denting:へこみ腐食)損傷等がある。

二次冷却水の水質分析の結果、pHと導電率は、制限値以内であったことから遊離アルカリの濃縮による減肉損傷は、考えられない。塩素イオン濃度は、最大でも0.22ppm、溶存酸素濃度は、検出限界値の0.005ppm以下であったことからSCCの発生も考えられない。また、復水器からの海水漏洩は、復水ポンプ出口の酸導電率(陽イオン交換樹脂を通過させた後の導電率)と導電率を連続的にモニタして監視している。これらに異常が認められなかったことから塩分の混入によるデンティング損傷の発生も考えられない。

以上のことから水質に起因するSG伝熱管漏洩の可能性は、ないものと考えられる。なお、最近、二次冷却水の高温アルカリ性の環境によるインコネル600製の蒸気発生器伝熱管の粒界損傷(Intergranular Attack:IGA)の発生が問題となっているが<sup>5)</sup>、IGAは、長時間に渡って運転(概略1万時間程度)されたSGで発生していることから、運転時間の短い「むつ」での発生は無いものと考えられる。

## 7.2 放射化学分析

### 7.2.1 一次冷却水

#### (1) $^{18}\text{F}$ の生成

一次冷却水を、口径0.45μmのミリポアフィルタと陽・陰イオン交換膜で処理した後に、Ge半導体スペクトロメータで放射性核種分析を行った結果、冷却材と炉構成材の放射化生成物と低濃度の放射性よう素が検出された。

特に、 $^{18}\text{F}$ が高濃度で検出されたが、 $^{18}\text{F}$ は、2MeV以上のエネルギーを有する高速中性子が水素核に衝突して減速される際に、その反跳を受けて放出されるプロトンと酸素の同位体の $^{18}\text{O}$ (0.204%の存在比)とで、 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ の反応で生成される<sup>4)</sup>。

Fig. 7.1に示すように $^{18}\text{F}$ 濃度は、全β放射能濃度と同程度の放射能濃度となって原子炉の出力に比例して増加した。なお、測定結果から、陸上PWR炉と比較して、 $^{18}\text{F}$ の生成量が多いものと考えられる。

#### (2) 放射性腐食生成物濃度からの炉構成材の腐食評価

ステンレス鋼材の腐食は、温度、pH、溶存酸素濃度及び流速等によって影響されて異なるが、温度300°Cの水中でのオーステナイト系ステンレス鋼材の腐食速度は、約10mg/dm<sup>2</sup>/month(mm)(約10<sup>-3</sup>mm/y)とされている<sup>11)</sup>。

「むつ」の一次冷却系に使用されているステンレス鋼材の腐食率を1mm(10<sup>-4</sup>mm/y)、原子炉の運転時間を3,000時間として計算した放射性腐食生成物濃度(calculated)と炉出力約90%以上での放射性腐食生成物濃度の実測値(measured)の平均値をTable 7.1に示す。 $^{56}\text{Mn}$ の半減期は、2.587時間であるため、ステンレス鋼材の腐食率が一定であれば10時間程度の原子炉の運転時間で濃度が飽和する。このことから $^{56}\text{Mn}$ 濃度の計算値と実測値とを比較することにより、一次冷却系内で使用しているステンレス鋼材の腐食率を推定すると約0.2 mm(5×10<sup>-5</sup>mm/y)となり

、評価上の腐食率には5倍程度の安全余裕があることが確認された。

### (3) クラッドについて

クラッド(Chalk River Unidentified Deposit:CRUD)とは、口径  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  の濾紙上に残査として残る放射性物質を含む不溶性粒子として定義される。また、濾紙を通過して濾液に存在する放射性物質は、イオン状と見なされている。一次冷却水の不純物や炉内構成材(主として、接液面積の広いSG伝熱管)の腐食生成物が燃料体の表面に付着し、放射化されて長半減期の $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 及び $^{60}\text{Co}$ を含む放射性腐食生成物となり、これが燃料体から剝離されてクラッドが発生する。「むつ」の原子炉は、PWR型で一次冷却系が水素ガス溶解の還元雰囲気の環境であることから、マグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )やフェライト( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ 、 $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ )のクラッドを含む酸化被膜が一次冷却系配管の内面に形成される。また、出入り口で温度差が生ずるSG伝熱管の一次側にもこれらのクラッドが沈着して放射線源となり、運転員等の放射線被曝を増大させる原因となる。このため、クラッド状と陽イオン状の放射性核種の割合を求めて、クラッドの発生状況を把握することが被曝低減化のために重要である。クラッド状の放射性物質が増大する兆候が認められた場合には、浄化系を運転してイオン交換塔のフィルタ効果によりクラッドができるだけ除去し、放射線源の発生を抑制して作業員等の放射線被曝を低減する必要がある。原子炉の高出力状態で求めたクラッド状と陽イオン状の放射性核種の割合をTable. 7.2に示すが、「むつ」では、燃料被覆管や放射化を受ける炉内構成材には低コバルト含有のステンレス鋼材を使用しているために、放射線被曝に寄与する主な放射性核種である $^{60}\text{Co}$ を含むクラッドの発生は少ない状態である。

#### 7.2.2 燃料の健全性評価

燃料被覆管の健全性が損なわれた場合には、一次冷却水中の核分裂生成物である放射性よう素と放射性希ガス( $\text{Kr}$ 、 $\text{Xe}$ )の濃度が上昇する。今回の出力上昇試験期間中では、一次冷却水中で検出された放射性ガスは、 $^{41}\text{Ar}$ だけで、核分裂生成ガスである $^{87}\text{Kr}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 及び $^{135}\text{Xe}$ は検出限界濃度以下であった。また、体積制御タンク気相部から採取したガスの放射性核種分析の結果、主な放射性ガスは、 $^{41}\text{Ar}$ で、核分裂生成ガスの $^{135}\text{Xe}$ が低濃度で検出されたが、上昇傾向は認められなかった。さらに、放射性よう素は、一次冷却水中で若干検出されたが、微量であって燃料被覆管に漏洩があったものとは考えられない。放射性よう素は、燃料被覆管の漏洩以外でも、燃料製作時の表面汚染ウランや炉構成材に不純物として微量に含まれるウランからも生成されるので、これらについて以下の検討を行った。

燃料製作時の表面汚染ウランの許容値は、 $10\text{dpm}/\text{dm}^2$ 以下であり、これが約  $11\text{m}^3$  の一次冷却水に均一に溶解すると、ウラン濃度は、 $2\text{ng}/\text{cm}^3$ 程度となる。原子炉の臨界前に浄化系イオン交換塔の下流と上流から一次冷却水を1ℓ採取し濃縮処理後、固体蛍光法で分析した結果、ウラン濃度は、濃縮処理を含めた検出限界濃度( $0.02\text{ ng}/\text{cm}^3$ )以下であり、表面汚染ウランはほとんどないものと考えられる。

また、制御棒フォロワ及び燃料集合体の充填材に使用されているジルカロイ並

びに燃料集合体の支持格子に使用されているインコネルには、不純物として微量のウランが含まれる。ジルカロイには、約3.5ppm、インコネルには、約1.6ppm(インコネルのウラン量は不明のため陸上炉の放射性よう素濃度から推定した値)程度の天然ウランが不純物として含まれているものと推定される。これらの天然ウランに起因する放射性よう素の一次冷却水中濃度の計算値と今回の出力上昇試験時の実測値をFig. 7.2に示す。同図に見られるように、実測値は、計算値より約一桁低い濃度となった。計算に用いた不純物ウラン量は、仕様に示す上限値を用いたので、一次冷却水中の放射性よう素と体積制御タンク気相部の放射性希ガスは、炉構成材に不純物として微量に含まれる天然ウランから生成されたものと推定され、出力上昇試験時においては、燃料棒に異常は見られず健全であったものと評価される。

#### 7.2.3 蒸気発生器伝熱管と補機冷却系の健全性評価

二次冷却水の放射性よう素濃度( $^{131}\text{I}$ )と全 $\beta$ 放射能濃度及び補機冷却水の全 $\beta$ 放射能濃度は、何れも検出限界濃度以下で、蒸気発生器プローダウンモニタ(CS-14)の指示値も上昇せず各炉出力でのバックグラウンドと同じ値であった。これらのことからS.Gの伝熱管及び補機冷却系には、異常が認められず健全であったものと評価される。

Table 7.1 Radioactive corrosion products in the primary cooling water

Radioactive nuclide	Half life	Concentration(Bq/cm <sup>3</sup> )	
		Calculated	Measured
Mn-54	312.5 d	$1.0 \times 10$	$5.7 \times 10^{-1}$
Mn-56	2.587 h	$4.2 \times 10$	8.1
Co-58	71.3 d	$1.2 \times 10^2$	$8.2 \times 10^{-1}$
Co-60	5.26 y	$1.1 \times 10$	$1.9 \times 10^{-1}$

Table 7.2 CRUD ratio of radioactive corrosion products at high power

Reactor power(%)	1 0 0	1 0 0	1 0 0	9 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	8 9	8 5	8 0
Date Measured	05/10/90	06/10/90	07/10/90	08/10/90	09/12/90	10/12/90	11/12/90	12/12/90	13/12/90	13/12/90
Cr-51	Millipore Cation Ratio	1.1×10 <sup>-1</sup> — —	1.1×10 <sup>-1</sup> — —	1.3×10 <sup>-1</sup> — —	1.7×10 <sup>-1</sup> — —	3.3×10 <sup>-1</sup> 2.6×10 <sup>-1</sup> 1.27	9.6×10 <sup>-2</sup> 2.2×10 <sup>-1</sup> —	— — —	— — —	— — —
Mn-54	Millipore Cation Ratio	5.2×10 <sup>-2</sup> 2.8×10 <sup>-1</sup> 0.19	5.2×10 <sup>-2</sup> 2.5×10 <sup>-1</sup> 0.21	6.8×10 <sup>-2</sup> 3.2×10 <sup>-1</sup> 0.21	2.3×10 <sup>-2</sup> 1.7×10 <sup>-1</sup> 0.14	1.4×10 <sup>-1</sup> 1.4 0.10	5.9×10 <sup>-2</sup> 7.7×10 <sup>-1</sup> 0.08	9.6×10 <sup>-2</sup> 7.2×10 <sup>-1</sup> 0.13	1.7×10 <sup>-2</sup> 6.6×10 <sup>-1</sup> 0.03	2.6×10 <sup>-2</sup> 8.9×10 <sup>-1</sup> 0.03
Mn-56	Millipore Cation Ratio	5.5 3.4×10 <sup>1</sup> 0.16	3.6 4.8 0.75	3.5 1.0 3.5	3.1 8.0 0.39	4.3 2.6 1.65	3.6 2.7 1.33	3.9 — —	3.5×10 <sup>-1</sup> 1.4 0.25	8.3×10 <sup>-1</sup> 9.8×10 <sup>-1</sup> 1.43
Co-58	Millipore Cation Ratio	4.8×10 <sup>-1</sup> 4.6×10 <sup>-2</sup> 10.00	4.2×10 <sup>-1</sup> 4.4×10 <sup>-2</sup> 9.55	3.2×10 <sup>-1</sup> 6.5×10 <sup>-2</sup> 4.92	3.3×10 <sup>-1</sup> 4.5×10 <sup>-2</sup> 7.33	2.0 2.3 0.87	7.2×10 <sup>-1</sup> 6.1×10 <sup>-1</sup> 1.18	1.2 4.5×10 <sup>-1</sup> 2.22	2.0×10 <sup>-1</sup> 4.5×10 <sup>-1</sup> 0.44	3.9×10 <sup>-1</sup> 5.1×10 <sup>-1</sup> 0.76
Fe-59	Millipore Cation Ratio	3.7×10 <sup>-2</sup> — —	6.4×10 <sup>-2</sup> — —	4.6×10 <sup>-2</sup> — —	4.6×10 <sup>-2</sup> 2.4×10 <sup>-1</sup> 0.83	2.0×10 <sup>-1</sup> 2.4×10 <sup>-1</sup> —	6.9×10 <sup>-2</sup> — —	1.1×10 <sup>-1</sup> 7.2×10 <sup>-2</sup> 1.53	2.9×10 <sup>-2</sup> 6.2×10 <sup>-2</sup> 0.47	7.4×10 <sup>-2</sup> 8.0×10 <sup>-2</sup> 0.93
Co-60	Millipore Cation Ratio	5.0×10 <sup>-2</sup> 3.1×10 <sup>-1</sup> 0.12	3.6×10 <sup>-2</sup> — —	3.3×10 <sup>-2</sup> — —	2.2×10 <sup>-2</sup> — —	2.3×10 <sup>-1</sup> 4.6×10 <sup>-1</sup> 0.50	8.1×10 <sup>-2</sup> 2.1×10 <sup>-1</sup> 0.43	1.3×10 <sup>-1</sup> 1.6×10 <sup>-1</sup> 0.81	3.0×10 <sup>-2</sup> 1.4×10 <sup>-1</sup> 0.21	5.0×10 <sup>-2</sup> 1.5×10 <sup>-1</sup> 0.33
Ni-65	Millipore Cation Ratio	6.5×10 <sup>-1</sup> — —	7.3×10 <sup>-1</sup> — —	3.3×10 <sup>-1</sup> — —	6.2×10 <sup>-1</sup> — —	1.1 — —	8.1×10 <sup>-1</sup> — —	7.5×10 <sup>-1</sup> — —	— — —	— — —
W-187	Millipore Cation Ratio	3.0×10 <sup>-1</sup> — —	3.5×10 <sup>-1</sup> — —	2.8×10 <sup>-1</sup> — —	2.7×10 <sup>-1</sup> — —	9.4×10 <sup>-2</sup> — —	2.6×10 <sup>-1</sup> — —	4.2×10 <sup>-1</sup> — —	5.4×10 <sup>-2</sup> — —	1.1×10 <sup>-1</sup> 1.0×10 <sup>-1</sup> —

Unit : Bq/cm<sup>3</sup>

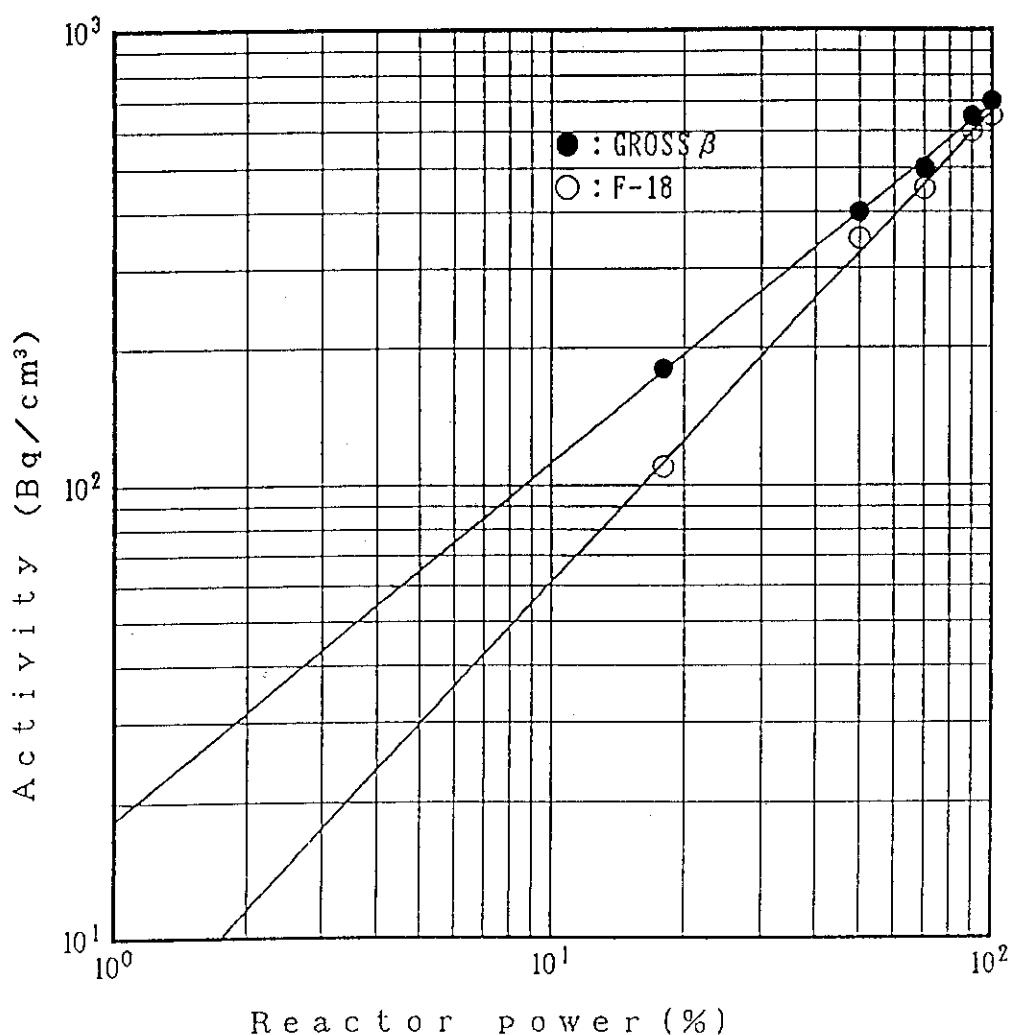


Fig. 7.1  $^{18}\text{F}$  activity and gross $\beta$  activity in the primary cooling water

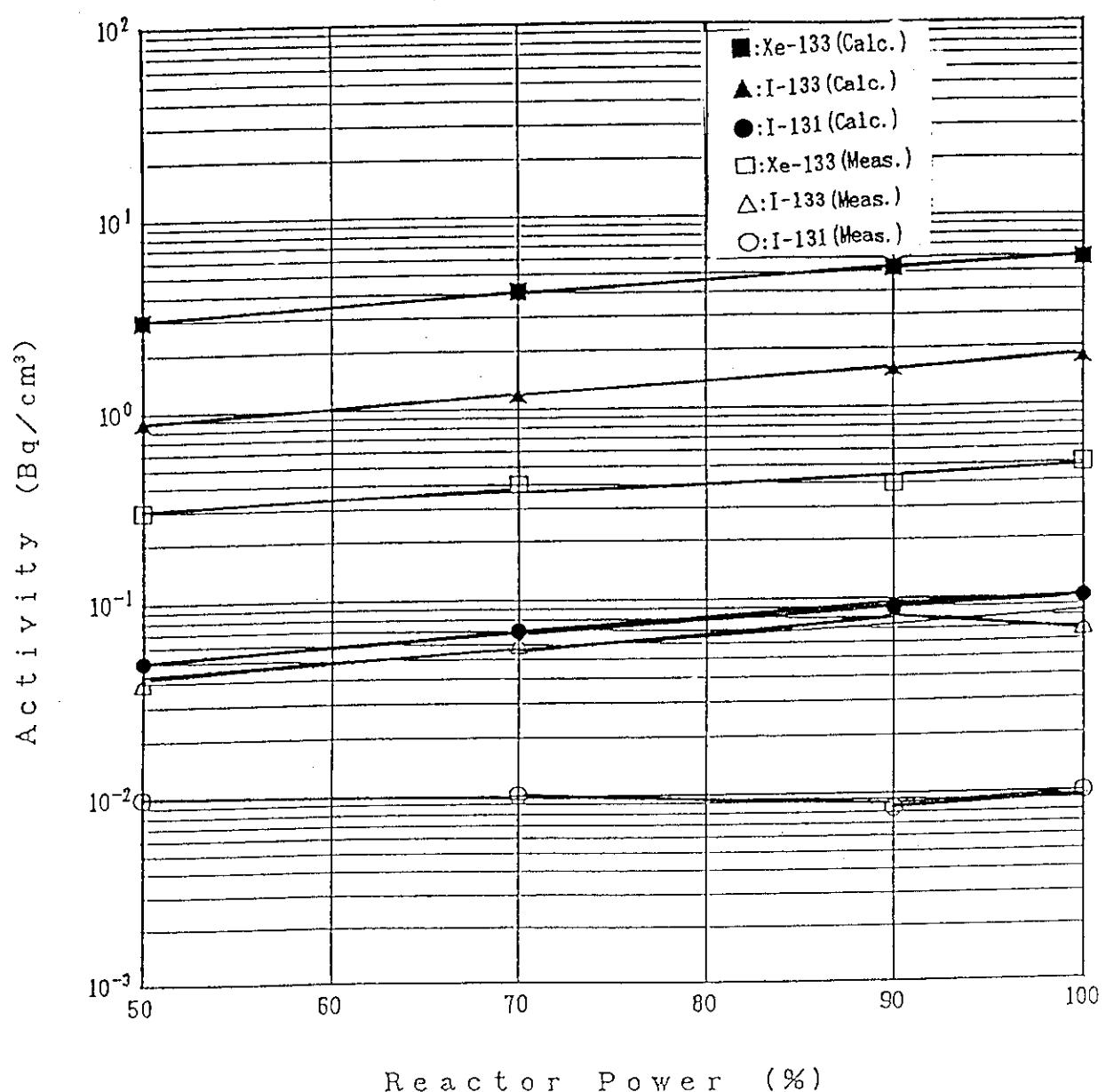


Fig. 7.2 Comparison of the calculated and measured radioiodine contents in the primary cooling water

## 8. まとめ

化学試験の結果、一次冷却水の水質は、長期間の停止にもかかわらず良好に維持管理されていたために、全試験期間を通じて基準値以内であった。しかし、二次冷却水の水質は、長期間の停止で蒸気配管系内が汚れていたために原子炉の運転初期で若干、基準値を超えた値もあったが、制限値を超えることなく、原子炉の運転に支障をきたすことはなかった。また、体積制御タンク内のガス分析の結果でも、酸素濃度は、検出限界濃度以下であり、爆発性混合気体が形成されることもなく全試験期間中において安全が確保された。

一方、放射化学試験の結果、一次冷却水中からは、燃料被覆管の漏洩で放出される放射性希ガスは、検出されず、放射性よう素は、低い濃度で検出されたが、上昇傾向は認められなかった。二次冷却水と補機冷却水からは、放射性物質が検出されなかった。これらのことから、出力上昇試験期間中においては、燃料被覆管、蒸気発生器伝熱管及び補機冷却系での使用機器等は、十分に健全であることが確認できた。

以上の試験を含めて数多くの試験結果から、「むつ」の原子炉は、設計どおりの十分な性能を有することが確認され、原子力船として認可された。

短い運転時間であったものの、試験結果からステンレス鋼の腐食率、クラッド状と陽イオン状の放射性核種の存在割合等に関するデータを取得できた。これらは、「むつ」の設計評価に有益なデータであるとともに、今後の船用炉研究開発にも活用されることが期待される。

なお、今回の経験から、次期船用炉を計画する上で水・ガス管理に関する今後の課題としては、以下のことが考えられる。

① 原子力船の特殊性としては、陸上炉と異なり振動を伴うために化学天秤が使用できないために試薬等の計量ができず、通常の化学分析が不可能である。このため、全ての化学分析作業が、機器分析で可能なように改善する必要がある。分析方法を機器分析等に改善することにより分析作業に伴う放射線被曝の低減化が可能となる。

② 作業環境の改善としての化学分析室や放射能測定室等の広いスペースの確保が陸上炉と異なり困難であることから、できるだけ少人数での分析作業や測定作業にする必要がある。このため、機器分析装置を完全自動オンライン化に改善してコンパクト化、省力化する必要がある。PWRの一次冷却系や二次冷却系のプラントは、高温高圧で特に一次冷却水には高濃度の放射性物質が含まれることから、検出器の破損等による一次冷却水の漏洩は事故に結びつくことになる。このため、一般的に普及している機器分析装置は、測定条件に適するように改良する必要がある。高温水用のpH電極、高温水用溶存酸素計及び高温水用溶存水素計等の開発が進展している<sup>5)</sup>。さらに、水質分析結果をプラントの異常診断の手段として活用できるような機器分析装置の研究開発が水・ガス管理の今後の大変な課題である。

③ 上記の機器分析装置関係以外の測定装置としては、長期的な航海のためと作業員の被曝低減対策として、燃料破損の早期検出と破損拡大防止のための破損燃料

検出装置と燃料の交換装置及び放射線源の形成予防対策として、放射性腐食生成物の発生と一次冷却系への付着・沈着を予測するための計算コードの整備と解析等の研究開発、また、重大事故防止対策として蒸気発生器伝熱管や蒸気系配管等の腐食監視モニタ等の研究開発が必要と考えられる。

### 謝 言

今回の試験を遂行するにあたり、放射化学第一研究室諏訪武主任研究員から貴重なる御助言と御指導を承りました。また、分析センタ武石秀世課長代理並びに放射化学第二研究室米澤伸四郎主査には蒸気発生器二次側付着物の化学分析や遮蔽材中の不純物の放射化分析を心良く実施していただきました。

以上の諸氏に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 長谷川正義：ステンレス鋼便覧，日刊工業新聞社(1988).
- 2) 日本原子力研究所 所内資料
- 3) 腐食防食協会61-2分科会：防食技術, 36, No. 8(1987).
- 4) 田上嵩他：日本原子力学会誌, 6, 12-21(1964).
- 5) 腐食防食協会61-2分科会：防食技術, 36, No. 7(1987).

検出装置と燃料の交換装置及び放射線源の形成予防対策として、放射性腐食生成物の発生と一次冷却系への付着・沈着を予測するための計算コードの整備と解析等の研究開発、また、重大事故防止対策として蒸気発生器伝熱管や蒸気系配管等の腐食監視モニタ等の研究開発が必要と考えられる。

### 謝 謝

今回の試験を遂行するにあたり、放射化学第一研究室諏訪武主任研究員から貴重なる御助言と御指導を承りました。また、分析センタ武石秀世課長代理並びに放射化学第二研究室米澤伸四郎主査には蒸気発生器二次側付着物の化学分析や遮蔽材中の不純物の放射化分析を心良く実施していただきました。

以上の諸氏に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 長谷川正義：ステンレス鋼便覧、日刊工業新聞社(1988).
- 2) 日本原子力研究所 所内資料
- 3) 腐食防食協会61-2分科会：防食技術, 36, No. 8(1987).
- 4) 田上嵩他：日本原子力学会誌, 6, 12-21(1964).
- 5) 腐食防食協会61-2分科会：防食技術, 36, No. 7(1987).

検出装置と燃料の交換装置及び放射線源の形成予防対策として、放射性腐食生成物の発生と一次冷却系への付着・沈着を予測するための計算コードの整備と解析等の研究開発、また、重大事故防止対策として蒸気発生器伝熱管や蒸気系配管等の腐食監視モニタ等の研究開発が必要と考えられる。

### 謝 謝

今回の試験を遂行するにあたり、放射化学第一研究室諏訪武主任研究員から貴重なる御助言と御指導を承りました。また、分析センタ武石秀世課長代理並びに放射化学第二研究室米澤伸四郎主査には蒸気発生器二次側付着物の化学分析や遮蔽材中の不純物の放射化分析を心良く実施していただきました。

以上の諸氏に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 長谷川正義：ステンレス鋼便覧、日刊工業新聞社(1988).
- 2) 日本原子力研究所 所内資料
- 3) 腐食防食協会61-2分科会：防食技術, 36, No. 8(1987).
- 4) 田上嵩他：日本原子力学会誌, 6, 12-21(1964).
- 5) 腐食防食協会61-2分科会：防食技術, 36, No. 7(1987).

## 付録-I

## 二次冷却設備水モニタ警報設定値確認試験

## 1. 目的

二次冷却系では、蒸気発生器缶水を連続的に船外にブローダウンして水質を良好に維持している。蒸気発生器伝熱管が破損した場合には、一次冷却系と二次冷却系の差圧により二次冷却系に一次冷却水が漏洩するので、二次冷却系が放射性物質によって汚染されるだけでなく、一次冷却水の喪失事故にも発展する可能性がある。蒸気発生器伝熱管の健全性は、二次冷却水中の全 $\beta$ 放射能濃度を定期的に測定することと二次冷却設備水モニタ(CS-14)による連続監視によって確認している。また、モニタの警報によって、伝熱管が破損している蒸気発生器を自動的に隔離して、放射性物質の環境への放出を防止している。このモニタは、原子炉に近い管理区域内に設置されており原子炉の運転によるバックグラウンドの変動が予想されたために出力上昇試験で警報を設定することとした。

本試験では、蒸気発生器のブローダウン・サンプリングラインに設置されている二次冷却設備水モニタの警報レベルの設定を目的として、原子炉出力約70%の平成2年9月27日から平成2年9月28日に行なった。以下にその方法と結果を示す。

## 2. 概要

炉出力約70%で運転中の二次冷却設備水モニタの指示値を読み取り平均値を算出し、その値をバックグラウンド計数率とする。バックグラウンド計数率と限界計数率との和を原子炉出力100%に換算した値以内に警報レベルを設定する。

## 3. 初期条件

- 1) 設定に係わる放射線監視盤等の電源が投入されていること。
- 2) 炉出力約70%で二次冷却設備水モニタ(CS-14)の指示値が安定していること。
- 3) 二次冷却設備水モニタの検出器周辺(原子炉補機室)の線量当量率が安定していること。

## 4. 注意事項

特になし

## 5. 安全系統変更の有無

なし

## 6. 使用器材

サーベイメータ

## 7. 通信連絡方法

モビックス(制御室=原子炉補機室)

## 8. 計測員配置

制御室 3名

指揮 1名

記録 1名

連絡 1名  
 原子炉補機室 2名  
 サーベイメータによる線量当量率の測定 1名  
 連絡 1名

## 9. 手 順

- 1) 炉出力約70%での二次冷却設備水モニタ(CS-14)の指示値を4時間毎に8回読み取り平均値を算出し、その値をバックグラウンド計数率とする。
- 2) 下記の式から限界計数率( $N_m$ )を算出する。

$$N_m = 3 \cdot (Nb / \tau)^{1/2}$$

ここで

$N_m$ :限界計数率(cps)

$N_b$ :バックグラウンド計数率(cps)

$\tau$ :時定数(sec)

- 3) バックグラウンド計数率( $N_b$ )及び限界計数率( $N_m$ )について、以下の方法により炉出力約100%に換算した値を算出する。

$$(100\% \text{換算値}) = 10/7 \cdot Nb + (10/7)^{1/2} \cdot N_m$$

## 10. 判定条件

二次冷却設備水モニタの警報レベルがバックグラウンド計数率と限界計数率との和を原子炉出力約100%に換算した値以内に設定されていること。

## 二次冷却設備水モニタ試験記録（炉出力約70%）

B - 16

試験項目	試験結果
二次冷却設備水モニタの警報設定値確認 (4.5)cps	良 好

## レコーダの読み

回数	時刻	指示値(cps) (CS-14)
①	08:30	2. 1
②	12:30	2. 5
③	16:30	2. 5
④	20:30	2. 5
⑤	24:30	2. 4
⑥	04:30	2. 7
⑦	08:30	2. 7
⑧	12:30	2. 7
平均値		2. 5
限界計 数率		0. 95
100%換算値		4. 5

## 付録-II

## 漏洩監視設備警報設定値確認試験

## 1. 目的

U.S.AECのREGULATORY GUIDE 1.45(May.1973)によると、原子炉冷却材圧力バウンダリから格納容器内への一次冷却水の漏洩監視設備は、1 Gallon per minute; 約3.8ℓ/m<sup>3</sup>; 228 ℓ/h)以下の漏洩が検出可能な性能を有するものとされている。「むつ」には、この漏洩監視設備として、格納容器サンプポンプ起動間隔測定装置とモニタ監視装置の二種類が設置されている。モニタ監視装置としては、放射線監視設備と兼用する格納容器ダストモニタ(GD-5)と格納容器ガスモニタ(GD-6)が設置されている。原子炉の運転に伴って、格納容器内では、放射化により放射性物質が生成されモニタの指示値の変動が予想された。このため、本モニタの警報設定は、出力上昇試験の一環として行うこととした。本試験では、格納容器ダストモニタと格納容器ガスモニタの警報レベルの設定を行う。

## 2. 概要

炉出力約70%で運転中の格納容器ガスモニタと格納容器ダストモニタの指示値を読み取り、この平均値を出力100%に換算してバックグラウンドとする。格納容器ガスモニタは、バックグラウンドの2倍以内に、格納容器ダストモニタは、バックグラウンドの10倍以内に警報レベルを設定する。

## 3. 初期条件

- 1) 設定に係る放射線監視盤の電源が投入されていること。
- 2) 原子炉は出力約70%で運転され、一次冷却設備水モニタ(PU-2)の指示値が安定していること。
- 3) 格納容器ガスモニタ及び格納容器ダストモニタの検出器周辺(管理区域通風機室)の線量当量率が安定していること。

## 4. 注意事項

特になし

## 5. 安全系統変更の有無

なし

## 6. 使用機器

サーベイメータ

## 7. 通信連絡方法

モビックス(制御室=通風機室)

## 8. 計測員配置

制御室 3名

指揮 1名

記録 1名

連絡 1名

通風機室 2名

サーベイメータによる線量当量率の測定 1名

連絡 1名

#### 9. 手 順

- 1) 漏洩監視設備の格納容器ガスモニタ(GD-6)及び格納容器ダストモニタ(GD-5)の指示値を4時間毎に8回読み取り平均値を算出し、その値を100%に換算してバックグラウンドとする。
- 2) 格納容器ガスモニタは、バックグラウンドの2倍以内に、格納容器ダストモニタは、バックグラウンドの10倍以内に警報レベルが設定されていることを確認する。

#### 10. 判定条件

- 1) 格納容器ガスモニタの警報レベルがバックグラウンドの2倍以内に設定されていること。
- 2) 格納容器ダストモニタの警報レベルがバックグラウンドの10倍以内に設定されていること。

## 漏洩監視設備試験記録（炉出力約70%）

B - 15

試験項目	試験結果
1) 格納容器ガスモニタ警報設定値確認 ( $6.0 \times 10^{-12}$ A)	良好
2) 格納容器ダストモニタ警報設定値確認 (27) cps	良好

## レコーダ指示値の読み

回数	時刻	ガスモニタ(A) (GD-6)	ダストモニタ(cps) (GD-5)
①	08:30	$2.1 \times 10^{-12}$	1.7
②	12:30	$2.2 \times 10^{-12}$	1.9
③	16:30	$2.2 \times 10^{-12}$	2.0
④	20:30	$2.1 \times 10^{-12}$	2.0
⑤	24:30	$2.1 \times 10^{-12}$	1.8
⑥	04:30	$2.1 \times 10^{-12}$	1.8
⑦	08:30	$2.1 \times 10^{-12}$	1.8
⑧	12:30	$2.0 \times 10^{-12}$	1.8
平均値		$2.1 \times 10^{-12}$	1.9
ハ'ックゲ'ラント'		$3.0 \times 10^{-12}$	2.7
ハ'ックゲ'ラント' の10倍の値			27.0
ハ'ックゲ'ラント' の2倍の値		$6.0 \times 10^{-12}$	

## 付録 - III

## 浄化系性能確認試験

## 1. 目的

体積制御系には、一次冷却水を浄化するため、一基を予備とする二基のイオン交換塔が設置されている。このイオン交換塔の除去性能は、除染係数(D.F:Deco-contamination Factor)で10以上とされている。原子炉の通常運転時に浄化系イオン交換塔が規定の除去性能を有することを確認する。

## 2. 概要

炉出力が約90%で安定に運転されている状態で、浄化系イオン交換塔の上流及び下流のサンプリングラインより一次冷却水を一定量採取し、蒸発乾固後GM計数装置で全放射性物質量を計測し、放射能濃度を算出する。この比(=入口放射能濃度／出口放射能濃度)からDF値を算出し浄化系イオン交換塔の除去性能を確認する。

## 3. 初期条件

## 1) 一定流量の保持

浄化系の流量一定保持

## 2) 炉出力一定保持

炉出力約90%で安定していること。

## 3) サンプリング系統が正常な機能を有していること。

## 4. 注意事項

なし

## 5. 安全系統変更の有無

なし

## 6. 使用機材

通常使用機器

## 7. 通信連絡方法

モビックス

## 8. 計測員配置

責任者：1名、計測員：2名

## 9. 手順

## 1) 初期条件をチェックする。

## 2) 正常な測定値を得るために、サンプリングラインを予め一定時間循環させる。

## 3) 試料採取は、最初に浄化系イオン交換塔下流側から行い、次に上流側を約10分間循環後に行なう。

## 4) 試料水を100mℓのポレエチレン容器に採取し、試料採取日時とサンプリング場所を記録する。

## 5) 1mℓの試料水をマイクロピペットで正確にとって試料皿に入れる。

6) 試料皿中の試料水を赤外線ランプ下で蒸発乾固し、試料採取時刻から正確に1時間後に計測する。

### 7) 計 算

試料の全放射能濃度A [Bq/cm<sup>3</sup>]は次式により求める。

$$A \text{ [Bq/cm}^3\text{]} = \frac{\text{(全計数率 - パックグラウンド) (cpm)}}{\text{検出器の効率} \times 60 \times \text{試料の量 (ml)}}$$

### 10. 判定条件

浄化系イオン交換塔の下流及び上流の放射能濃度をA<sub>o</sub>、A<sub>in</sub>とするとイオン交換塔のDF値は次式で表される。

$$DF = \frac{A_{in}}{A_o}$$

このDF値が10以上であること。

### 11. 計測データ

- 1) 浄化系イオン交換塔下流と上流との放射能濃度A<sub>o</sub>、A<sub>in</sub> (Bq/cm<sup>3</sup>)
- 2) DF値

浄化系性能試験記録(炉出力約90%)

測定年月日 2年10月3日				E-23
計測 時刻	原子炉 出力	A <sub>o</sub>	A <sub>in</sub>	DF値
	(%)	(Bq/cm <sup>3</sup> )	(Bq/cm <sup>3</sup> )	
12:30	90	<4.8×10 <sup>-2</sup>	8.5×10 <sup>2</sup>	>1.8×10 <sup>4</sup>