

JAERI-Review

2003-024



JP0350704



JMTR計測用配管水漏れ対策報告書

2003年10月

(編)伊藤 治彦・本間 健三・板橋 行夫
田畠 俊夫・明石 一朝・稻場 幸夫
熊原 肇・高橋 邦裕・北島 敏雄・横内 猪一郎

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

本レポートは、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。
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

J M T R 計測用配管水漏れ対策報告書

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

(編) 伊藤 治彦・本間 健三・板橋 行夫・田畠 俊夫・明石 一朝
稻場 幸夫・熊原 肇・高橋 邦裕・北島 敏雄・横内 猪一郎

(2003年8月5日受理)

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉（JMTR）において、平成14年12月6日に、漏水検知器の警報が発報し、平成14年12月10日、一次冷却系統の精製系統充填ポンプNo. 1の出口配管に取付けられた圧力計導管に水漏れが確認された。

日本原子力研究所では、所内外の専門家から構成する「JMTR 計測用配管水漏れ調査検討委員会」を平成14年12月16日に設置し、平成15年1月6日までに公開で3回開催し、現地調査及び関係者からの聴き取り調査等を含め、水漏れの状況及び発生原因を明らかにするとともに、水漏れ発生に関する対策及び安全管理への取組みについて同様な事象の再発防止策をとりまとめた。

その後、委員会報告を受け、水漏れが発生した箇所の修復と類似箇所への水平展開を図るとともに、水漏れ対策に限らず、原子炉施設の安全運転の遂行を目的として、必要な設備の改善及び運転手引の改善、教育訓練、情報の共有化、品質保証活動の充実など具体策を実施した。

本報告書は、ハード、ソフト両面の改善策とその実施結果についてまとめたものである。

The Recovery from Water Leakage Accident in JMTR

(Eds.)Haruhiko ITO, Kenzo HONMA, Yukio ITABASHI, Toshio TABATA,
Kazutomo AKASHI, Yukio INABA, Hajime KUMAHARA,
Kunihiro TAKAHASHI, Toshio KITAJIMA and Iitiro YOKOUCHI

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

(Received August 5,2003)

On December 10th, 2002, the water leak was found from an instrumentation pipe for pressure measurement attached to the exit pipe of No.1 charging pump in a purification system of a primary cooling system at JMTR in the Oarai Research establishment, JAERI.

The Investigation Committee to study of the accident about water leakage from an instrumentation pipe was organized by specialists on December 16th. And the meetings were held in public 3 times not latter than January 6th, 2003. They studied the cause and countermeasures of a broken pipe, and also investigated enhancement of safety management.

Department of JMTR has made the plan for recovery of the accident with restoration of the instrumentation pipe, application to same situation components as a cracked pipe, check and review of safety management on reactor operation that operating manual, education for reactor operators and managers, communication system on operation and maintenance information, quality assurance. And the recovery works were completed.

In this paper report the recovery plan and the results of recovery works on water leakage accident of the instrumentation pipe in JMTR includes of the safety management of reactor operation.

Keywords: JMTR, Research Reactor, Accident, Recovery, Fatigue, Water, Leakage Detector, and Manual

目 次

1 JMTR 計測用配管水漏れ調査検討委員会での検討結果	1
1.1 水漏れ発生時の状況	1
1.2 発生時刻と水漏れ量の推定	1
1.2.1 発生時刻の推定	2
1.2.2 水漏れ量の評価	2
1.3 原因調査と対策	2
1.3.1 き裂発生の原因	2
1.3.2 安全管理への取組みに関する問題点	3
1.3.3 き裂発生部の修復と類似箇所への水平展開	4
1.3.4 安全管理に関する対策	4
2 対策の実施	6
2.1 対策の実施計画	6
2.1.1 き裂発生部の対策実施計画	6
2.1.2 安全管理に関する対策実施計画	6
2.2 対策の実施結果	11
2.2.1 き裂発生部の修復	11
2.2.2 類似箇所の対策	11
2.2.3 漏水検知器の改良	12
2.2.4 ARGUS の改良	15
2.2.5 運転手引の改善	18
2.2.6 教育訓練の充実	21
2.2.7 情報の共有化	21
2.2.8 品質保証活動の充実	22
2.3 不断の安全管理	22
3 おわりに	24
付録 水漏れ監視プログラム注意喚起報発報レベルの設定根拠	72

Contents

1	Investigation Result by a Committee for Water Leakage	1
1.1	Outline of the Accident	1
1.2	Estimation of the Bleak Out Time and Leaked Water Volume	1
1.2.1	Estimation of the Bleak Out Time	2
1.2.2	Estimation of the Leaked Water Volume	2
1.3	Investigation Result about the Factor of the Accident and the Recovery Planning	2
1.3.1	The Factor about Crack Outbreak	2
1.3.2	The Problem on Safety Management	3
1.3.3	Recovery Planning	4
1.3.4	Check and Review on Safety Management	4
2	Recovery Works	6
2.1	Recovery Work Plan	6
2.1.1	Recovery Work Plan of the Instrumentation Pipe	6
2.1.2	Work Plan about the Check and Review on Safety Management	6
2.2	Results of Recovery Works	11
2.2.1	Restoration of the Cracked Instrumentation Pipe	11
2.2.2	Application to Same Situation Components as a Cracked Pipe	11
2.2.3	Modification of the Water Leakage Detector	12
2.2.4	Modification of ARGUS	15
2.2.5	Check and Review about Operation Manual	18
2.2.6	Modification on Education and Training	21
2.2.7	Modification on Communication	21
2.2.8	Modification on Quality Assurance	22
2.3	Usual Safety Management	22
3	In Conclusion	24
Appendix	The Basic to Set the New Warning Point on Water Leakage Rate	72

図表一覧

図 1 原子炉一次冷却系統概略図	25
図 2 主循環系機器室平面図（漏水検知器と ITV の配置）	26
図 3 第2排水貯槽（2）への排水ライン	27
図 4 充填ポンプ出口配管の詳細	28
図 5 漏水による第2排水系貯槽（2）の水位変化	29
図 6 脱気タンク水位の変化	30
図 7 第2排水系貯槽（2）の水位上昇から評価した水漏れ量	31
図 8 き裂発生の原因調査結果	32
図 9 修復した計測配管の構造	33
図 10 浸透探傷試験対象配管アイソメ図（例）	34
図 11 改良型漏水検知器センサの構造	35
図 12 漏水検知器回路	36
図 13 漏水検知器作動表示盤	37
図 14 ARGUS によるトレンド表示（改良前）	39
図 15 ARGUS によるトレンド表示（改良後）	39
図 16 水漏れ監視プログラム（LARD）改良前の貯槽水位変化	40
図 17 水漏れ監視プログラム（LARD）改良後の貯槽水位変化	40
図 18 水漏れ監視プログラム（LEAK）改良前の流出率トレンド	41
図 19 水漏れ監視プログラム（LEAK）改良後の流出率トレンド	41
図 20 漏水検知の現状と改良結果	42
図 21 LARD による注意喚起報発報時期	43
図 22 LEAK による注意喚起報発報時期	43
図 23 漏水検知後の対応基本フローチャート	44
図 24 警報要因分析結果	45
図 25 警報発報時の調査・措置フローチャート	46
図 26 運転業務日誌のフォーマット	48
図 27 JMTR 原子炉の運転情報	49

写真1 浸透探傷試験状況	50
写真2 結露による感受性確認試験方法	51
写真3 水漏れ検知能力確認試験方法	52
写真4 水分センサと漏水センサの取り付け状態	53
表1 修復部配管溶接始端部R測定及び分岐管固有振動数測定結果	54
表2 配管固有振動数測定データシート(例)	55
表3 類似箇所の振動測定結果	58
表4 類似箇所対策要領	62
表5 対策前後の固有振動数	63
表6 漏水検知器の比較	65
表7 結露環境下での感受性確認試験結果	66
表8 漏水検知器連続運転試験結果	67
表9 トレンド表示プログラム改良前後の機能	68
表10 水漏れ監視プログラム注意喚起報見直し前後の発報レベル	68
表11 教育訓練のクラス分け	69
表12 教育訓練項目と内容	70
表13 管理者の教育訓練実績	71

Figure

Fig.1	Outline of Reactor Primary Cooling System	25
Fig.2	A Plane Figure of a Main Pomp Room	26
Fig.3	Water Drain Line to the Storage Ponds No.2-2	27
Fig.4	Structure of the Instrumentation Pipe in Down Stream Side of Charging Pomp and Cracked Part	28
Fig.5	Water Level Displacement of Drain Pond Number 2-2 by Leaked Water	29
Fig.6	Water Level Displacement of a Tank for Air Elimination	30
Fig.7	Leaked Water Volume Estimated by Water Level Displacement Data of the Drain Pond Number 2-2	31
Fig.8	The Factors about Causing of Crack on the Instrumentation Pipe	32
Fig.9	Structure of Modified Instrumentation Pipe	33
Fig.10	Piping Draw of PT Check Targets	34
Fig.11	Structure of Modified Water Leak Detector	35
Fig.12	Electronic Circuit of Water Leakage Detection System	36
Fig.13	Indication Panel about Water Leakage Detectors	37
Fig.14	Trend Indication by non-Modified ARGUS	39
Fig.15	Trend Indication by Modified ARGUS	39
Fig.16	Water Level Displacement Trend Indication of a Water Storage Pond by non-Modified LARD Program	40
Fig.17	Water Level Displacement Trend Indication of a Water Storage by Modified LARD Program	40
Fig.18	Water Leakage Rate Trend Indication by non-Modified LEAK Program	41
Fig.19	Water Leakage Rate Trend Indication by Modified LEAK Program	41
Fig.20	Water Leakage Detection Sensitivity by Modified ARGUS	42
Fig.21	The Period to Warning Signal Output by Modified LAED Program	43
Fig.22	The Period to Warning Signal Output by Modified LEAK Program	43
Fig.23	Countermeasure Process after Water Leakage Detection	44
Fig.24	Analysis of Important Factors on Warning Generation	45
Fig.25	The Working Process Flow Chart after of Warning Signal Generation	46
Fig.26	The Reactor Operating Recording Chart	48
Fig.27	Reactor Operating Information by the Personal Computer Network System	49

Photo and Table

Photo 1	Some Pipe in Penetrant Testing Works	50
Photo 2	The Sensitivity Test of Water Leakage Detectors within Frost Formation	51
Photo 3	The Functioning Test of Water Leakage Detectors	52
Photo 4	Settled Water Detectors in a Main Pomp Room	53
Table 1	Measurement Results of Peculiar Vibration Frequency and roundness of the Restored Instrumentation Pipe	54
Table 2	Peculiar Vibration Frequency Data Recording Chart	55
Table 3	The Measurement Results of Peculiar Vibration Frequency of same Situation Pipe with a Broken Pipe	58
Table 4	The anti-Vibration Method	62
Table 5	The Peculiar Vibration Frequency on Pre and Post anti-Vibration Works	63
Table 6	Comparison of Some Water Leakage Detectors	65
Table 7	The Sensitivity Test Results of Water Leakage Detectors within Frost Formation	66
Table 8	Long Time Operating Test Result of Water Leakage Detectors	67
Table 9	Information Functions of Modified Trend Program	68
Table 10	The Water Leakage Detection Sensitivity by Modified ARGUS	68
Table 11	The Classified Education System for Reactor Operators and Managers	69
Table 12	Items and Contents of the Education for Reactor Operators and Managers	70
Table 13	Actual Result of Education for Reactor Managers	71

1 JMTR 計測用配管水漏れ調査検討委員会での検討結果

以下に平成 14 年 12 月 16 日に設置された所内外の専門家から構成する「JMTR 計測用配管水漏れ調査検討委員会」における、水漏れ発生時の状況、発生時刻と水漏れ量の推定、原因と対策に関する検討結果の概要を示す。

1.1 水漏れ発生時の状況

大洗研究所 JMTR（定格出力 50MW）は、平成 14 年 11 月 17 日から 12 月 17 日までの予定で第 147 サイクルの共同利用運転を行っていたところ、12 月 6 日午前 9 時 25 分、炉室地下 3 階の主循環系機器室の充填ポンプ（No. 1、No. 2）近傍の床面に設置した漏水検知器 No.1 が発報し、原子炉制御室のプロセス盤でリセット操作により信号が解除されないことを確認した。

主循環系機器室は原子炉の運転中は放射線レベルが高いため、立ち入りはできないことから工業用テレビ（ITV）による主循環系機器室内での水漏れの有無の観察を行った。さらに、同室の床排水等が流入する排水系貯槽の水位上昇の有無、一次冷却系補給水量及び一次冷却系圧力等の原子炉の運転状態について確認を行ったが、異常は確認されなかった。その後、12 月 6 日午後 4 時から 12 月 10 日午前 8 時までの間、それぞれの運転班は、直交替時の申し送りにしたがって、通常の巡視点検において ITV による観察を行ったが、異常は確認されなかった。

12 月 10 日午前 8 時に交替した運転班は、直交替の直後に、警報が継続していたため、排水系貯槽水位の記録計を確認した結果、第 2 排水系貯槽（2）の水位が上昇していることを確認した。午前 8 時 30 分から午前 8 時 58 分の間に、巡視点検における ITV 観察では水漏れは確認できなかつたが、記録計により、脱気タンク水位変化が大きく、脱気タンクへの純水補給間隔が短くなっていることを確認した。このため、ITV での観察を再度実施したところ、午前 9 時 30 分に主循環系機器室内の充填ポンプ No.1 付近に水漏れがあることを発見し、施設管理統括者に水漏れの連絡を行った。午前 9 時 50 分に施設管理統括者が水漏れを確認後、午前 9 時 53 分に原子炉を手動で停止した。午後 6 時 11 分に、主循環系機器室内の放射線レベルが低下し、立ち入りが可能になったため、同室に立ち入り、充填ポンプの仕切弁を閉め、午後 6 時 13 分に水漏れの停止を確認した。

漏れた一次冷却水は床排水口を通してすべて第 2 排水系貯槽（2）に貯留されており、建家外への水漏れはなく、施設外への放射性物質による影響もなかった。

図 1 の一次冷却系統概略図に水漏れ箇所を、図 2 の主循環系機器室平面図に漏水検知器の配置と床排水口及び ITV 設置場所を、図 3 に第 2 排水系貯槽（2）への排水ラインをそして図 4 に充填ポンプ出口配管の詳細を示す。

1.2 発生時刻と水漏れ量の推定

1.2.1 発生時刻の推定

今回の水漏れは、初期には、極めて小さなき裂部から滲みでるように極少量の水が漏れ始め、後にき裂部が拡大して水漏れ量が増えた後に、漏れた水が ITV により確認され、水漏れが発見されたと推定された。このような初期の滲み出しに相当する水漏れの発生時刻の推定は容易ではないが、図 5 に示す原子炉監視用計算機システム（以下 ARGUS という）に記録されている第 2 排水系貯槽(2)の水位変化、図 6 に示す脱気タンクの水位変化のデータを基に詳細調査を行い、水漏れが計測系で検知可能になった時刻を推定した。その結果、脱気タンク水位低下速度から、及び第 2 排水系貯槽(2)の水位上昇から、12月 6 日頃から水漏れが発生したと推定した。

1.2.2 水漏れ量の評価

図 7 に示す第 2 排水系貯槽(2)の水位上昇から推定される総水漏れ量は、約 1.7m³である。この量は一次冷却系統の保有水量約 160 m³のうち約 1%に相当し、水漏れ発生から 12 月 10 日午前 0 時までに約 0.5 m³、12 月 10 日午前 0 時から 12 月 10 日午前 9 時 53 分の原子炉停止までに約 0.8 m³、原子炉停止から水漏れ停止までに約 0.4 m³の水漏れがあったと推定された。

1.3 原因調査と対策

JMTR施設の手動停止に関し、12月 6 日に漏水検知器が発報し、その後もその信号が継続した状態であったにもかかわらず、水漏れの可能性を前提とした徹底した点検が行われなかつたことは安全管理の取組みとして問題があった。このことから、当研究所内外の専門家による「JMTR 計測用配管水漏れ調査検討委員会」を設置して水漏れ発生の原因と対策、及び安全管理への取組みに関する問題点の摘出と改善についての検討を行つた。

1.3.1 き裂発生の原因

き裂発生の原因調査に当たっては、き裂発生の直接の原因となる可能性のある原因事象として、使用材料の不適正、運転条件の不適正、溶接不良、過大応力、疲労、応力腐食割れ、腐食等すべての事象を対象とするとともに、その原因となる設計、製作、据付、使用条件、保守方法等の評価も含めて、総合的に調査を行つた。調査結果、以下のことが判明した。

- ・ 使用材料の不適正はなかった。
- ・ 圧力、温度、流量等、運転条件に異常はなかった。
- ・ 充填ポンプ No. 1 及び No. 2 の圧力計導管の溶接部の目視観察及び浸透探傷試験結果、溶接不良に相当する異常は認められなかった。
- ・ 充填ポンプ周りの配管に対しては、内圧、自重、地震による振動、配管の拘束力等、過大応力は作用していなかった。
- ・ き裂部内外面観察、断面観察及び破面観察の結果、応力腐食割れに特徴的な、「枝分かれを伴う割れ」や破面形態は認められなく、き裂の原因が応力腐食割れであった可能性は低いと判断された。

- ・充填ポンプNo. 1及びNo. 2の出口配管及び圧力計導管の内表面観察及び破面観察の結果、著しい腐食生成物は認められなく、腐食によりき裂が進展した可能性は低いと判断された。
- ・き裂部の破面の観察結果から、疲労破壊に特徴的なビーチマーク及びリバーパターンと平坦な無特徴破面及びその一部にストライエーション状の模様が認められた。また、断面観察結果から貫粒割れが認められた。

これらのことから、発生したき裂の原因是、高サイクル疲労によるものであると判断された。

疲労き裂が発生した要因としては、圧力計導管が充填ポンプの回転により振動し、共振に極めて近い状態にあり、圧力計導管の取り付け部の軸方向応力が、設計疲れ線図の繰り返しピーク応力に極めて近くなったこと、及び圧力計導管の溶接部止端部に応力集中の可能性もあり、これらの相乗効果により、疲労破壊により発生したものと推定された。

図8にき裂発生の原因となり得る事象に対する検討結果のまとめを示す。

1.3.2 安全管理への取組みに関する問題点

今回の計測用配管からの水漏れについて、人的要因、組織的要因の観点から調査・分析を行い、問題点を摘出した。調査結果、摘出された問題点及びその背後要因は以下のとおりである。

1.3.2.1 漏水検知に関する問題

(1) 漏水検知器の問題

警報が継続して発報しているにもかかわらず、「監視強化措置」の取組みが講じられなかった。

「監視強化措置」の取組みが講じられなかった背後要因は、過去に非漏水報が多数回あり、これら過去の非漏水報の経験が誤った先入観となったと考えられるが、更に言えば、それは過去に非漏水報が繰り返し発せられた際に適切な分析と対応がとられず、そのままにされてきたことによるものと考えられる。

(2) ARGUS の利用に関する問題

ARGUS が水漏れ検知に関する機能を有しているのにかかわらず、ARGUS からの情報が漏水検知器の警報発報時の調査に十分活用されていない。

漏水検知器の警報に係る対応において、ARGUS が活用しやすいシステムになっていないこと、及び活用のための教育訓練が十分になされていないことが問題である。

1.3.2.2 運転手引に関する問題

一次冷却水の漏えいに対する設計上の考え方に基づく漏水検知器の位置付け（一次冷却水の漏えいを出来るだけ早期に検知することが運転管理上重要であること、警報が発報した際には ITV による確認、各排水系貯槽の水位の確認などにより出来るだけ早期の検知に努めること）の継承及び運転手引への的確な取り込みがなされていないことが挙げられる。

1.3.2.3 教育訓練に関する問題

異常時の教育訓練は現場の経験を中心に行われており、適切な運転手順を身につける教育が不足していた。

1.3.2.4 情報の共有に関する問題

漏水検知器が発報していることについて、施設管理者、施設統括管理者及び原子炉主任技術者間で、適切な判断を行うに必要な情報の共有化が十分に行われていない。その原因として以下のことが指摘される。

- ・原子炉運転状態に関しての情報の共有についての配慮が不足していた。特に警報が発報するという異常状態の情報の伝達がシステム化されていなかった。
- ・運転業務日誌へ記載する警報、措置等の運転情報が十分でなかった。
- ・現場指揮所と対策本部間の情報伝達が適切に行われなかつたため、正確な情報を迅速かつ分り易く外部に提供するという機能が十分に果たせなかつた。この背後要因は、事象と情報の分析の不足、情報管理の不足によるものと考えられる。

1.3.3 き裂発生部の修復と類似箇所への水平展開

1.3.3.1 き裂発生部の修復

き裂発生に係る対策を以下のとおり行うこととする。

- ・圧力計導管を短くし、適切なサポートを設置すること等により、固有振動数を上げ、共振を防止する。
- ・溶接部止端部の形状に注意し、応力集中を軽減する。
- ・運転中の充填ポンプの振動の監視などにより、管理を強化する。

1.3.3.2 類似箇所への水平展開

圧力計導管の片持ち梁構造となっている配管及び回転機器等の振動源に近い配管の固有振動数を測定し、共振しないことを確認する。共振の可能性のあるものについては、サポートを施すことにより、共振を防止する。

1.3.4 安全管理に関する対策

1.3.4.1 水漏れ検知に係る対策

今回の水漏れは、初期には漏えい量が少なく計測値に変化が現れていたため、漏水検知器の発報が水漏れでなかった過去の経験に照らして、水漏れの可能性を意識した対応が不足しているとともに ARGUS が使い易いシステムになっていた。また、ARGUS の設置の趣旨が適切に伝承されていなかった。そのため、ARGUS 等に記録されている排水系貯槽水位、補給水量の変化、水位の変化率等、水漏れの有無を判定する主要なパラメータを監視し続けていれば発見できたと思われる 12 月 10 日以前の有意な水位変化の増加を見つけられなかつた。ARGUS を有効活用

していれば、早期に水位変化を発見できた可能性があったと考えられる。

したがって、水漏れ検知に係る対策を以下のとおり行うこととする。

- ・漏水検知器の改良

水漏れ以外の要因による発報を可能な限り排除し、水漏れ検出の信頼性の高い漏水検知器とするため、水漏れ検知の方法、検知器の構造等を検討する。

- ・ARGUS の改良

水漏れ早期確認の一つの手段として ARGUS は極めて有効であることから更に精度を高める改善を行う。また、使い易さを中心とした機能の充実を図り、その効果的な運用を図る。

1.3.4.2 運転手引の改善

- ・漏水検知器が発報した場合の措置について、原因が除去できない場合にも水漏れの早期発見、原子炉停止を含めた迅速な対応が図れるように適切な措置を具体的に記載する。
- ・運転手引は、機器の設計を考慮した手順及び判断基準を含むものとし、改訂に当たっては、当該部署以外の専門家を加えて検討する。

1.3.4.3 教育訓練の充実

- ・漏水検知器が発報した場合、適切に対応できるように一次冷却水の漏えいに対する設計上の考え方に基づく漏水検知器の位置付けを含め、改訂した運転手引について教育を行う。
- ・J M T R の設計を含む体系的な教育を実施し、安全意識の向上とともに技術能力の向上を図る。
- ・管理者に対しては、運転監督者教育訓練などに参加させ、運転管理能力の向上を図る。
- ・国内外の原子炉等のトラブル事例から得られる教訓を徹底して教育する。
- ・危機管理の一環として適切な情報発信についての訓練を行う。具体的には運転管理情報、異常時関連情報等必要な情報の作成、発信の訓練を行う。

1.3.4.4 情報の共有に関する対策

- ・運転手引において日誌の記載内容を充実することを定め、記載内容の確認を確実に行い、運転情報の共有化を図る。
- ・運転・保守に係わるデータベースを整備し、関係者の情報共有化を図る。

1.3.4.5 品質保証活動の充実

品質保証活動を定期的に評価する制度を強化し、運転手引改訂、運転・保守記録、教育等における品質保証活動を充実させる。

2 対策の実施

「JMTR 計測用配管水漏れ調査検討委員会」の結論を得て、対策の具体策を検討し、実施した。具体的な対策の検討は、水漏れに限定せず、原子炉施設の安全運転上必要な項目を全て見直すという観点で行った。

2.1 対策の実施計画

2.1.1 き裂発生部の対策実施計画

2.1.1.1 き裂発生部の修復

圧力計導管を短くし、既設弁より軽量の弁を採用する等により、固有振動数を上げ充填ポンプとの共振を防止する。

圧力計導管取出し部の溶接部止端部は、溶接後に滑らかに仕上げることにより止端部での応力集中を小さくする。

なお、充填ポンプに振動センサを取り付け、運転中の振動監視が出来るようにする。

2.1.1.2 類似箇所の対策

- ・原子炉施設における一次冷却系統（主循環系、精製系統）及び二次冷却系統において、片持ち梁構造の配管と回転機器等の振動源に近い配管について目視確認で類似箇所を抽出する。
- ・振動計を用いて打振法により当該配管の時間波形を測定する。単純梁においては2軸方向、曲り梁においては2軸又は3軸方向について測定する。得られた時間波形をスペクトル解析して固有振動数を求める。
- ・求めた固有振動数を回転機器の振動数と比較して共振の可能性の有無について判断する。共振は回転機器の振動数（強制振動数 ω_n ）と固有振動数（ ω ）の比で求める無時限周波数（ h ）において、 $\sqrt{2} > h > 1/\sqrt{2}$ にあるものを対策の対象とする。また、耐震性の観点から 20Hz 以内にあるものも対策対象とする。（参考：機械工学便覧、JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針）
- ・共振の可能性があるものについてサポートを施工して共振防止を図る。なお、対策後に固有振動数を再測定して有効性を確認する。また、対策対象箇所について主管と枝管の溶接部に欠陥が発生していないことを確認するために浸透探傷試験（PT）を行う。

2.1.2 安全管理に関する対策実施計画

2.1.2.1 漏水検知器の改良

(1) 要件を満たすセンサの検討

JMTR での検知目的、炉室内の環境に適したセンサを選定し、性能試験を実施してセンサの型式及び取り付け方法を決定する。

(2) 改良型センサの設置・連続運転試験

運転中に点検者が立ち入ることができない場所である主循環系機器室、イオン交換塔室に従来型のセンサに加えて改良型センサを設置する。設置後は、連続運転試験を行い、両者の機能を比較確認する。

2. 1. 2. 2 ARGUS の改良

(1) 対策の基本的考え方

原子炉監視用計算機システムは、原子炉の異常早期検出、運転支援、異常・故障原因究明の解析手段提供を目的としたデータ処理装置で、昭和 53 年度に初めて H350 システムが設置され、昭和 57 年度には現在の ARGUS システムに更新、整備されている。

今回の水漏れでは、初期の漏洩量が少なく記録計等の指示値に有意な変化として現れなかつたため、漏水検知器の発報を水漏れでなかった過去の経験に照らして非漏水報の可能性が高いと考え、水漏れの可能性を意識した対応がなされなかった。しかし、ARGUS を有効活用して排水系貯槽や脱気タンクの水位変化等、水漏れの有無を判断するプロセス値を監視し続けていれば、12 月 10 日以前に水漏れを発見できたと思われることから、以下の指摘を受けた。ARGUS の改良はこの指摘事項を基本的な考え方として実施する。

- ・ ARGUS の設置の主旨が適切に伝承されていない
- ・ ARGUS の活用に関する教育訓練が不足している
- ・ ARGUS が使い易いシステムになっていない

また、水漏れの早期確認の一つの手段として ARGUS は極めて有効であることから更に精度(信頼性)を高める改善を行う。

(2) 現状の問題点

1) トレンド表示プログラム

水漏れの有無を判断する場合に、排水系貯槽や脱気タンクの水位を過去に遡ってグラフ化し、その変化を確認する手法は極めて有効である。しかし、ARGUS のトレンド表示プログラムは次の制限があり、使いにくさの一因となっている。

- ・時間軸の長さを 1 日以上に指定した場合、現時刻から遡ったトレンドグラフが表示できない。
- ・データを拡大して見ることができず、小さな変化が確認できない

2) 水漏れ監視プログラム

ARGUS には、原子炉建家内での水漏れを監視するプログラムとして SAMP と Supply-interval がある。SAMP は、原子炉建家内に設置されている 4 基の排水系貯槽の水位変化率を監視する LARD プログラムと、一次冷却水の流出率を監視する LEAK プログラムから構成されている。Supply-interval は、一次冷却水の補給間隔を監視するプログラムである。

従来の水漏れ監視プログラムの注意喚起報発報レベルは、水漏れ監視プログラムが開発された時点の照射設備の排水状況や原子炉の運転経験を考慮して決めた値であるが、今回の水漏れで

は、いずれの注意喚起報も発報しなかった。水漏れ監視プログラムの注意喚起報発報レベルは、照射設備の排水状況や原子炉の運転状況の変化に応じて見直すことが行われていなかった。

3) 水漏れ監視等のバックアップ体制

漏水検知器の発報等で水漏れが発生した可能性がある場合、排水系貯槽や脱気タンクの水位をグラフィック端末に表示してその変化を解析し、水漏れの有無を判断する必要がある。しかし、ARGUS にはグラフィック端末が 1 台しか無く、當時は制御棒位置など他の重要なデータを表示して原子炉の運転状態を監視しているため、水漏れの解析に長時間占有させることはできない。このため、ARGUS のデータをパソコンに送り、パソコンによるグラフ化やデータ解析で水漏れの判断ができるよう、バックアップ体制を強化する必要がある。

(3) 改善計画

1) トレンド表示プログラムの機能改良

- ・トレンドグラフ表示範囲の改良

現在のプログラムは、時間軸の長さとして 1 時間及び 1、7、14、28 日間が指定できるが、時間軸の長さに 1 日以上を指定した場合に、現時刻から当日の 0 時までのトレンドグラフが表示できない。プログラムを改良し、全ての時間軸について現時刻から遡ったトレンドグラフが表示できるようにする。

- ・データ拡大機能の追加

トレンド表示プログラムにデータの拡大機能を追加し、小さなデータの変化が確認できるようにする。

2) 水漏れ監視プログラムの改良

- ・プログラムの改良

現在の水漏れ監視プログラム SAMP は、水位変化率等の計算結果に大きなバラツキがあり、注意喚起報の発報レベルを下げる事が困難である。このため、SAMP プログラムを改良して計算結果のバラツキを小さくする。また、水位変化率等の計算結果を保存し、トレンド表示プログラムで表示できるようにする。

- ・注意喚起報発報レベルの見直し

ARGUS に保存されている過去の運転実績データを用いて排水系貯槽の水位変化率及び一次冷却水の流出率の変動を考慮して確実で早期の水漏れ検出ができるよう、注意喚起報の発報レベルを変更する。一次冷却水の補給間隔についても、過去の運転実績を調査して注意喚起報の発報レベルを変更する。

- ・パッケージクーラドレン水の排水先変更

水漏れ以外の原因による第 2 排水系貯槽(2)の水位上昇を排除するため、パッケージクーラドレン水の排水先を変更する。

3) 水漏れ監視等のバックアップ体制の整備

ARGUS のデータを必要に応じてパソコンに送り、パソコンでグラフ化や水漏れに関するデータ解析ができるようバックアップ体制を強化する。このため、パソコンで読み可能なデータフ

ファイルを作成するバッチ処理プログラムを開発し、運転員が容易に操作できるようマニアルを整備する。

2.1.2.3 運転手引の改善

(1) 警報等発報時の措置

漏水検知に関するものを含めすべての警報、注意喚起報について、運転手引に発報時の適切な措置を具体的に記載する。

このため、警報、注意喚起報に関してその発報要因、発報要因が発生したときの他のプロセスパラメータ等への影響について調査・検討し、本検討を基に、運転員が行うべき調査・措置のフローチャートを作成する。運転手引には、これらの要因分析結果及び調査・措置フローチャートをベースとして、運転継続・停止の条件、運転管理上の措置等を具体的に記載する。

(2) 水漏れ検知の位置付け等

水漏れ検知について、施設の安全確保上及び運転管理上の位置付け及び漏水検知器、目視観察(現場での目視、ITVによる観察)、ARGUSの役割を明確にし、運転手引に反映する。

(3) ARGUS の利用方法等

ARGUSの利用方法及びARGUSが故障等で使用不能の場合の代替措置について運転手引に具体的に記述する。

2.1.2.4 教育訓練

(1) 運転再開までに行う教育訓練

1) 運転手引等の体系的な教育訓練

対象者：運転員、施設管理者統括者、施設管理者

訓練内容：設置許可書の添付書類八及び十を教科書として原子炉の設計、過渡時のプラント挙動に関する教育訓練を行う。保安規定、運転手引の教育訓練については、原子炉設計との関連を重視して行う。

2) 異常時対応訓練

対象者：JMTR職員等

訓練内容：運転管理情報、異常時関連情報等必要な情報の作成及び情報発信の訓練を実施する。

(2) 運転再開後も継続して行う教育訓練

1) 運転手引等の体系的な教育訓練

対象者：運転員、施設管理者統括者、施設管理者

訓練内容：設置許可書の添付書類八及び十を教科書として原子炉の設計、過渡時のプラント挙動に関する教育訓練を行う。保安規定、運転手引の教育訓練については、原子炉設計との関連を重視して行う。

2) 異常時対応訓練

対象者：JMTR 職員等

訓練内容：運転管理情報、異常時関連情報等必要な情報の作成及び情報発信の訓練を実施する。

3) トラブル事例の教育訓練

対象者：運転員、施設管理者統括者、施設管理者

訓練内容：水漏れ対策の一環として作成した故障・トラブルのデータベース、INES、NSネット等を有効に活用し、JMTR 及び国内外の原子炉等のトラブル事例についての教育訓練を実施する。

4) 管理者の教育訓練

対象者：施設管理者

訓練内容：所内外の運転訓練等（NS ネット主催の管理者セミナ等）に参加させ、運転管理能力の向上を図る。

2.1.2.5 情報の共有化

運転直の引継ぎにおける運転班間及び運転班と管理者との運転情報の共有、運転・保守作業に係るデータの部内での共有化を目的として、運転日誌のフォーマットの改善、ネットワークシステムを利用したデータの閲覧システム作成など、情報の共有化対策について実施する。また、対策は、運転再開までに行う対策と運転再開後も引き続いて行う対策を分けて計画した。以下に運転再開までに実施する対策と運転再開後にも引き続いて進める対策を示す。

(1) 運転再開までに行う情報の共有化のための対策

1) 運転手引改訂等による情報の共有化

運転情報共有の現状を調査し、共有する範囲、種類等を検討し、運転手引の改訂に反映させる。具体的には、警報等の発報の有無、措置の状況等の情報が十分伝達されるように、運転業務日誌の記載内容（引継ぎ事項の範囲の具体化）や引き継ぎ内容の確認（運転員への周知の徹底を含む）の方法について検討し必要な改訂を行う。

管理者による運転情報の共有については、運転業務日誌の内容を電子化して隨時確認できるようにする。また、警報等発報の情報の共有化についても適切な対策を実施する。

2) 異常等発生時の情報の共有化

異常等発生時の対応について情報の共有化の観点から見直しを行い、部内における対応に関して「JMTR 異常時対応要領」を充実させる。

3) 報告、連絡の徹底

異常時のみならず常日頃より運転関係者間での緊密な報告、連絡を習慣化すべく、課長会議、安全衛生会議等の場を通じて、報告、連絡の重要性に対する認識を徹底する。

(2) 運転再開後継続して行う情報共有化のための対策

運転・保守に係るデータは、本体施設及び特定施設におけるトラブル情報等が担当部署に蓄積されていることから、今後、系統、設備、機器別の分類を行うなど有効に活用するための検討

を行い、データベース化して情報の共有化を図る。

また、法令報告等の対象となった故障・トラブルは、JMTR 定期安全レビューのために整理したものを利用し、今後データベース化して情報の共有化を図る。

2.1.2.6 品質保証活動の充実

(1) 部内における品質保証活動の充実

部長の諮問に応じ、品質保証に関する検討を行う技術検討会における審議事項に原子炉の運転・保守、教育訓練に関する事項を新たに加えるとともに、技術検討会の構成員については、部内職員のみからなる現状を改め、材料試験炉部以外のメンバーを含めた構成とする。

また、品質保証活動に係る講習会等への職員の参加により、品質保証活動をより実効性のあるものとする。

(2) 品質保証活動の監査

大洗研究所の品質保証監査を行う委員会において、JMTR の運転・保守に関する品質保証活動の監査を受ける。

2.2 対策の実施結果

2.2.1 き裂発生部の修復

4月2日に設計及び工事の方法に関する認可を受け、5月23日に使用前検査を受検して合格した。修復部の配管溶接止端部については半径3.7mm以上であり、応力集中を軽減する形状であることを確認した。また、分岐管の固有振動数は187Hz以上であり、充填ポンプと共に共振しないことを確認した。これらの測定結果を表1に、修復した配管の構造を図9に示す。

回転機器の振動管理を目的とした振動センサについては、主循環ポンプ4台、緊急ポンプ2台、充填ポンプ2台及び移送ポンプ2台にそれぞれ設置した。

2.2.2 類似箇所の対策

2.2.2.1 類似箇所の抽出と固有振動数の測定結果

き裂発生箇所との類似箇所として、JMTR の主循環系統、精製系統及び二次冷却系統を対象とし、片持ち梁構造となっている配管及び回転機器等の振動源に近い配管を目視点検により類似箇所として抽出し固有振動数の測定を行った。

(1) 類似箇所の抽出

片持ち梁構造となっている配管で回転機器との共振又は耐震性から60箇所、片持ち梁構造ではないが回転機器との共振又は耐震性から60箇所の総数120箇所について固有振動数の確認対象として抽出した。

(2) 固有振動数の測定方法

振動計を用いて打振法により当該配管の時間波形を測定した。単純梁においては1軸又は2軸方向、曲り梁においては2軸又は3軸方向について測定し、得られた時間波形をもとにスペクトル解析(FFT解析)して固有振動数を求めた。配管固有振動数測定データの一例を表2に示す。

(3) 固有振動数の測定結果と評価

求めた固有振動数を回転機器の振動数と比較し、回転機器の振動数(強制振動数 ω_n)と固

有振動数 (ω) の比で求める無時限周波数 (h) が、 $\sqrt{2} > h > 1/\sqrt{2}$ にあるものを共振の可能性があるものとし、対策の対象とした。また、耐震性では 20Hz 以内にあるものも対策対象とした。(参考文献：機械工学便覧、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601)

表 2 に示した結果は緊急ポンプによる強制振動数 16.7Hz(1000rpm)に対し、X 方向 37Hz、Y 方向 34Hz の固有振動数、主循環ポンプによる強制振動数 24.5Hz(1470rpm)に対し、X 方向 18Hz、Y 方向 13Hz、Z 方向 18Hz の固有振動数である。

表 3 に示すように、抽出した 120 個所のうち回転機器との共振の可能性において 29 箇所、耐震性において 30 箇所の総数 59 箇所が対策の対象となった。

2.2.2.2 対策の方法と対策結果

(1) 対策の方法

回転機器との共振防止において対策が必要な配管には配管支持具（サポート）を取付けることで改善を行った。また、耐震性において改善が必要な箇所についても配管支持具の追加補強を行った。表 4 に対策要領の例を示す。

(2) 効果の確認

配管支持具を取付けた後の固有振動数を再測定して有効性を確認した。その結果 59 個所すべてにおいて回転機器との共振の可能性がないことと耐震性において問題ないことを確認した。表 5 に対策前後の固有振動数を比較して示す。

なお、対策対象箇所については当該箇所の主管と枝管の溶接部に振動による疲労割れ等の欠陥が生じていないことを確認するために浸透探傷試験 (PT) を実施した。その結果、欠陥指示模様はなかった。図 10 に検査対象配管のアイソメ図の一例を示す。また、探傷試験状況写真の一例を写真 1 に示す。

2.2.3 漏水検知器の改良

(1) 漏水検知器の対策の基本的考え方

JMTR における水漏れ検知は、漏水検知器、ITV 又は現場における直接の目視観察及びデータ処理装置 (ARGUS) による水漏れ量評価の 3 種類の方法によって行われる。このうち、漏水検知器については、原子炉施設の異常をいち早く、かつ可能な限り微小な水漏れを検知する目的で、床排水口に銅箔製の電極を貼り付ける方法を用いていたが、本方法は、床面等の結露で感知し易く、過去に数多くの非漏水報発報の経験をしていた。JMTR の第 147 サイクル運転中に発生した精製系の水漏れでは、ITV による水漏れ発見の 4 日前に漏水検知器が発報していたにもかかわらず、その後に漏水に関する徹底した調査が行われなかつたのは、過去に非漏水報発報の経験を数多くしていたことが、背後要因となつた。そこで、漏水検知器の改良に当たつては、水漏れ以外の要因による発報を可能な限り排除し信頼性の高い検知器とする。

以上の観点から、センサの選定、性能確認試験を行つた。なお、既存の検知器である銅箔を使用した電極型の検知器は、漏水に関する感度は十分であることから、検知器発報後に、現地に

立ち入り、目視検査によって、漏水か非漏水かを確認できる箇所については、検知器の改良を行わない。また、現システムでは、一つの検知器が作動している状態で他の検知器が作動した場合、再鳴動しない欠点を有することから、この場合においても、再度発報するようにシステムの改良を併せて行う。

(2) 要件を満たすセンサの検討

水漏れ以外の要因による漏水検知器からの発報を可能な限り排除し信頼性の高い漏水検知器として、JMTR 炉室内の環境に適したセンサの選定を行う。JMTR での設置に適した漏水検知方法として、電極式、枠型、温度測定方式、放射線測定方式の 4 種類のセンサを非漏水報発報の可能性、確実な漏水検知能力、施工の容易性について比較検討した。その結果、電極が床面から若干離れて設置される構造の市販の電極型式漏水検知器が最も有効であることから、当センサを選定し、非漏水である結露に関する感受性、漏水検知の確実性に関する確認試験を実施した。漏水検知器の比較検討結果については表 6 に示す。

選定した漏水検知器は、電極が床面から僅かに離れている構造であり、結露で生じる薄い膜上の水分では作動しなく、表面張力で若干の厚みを持って流れ込む漏水には作動する構造になっている。図 11 に改良型漏水検知器のセンサ部の構造を示す。

(3) 性能確認試験結果

1) 結露による感受性確認試験

従来型センサ（従来から使用してきた床面に銅箔の電極を貼り付けて電極間の絶縁低下により水漏れを検知）と選定した市販の電極式センサ（改良型センサ）について結露による感受性確認試験を行った。

試験は、従来型センサと改良型センサを珪藻引きパットに取り付け、パットの裏側から氷で冷やし、全体をビニルで覆いさらに外部から蒸気を送ることによって結露しやすい環境を作り、結露に対する感受性の違いを確認した。

この結果、従来型センサは結露により発報するが、改良型センサは発報しないことを確認した。試験状況を写真 2 に、試験結果を表 7 示す。

2) 水漏れ検知能力の確認試験

改良型センサは電極が床面から 0.5mm 離れる構造であるために、漏水が電極の下をくぐり抜けることによって漏水を検知しないことが懸念されることから、漏水を確実に検知できることを確認するための試験を行った。試験は、水の表面張力の影響を小さくする厳しい条件で行うために、センサを貼り付けた板を傾けた状態で水を少量流し、検知器の作動の有無を確認する方法で行った。なお、試験は従来型の銅箔を用いたセンサについても併せて行った。試験結果、水が流れてくると確実に発報することを確認した。試験中の状況を写真 3 に示す。

1)、2)の性能確認試験結果、改良型のセンサは結露で作動しにくく、かつ漏水の検知能力は十分であることが確認された。

(3) 漏水検知器の配置と回路変更

1) センサの配置と工事概要

原子炉の運転中立ち入ることのできない場所については、従来型のセンサの内側に改良型センサを配置することとした。このように2種類のセンサを二重に配置することから、また従来型のセンサは、結露水にも感知することから、従来型のものを水分センサ、改良型のものを漏水センサと命名して区別することとした。なお、原子炉の運転中に立ち入ることができる場所については、従来どおり、銅箔製電極型（従来型）のセンサの一重配置とした。水分センサと漏水センサを二重に配置するのは、主循環系機器室6箇所、イオン交換樹塔室1箇所である。センサの取り付け状態を写真4示す。

漏水検知器作動表示盤では漏水センサの増設に伴い、電気回路（変換器）の追加を行った。また、1つの漏水検知器が作動している状態では他の漏水検知器が作動しても再鳴動しない回路であったため、再鳴動するように漏水検知器作動表示盤の電気回路を変更した。変更後の電気回路を図12に、新たな漏水検知器作動表示盤を図13に示す。

2) 漏水検知器の回路変更

漏水検知器の従来の電気回路では、一つの漏水検知器が作動している状態では、他の漏水検知器が作動しても再鳴動しない回路であったため、再鳴動するように回路変更を行った。以下にセンサ作動時の回路の機能を示す。

- ・再鳴動を可能とする。（原子炉制御室の漏水検知器作動表示盤からのブザー吹鳴が行なわれる。）
- ・水分センサ、漏水センサが作動した場合はその場所を原子炉制御室の漏水検知器作動表示盤のグラフィックパネル上にランプで表示し、注意喚起報を発する。
- ・水分センサと漏水センサを二重に配置した検知器のうち漏水センサが作動した場合、及びその他の水分センサが作動した場合はプロセス制御盤のアナンシエータに一括信号として出力し注意喚起報・表示を行う。プロセス制御盤での再吹鳴は行わない。

(4) 設置後の性能試験

漏水検知器改良後、水分センサと漏水センサの結露に関する感受性を確認するために、連続通電試験を行った。また、変更後の漏水検知回路の性能確認試験を行った。以下に性能試験結果を示す。

1) 連続運転試験

漏水検知器の改良後、4月30日から5月13日まで、主循環系機器室の冷房を停止した状態で、昼間のみ連続通電試験を行った。その結果、4月30日の10時頃と5月7日の14時25分頃及び5月8日の9時30分頃に主循環系機器室の水分センサが作動し、漏水センサは作動しなかった。そのときの主循環系機器室内の湿度は、90%以上であった。水分センサの作動後に現場での目視観察を行った結果、漏水はなく、床面は湿気を帯びていた。連続運転試験時のセンサ電源の通電履歴と試験結果を表8に示す。

2) 漏水検知器回路機能確認試験

- ・漏水検知器作動時のブザー鳴動とランプ表示機能確認試験

全ての水分センサ及び漏水センサに、数滴の純水を滴下することによって、検知器が作動し、原子炉制御室の漏水検知器作動表示盤グラフィックパネルでランプが点灯し、ブザーが鳴動することで確認する。

試験結果、すべての水分センサ、漏水センサが正常に作動し、原子炉制御室の漏水検知器作動表示盤グラフィックパネルのランプ表示機能、ブザー鳴動機能とも正常であることを確認した。

・再鳴動機能確認試験

一つの検知器を作動させた状態で、ブザーをリセットし、その状態で他のセンサを作動させ、原子炉制御室の漏水検知器作動表示盤において、ランプが点灯し、ブザーの再鳴動が正常に行われることを確認する。

試験結果、再鳴動機能が正常であることを確認した。

(5) まとめ

水漏れ以外の要因による漏水検知器からの発報を可能な限り排除し信頼性の高い漏水検知器とすることを目的として、原子炉運転中に立ち入ることのできない箇所については、結露で作動しにくくかつ漏水を確実に検知できる型式のセンサを既存のセンサの内側に配置した。また、現システムの場合、一つの検知器が作動している状態で他の検知器が作動した場合、ブザーが吹鳴しない欠点を有することから、このケースにおいても、再度発報（再鳴動）するようにシステムの改良を併せて行った。新たな検知器設置と漏水検知回路の改善工事終了後には、検知器の機能確認試験及び検知回路の機能確認試験を行い、新たな漏水検知システムは正常に働くことを確認した。

2.2.4 ARGUS の改良

2.2.4.1 トレンド表示プログラムの機能改良

ARGUS のトレンド表示プログラムは、時間軸の長さとして 1 時間及び 1、7、14、28 日間が指定できる。これまでのプログラムは、時間軸の長さを 1 時間に指定した場合を除いて、現時刻から遡ったトレンドグラフが表示できなかった。

今回、プログラムを改良して、すべての時間軸指定で現時刻から遡ったトレンドグラフが表示できるようにした。また、トレンド表示プログラムにデータの拡大機能を追加し、小さなデータの変化が確認できるようにした。プログラム改良前後の機能を比較して表 9 に示す。また、プログラム改良前の表示例を図 14 に、改良後の表示例を図 15 に示す。

2.2.4.2 プログラムの改良

ARGUS には、排水系貯槽の水位変化から水漏れを監視する LARD プログラムと、脱気タンクの水位変化等から一次冷却水の水漏れを監視する LEAK プログラムがある。しかし、これまでのプログラムは、水漏れの評価結果にバラツキが大きいことから注意喚起報の発報レベルを下げることができず、第 147 サイクルに発生した水漏れでは、ITV の観察で水漏れを確認した 12 月 10 日

の時点でも注意喚起報が発報しなかった。このため、水漏れ監視プログラムの改良では、第 147 サイクルに発生した水漏れを 12 月 10 日 0 時以前に検出できることを目標とした。

図 16 及び図 17 に改良前後の LARD プログラムで計算した排水系貯槽の水位変化率を示す。また、図 18 及び図 19 に改良前後の LEAK プログラムで計算した一次冷却水流出率を示す。これらの計算は、ARGUS に保存されている第 147 サイクルの運転実績データを用いてシミュレーションしたものである。これらの図から判るように、プログラムの改良によって水位変化率及び一次冷却水流出率のバラツキが改善され、12 月 10 日の水漏れ拡大情況が明確に判読できるようになった。これにより、注意喚起報の発報レベルを下げることができ、水漏れの早期検知が可能となつた。

水漏れ監視プログラムの改良では、計算結果のバラツキに関する改善の他、水位変化率等の計算結果を保存してトレンド表示プログラムで表示できるようにする改善等も行った。改良の内容を以下に示す。

(1) LARD の改良

1) 最小二乗法の計算条件変更

改良前のプログラムは、10 秒間隔 10 分間のデータから、最小二乗法を用いて 10 秒毎に水位変化率を計算していた。

改良前のプログラムでは、図 16 に示したように水位変化率の計算結果に 10mm/h 程度のバラツキがある。このバラツキは水位データの変動に起因するものである。水位データの変動は、主として ARGUS の A/D 変換のバラツキによって生じており（測定範囲：0～2000mm、A/D 変換分解能：1/1000）、この変動を小さくすることはできない。このため、最小二乗法の計算条件を変更し、改良後のプログラムでは 1 分間隔 1 時間のデータを用い、1 分毎に水位変化率を計算するようにした。

2) 貯槽の水位変化率を流入率に換算

改良前のプログラムは、貯槽の水位変化率 (mm/h) を計算結果として出力していたが、水漏れ率を判り易くするため貯槽への流入率 (l/h) に換算して出力するよう改良した。

3) 第 2 排水系貯槽(2)の水位上昇に対する注意喚起報の追加

パッケージクーラドレン水の排水先変更により、第 2 排水系貯槽(2)については定常的な水の流れ込みが無くなる。このため、本貯槽の水位上昇を監視することで水漏れの検出が可能となる。そこで、本貯槽の水位が原子炉起動時の水位（基準水位）に比べて一定量上昇した場合に注意喚起報を発する機能を追加した。なお、水の蒸発やタンクヤードへの送水によって貯槽水位が低下することを考慮し、基準水位を自動的に低下させる機能を持たせた。

4) 計算結果の保存

改良前のプログラムは、水位変化率の計算結果を保存していないため、その変化をトレンドグラフで見ることができなかった。改良後のプログラムでは流入率の計算結果を保存し、トレンド表示プログラムで表示できるようにした。

(2) LEAK の改良

1) 脱気タンク積算低下水位を用いた一次冷却水流出率の計算

図 18 に示したように、改良前のプログラムでは、脱気タンクへの純水補給タイミングで一次冷却水流出率にパルス状の大きな変動が見られる。この変動は、脱気タンクの水位変化から冷却水流出率を計算する過程で、脱気タンクへの純水補給時における冷却水流出率を補給水流量で補正する際に発生するものである。このため、改良後のプログラムでは、脱気タンク水位低下の積算値を用いて冷却水流出率を計算する方式に変更した。

2) 最小二乗法の計算条件変更

改良前のプログラムは、10 秒間隔 10 分間のデータから、最小二乗法を用いて 10 秒毎に一次冷却水流出率を計算していた。

改良前のプログラムでは、図 18 に示したように一次冷却水流出率の計算結果に 1) で示したパルス状の変動の他に $10/\text{min}$ 程度の定常的なバラツキがある。このバラツキは水位データ等の変動に起因するものである。水位データの変動は、主として ARGUS の A/D 変換によって生ずるバラつきであり、この変動を小さくすることはできない。このため、最小二乗法の計算条件を変更し、改良後のプログラムでは 1 分間隔 1 時間のデータを用い、1 分毎に一次冷却水流出率を計算するようにした。

3) 一次冷却水流出率の温度補正方式変更

改良前のプログラムでは、水の体積変化率に固定値（ 25°C の体積変化率）を使用して一次冷却水流出率の温度補正を行っていた。このため、一次冷却水温度が 25°C からずれている場合は、温度変動の影響が補正しきれなかった。改良後のプログラムでは、水の体積変化率を温度の関数として取扱うよう改良した。

4) 計算結果の保存

改良前のプログラムは、一次冷却水流出率の計算結果を保存していないため、その変化をトレンドグラフで見ることができなかった。改良後のプログラムは、一次冷却水流出率及び脱気タンク積算低下水位の計算結果を保存し、トレンド表示プログラムで表示できるようにした。

(3) Supply-interval の改良

これまでのプログラムは補給間隔（時間）を計算して補給間隔が小さくなることから水漏れを評価していたが、脱気タンクへの純水補給間隔から純水補給率を計算して出力するように改良した。また、これらの計算結果を保存し、トレンド表示プログラムで表示できるようにした。

2. 2. 4. 3 注意喚起報発報レベルの見直し

水漏れ監視プログラムの、注意喚起報発報レベルについて見直しを行った。

発報レベルの見直しにあたっては、第 139～147 サイクルの期間について、ARGUS に保存されているデータから各排水系貯槽の流入率、一次冷却水の流出率をシミュレーション計算するとともに、脱気タンクへの純水補給間隔を調査した（第 140 及び第 145 サイクルは計画外停止により運転期間が短いため調査対象外とした）。

発報レベルは、これらの実績データに基づき、データの変動等を考慮して明らかな水漏れと判

別できる可能な限り低いレベルに設定した。見直し後の発報レベルを、従来の発報レベルと対比して表 10 と図 20 に示す。なお、この注意喚起報発報レベルは、今後の運転経験やプラントの運転状況を考慮して見直しを行う。

水漏れ監視プログラムの注意喚起報発報レベルが見直し後の値であったとした場合、第 147 サイクルに発生した充填ポンプ出口圧力計導管部からの水漏れにおいて、注意喚起報の発報時期は次のとおりである。

・漏水検知器	: 12/06 09:25
・第 2 排水貯槽(2)水位上昇(LARD)	: 12/07 22:00 頃
・一次冷却水流出率(LEAK)	: 12/10 03:00 頃
・第 2 排水貯槽(2)流入率(LARD)	: 12/10 04:00 頃
・一次冷却水補給率(Supply-interval)	: 12/10 07:21

上記の注意喚起報発報のタイミングについては、図 21、図 22 に示す。

2.2.4.4 パッケージクーラドレン水の排水先変更

照射制御室冷房用パッケージクーラ及び IASCC 照射装置キュービクル冷却用パッケージクーラのドレン水の排出先を第 2 排水系貯槽(2)から手洗い水等を貯留する第 4 排水系貯槽に変更した。これにより、第 2 排水系貯槽(2)の水位を上昇させる要因は、IASCC 照射装置のサンプリング水の排水など人為的な排水を除いて、機器・配管等からの漏えい水だけとなり、水漏れの判断が明確になる。

2.2.4.5 水漏れ監視等のバックアップ体制の整備

水漏れに関するデータのグラフ化や解析等をパソコンで容易に行えるよう、簡単な操作で ARGUS のデータをパソコンに送るバッチ処理プログラムを作成した。

このバッチ処理プログラムは、ARGUS のトレンド表示プログラムで表示できるすべてのデータを、EXCEL 等の汎用ソフトが直接扱えるデータ形式に変換してパソコンのサーバに送ることができる。操作方法は ARGUS のトレンド表示プログラムと同様であり、運転員が確実に操作できるようマニュアルを整備した。

2.2.5 運転手引の改善

2.2.5.1 漏水検知時の対応に関する基本的考え方

図 20 に、漏水検知器、ARGUS の水漏れ監視プログラムによる漏水検出能力と JMTR の安全運転上における漏水量の制限値との関連を示した。現状でも安全上の制限からは漏水検出能力は十分であるが、プラントの異常を早期に検出し、必要な対応を行うためには、可能な限り少量の漏水を早期に検出することが必要であるとともに、漏水検知器、ARGUS の水漏れ監視プログラムが作動した場合の対応を具体的に規定することが重要である。漏水が検知された場合の対応の基本的な

考え方を以下に示す。

- ・漏水検知器が発報した場合、監視を強化する。
- ・以下のとおり漏水率が拡大、又は拡大する恐れがあると判断した場合は、原子炉を手動で停止する。
 - ・一次冷却系からの水漏れが配管等に発生したき裂によるものと判断された場合
 - ・ARGUS による評価で一次冷却系からの水漏れが明らかに拡大していることが分った場合
 - ・ARGUS の注意喚起報が発報して、水漏れが明らかになった場合で、かつ目視による観察で水漏れ箇所及び水漏れの原因が判明しない場合
 - ・漏水量が排水系貯槽の貯蔵能力を超える恐れがある場合は、原子炉を手動停止する。
 - ・一次冷却系の漏水率が $1 \text{ m}^3/\text{h}$ を超える場合は、原子炉を手動停止する。

2.2.5.2 漏水検知器が作動した場合の対応

漏水検知器については、銅箔の電極を床に貼り付ける従来型センサの内側に電極が床から僅かに離れる改良型のセンサを配置することとした。このような配置にすることによって結露がある場合、外側の従来型センサのみが結露水を感じて作動し、水漏れがある場合には、従来型のセンサと改良型のセンサの両方が作動することが想定される。このことから、この2種類のセンサの機能を鑑みて従来型のものを水分センサとし、改良型のものを漏水センサとして区別する。このように、センサを2重にすることによって、それぞれのセンサが作動した場合の対応は次のようにする。

(1) 漏水検知器作動時の対応

- ・水分センサと漏水センサの両方が作動した場合

漏水の可能性が高いと判断して水漏れ監視体制(2)とする。

- ・漏水センサのみが作動した場合

水分センサ又は漏水センサの故障の可能性があることから、水漏れ監視体制(1)として、故障の調査を行う。調査の結果、漏水センサが故障でない場合は水漏れ監視体制(2)とする。また、漏水センサの故障が明らかな場合は定常運転監視状態にもどし、以降については、水分センサが作動した場合は、無条件で水漏れ監視体制(2)とする。

- ・水分センサのみが作動した場合

水分センサ又は漏水センサの故障の可能性があることから、水漏れ監視体制(1)として、故障の調査を行う。調査の結果、漏水センサの故障が明らかな場合は水漏れ監視体制(2)とする。また、水分センサの故障が明らかな場合は定常運転監視状態にもどし、以降については、漏水センサが作動した場合は、無条件で水漏れ監視体制(2)とする。

(2) 監視体制

漏水センサ又は水分センサのどちらかで水漏れが検知された後の水漏れ監視体制（1）では、新たに運転手引に取入れた「漏水検知器・水漏れ監視プログラム」発報時の点検表（以下、「点検表」という。）を用いて、センサの異常の有無、ARGUS による漏水の調査、目視観察による調査を行い、漏水の判断を行う。調査の結果、漏水は確認されないが注意喚起報が継続している場合は、各直ごとに点検表に基づく調査を行う。漏水と判断された場合は水漏れ監視体制（2）に移行する。

ARGUS 又は漏水センサと水分センサの両方で水漏れが検知された後の水漏れ監視体制（2）では、点検表に基づく調査を行うとともに、ARGUS の水漏れ監視プログラムによるトレンドを連続表示することによって監視を継続する。

（3）原子炉手動停止の判断

次のケースでは原子炉を手動停止することとする。

- ・き裂からの水漏れが観察された場合
- ・水漏れ監視プログラムのトレンドで漏れ量の拡大が観察された場合
- ・注意喚起報 LARD、LEAK、Supply Interval のいずれか一つが発報し、それに引き続いて更に別の種類の注意喚起報が発報した場合
- ・ARGUS が発報（注意喚起報）し、かつ、漏れ原因が判明しない場合
- ・一次冷却系の漏水率が $1 \text{ m}^3/\text{h}$ を超える場合
- ・漏水量が排水貯槽の貯留能力を超える恐れがある場合

（原子炉停止後 10 時間の貯槽能力を判断基準とする）

漏水検知器が作動した後の対応及び対応の判断基準を示す基本フローチャートを図 23 に示す。

2.2.5.3 運転手引改善のステップ

運転手引改善に当たって、特に警報が発報した場合の措置については、警報の要因分析、要因分析を基に調査・措置のフローチャートの作成を行った上で、運転手引書の作成を行った。また、作業の各ステップにおいて部外のメンバーを加えた技術検討会で審査を行った。

（1）警報発報要因調査と調査・措置のフローチャートの作成

153 項目全ての警報等項目について、発生の要因と警報等が働いたときの他の要因への影響に関する要因分析を実施し、複雑な意思決定（フローチャートの分岐）を有する 56 項目の警報等について警報等が作動したときの措置に関するフローチャートの作成を行った。運転手引の改善は、本要因分析結果と調査・措置に関するフローチャートを基に行う。運転手引改善の基礎となる警報要因分析結果と、調査・措置フローチャートを図 24、図 25 に示す。

（2）運転手引の見直し

警報発報要因調査と調査・措置のフローチャートの作成結果を基に運転手引の改定を行った。運転手引の改定に当たっては、運転員の対応を具体化することを特にチェックシートに反映した。また、ARGUS の利用方法及び ARGUS が故障等で使用不能の場合、プロセス制御盤のデータによっ

て漏水の評価を行うよう、代替措置について運転手引に具体的に記述した。

2.2.6 教育訓練の充実

施設の設計について十分な知識を有し、定常運転はもとより、施設の異常を速やかに察知し、それぞれの役割に応じて適確な異常時対応ができるることを目標として、安全意識の向上とともに技術能力の向上、管理者の運転管理能力の向上を図るために、施設の設計上の考え方に基づく体系的な教育、国内外の原子炉等のトラブル事例から得られる教訓等に関する教育を実施した。

教育の実施方法としては、運転経験年数をベースとして入門クラス、Aクラス、Bクラス及びCクラスに分けそれぞれについて、運転再開までに実施する教育訓練及び運転再開後も継続して実施する教育訓練のカリキュラムの作成を行い、カリキュラムに従って実施した。

表11に教育訓練のクラスごとの教育訓練目標を、表12に運転再開までに行う教育訓練と運転再開後にも引き続いて行う教育訓練の項目と内容について示す。また、管理者の教育訓練としてISO9001内部監査員養成セミナーや安全講習会への参加実績を表13に示す。

今後、教育訓練の実施状況、成果等については、全体的な評価を行い、その後の運営に役立てる。また、画一的なカリキュラムの反復により、受講者の学習意欲、興味が低下しないようするため、運転再開後も継続的に実施する教育訓練については、毎年度定期的に教材、講師等を含め内容の見直しを行う等工夫した運営を行うこととする。

2.2.7 情報の共有化

(1) 運転手引の改訂等による情報の共有化

1) 運転手引の改善

警報等発報に関する情報を十分伝達するため、運転業務日誌に「警報等発報」の項目を追加し、原子炉運転班長が相互にこれらの情報を共有するため、前直の運転業務日誌の内容を確認した次直の班長が確認のサインを行うための記入欄を追加した。改善した運転業務日誌のフォーマットを図26に示す。

2) 管理者の情報共有

管理者が運転情報を共有するため、運転直終了後に運転業務日誌を電子化して、ネットワーク上で確認できるようシステム化した。

3) ARGUSによる運転情報の共有

ネットワーク上で所内公開しているJMTRの運転情報に警報に関する項目を追加し、部内職員が警報に関する情報を共有できるようにした。ネットワークで閲覧できる運転情報を図27に示す。

4) JMTR異常時対応要領

異常等発生時の対応を迅速かつ的確に行うとともに、部内関係者が組織的に行動することを目的に、「JMTR異常時対応要領」を作成した。

(2) 運転・保守に係わるデータベースの整備と情報の共有化

運転・保守に係わる既存のデータベースについては、大洗研究所ホームページ（大洗研内利用）で部内関係者が閲覧できるようにした。

今後、検索項目の整理、データの追加等、データベースの整備を継続して行う。なお、JMTR 原子炉施設の定期安全レビュー及び故障・トラブルの法令報告等を大洗研究所ホームページ（大洗研内利用）で閲覧できるように整備し、情報の共有化を図った。

2.2.8 品質保証活動の充実

(1) 部内における品質保証活動の充実

部内の品質保証審査機関である技術検討会を材料試験炉部以外のメンバーを含む構成とするため、JMTR 施設品質保証計画を変更した。また、技術検討会の審議事項に運転・保守、教育訓練に関する項目を追加するため、技術検討会運営要領の変更を行った。

部内における品質保証活動の充実を図るため、ISO9001 内部監査員養成セミナ及び ISO14001 内部監査員養成セミナに部内職員を 4 名参加させた。

(2) 品質保証活動の評価制度の検討

大洗研究所の品質保証活動に関する監査について、監査頻度を従来の年 1 回から年 2 回に変更し、また、監査員を 4 名から 6 名にした。さらに、監査員 6 名は、ISO9001 内部監査員養成セミナの講習を修了した者として、品質保証活動に関する評価制度の充実を図った。

原子炉の運転・保守、教育訓練等に係る記録については、保安規定に基づいて適切に行われていることを、大洗研究所原子炉施設品質保証監査規則に基づく監査を受ける。

2.3 不断の安全管理

不断の安全管理に関して、(1)から(5)に示す従来から行っている活動を引き続き行うとともに、(6)から(8)に示す活動の強化を行う。

- ・各課持ち回りの安全パトロール

夏季の定期検査時に行っている、各課持ち回りの安全パトロールを従来通り実施する。

- ・保守報告会

運転に先立って行っている、保守担当の原子炉第 2 課から運転担当の原子炉第 1 課に行っている保守報告会を従来通り実施する。

- ・キャプセル説明会

原子炉運転に先立って行っているキャプセル等設計・製作担当の照射第 1 課から運転担当課の照射第 2 課にキャプセル等に関する説明を行っているキャプセル説明会を従来通り実施する。

- ・運転説明会

運転に先立って行っている照射施設の保守報告、運転及び照射条件について、照射第 2 課全員に周知するための運転説明会を従来通り実施する。

- ・原子炉第 1 課課内連絡会議

作業の工程と安全に関する打ち合わせについて、週1回行っている課内連絡会議を從来通り実施する。

・安全衛生会議

労働安全衛生を主要テーマとして年に2回行う部安全衛生会議、月に1回の課安全会議に施設の運転・保守に関する安全をテーマとして加える。

・部長安全パトロールの頻度向上

年2回の所長による安全パトロールに先立って行っている部長によるパトロールを月1回行うこととし、実施している。

・安全意識の高揚

安全・情報の共有化に関する標語を部内で募集し、部内各所に貼り出すなどのことを行って不断の安全管理に関する意識の高揚を図っている。

3 おわりに

JMTRにおける計測用配管からの水漏れは、計測用配管の取り付け部にクラックが発生したことによるものであるが、その原因是、充填ポンプの回転数と当該計測用配管の固有振動数が非常に近い状態にあったことによる共振現象であった。その対策では、当該配管の修復の他にすべての計測用配管を含む配管の回転機器との共振及び地震との共振を考慮した水平展開を図った。また、ITVで当該配管からの水漏れが観察され、原子炉を手動で停止した4日前にすでに漏水検知器が作動していたにもかかわらず、当該漏水検知器が過去に多くの非漏水報を発報（結露による発報）していた経験を有していたことが要因となって、その後に漏水を前提とした十分な調査を行わなかったという安全管理上の問題を露呈した。そのために、漏水検知に係る改善、運転手引の改善、教育訓練の充実、情報の共有化対策と、安全管理に関する多岐にわたる改善を行った。特に運転手引の改善に当たっては、原子炉設計の原点にもどり、すべての警報の要因分析、対応のフローチャートの作成を行った。また、これらの作業には運転員の全員が当たり、グループ毎及び部全体の議論を行って進めた。

本報告書にまとめた対策については、原子炉施設のみならず、他の施設の安全管理にも共通点が多いことから、今後の施設の安全管理の参考として活用されることを期待するものである。

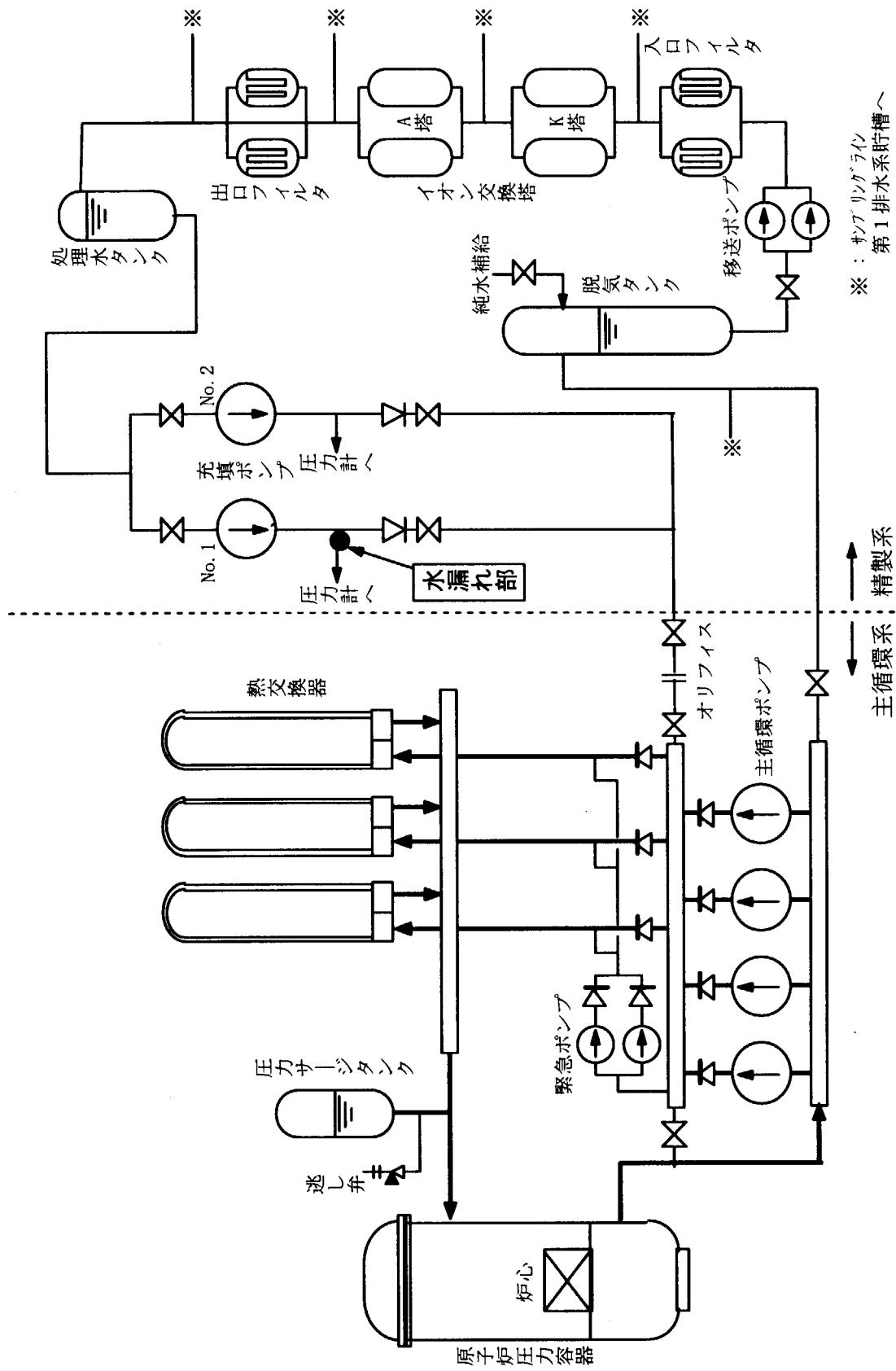
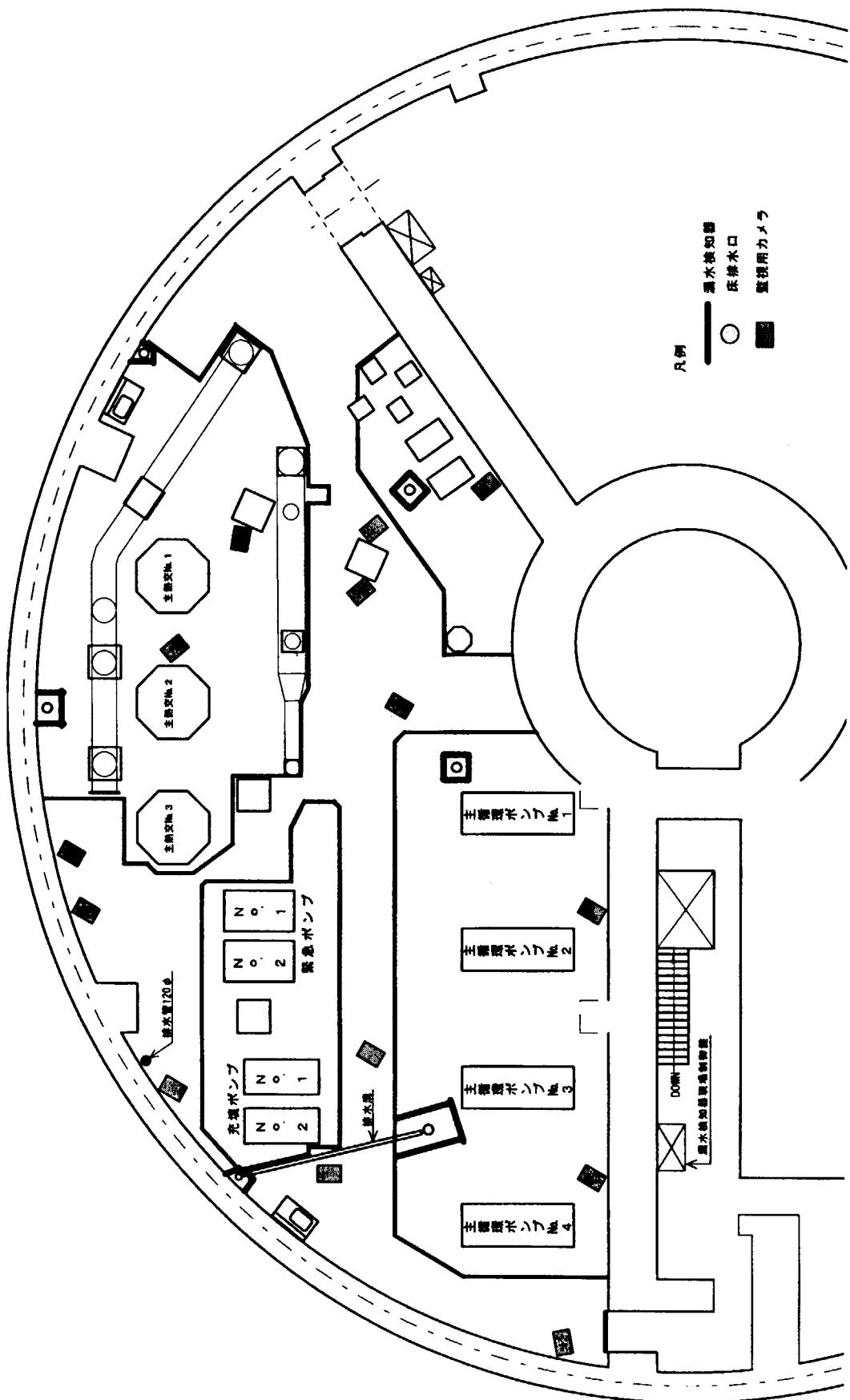


図 1 原子炉一次冷却系統概略図

図2 主循環系機器室平面図(漏水検知器とITVの配置)



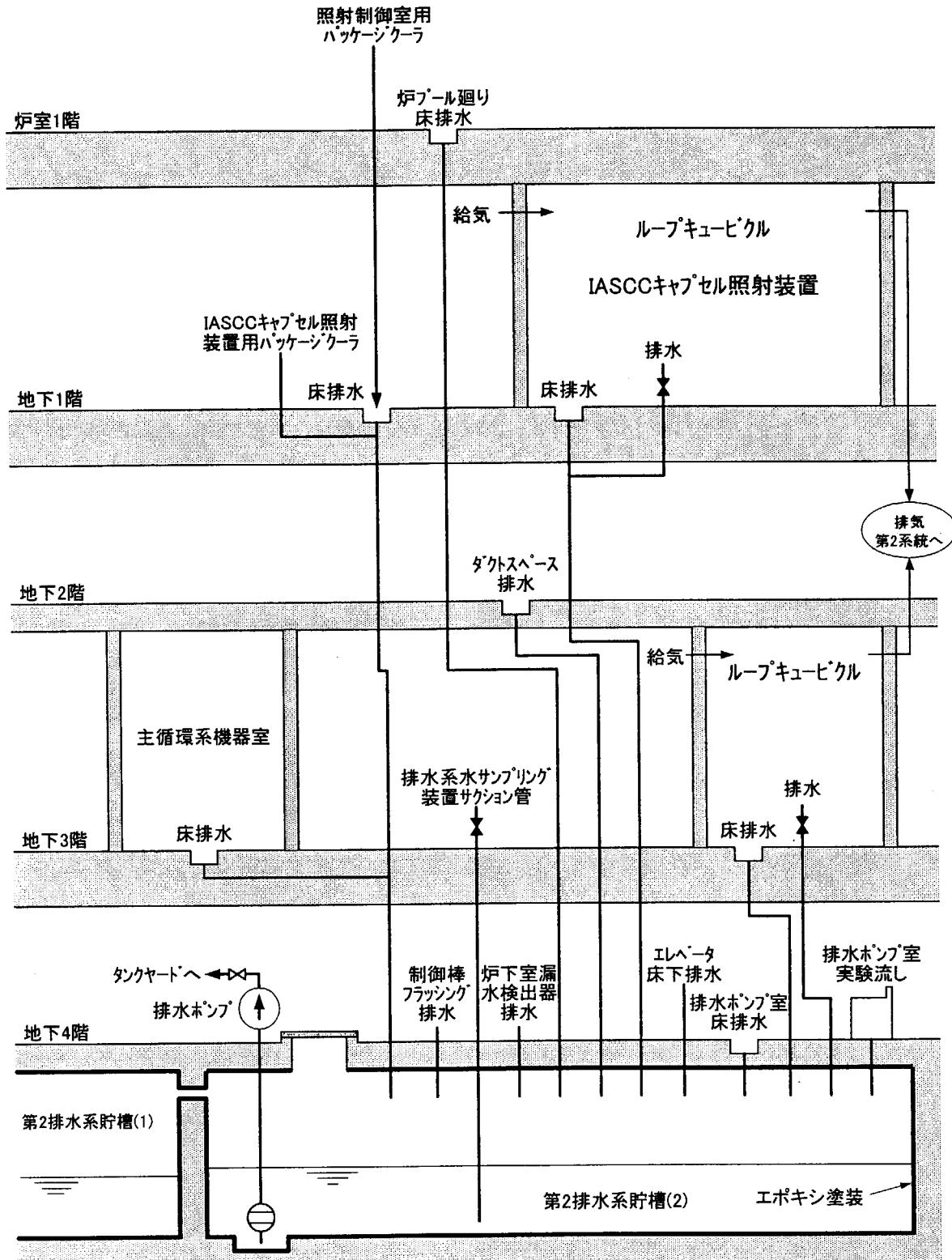


図3 第2排水系貯槽（2）への排水ライン

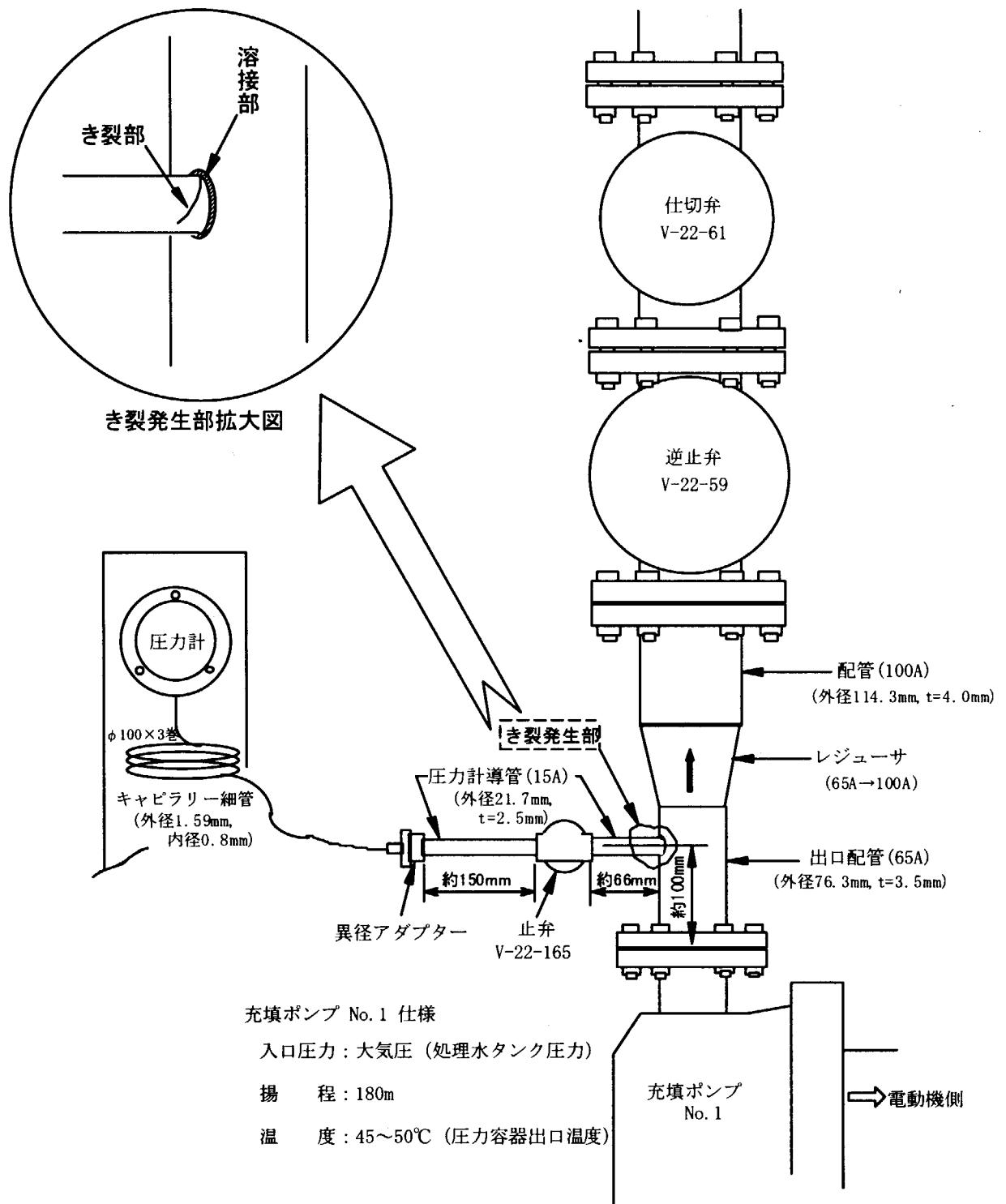


図4 充填ポンプ出口配管の詳細

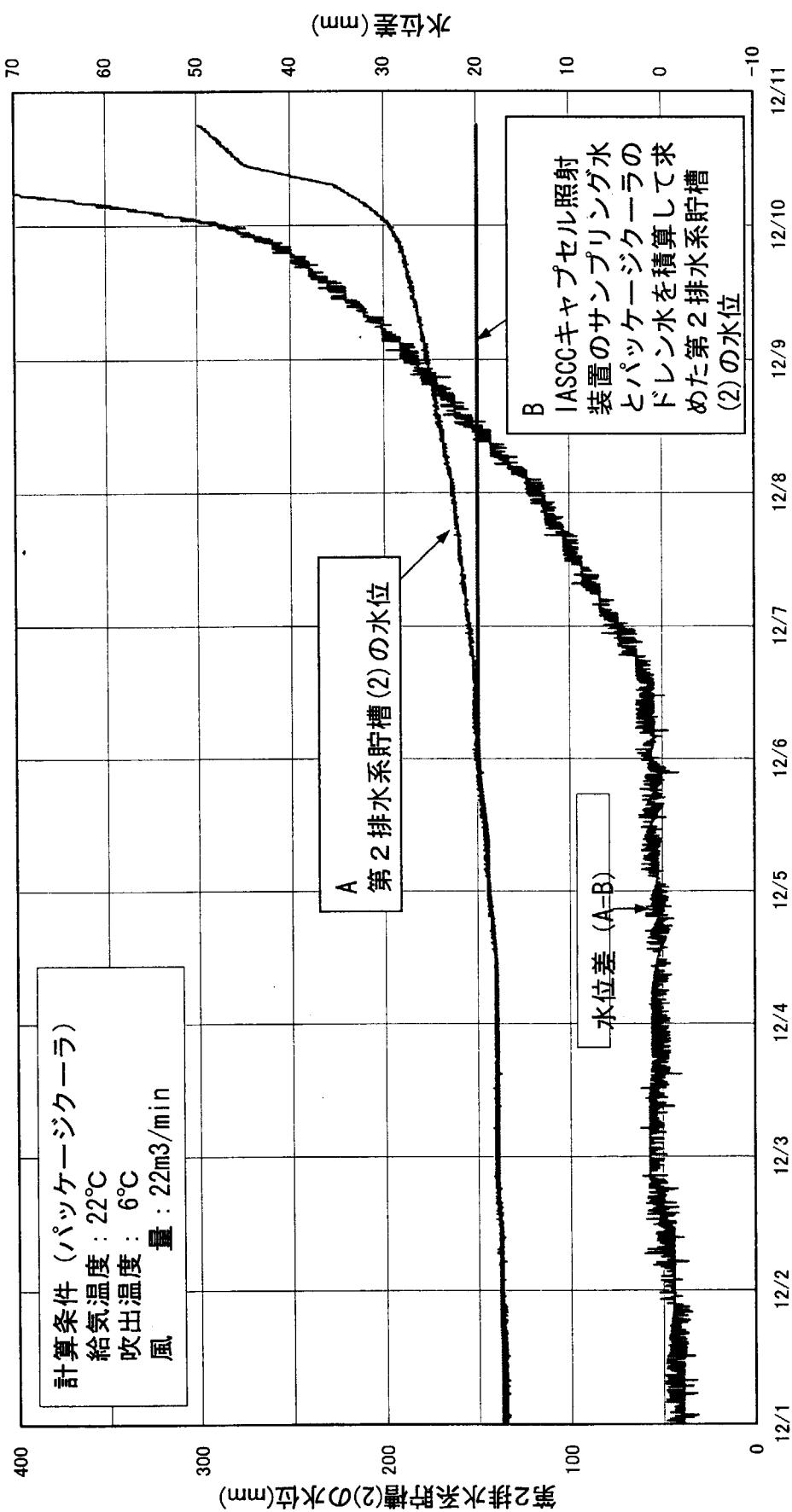


図 5 漏水による第2排水貯槽(2)の水位変化

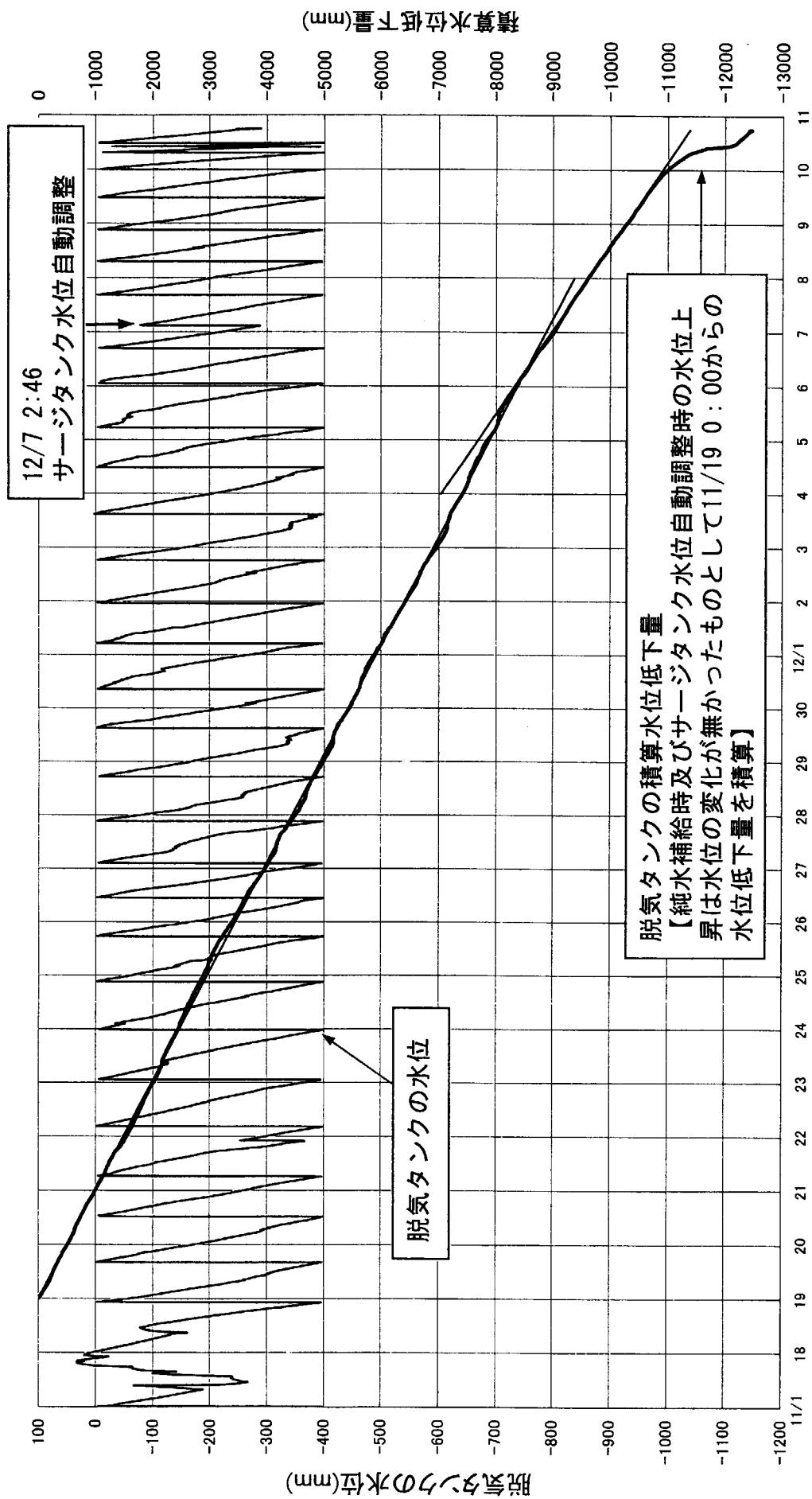


図1 第147サイクルの脱気タンク水位の変化

図6 脱気タンク水位の変化

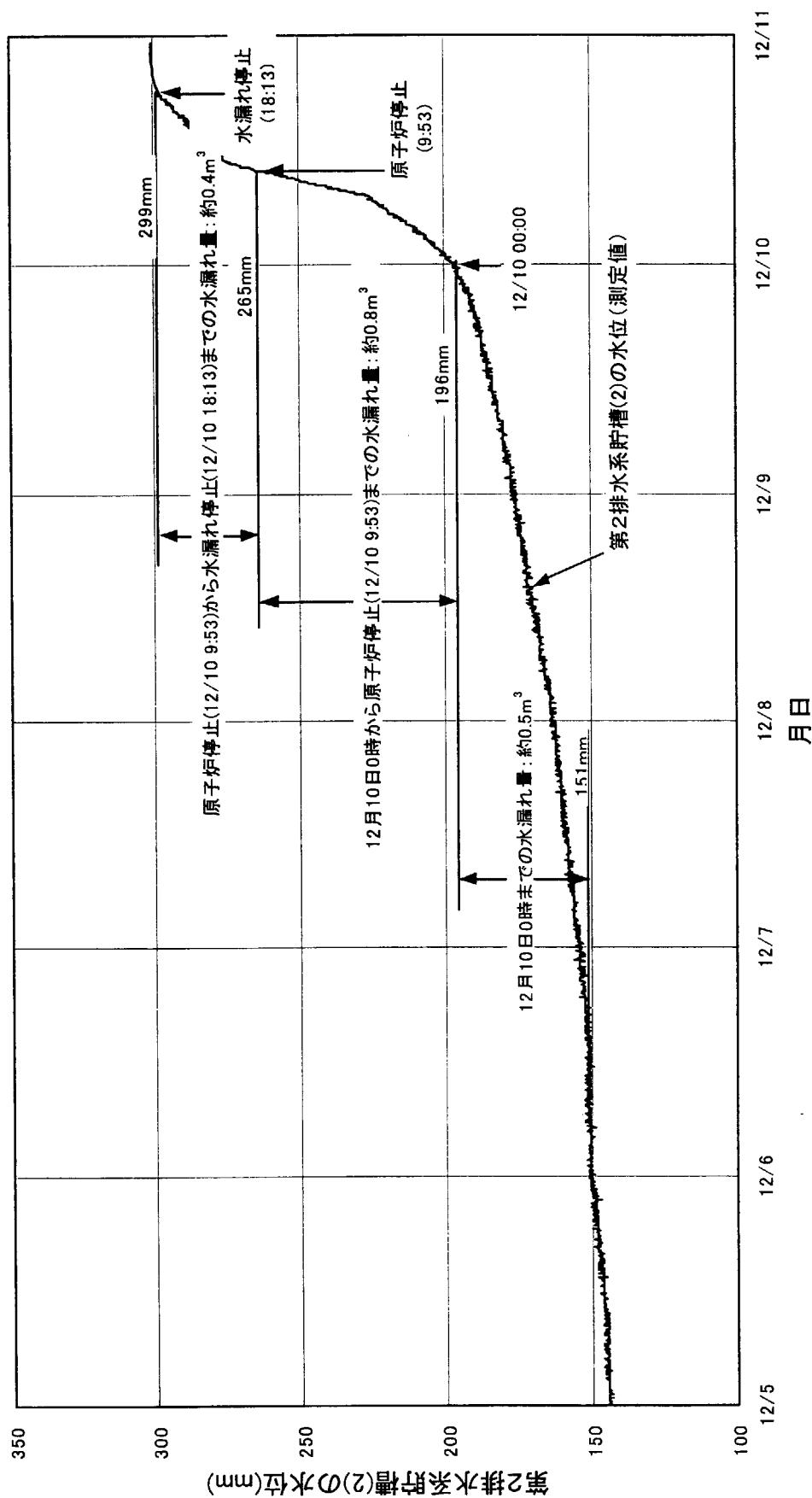


図7 第2排水貯槽(2) 水位変化から評価した水漏れ量

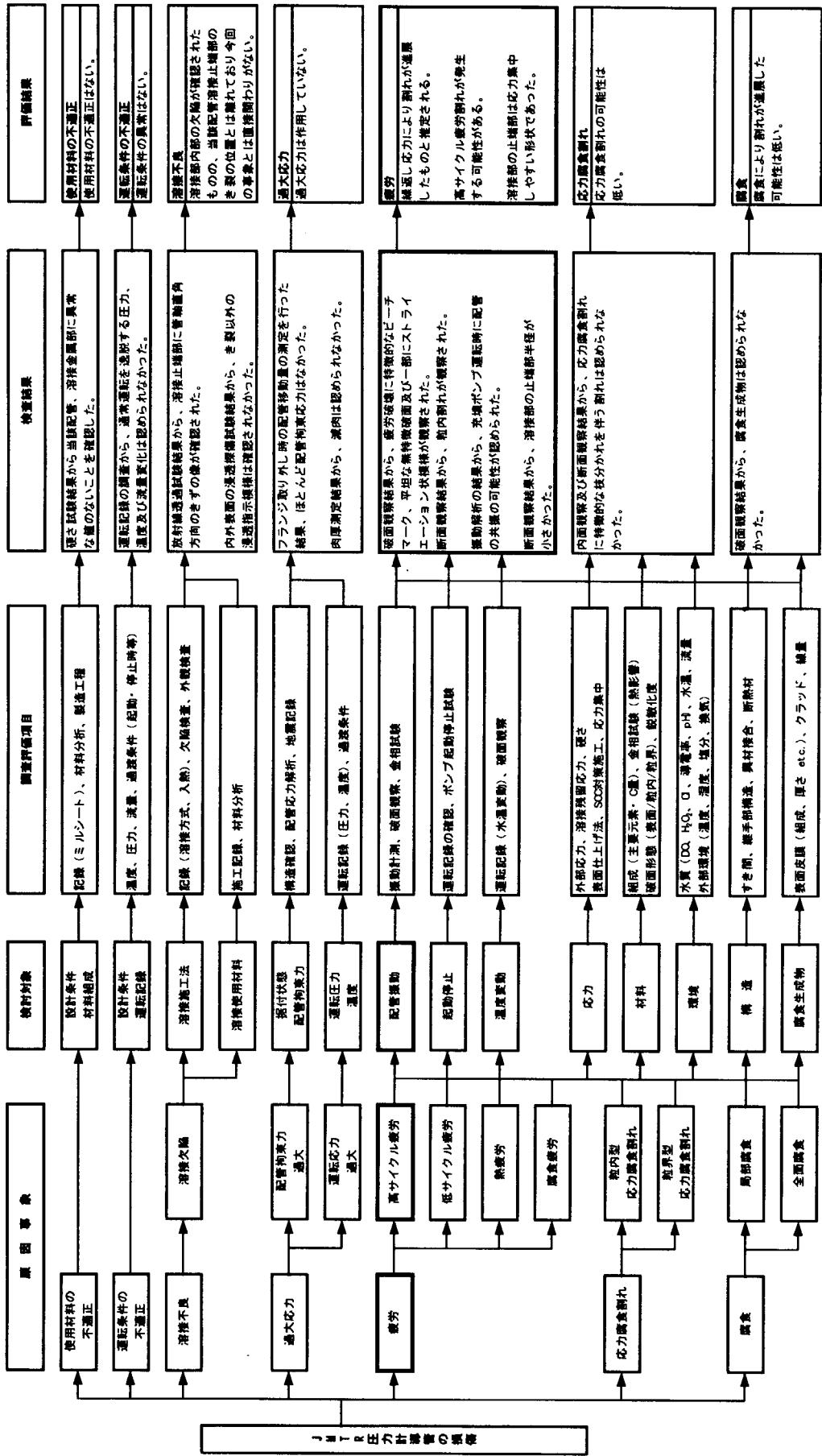


図 8 結果調査原因発生き裂

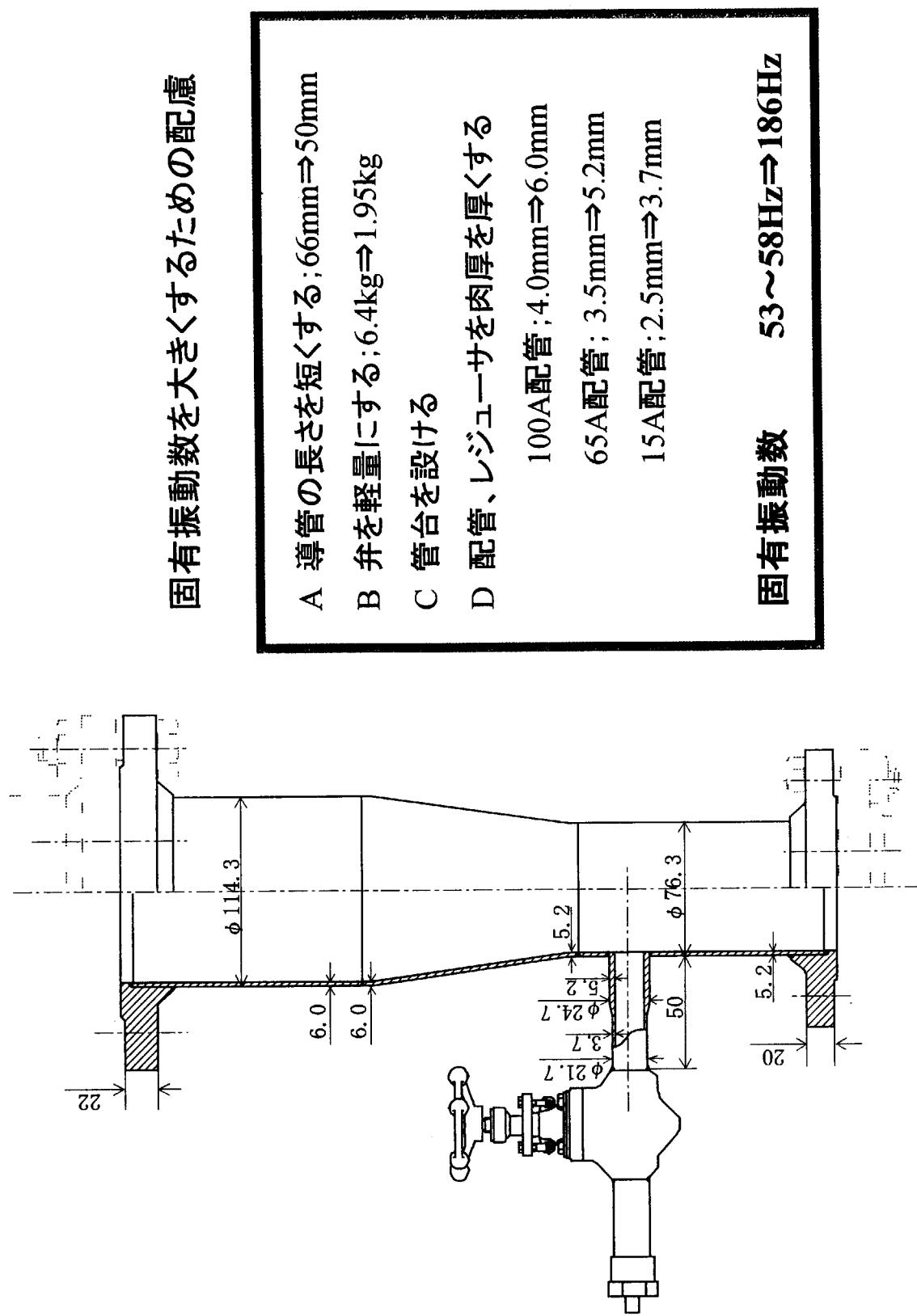


図9 修復した計測配管の構造

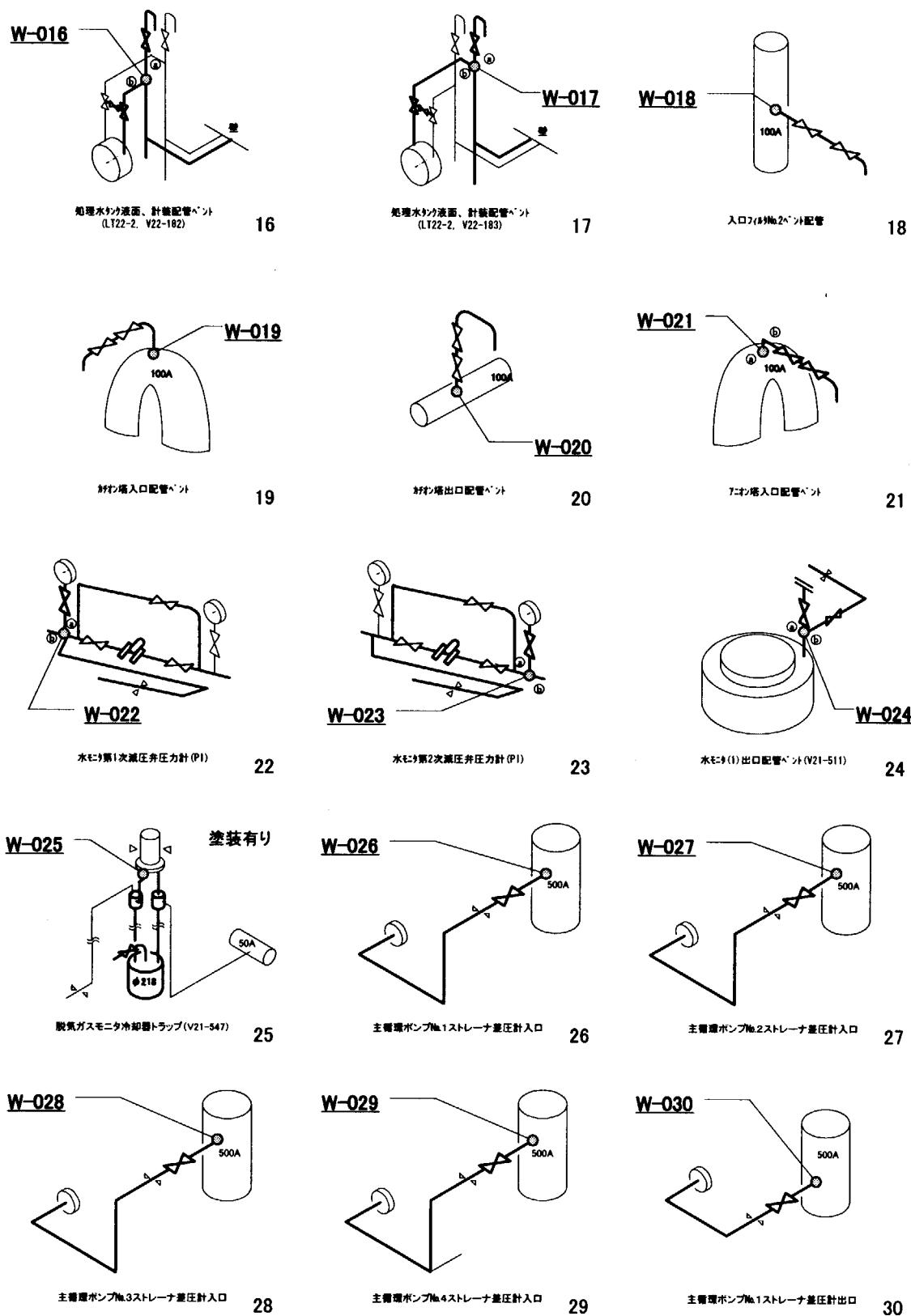


図10 浸透探傷試験対象配管アイソメ図（例）

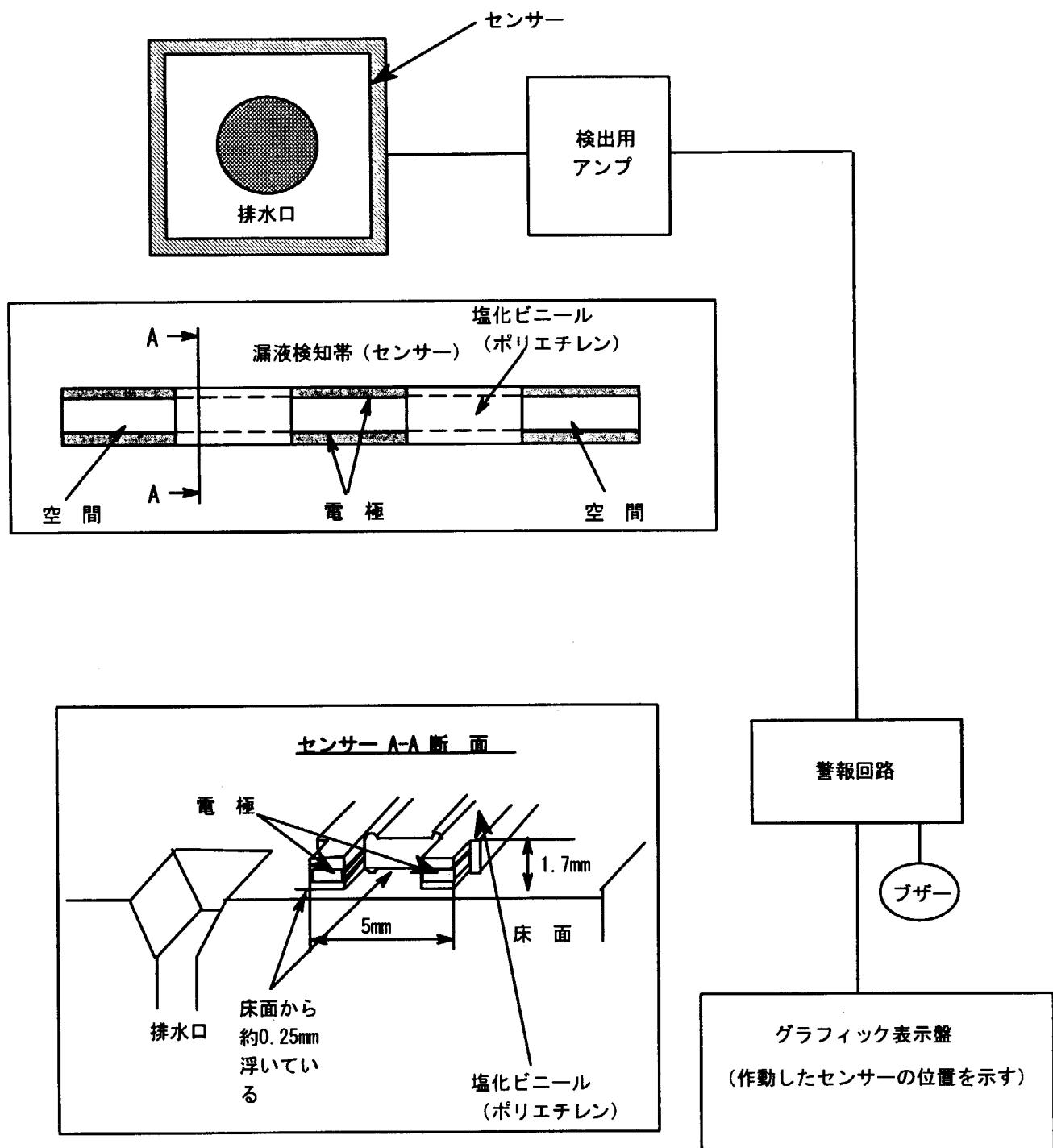


図11 改良型漏水検知器センサの構造

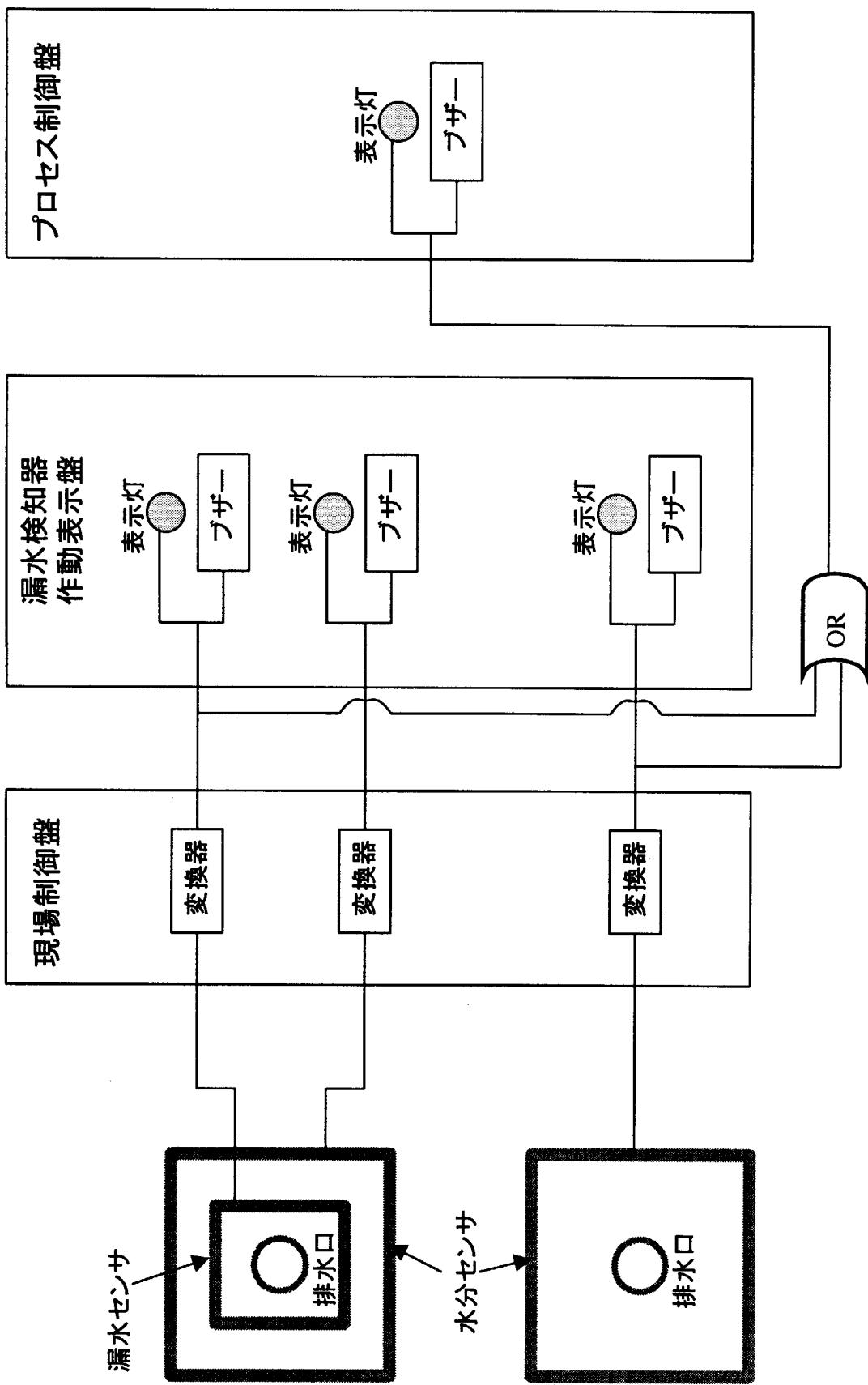
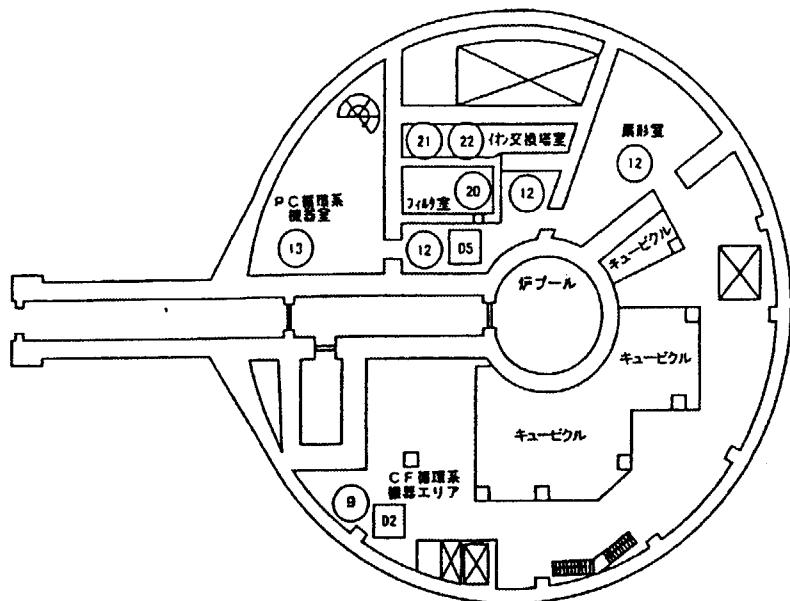


図12 漏水検知器回路

B 1 F



B 3 F

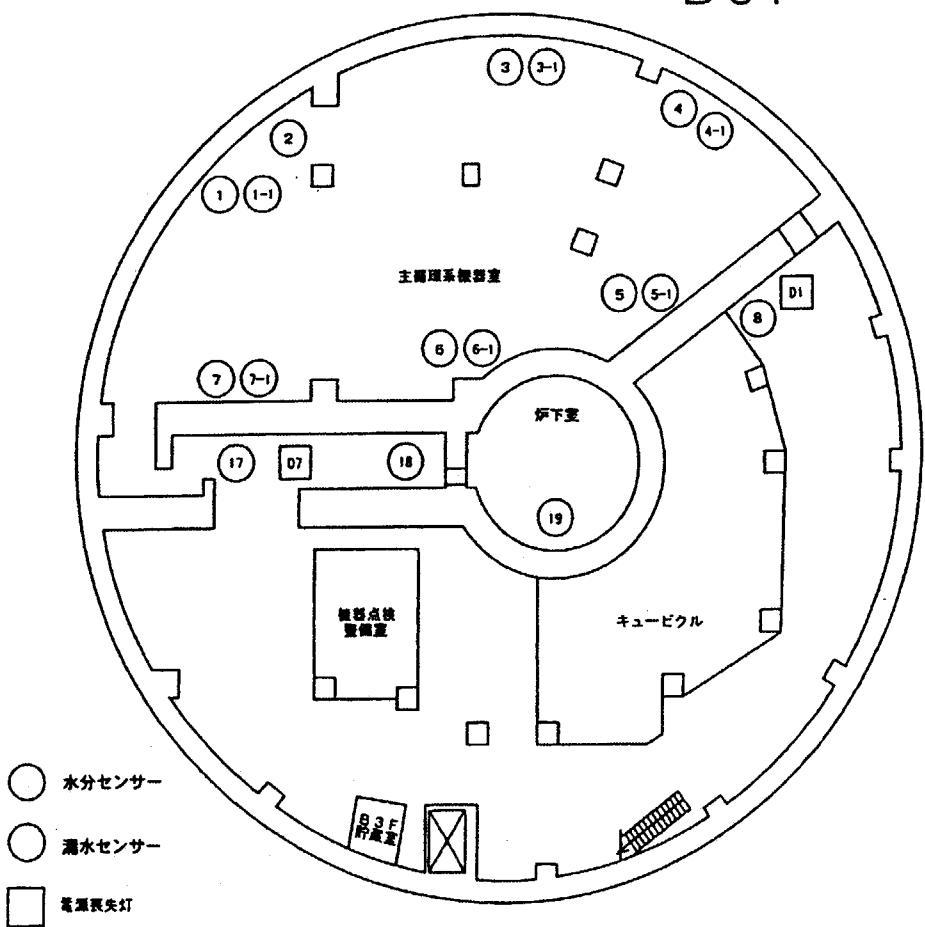


図13 漏水検知器作動表示盤1/2

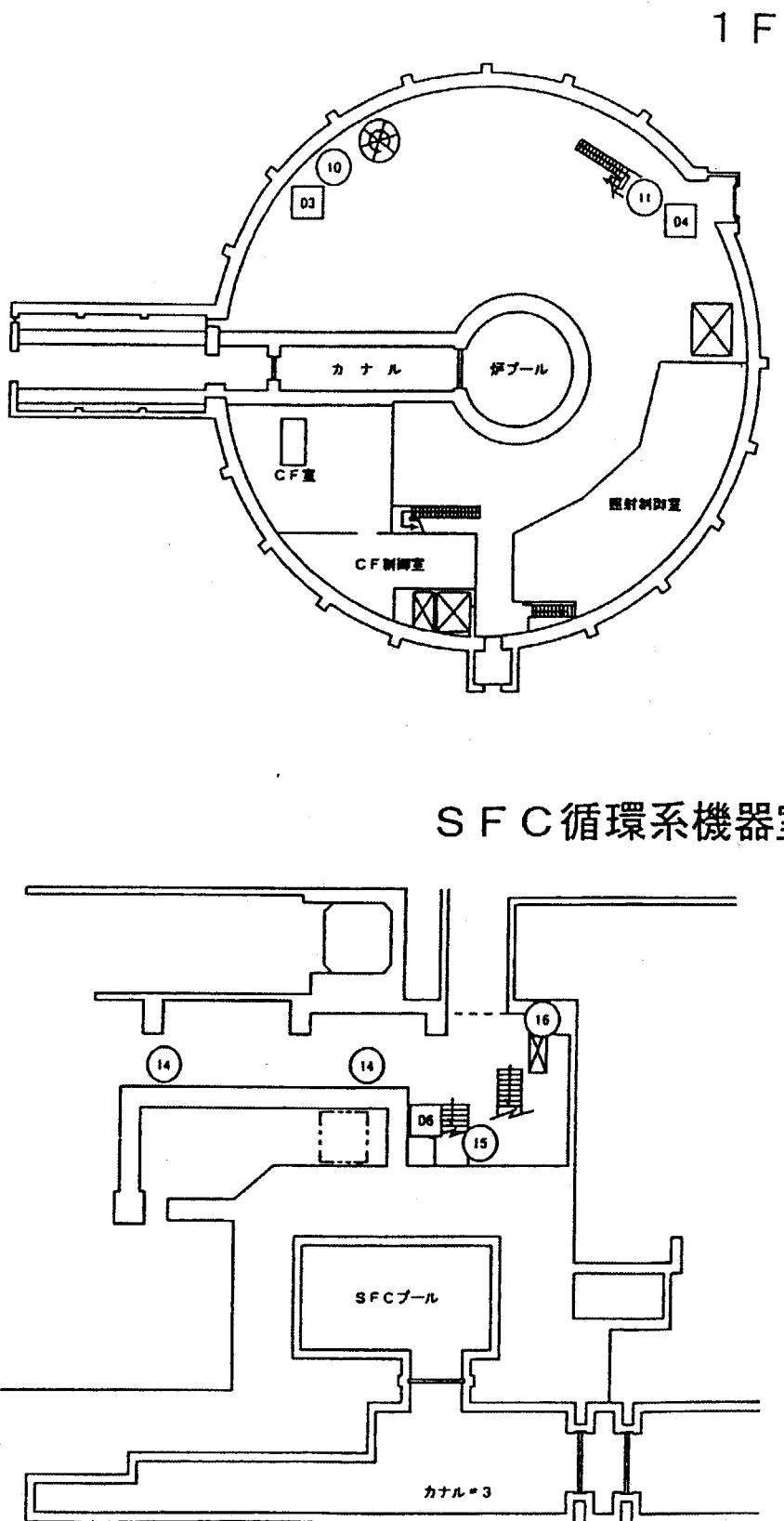


図13 漏水検知器作動表示盤2/2

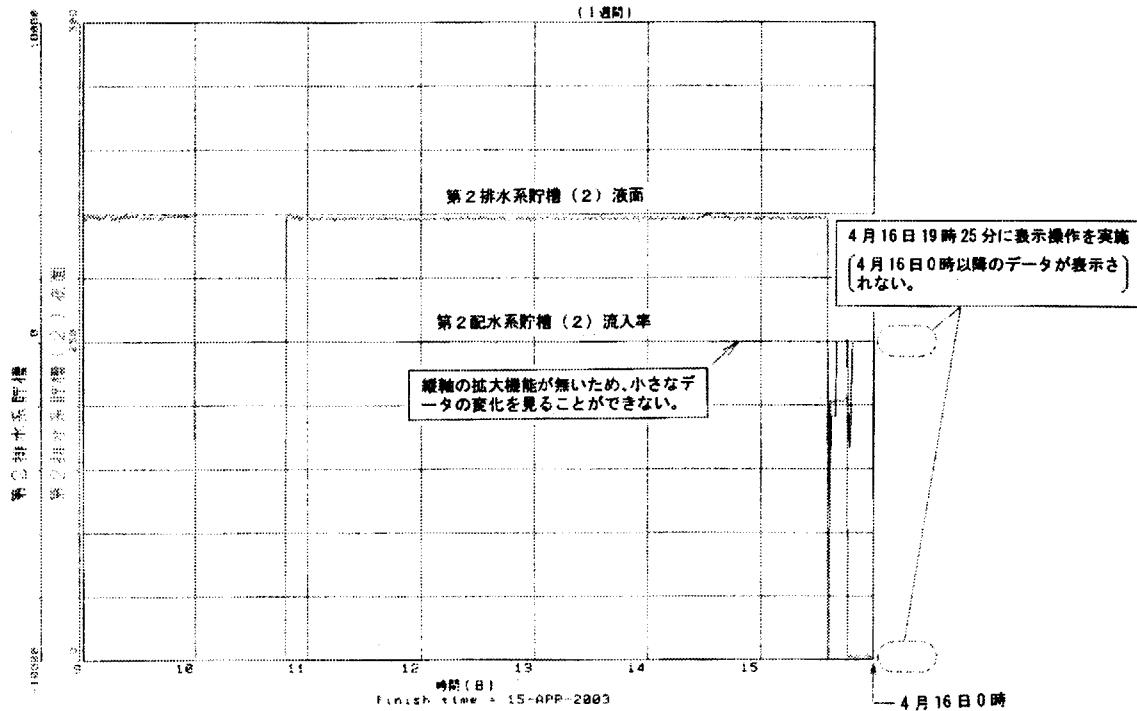


図14 ARGUSによるトレンド表示（改良前）

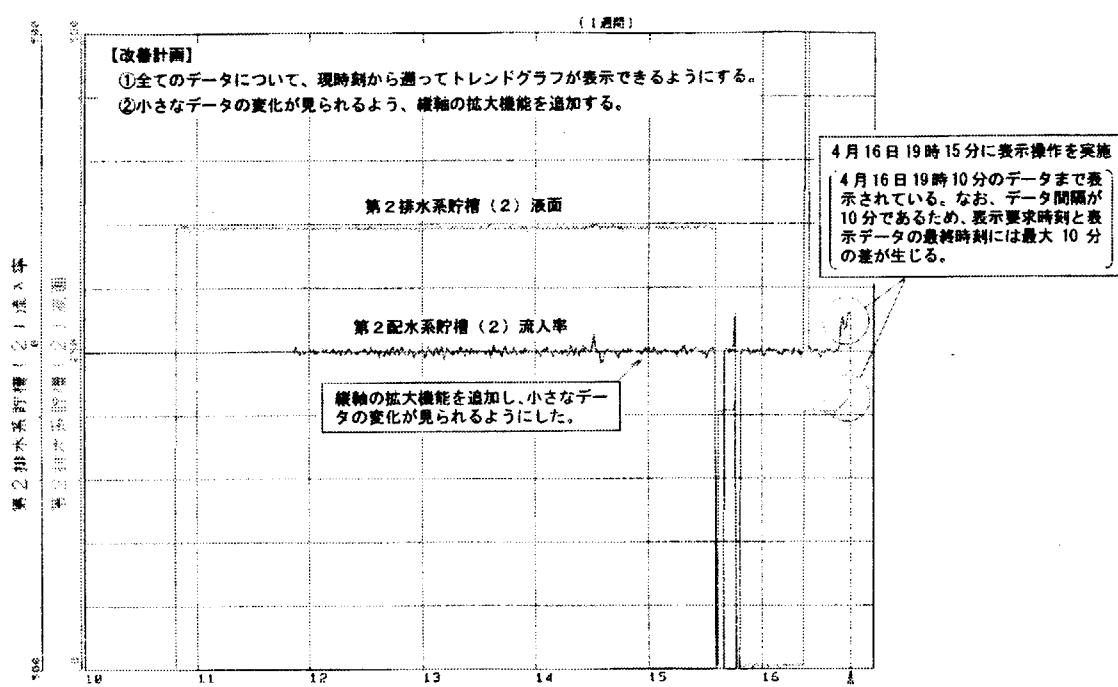


図15 ARGUSによるトレンド表示（改良後）

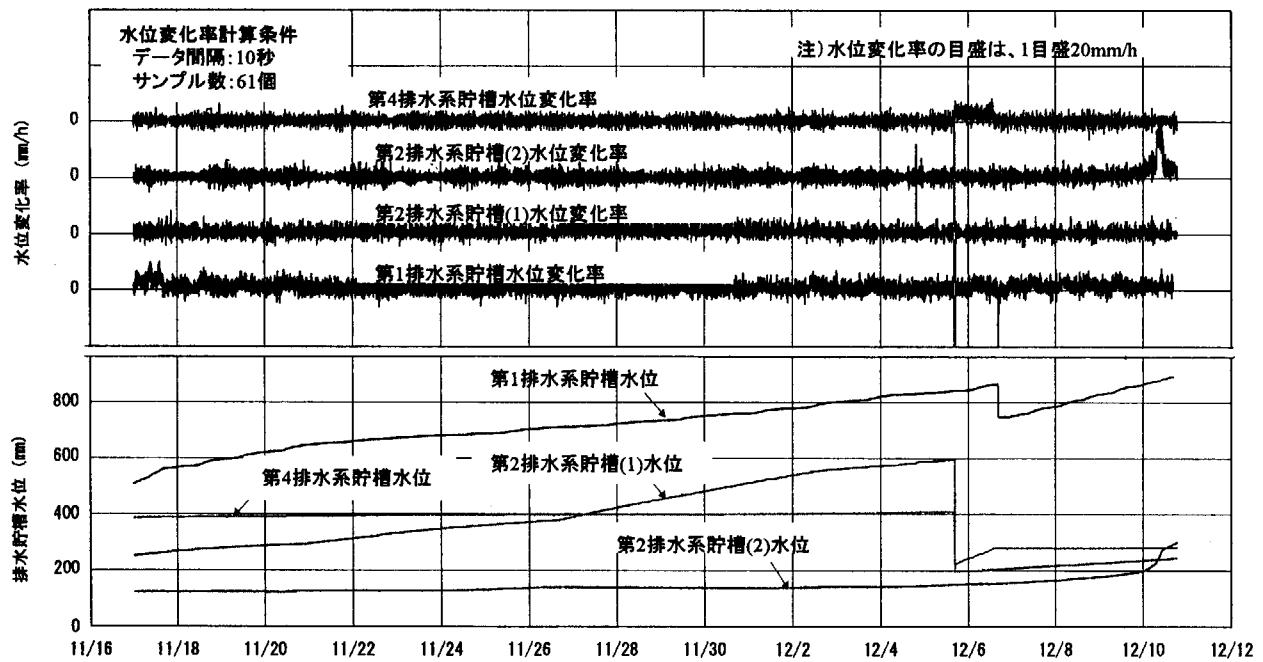


図16 水漏れ監視プログラム (LARD) 改良前の貯槽水位変化率
(JMTR第147サイクルデータ)

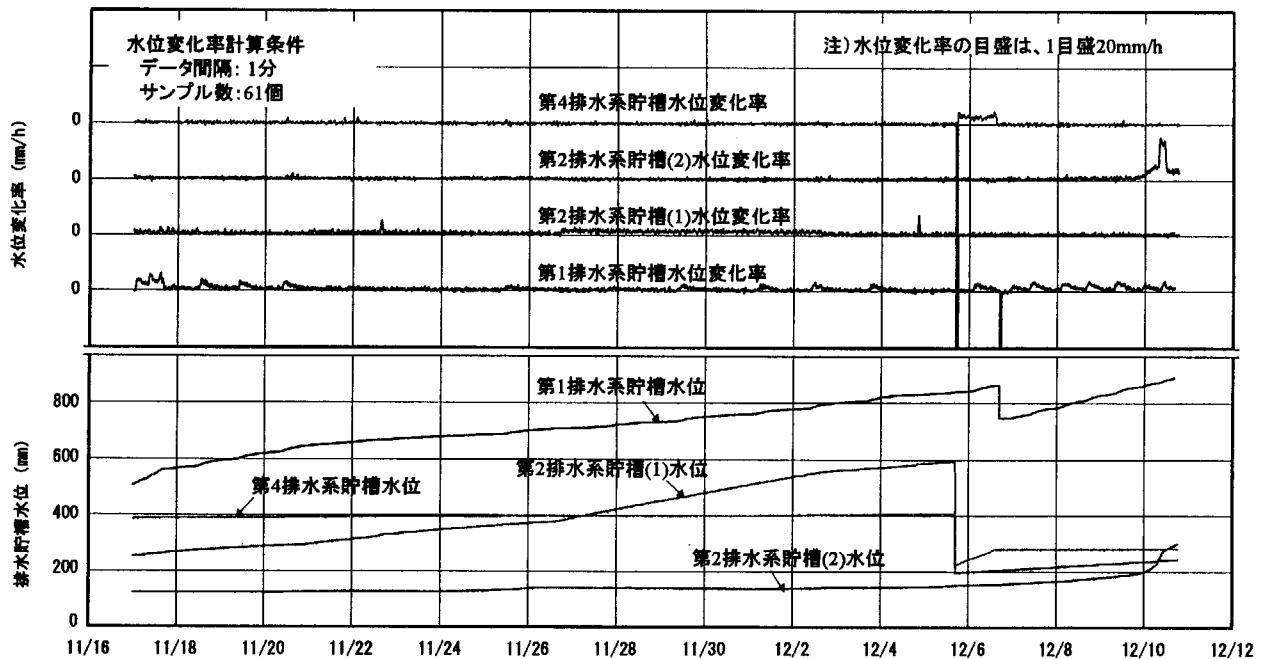


図17 水漏れ監視プログラム (LARD) 改良後の貯槽水位変化率
(JMTR第147サイクルデータ)

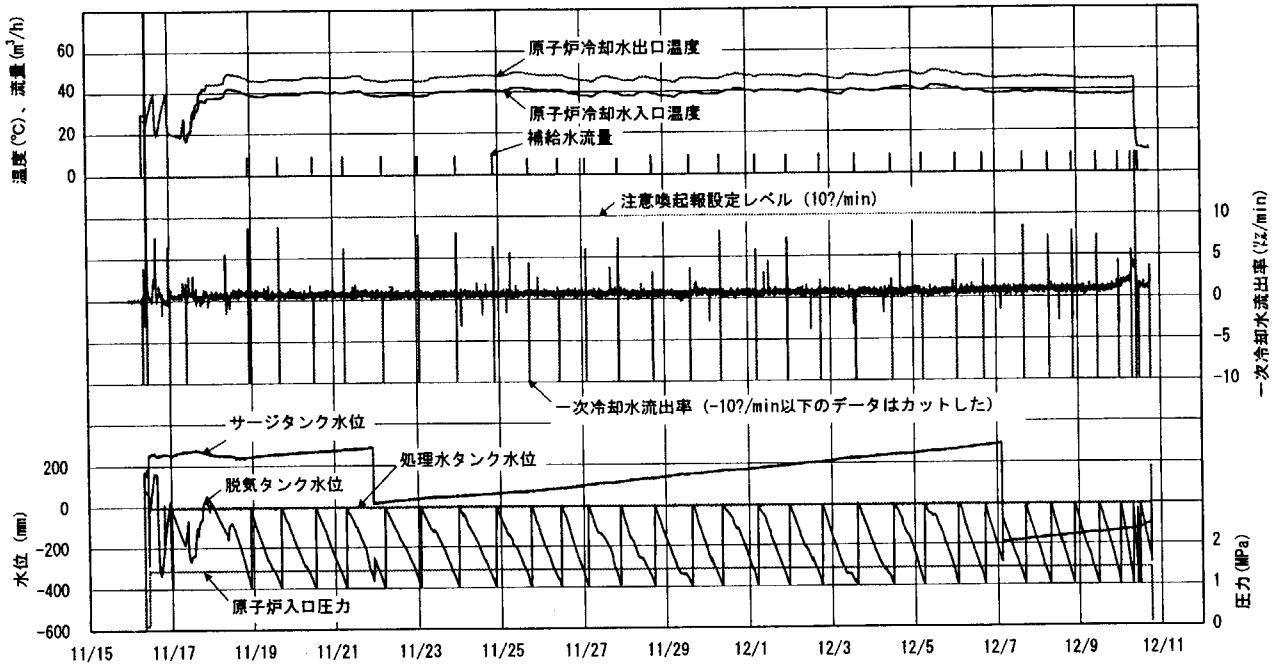


図18 水漏れ監視プログラム（LEAK）改良前の流出率
(第147サイクルデータ)

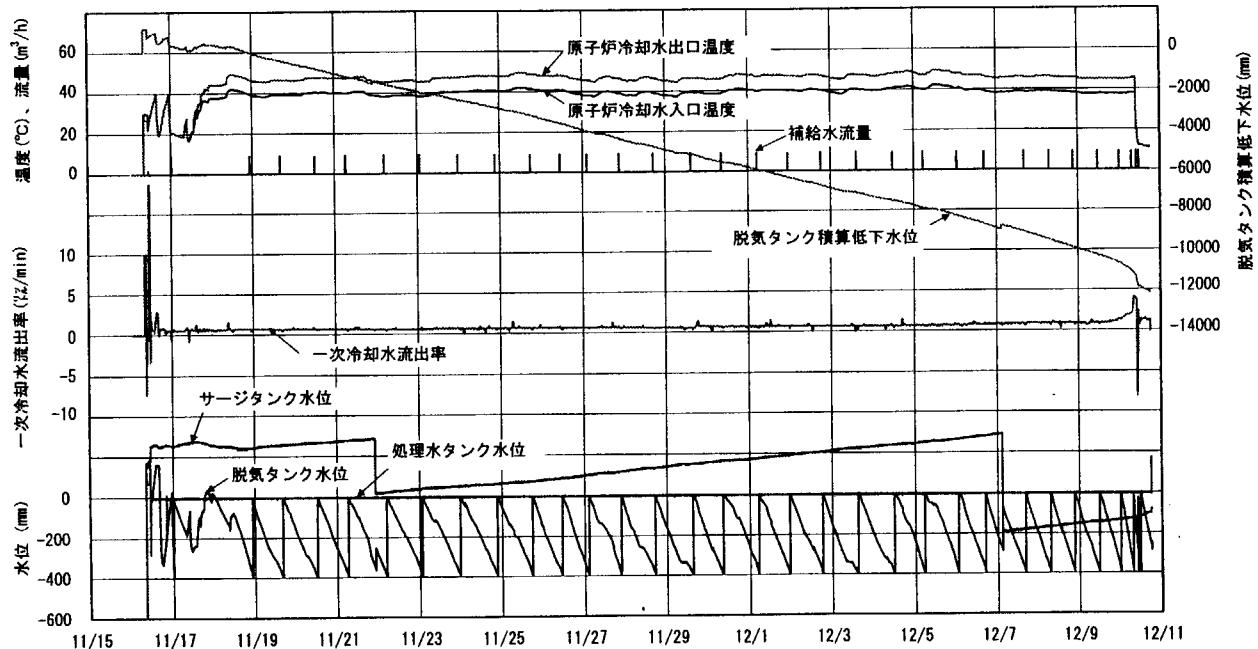


図19 水漏れ監視プログラム（LEAK）改良後の流出率
(第147サイクルデータ)

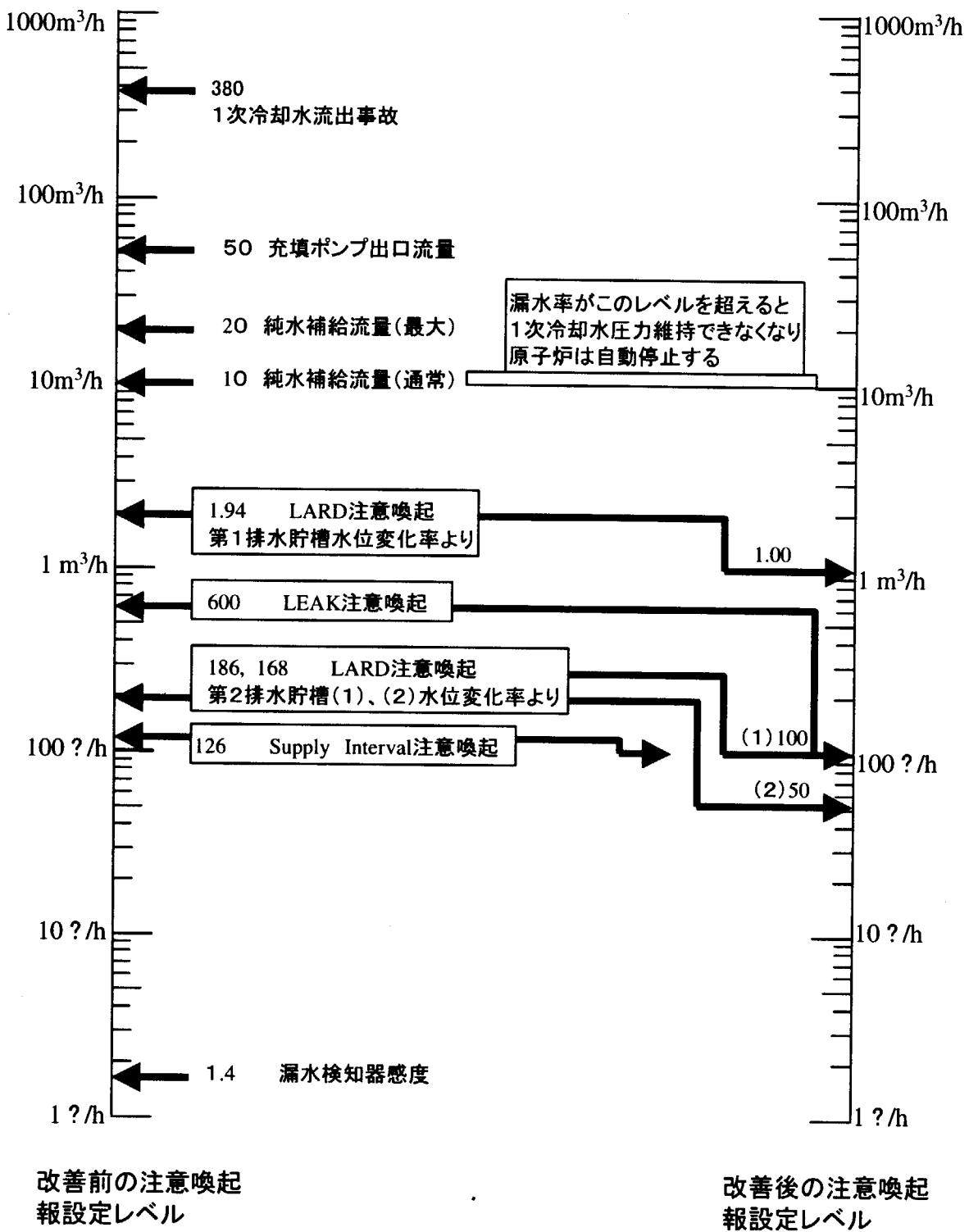


図20 漏水検知の現状と改良結果

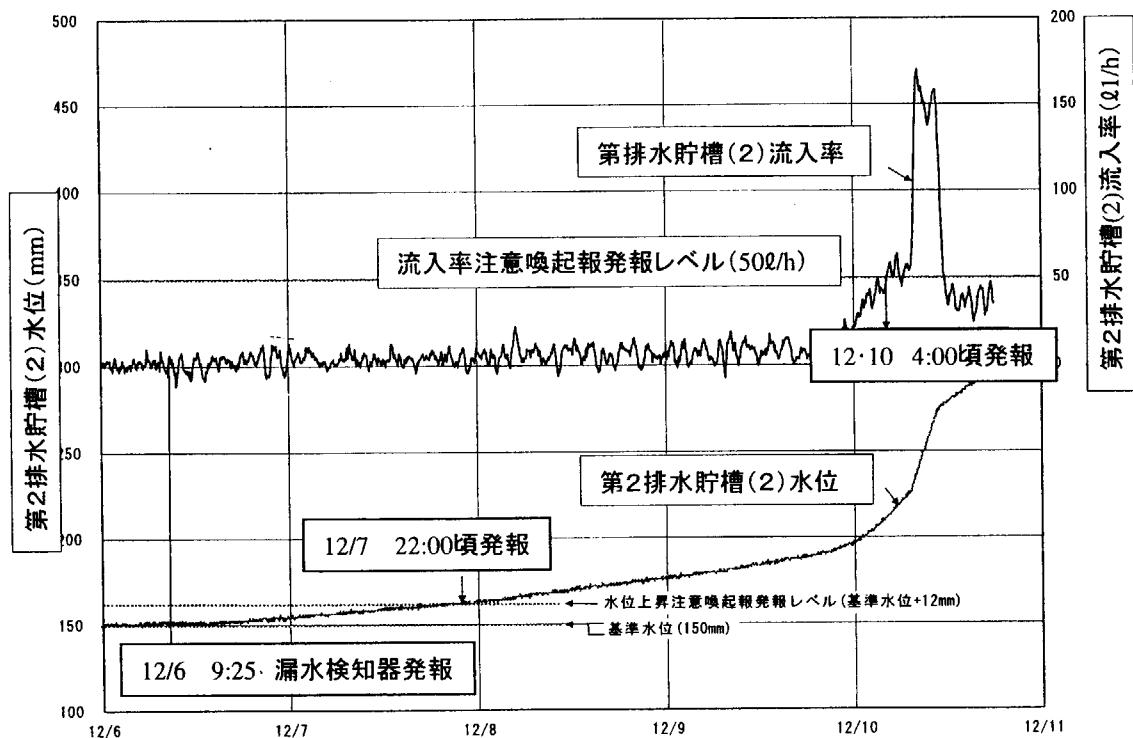


図21 LARDによる注意喚起報発報時期
(第147サイクルデータによるシミュレーション計算結果)

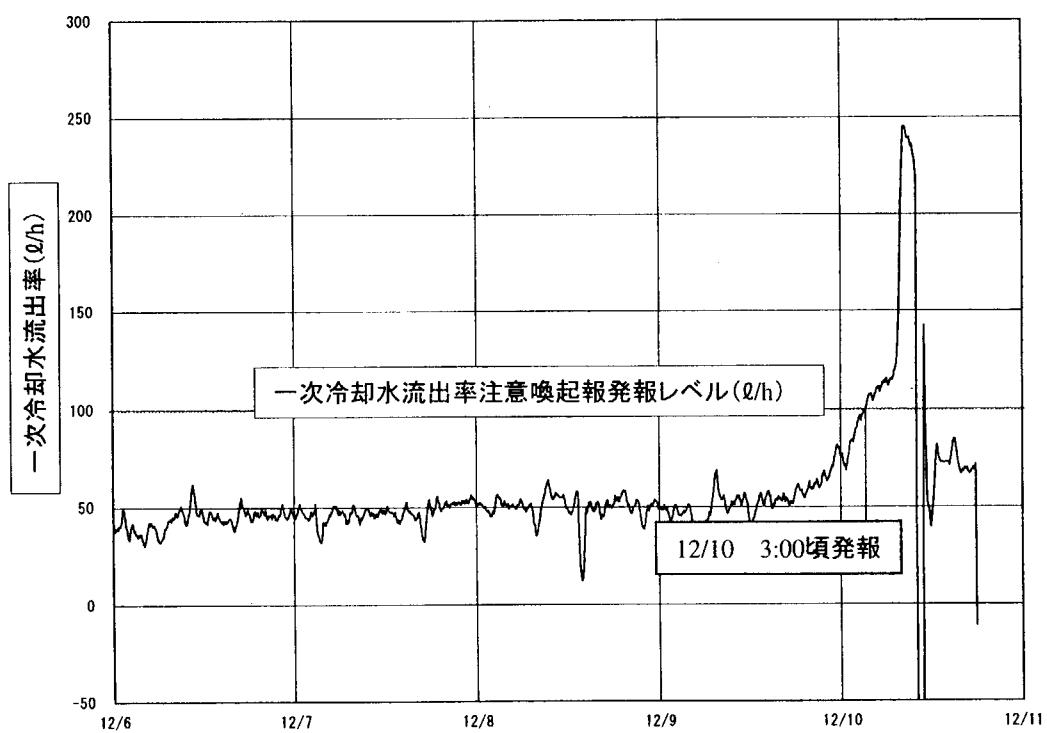


図22 LEAKによる注意喚起報発報時期
(第147サイクルデータによるシミュレーション計算結果)

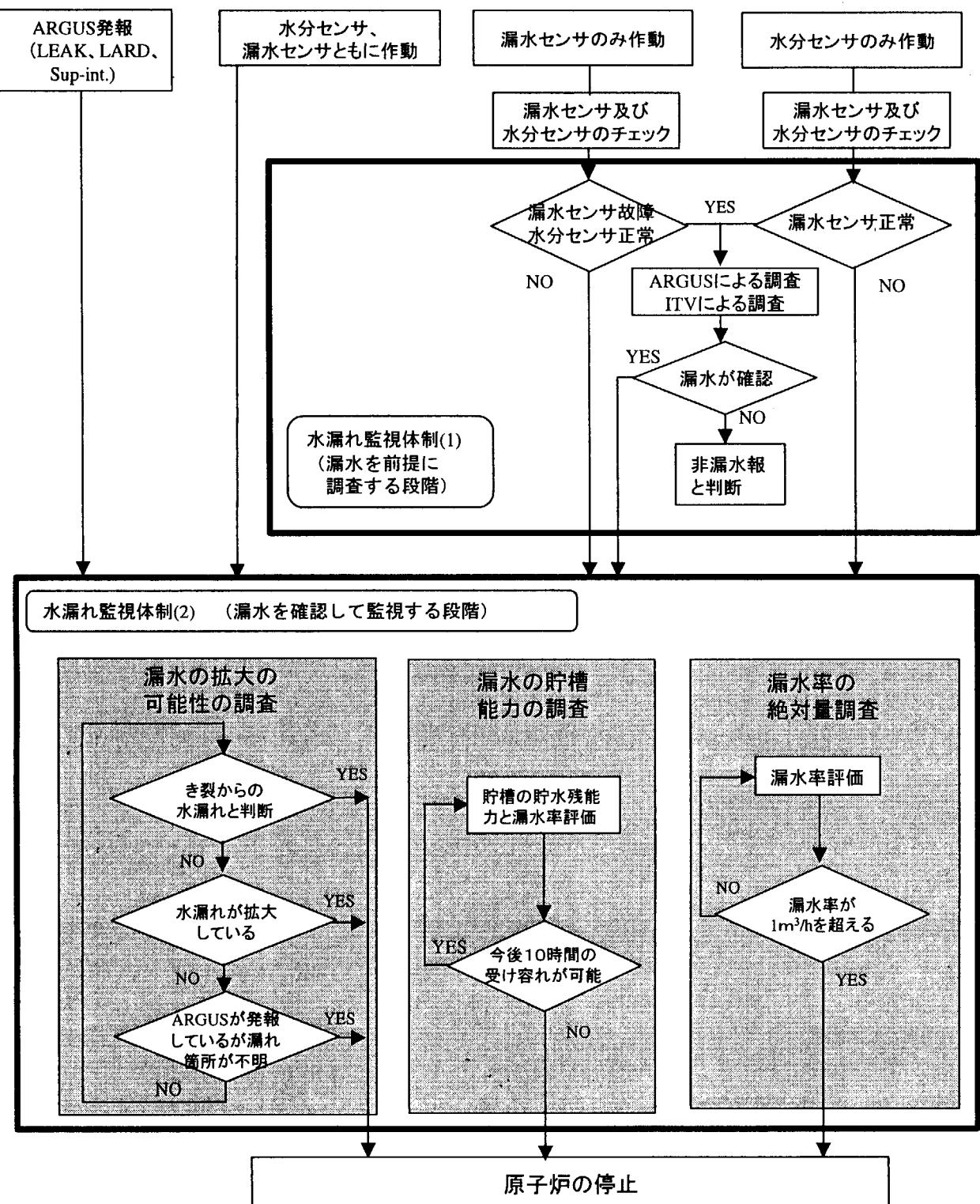


図23 漏水検知後の対応基本フローチャート

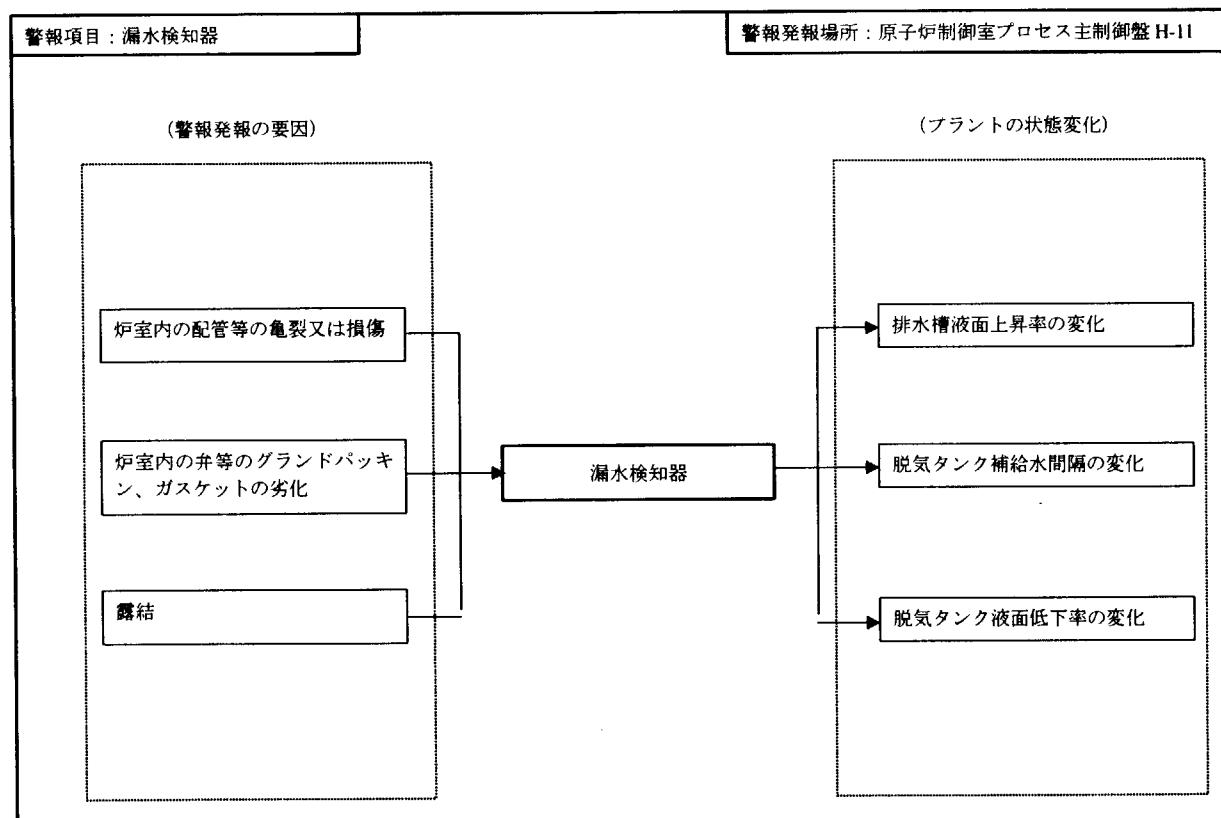
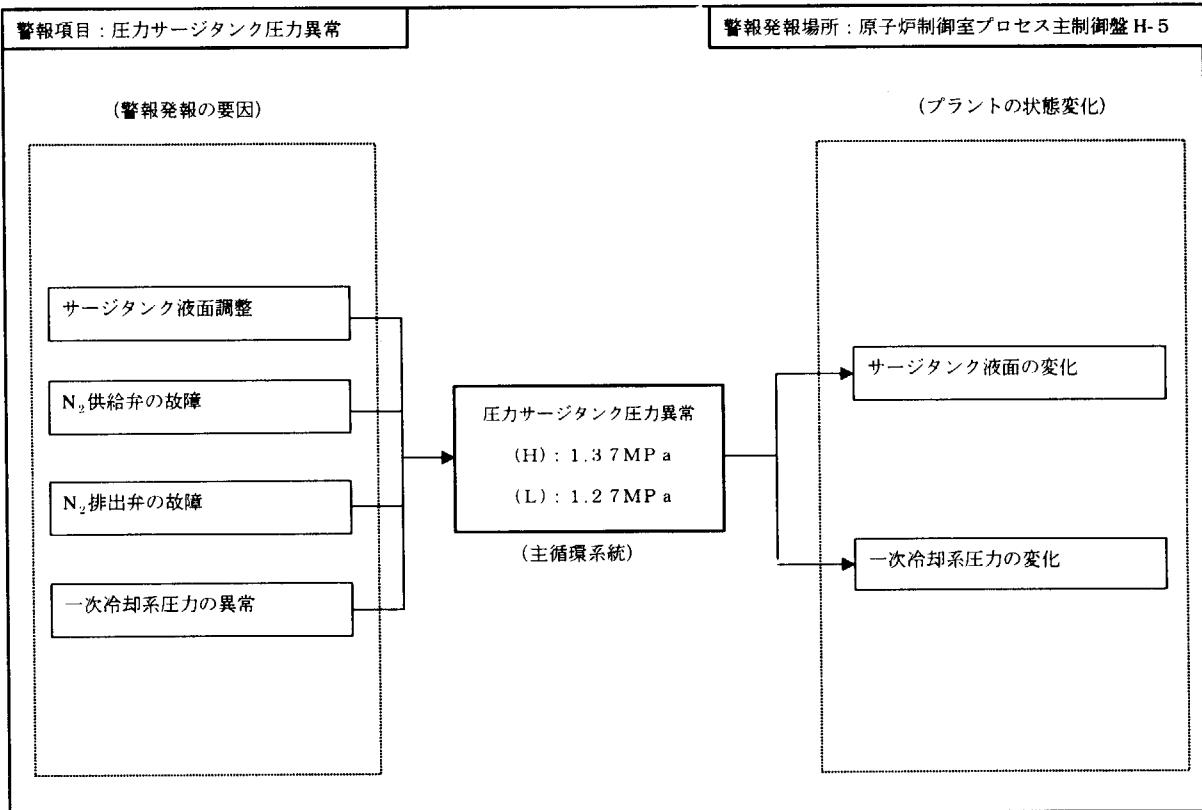


図24 警報要因分析結果
—圧力サージタンク圧力異常、漏水検知器—

圧力サージタンク圧力異常
(AL)H: 1.47MPa L: 1.27MPa (SS)H: 1.62MPa L: 1.15MPa

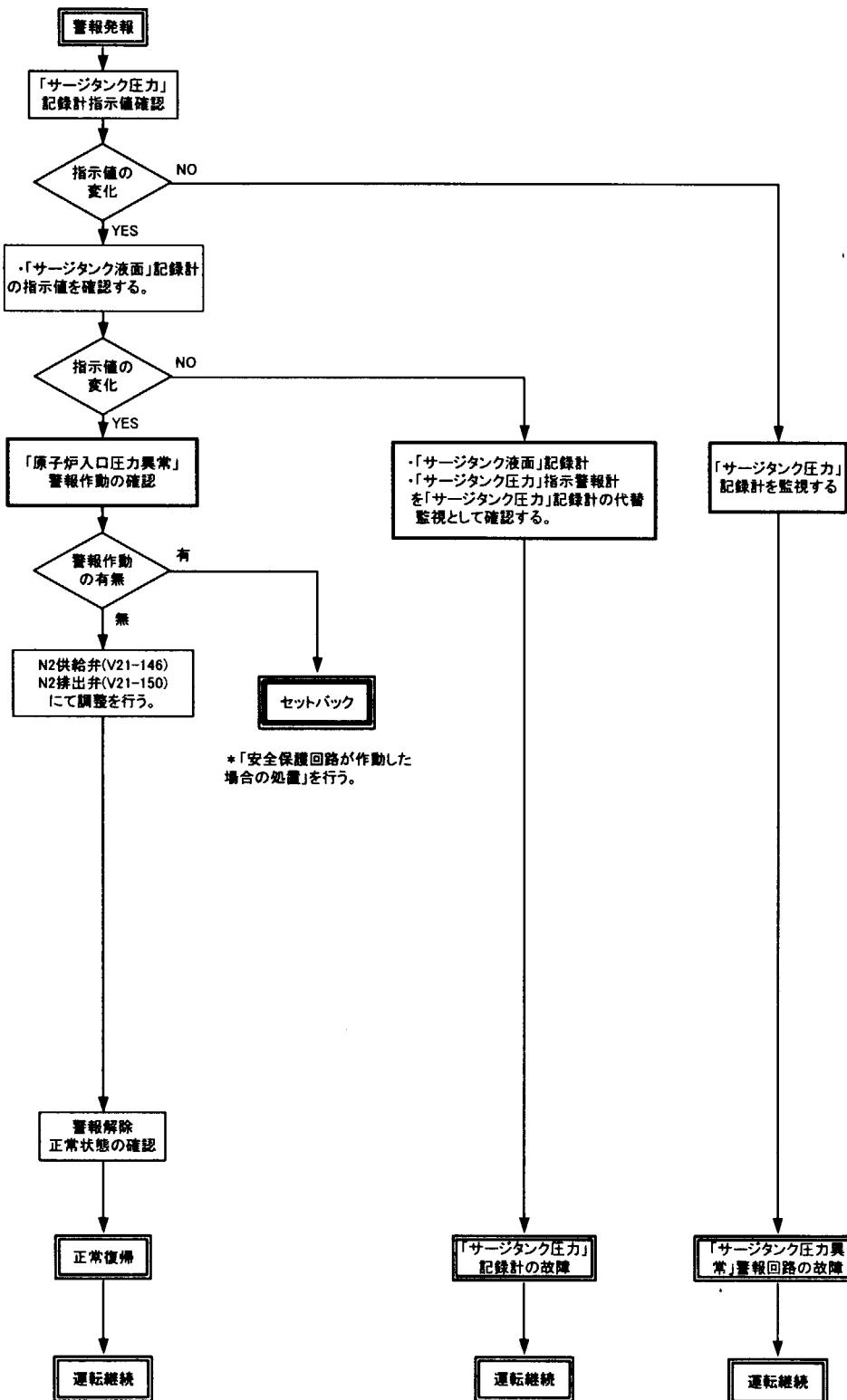


図25 警報発報時の調査・措置フローチャート1/2
—圧力サージタンク圧力異常—

漏水検知器・水漏れ監視プログラム

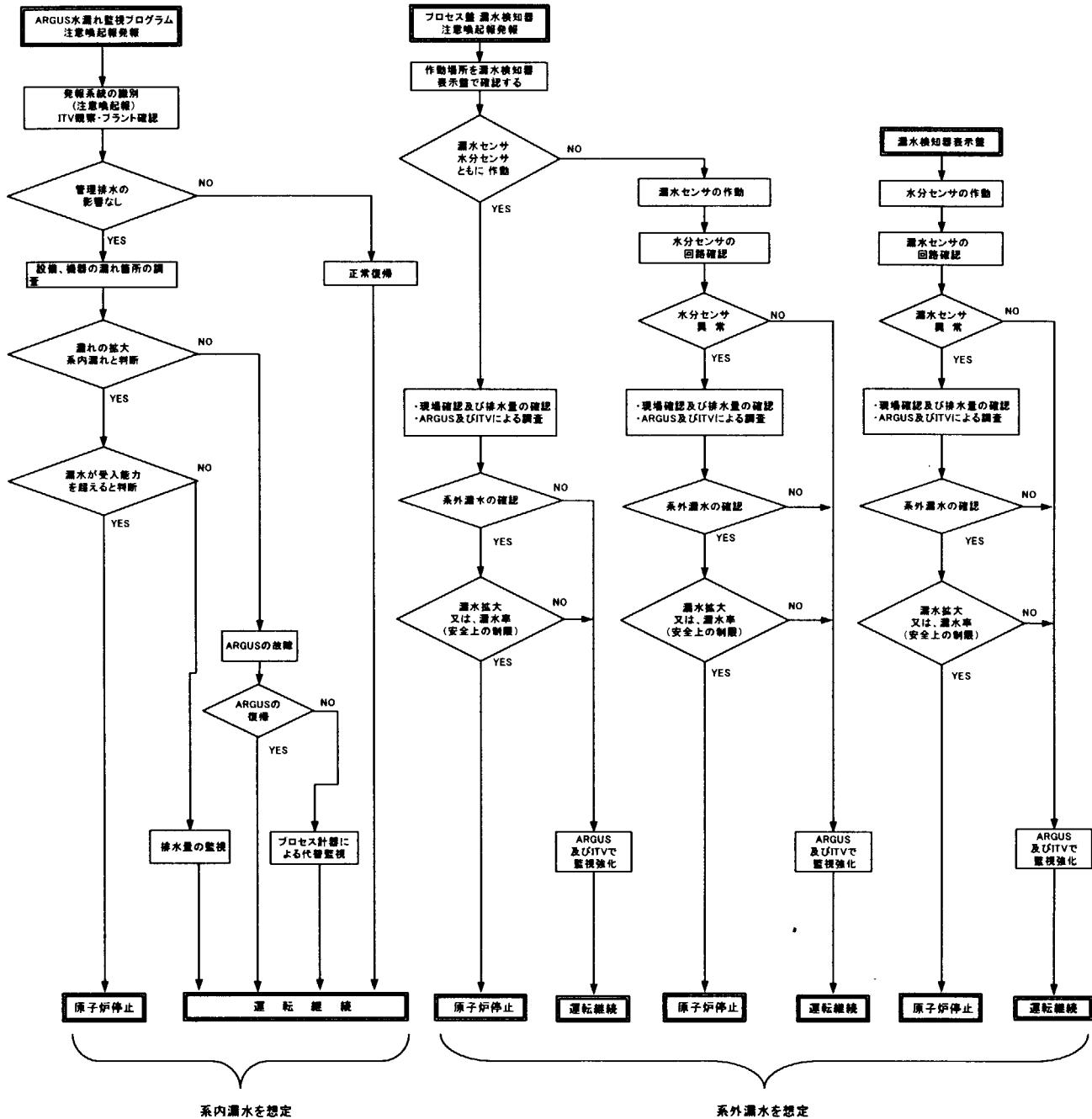


図25 警報発報時の調査・措置フローチャート2/2
一漏水検知器作動一

MTR 運轉業務誌

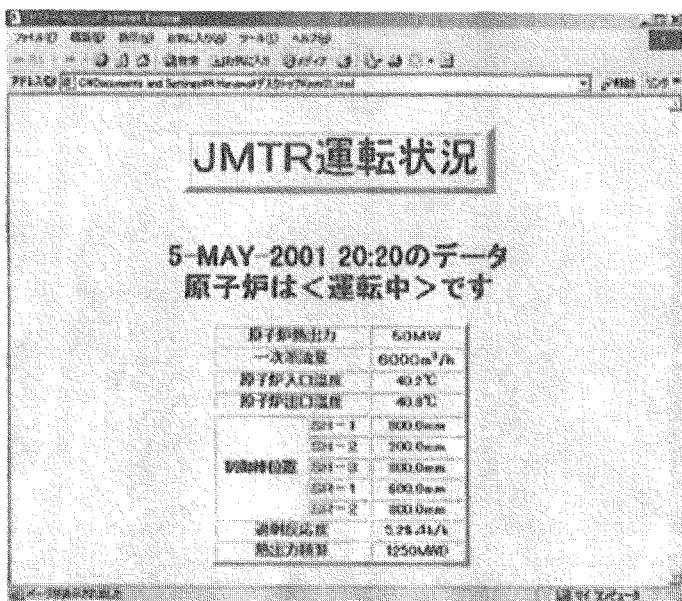
12

JAERI-Review 2003-024

図26 運転業務日誌のフォーマット

表示方法：ネットワークコンピュータ → Agspcsvr → 専用フォルダ内
閲覧にはパスワードが必要です。

通常運転時の表示



警報等発報時の表示

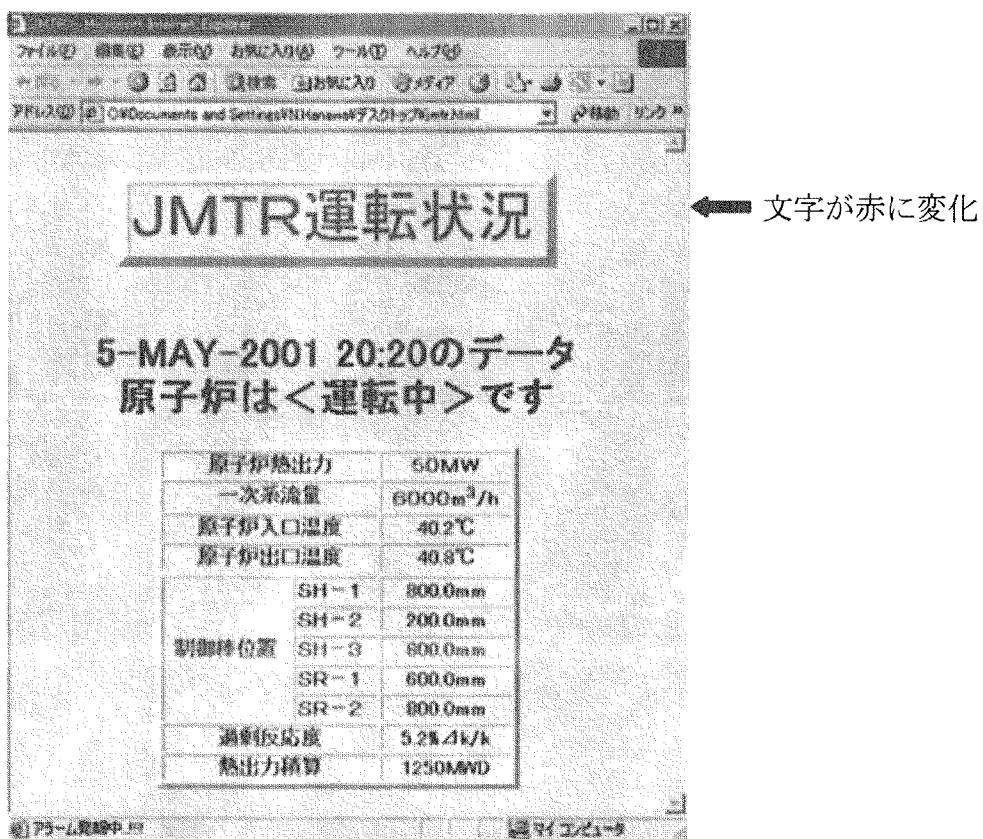
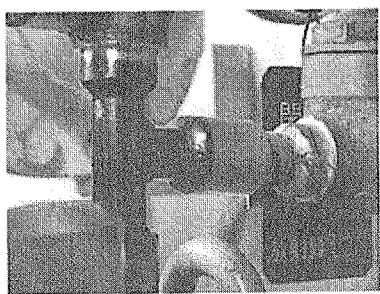
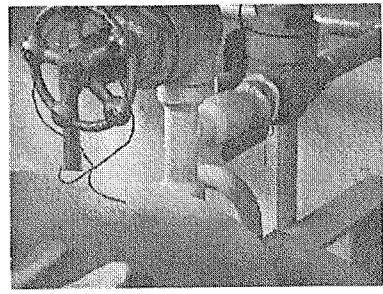


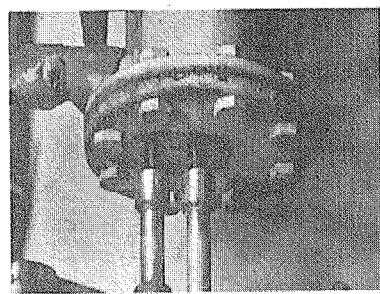
図27 JMTR原子炉の運転情報
(部内公開用)



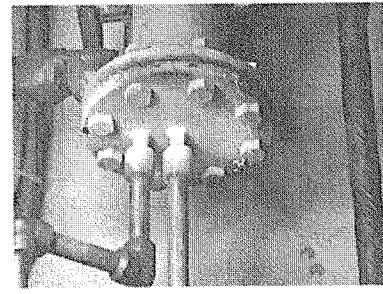
24.水セパ(1)出口配管ベント
漫 透



24.水セパ(1)出口配管ベント
現 像



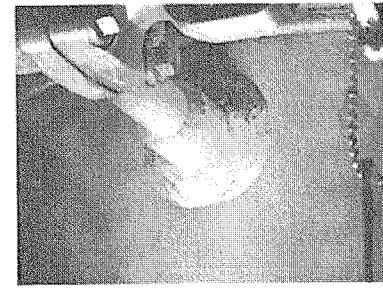
25.脱気器及び冷却器トップ
漫 透



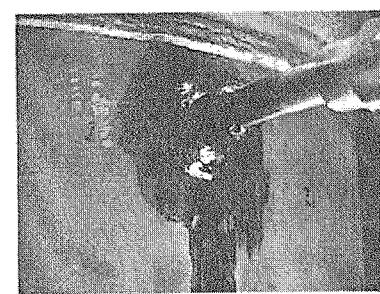
25.脱気器及び冷却器トップ
現 像



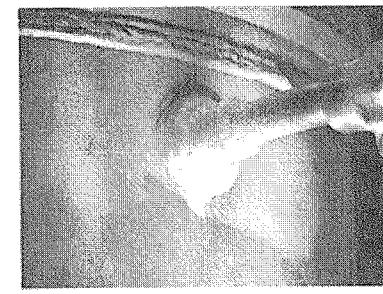
26.主循環ポンプ No.1 ストレナ差圧計入口
漫 透



26.主循環ポンプ No.1 ストレナ差圧計入口
現 像



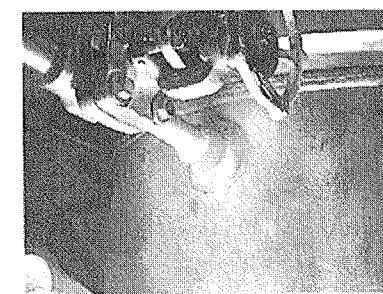
27.主循環ポンプ No.2 ストレナ差圧計入口
漫 透



27.主循環ポンプ No.2 ストレナ差圧計入口
現 像



28.主循環ポンプ No.3 ストレナ差圧計入口
漫 透



28.主循環ポンプ No.3 ストレナ差圧計入口
現 像

写真 1 浸透探傷試験状況（例）

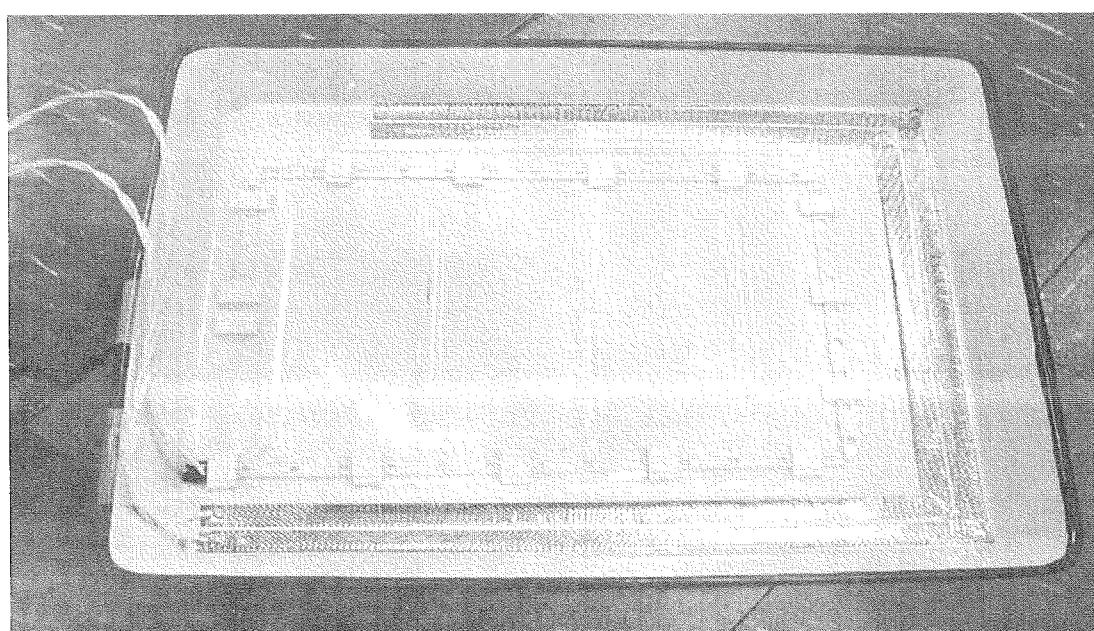
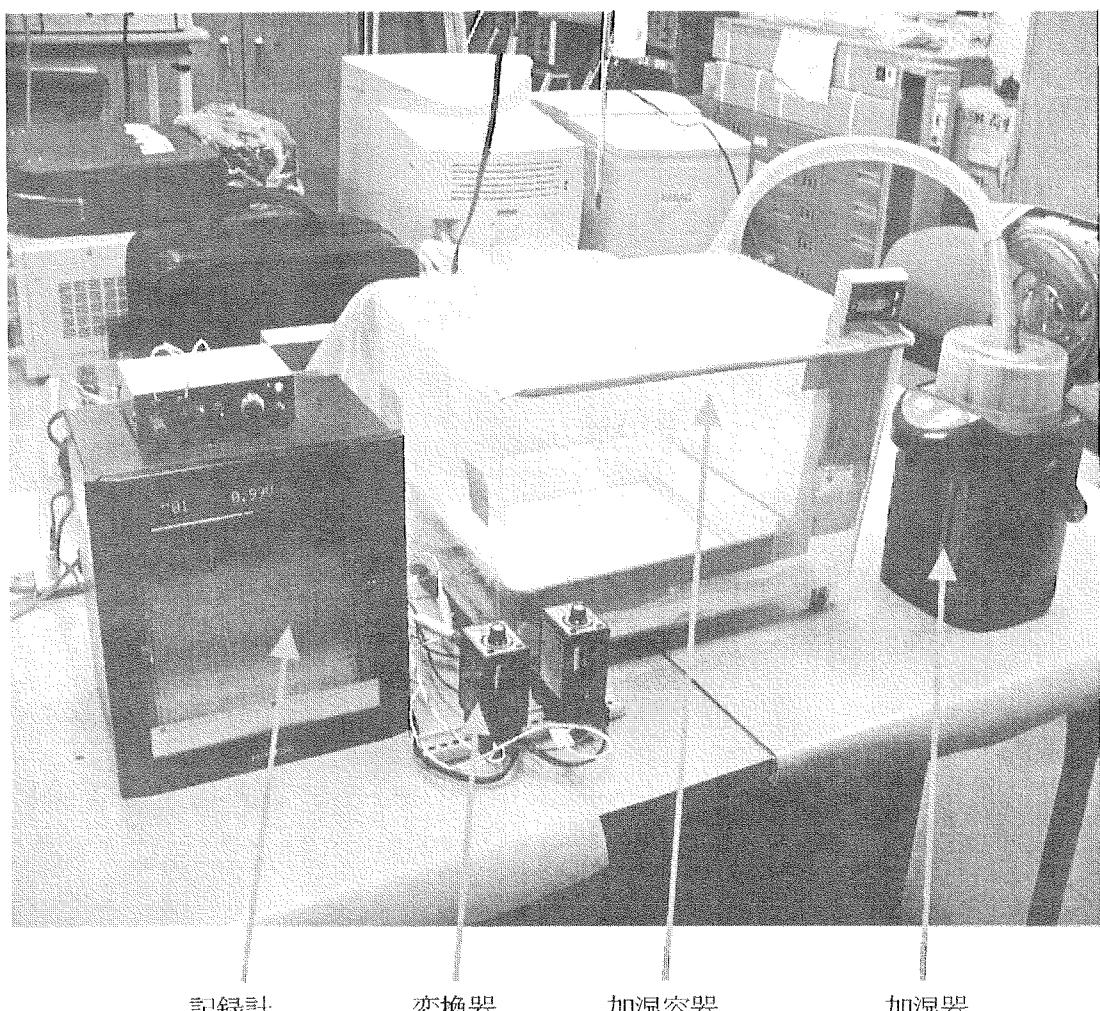


写真2 結露による感受性確認試験方法

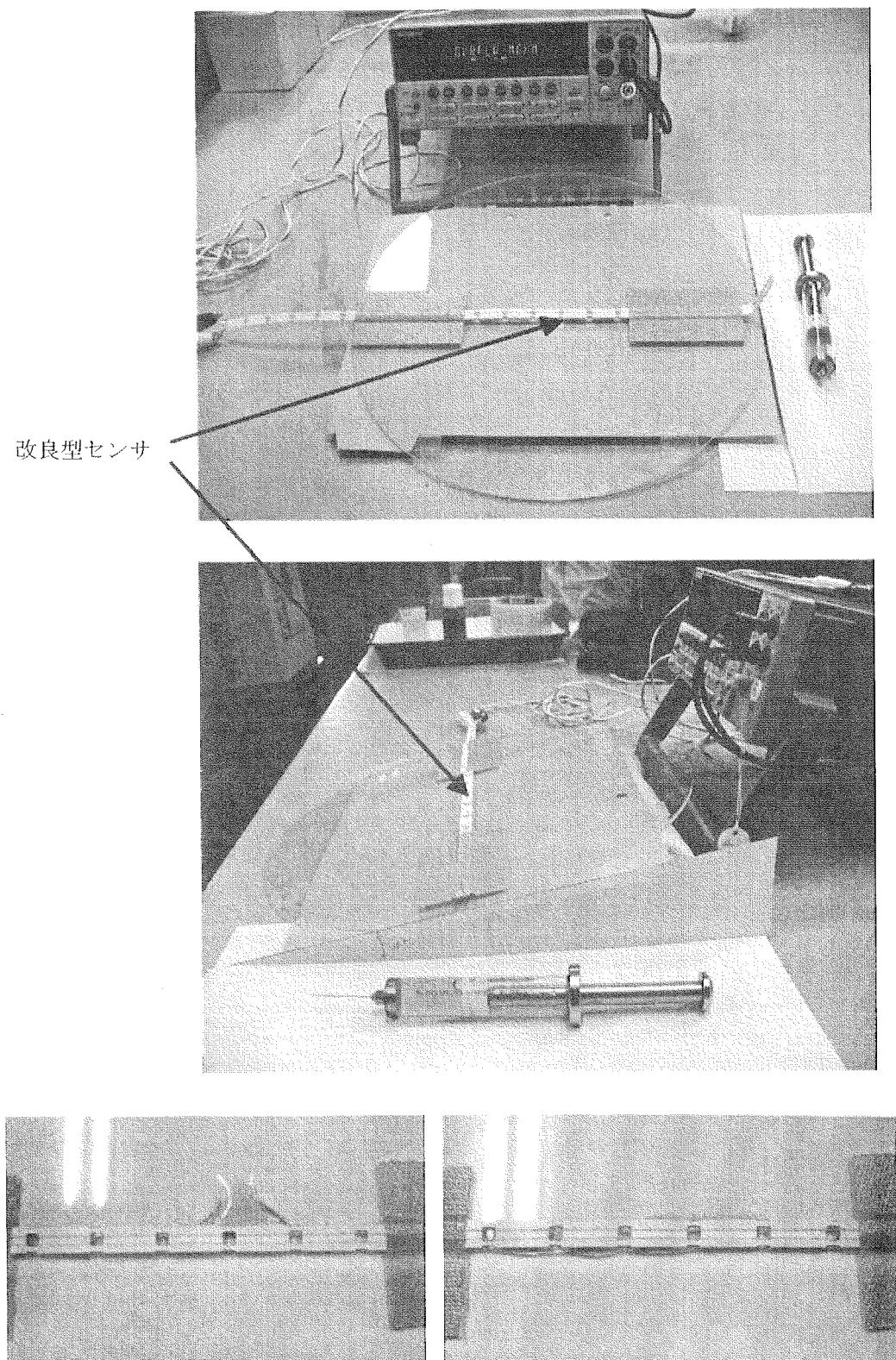


写真3 水漏れ検知能力の確認試験方法

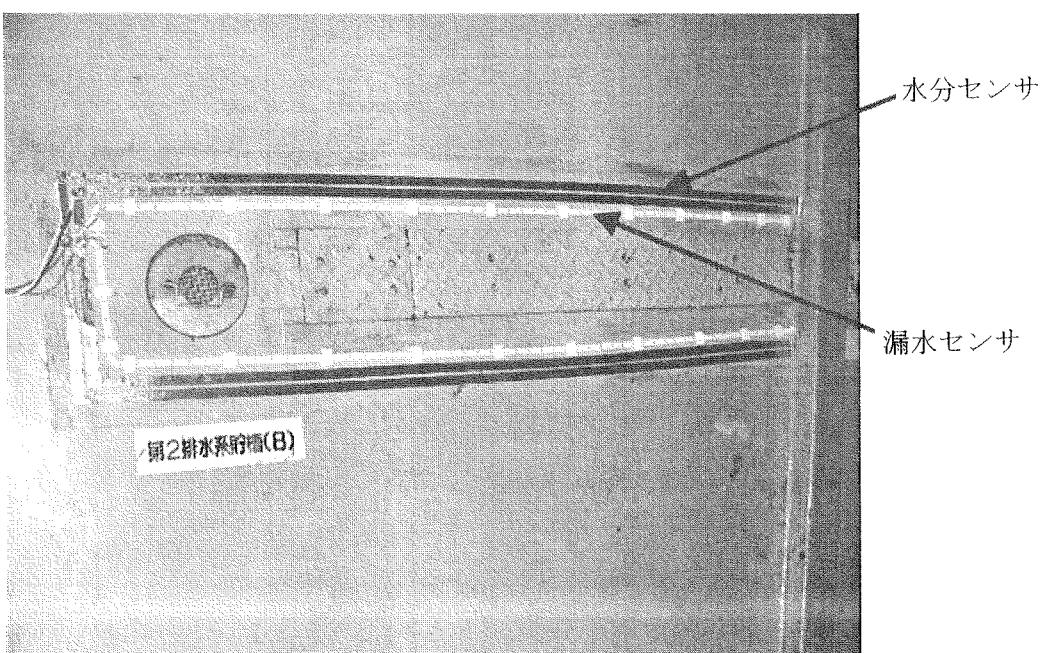
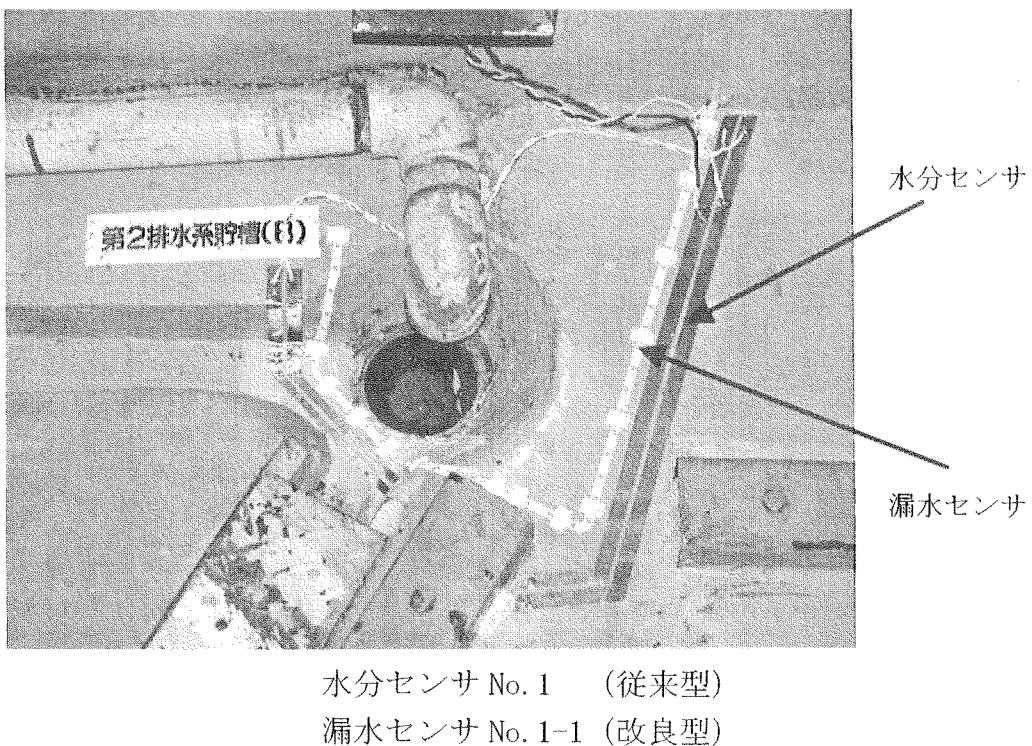
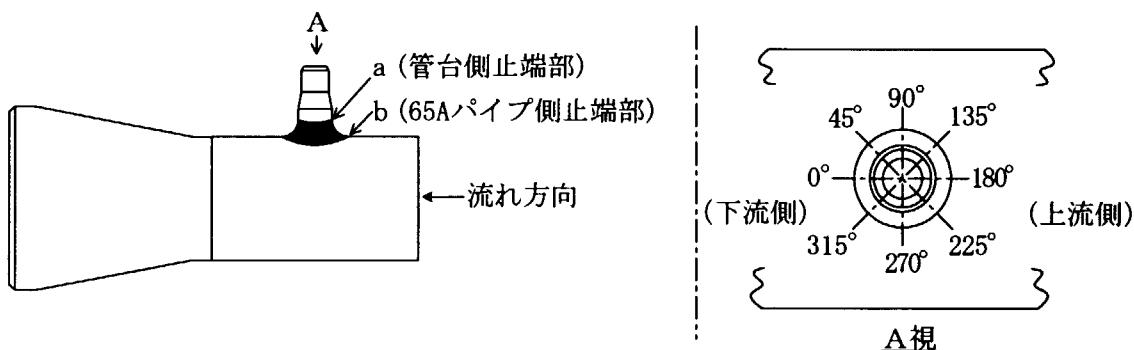


写真4 水分センサと漏水センサの取り付け状態

表 1 修復配管溶接止端部R測定及び配管固有振動数測定結果**溶接部止端部R測定**

測定方法；下図の測定箇所についてR3.7のRゲージで測定する

判定基準；R3.7以上

**充填ポンプ No.1 出口配管溶接止端部R測定結果**

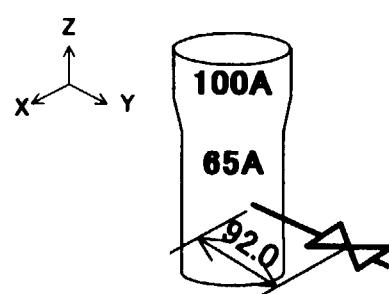
測定 箇所	測定結果							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
a	良	良	良	良	良	良	良	良
b	良	良	良	良	良	良	良	良

充填ポンプ No.2 出口配管溶接止端部R測定結果

測定 箇所	測定結果							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
a	良	良	良	良	良	良	良	良
b	良	良	良	良	良	良	良	良

修復配管固有振動数測定

測定方向；右図に示す

判定基準； $50 \times \sqrt{2}$ (70.7) Hz 以上**出口配管固有振動数測定結果**

対象配管	測定結果 (Hz)	
	X方向	Z方向
No1 充填ポンプ出口分岐管	187	196
No2 充填ポンプ出口分岐管	191	196

表2 配管固有振動数測定データシート（例その1）

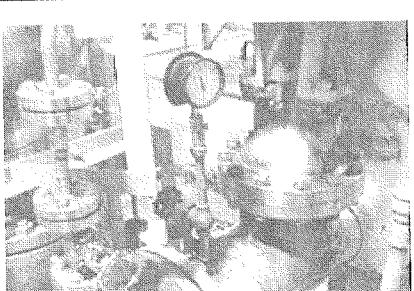
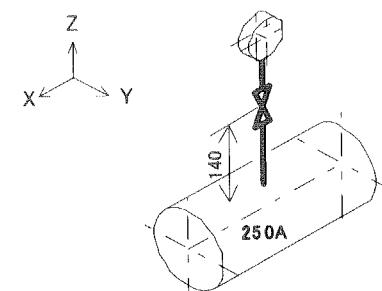
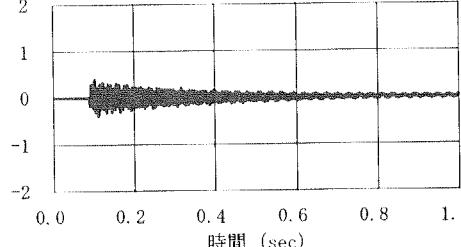
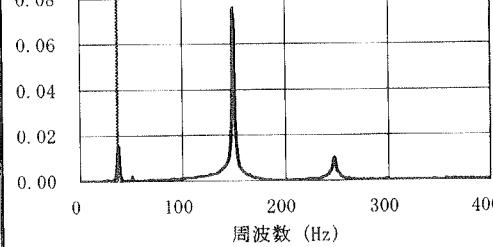
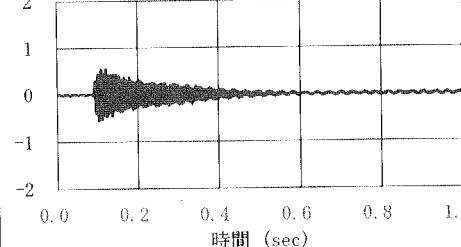
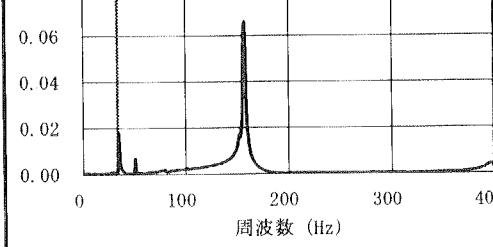
測定番号	009		測定者	渡辺、関根 瓜生、西名		
系統名	主循環系統					
配管名称	緊急ポンプNo.1入口圧力計(P121-11, V21-428)		計器番号	振動計VM-80:08872661 センサPV-90B:30329		
設置場所	主循環系機器室					
写真		配管図（アイソメ）		配管仕様		
				材質	SUS304	
				外径	21.7 mm	
				肉厚	2.1 mm	
測定結果		測定結果		測定結果		
測定条件	加振方向		測定軸方向		固有振動数	
	周波数分析レンジ		400Hz			
	サンプリング点数		1024			
	スペクトルライン数		400			
	フィルタ	High Path		3Hz		
		Low Path		1kHz		
時間波形図		スペクトル図		時間波形図		
X 方向					時間 (sec)	
					周波数 (Hz)	
Y 方向					時間 (sec)	
					周波数 (Hz)	

表2 配管固有振動数測定データシート（例その2）

測定番号	058	測定者	作田、渡辺 瓜生、西名
系統名	主循環系統		
配管名称	主循環ポンプNo.2ストレーナ差圧計入口(Pd121-17, V21-404)	計器番号	振動計VM-80:08872661 センサPV-90B:30329
設置場所	主循環系機器室		

写真	配管図（アイソメ）	配管仕様
		材質 SUS304 外径 21.7 mm 肉厚 2.1 mm

測定結果

測定条件	加振方向		固有振動数	X方向 18 Hz Y方向 13 Hz Z方向 18 Hz		
	測定軸方向					
	周波数分析レンジ	400Hz				
	サンプリング点数	1024				
	スペクトルライン数	400				
	フィルタ	High Path Low Path	3Hz 1kHz			

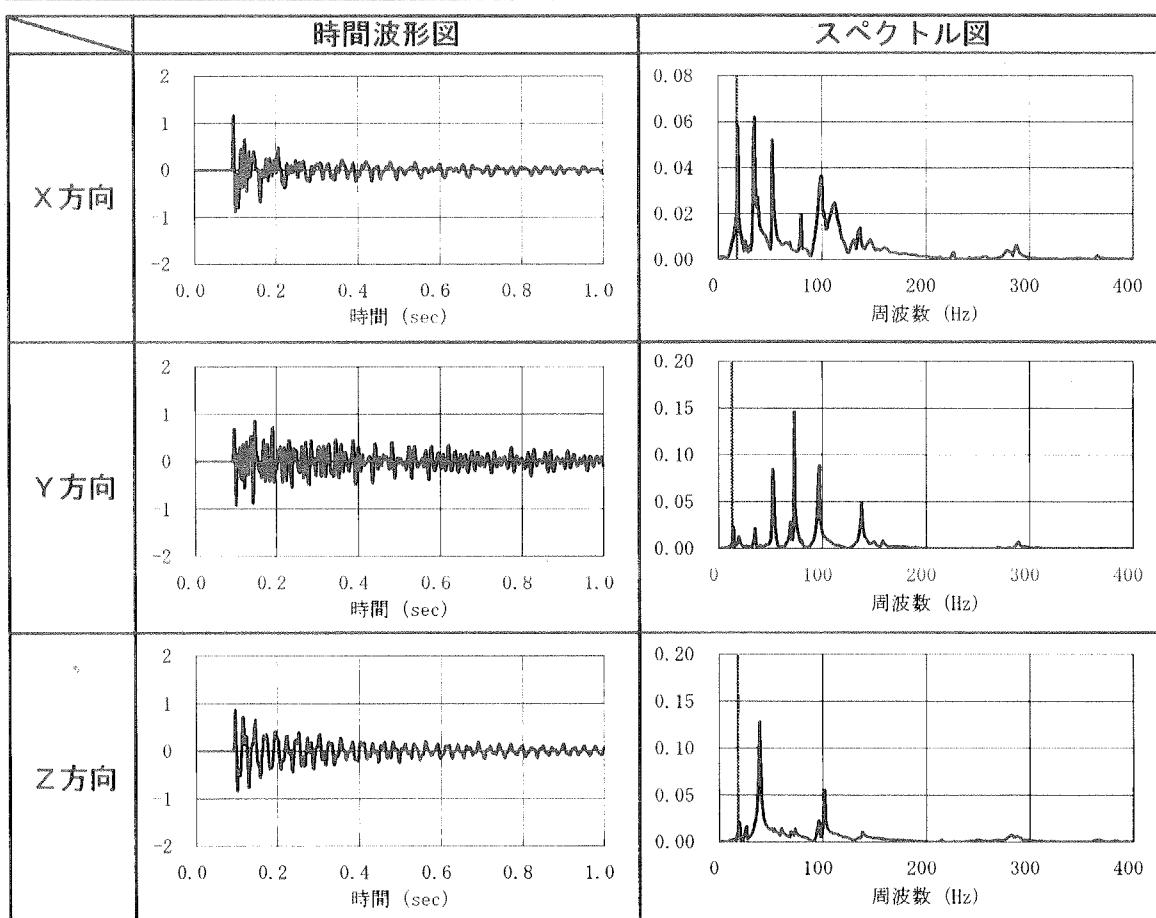


表2 配管固有振動数測定データシート（例その3）

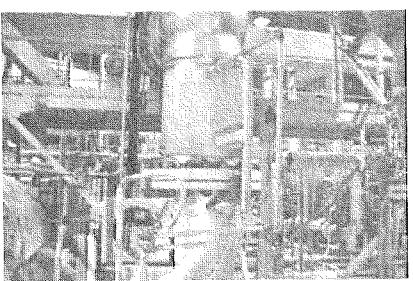
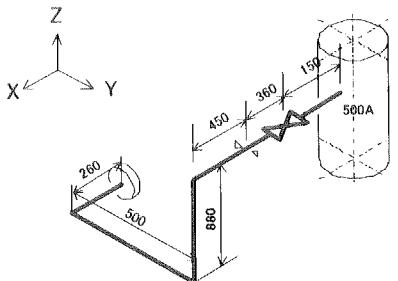
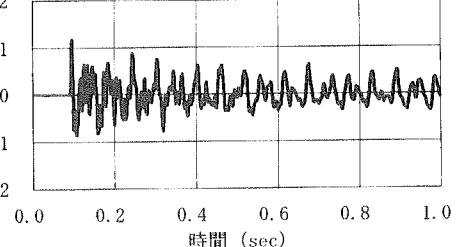
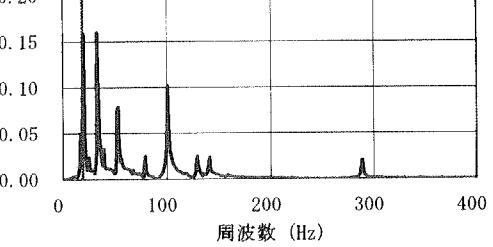
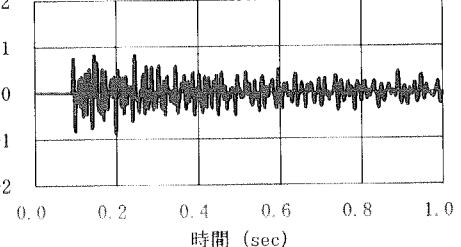
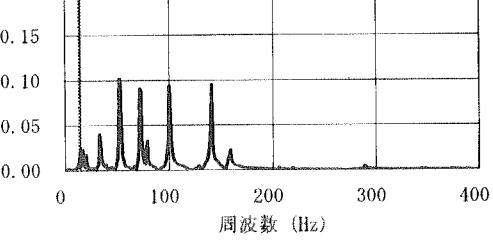
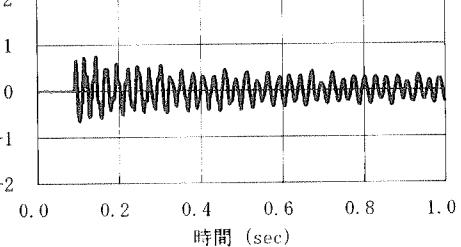
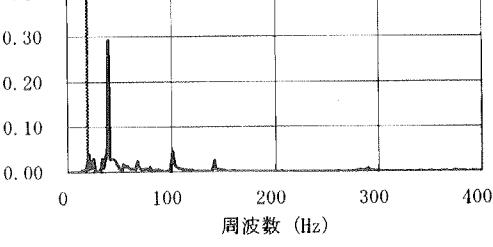
測定番号	059		測定者	作田、渡辺 瓜生、西名
系統名	主循環系統			
配管名称	主循環ポンプNo.3ストレーナ差圧計入口(Pd121-18, V21-406)		計器番号	振動計VM-80:08872661 センサPV-90B:30329
設置場所	主循環系機器室			
写真			配管図（アイソメ）	配管仕様
			材質	SUS304
			外径	21.7 mm
			肉厚	2.1 mm
測定結果				
測定条件	加振方向	測定軸方向	固有振動数	X 方向 19 Hz
	周波数分析レンジ	400Hz		Y 方向 14 Hz
	サンプリング点数	1024		Z 方向 19 Hz
	スペクトルライン数	400		
	フィルタ	High Path Low Path		3Hz 1kHz
時間波形図		スペクトル図		
X 方向				
Y 方向				
Z 方向				

表 3
類似箇所の振動測定結果

(地震 : 20Hz以下、回転機器の振動数と固有振動数の比 (h)において $\sqrt{2} > h > 1/\sqrt{2}$ を要対策)

測定番号	系統名	配管名称	配管接続機器番号※	設置場所	配管仕様				振動源の振動数 (Hz)	測定結果	対策	
					材質	外径×肉厚 (mm)		片持ち梁 直管	両もみち梁 曲管			
						直管	曲管		X方向 131.12			
1	主循環系統	主循環ポンプ No.1出口圧力計ヘッド	V21-419	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5			○	24.5	要対策	
2	主循環系統	主循環ポンプ No.2出口圧力計ヘッド	V21-420	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○			24.5	要対策	
3	主循環系統	主循環ポンプ No.3出口圧力計ヘッド	V21-421	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○			24.5	要対策	
4	主循環系統	主循環ポンプ No.4出口圧力計ヘッド	V21-422	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○			24.5	要対策	
5	主循環系統	主循環ポンプ No.1入口圧力計	P12-1-2	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			24.5	要対策	
6	主循環系統	主循環ポンプ No.2入口圧力計	P12-1-3	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			24.5	要対策	
7	主循環系統	主循環ポンプ No.3入口圧力計	P12-1-4	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			24.5	要対策	
8	主循環系統	主循環ポンプ No.4入口圧力計	P12-1-5	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			24.5	要対策	
9	主循環系統	緊急ポンプ No.1入口圧力計	P12-1-11	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			24.5	要対策	
10	主循環系統	緊急ポンプ No.2入口圧力計	P12-1-12	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			24.5	要対策	
11	主循環系統	緊急ポンプ 出口流量、計装配管ヘッド	V21-445	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○			24.5	要対策	
12	主循環系統	緊急ポンプ 出口流量、計装配管ヘッド	V21-446	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○			24.5	要対策	
13	主循環系統	主熱交換器 No.2管側ヘッド	V21-207	主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65	○			16.7	要対策	
14	主循環系統	主熱交換器 No.3管側ヘッド	V21-209	主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65	○			16.7	要対策	
15	主循環系統	ワッシャー配管ヘッド	V21-48-2	7.16m室前	SUS304	27.2×2.1	○			16.7	要対策	
16	主循環系統	空氣槽(A)ドレ	V29-401	7.16m室前	STPG370	27.2×2.8	○			16.7	要対策	
17	主循環系統	空氣槽(B)ドレ	V29-404	7.16m室前	STPG370	27.2×2.8	○			16.7	要対策	
18	精製系統	移送ポンプ No.1出口圧力計	P122-2	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
19	精製系統	移送ポンプ No.2出口圧力計	P122-3	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
20	精製系統	移送ポンプ No.1シール水圧力計	P122-5	主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65	○			16.7	要対策	
21	精製系統	移送ポンプ No.2シール水圧力計	P122-6	主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65	○			16.7	要対策	
22	精製系統	移送ポンプ No.17N-差圧計	P122-11	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
23	精製系統	移送ポンプ No.17N-差圧計	P122-11	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
24	精製系統	移送ポンプ No.27N-差圧計	P122-12	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
25	精製系統	移送ポンプ No.27N-差圧計	P122-12	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
26	精製系統	精選746A、373A 箱込圧力計	P1-18	地下階排水貯槽室	SUS304	17.3×2.0	○			16.7	要対策	
27	精製系統	脱気ポンプ出口圧力計	P122-4	地下階扇形室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
28	精製系統	脱気ポンプ入口圧力計	P122-15	地下階扇形室	SUS304	21.7×2.1	○			16.7	要対策	
29	精製系統	脱気入口圧力差圧計ヘッド	Pd122-9	地下階扇形室	SUS304	10.5×1.5	○			16.7	要対策	

測定番号	系統名	配管名称	配管接続機器番号※	設置場所	配管仕様				振動源の振動数(Hz)	固有振動数(Hz)	対策		
					材質	外径×肉厚(mm)		片持ち梁 直管	両持ち梁 曲管				
						直管	曲管						
30 精製系統	脱気タクタク压力、計器配管	P122-1	V22-150	地下階北ランダム	SUS304	21.7×2.1		○	○	32	13	要対策	
31 精製系統	脱気タクタク液面計基盤水位補給配管	V22-179		主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65		○	○	30	3	要対策	
32 精製系統	処理水タクタク液面、計器配管	L122-2	V22-182	PCG系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	41	30	要対策	
33 精製系統	処理水タクタク液面、計器配管	L122-2	V22-183	PCG系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	17	22	要対策	
34 精製系統	入口7号機No.1ベント配管	V22-226-1	V22-226-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			27	-	33	
35 精製系統	入口7号機No.2ベント配管	V22-227-1	V22-227-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			13	-	27	
36 精製系統	出口7号機No.1ベント配管	V22-228-1	V22-228-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			24	-	29	
37 精製系統	出口7号機No.2ベント配管	V22-229-1	V22-229-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			27	-	33	
38 精製系統	出口7号機出口配管(外)	V22-211		地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			32	28	-	
39 精製系統	ガスバッフル入口配管(内)	V22-208-1	V22-208-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			12	14	17	
40 精製系統	ガスバッフル出口配管(内)	V22-202-1	V22-202-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			14	26	-	
41 精製系統	7号機室入口配管(内)	V22-203-1	V22-209-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			11	-	20	
42 精製系統	7号機室出口配管(内)	V22-203-1	V22-203-2	地下階7号機室	SUS304	21.7×2.1	○			23	33	-	
43 精製系統	水モダ第1次減圧弁王力計	P1	V21-518	地下階漏斗形室	SUS304	21.7×2.1	○			23	47	16	
44 精製系統	水モダ第2次減圧弁王力計	P1	V21-508	地下階漏斗形室	SUS304	21.7×2.8	○			26	18	16	
45 精製系統	水モダ(1) 出口配管(内)	V21-511		地下階漏斗形室	SUS304	27.2×2.9	○			20	20	37	
46 精製系統	水モダ(2) 出口配管(内)	V21-557		地下階漏斗形室	SUS304	27.2×2.9	○			35	75	35	
47 精製系統	放管外モニタ出口配管(内)	V21-516		地下階漏斗形室	SUS304	21.7×2.8	○			45	21	77	
48 精製系統	脱気ガスモニタ冷却器(ラップ)	V21-547		地下階漏斗形室	SUS304	21.7×2.5		○		12	14	-	
49 主循環系統	主循環ポンプNo.1シールド水バート配管(前)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	48	109	
50 主循環系統	主循環ポンプNo.2シールド水バート配管(前)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	45	108	
51 主循環系統	主循環ポンプNo.3シールド水バート配管(前)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	46	103	
52 主循環系統	主循環ポンプNo.4シールド水バート配管(前)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	47	101	
53 主循環系統	主循環ポンプNo.1シールド水バート配管(中)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	108	46	
54 主循環系統	主循環ポンプNo.2シールド水バート配管(中)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	104	47	
55 主循環系統	主循環ポンプNo.3シールド水バート配管(中)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	94	94	
56 主循環系統	主循環ポンプNo.4シールド水バート配管(中)			主循環系機器室	SUS304	17.3×2.3		○		24.5	103	46	
57 主循環系統	主循環ポンプNo.1シールド水バート配管(後)	P121-16	V21-142	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	18	18	
58 主循環系統	主循環ポンプNo.2シールド水バート配管(後)	P121-17	V21-143	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	18	18	
59 主循環系統	主循環ポンプNo.3シールド水バート配管(後)	P121-18	V21-146	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	19	19	
60 主循環系統	主循環ポンプNo.4シールド水バート配管(後)	P121-19	V21-148	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	18	18	
61 主循環系統	主循環ポンプNo.1シールド水バート配管(後)	P121-16	V21-140	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	57	13	
62 主循環系統	主循環ポンプNo.2シールド水バート配管(後)	P121-17	V21-145	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	58	13	
63 主循環系統	主循環ポンプNo.3シールド水バート配管(後)	P121-18	V21-147	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	55	55	
64 主循環系統	主循環ポンプNo.4シールド水バート配管(後)	P121-19	V21-149	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	53	54	
65 主循環系統	緊急ポンプNo.1ポンプ配管	V21-213		主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○			16.7	663	524	
66 主循環系統	緊急ポンプNo.2ポンプ配管	V21-215-1		主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○			16.7	482	443	
67 精製系統	移送ホースNo.1エラスチック配管	V22-200		主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		49.5	29	40	
											37	要対策	

測定番号	系統名	配管名稱	配管接続機器番号※	設置場所	配管仕様			振動源の振動数(Hz)	測定結果	対策			
					材質	外径×肉厚(mm)	片持ち梁						
68	精製系統	移送ホース No. 217液圧配管	V22-201	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	49.5	40.39	88		
69	精製系統	移送ホース No. 13-4水入口配管	V22-71	主循環系機器室	SUS304	13.8×1.65		○	49.5	121.121	28		
70	精製系統	移送ホース No. 217水入口配管	V22-72	主循環系機器室	SUS304	13.8×1.65		○	49.5	75.124	75		
71	精製系統	移送ホース 出口配管	V22-287	主循環系機器室	SUS304	13.8×2.2		○	26.18	37	要対策		
72	精製系統	移送ホース 出口配管	V22-288	主循環系機器室	SUS304	13.8×2.2		○	57.16	31	要対策		
73	精製系統	充填ホース No. 18×12配管	V22-210	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.3		○	50.81	84	84		
74	精製系統	充填ホース No. 28×12配管	V22-212	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.3		○	50.86	306	要対策		
75	精製系統	充填ホース No. 18×12配管	V22-256	主循環系機器室	SUS304	34.0×2.8		○	50.83	126	147		
76	精製系統	充填ホース No. 21×12配管	V22-258	主循環系機器室	SUS304	34.0×2.8		○	50.69	113	113		
77	精製系統	第一排水系統配管		主循環系機器室	SUS304	60.5×3.5		○	25.16	-	要対策		
78	精製系統	前置7号外入口ドレン配管	V22-1-6	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5		○	31.34	34	34		
79	精製系統	前置7号外出口ドレン配管	V22-1-7	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5		○	34.18	34	要対策		
80	二次冷却系統	主熱交 No. 1(側面)712#記管	V21-331-4	主循環系機器室	STPG370	21.7×2.8	○		48.130	76	76		
81	二次冷却系統	主熱交 No. 2(側面)712#記管	V21-332-3	主循環系機器室	STPG370	21.7×2.8	○		67.20	-	要対策		
82	二次冷却系統	主熱交 No. 3(側面)712#記管	V21-333-4	主循環系機器室	STPG370	21.7×2.8	○		41.48	-	要対策		
83	二次冷却系統	主熱交 No. 1(二次系)51-7差圧、計量配管トド	PdT23-7	地下3階南ドレンミク	SUS304	21.7×2.5	○		3.5	5	-		
84	二次冷却系統	主熱交 No. 1(側面)712#記管	PdT23-7	地下3階南ドレンミク	SUS304	21.7×2.5	○		8.15	-	要対策		
85	二次冷却系統	主熱交 No. 2(側面)51-7差圧、計量配管トド	PdT23-8	地下3階南ドレンミク	SUS304	21.7×2.5	○		3.4	-	要対策		
86	二次冷却系統	主熱交 No. 2(側面)51-7差圧、計量配管トド	PdT23-8	地下3階南ドレンミク	SUS304	21.7×2.5	○		5.4	-	要対策		
87	二次冷却系統	主熱交 No. 3(側面)51-7差圧、計量配管トド	PdT23-9	地下3階南ドレンミク	SUS304	21.7×2.5	○		3.14	-	要対策		
88	二次冷却系統	主熱交 No. 3(二次系)51-7差圧、計量配管トド	PdT23-9	地下3階南ドレンミク	SUS304	21.7×2.5	○		1.56	-	要対策		
89	二次冷却系統	二次系熱交出口圧力、計量配管トド	PT23-14	地下階隔離室	STPG370	21.7×2.8	○		39.30	-	-		
90	二次冷却系統	二次系熱交入口圧力、計量配管トド	PT23-8	地下階隔離室	STPG370	21.7×2.8	○		33.23	-	-		
91	二次冷却系統	No.1循環P管受SI入口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	27.2×2.9	○		16.536	53	-		
92	二次冷却系統	No.2循環P管受SI出口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	※7.2×3.3	○		16.537	38	36		
93	二次冷却系統	No.2循環P管受SI入口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	27.2×2.9	○		16.526	57	-		
94	二次冷却系統	No.2循環P管受SI出口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	※7.2×3.2	○		16.528	26	26		
95	二次冷却系統	No.2循環P管受SI入口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	27.2×2.9	○		16.534	42	-		
96	二次冷却系統	No.2循環P管受SI出口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	※7.2×3.3	○		16.530	30	30		
97	二次冷却系統	No.2循環P管受SI入口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	27.2×2.9	○		16.535	46	-		
98	二次冷却系統	No.2循環P管受SI出口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	※7.2×3.2	○		16.523	35	35		
99	二次冷却系統	No.1補助P管受SI入口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	17.3×2.0	○		16.431	25	50		
100	二次冷却系統	No.1補助P管受SI出口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	17.3×2.0	○		16.425	31	25		
101	二次冷却系統	No.2補助P管受SI入口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	17.3×2.0	○		16.421	33	20		
102	二次冷却系統	No.2補助P管受SI出口圧力計配管		ポンプ室	SUS304	17.3×2.0	○		16.437	102	20		
103	二次冷却系統	冷却塔入口管圧力計用配管	V23-97	ポンプ室	STPG370	21.7×2.8	○		61.61	65	65		

測定番号	系統名	配管名称	配管接続機器番号※	設置場所	配管仕様			振動源の振動数(Hz)		固有振動数(Hz)		対策	
					材質	外径×肉厚 (mm)	直管	片持ち梁	両もみち梁	直管	曲管		
104	二次冷却系統	No.1循環P出口圧力計配管	V23-171	ポンプ室	SUS304	27.2×2.9			○	16.5	36	51	36
105	二次冷却系統	No.2循環P出口圧力計配管	V23-172	ポンプ室	SUS304	27.2×2.9			○	16.5	36	29	36
106	二次冷却系統	No.3循環P出口圧力計配管	V23-173	ポンプ室	SUS304	27.2×2.9			○	16.5	34	49	36
107	二次冷却系統	No.4循環P出口圧力計配管	V23-174	ポンプ室	SUS304	27.2×2.9			○	16.5	34	40	40
108	二次冷却系統	No.1循環P出口サブリザーバ配管	V40-22	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8			○	16.5	64	64	22
109	二次冷却系統	No.2循環P出口サブリザーバ配管	V40-23	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8			○	16.5	67	67	108
110	二次冷却系統	No.3循環P出口サブリザーバ配管	V40-24	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8			○	16.5	59	59	20
111	二次冷却系統	No.4循環P出口サブリザーバ配管	V40-25	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8			○	16.5	66	66	20
112	二次冷却系統	No.1補助P配管	V23-74	ポンプ室	SUS304	42.7×3.0			○	16.4	33	34	33
113	二次冷却系統	No.2補助P配管	V23-75	ポンプ室	SUS304	42.7×3.0			○	16.4	22	46	15
114	二次冷却系統	防食剤注入配管	V23-35-1, 2, 3	ポンプ室	SUS304	17.3×2.0			○	61	278	17	要対策
115	二次冷却系統	二次系主熱交換器給水管流量計入口配管	V23-63	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8			○	51	46	46	46
116	二次冷却系統	二次系主熱交換器給水管流量計出口配管	V23-64	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8			○	53	37	37	要対策
117	二次冷却系統	二次冷却系流量計	FT23-1 (H)	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8		○		19	6	52	要対策
118	二次冷却系統	二次冷却系流量計	FT23-1 (L)	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8		○		10	3	52	要対策
119	二次冷却系統	二次系ホタルイ配管	V23-92	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8		○		18	18	34	要対策
120	二次冷却系統	二次系ホタルイ配管	V23-93	ポンプ室	SIPG370	21.7×2.8		○		105	102	102	

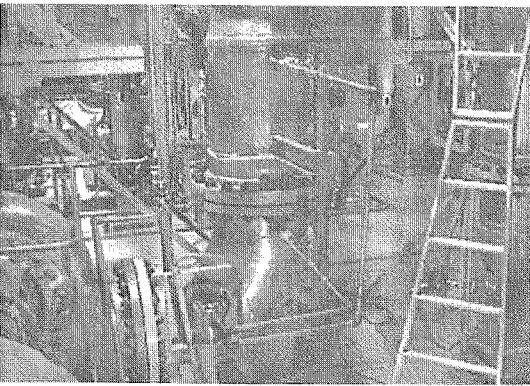
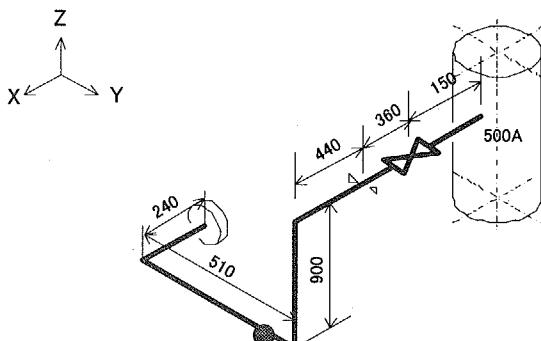
一次系及び二次系の回転機器の回転数を以下に示す

一次系
主循環ポンプ : 14.0rpm
緊急ポンプ : 10.0rpm
移送ポンプ : 29.0rpm
充填ポンプ : 30.0rpm
脱気ブロワ : 29.00rpm
循環ポンプ : 99.0pm
補助ポンプ : 98.5pm

系統及び理由別の対策箇数			面端支持構造			曲管相当			曲管相当			要対策		
				直管相当	要対策	直管相当	測定数	要対策	直管相当	測定数	要対策	直管相当	測定数	要対策
主循環系統	地震対策	#REF!	0	0	#REF!	2	0	#REF!	0	0	0	小計	2	12
主循環系統	共振対策	#REF!	2	0	#REF!	0	0	#REF!	0	0	0	共振対策	2	8
精製系統	地震対策	#REF!	1	4	#REF!	0	0	#REF!	12	17	17	精製系統	29	
精製系統	共振対策	#REF!	1	2	#REF!	0	0	#REF!	7	10	10	共振対策	2	
二次冷却系統	地震対策	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	二次冷却系統	11	18
二次冷却系統	共振対策	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	共振対策	5	
合計		0	7	0	18	0	8	0	0	26	59	要対策	59	59

* 機器番号の頭文字; V:弁、P:圧力(差圧)計、L:レベル計、F:流量計

表4 原子炉施設類似箇所対策要領（例）

施工番号	27.	測定番号	058
配管名称	主循環ポンプNo.2ストレーナ差圧計入口(Pdl21-17, V21-404)		
配管仕様	材質	SUS304	外径 21.7 mm 肉厚 2.1 mm
ベース	固定場所	<input checked="" type="checkbox"/> 床 <input type="checkbox"/> 壁 <input type="checkbox"/> 架台 <input type="checkbox"/> 既設配管 <input type="checkbox"/> その他	
	固定方法	<input type="checkbox"/> ホークアンカ <input checked="" type="checkbox"/> ケミカルアンカ <input type="checkbox"/> 溶接 <input type="checkbox"/> Uボルト <input type="checkbox"/> その他	
支持具仕様	□ サドル ()		
	□ 三角梁 ()		
	<input checked="" type="checkbox"/> 支柱 (角パイプ 125×125, L鋼 6×50 材質:SS400)		
	<input checked="" type="checkbox"/> シム (材質:SUS)		
	<input checked="" type="checkbox"/> その他 (プレート 9×300×300 材質:SS400)		
配管の固定		<input checked="" type="checkbox"/> Uボルト <input type="checkbox"/> パイプクランプ <input type="checkbox"/> その他()	
支持方向		<input checked="" type="checkbox"/> X方向 <input checked="" type="checkbox"/> Y方向 <input checked="" type="checkbox"/> Z方向	
写 真		配管アイソメ図 (●:配管支持具取付け箇所)	
			

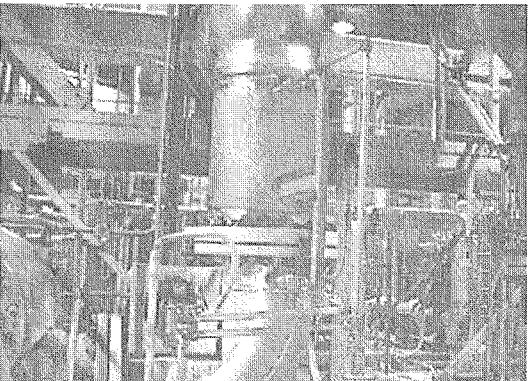
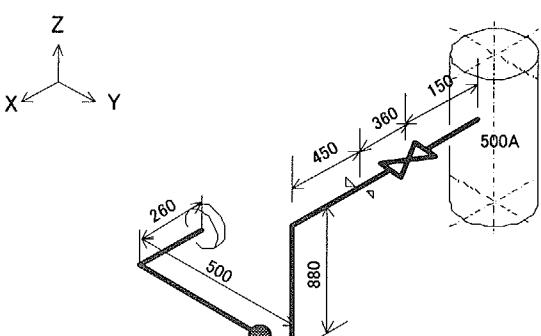
施工番号	28	測定番号	059
配管名称	主循環ポンプNo.3ストレーナ差圧計入口(Pdl21-18, V21-406)		
配管仕様	材質	SUS304	外径 21.7 mm 肉厚 2.1 mm
ベース	固定場所	<input checked="" type="checkbox"/> 床 <input type="checkbox"/> 壁 <input type="checkbox"/> 架台 <input type="checkbox"/> 既設配管 <input type="checkbox"/> その他	
	固定方法	<input type="checkbox"/> ホークアンカ <input checked="" type="checkbox"/> ケミカルアンカ <input type="checkbox"/> 溶接 <input type="checkbox"/> Uボルト <input type="checkbox"/> その他	
支持具仕様	□ サドル ()		
	□ 三角梁 ()		
	<input checked="" type="checkbox"/> 支柱 (角パイプ 125×125, L鋼 6×50 材質:SS400)		
	<input checked="" type="checkbox"/> シム (材質:SUS)		
	<input checked="" type="checkbox"/> その他 (プレート 9×300×300 材質:SS400)		
配管の固定		<input checked="" type="checkbox"/> Uボルト <input type="checkbox"/> パイプクランプ <input type="checkbox"/> その他()	
支持方向		<input checked="" type="checkbox"/> X方向 <input checked="" type="checkbox"/> Y方向 <input checked="" type="checkbox"/> Z方向	
写 真		配管アイソメ図 (●:配管支持具取付け箇所)	
			

表 5 対策前後の固有振動数

測定番号	系統名	配管名称	設置場所	配管仕様				振動源の振動数(Hz)	対策前の固有振動数(Hz)	対策後の固有振動数(Hz)	対策の効果	
				材質	外径×肉厚(mm)		片持ち梁 直管 曲管 曲管 直管	面もち梁 直管 曲管 曲管 直管	X方向	Y方向	Z方向	
					X方向	Y方向						
1	主循環系統	主循環ポンプ'No. 1出ロ圧力計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5		○	24.5	11	12	38	42
2	主循環系統	主循環ポンプ'No. 2出ロ圧力計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○		24.5	23	106	60	60
3	主循環系統	主循環ポンプ'No. 3出ロ圧力計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○		24.5	24	55	—	良
4	主循環系統	主循環ポンプ'No. 4出ロ圧力計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5	○		24.5	15	34	74	74
18	精製系統	移送ポンプ'No. 1出ロ圧力計	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	49.5	49	43	38	90
19	精製系統	移送ポンプ'No. 2出ロ圧力計	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	49.5	78	46	46	126
20	精製系統	移送ポンプ'No. 3-4水圧力計	主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65	○		49.5	14	—	93	136
21	精製系統	移送ポンプ'No. 25-4水圧力計	主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65	○		49.5	57	45	45	105
22	精製系統	移送ポンプ'No. 18トレン差圧計	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	49.5	80	61	69	90
23	精製系統	移送ポンプ'No. 18トレン差圧計	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	49.5	86	61	68	125
27	精製系統	脱氣7'印出ロ圧力計	地下1階扇形室	SUS304	21.7×2.1	○		48.3	12	9	—	76
28	精製系統	脱氣7'印入ロ圧力計	地下1階扇形室	SUS304	21.7×2.1	○		48.3	28	21	—	83
29	精製系統	脱氣入ロノゾム差圧計'ハット	地下1階扇形室	SUS304	10.5×1.5		○		13	14	31	26
30	精製系統	脱氣タシリ圧力、計装配管'ハット	地下3階北行スミカ	SUS304	21.7×2.1		○		32	18	30	44
31	精製系統	脱氣タシリ液面計基準水位補給配管	主循環系機器室	SUS304	17.3×1.65		○		30	8	3	47
32	精製系統	處理水タック接面、計装配管'ハット	PC系機器室	SUS304	21.7×2.1	○			17	30	41	85
33	精製系統	處理水タック接面、計装配管'ハット	PC系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		17	22	39	101
35	精製系統	入口74外No. 2バ'ハット配管	地下1階7.4外室	SUS304	21.7×2.1	○			13	—	27	44
39	精製系統	がね塔入口配管'ハット	地下1階7.4外室	SUS304	21.7×2.1	○			12	14	17	26
40	精製系統	がね塔出口配管'ハット	地下1階7.4外室	SUS304	21.7×2.1	○			14	26	—	78
41	精製系統	7ニバ塔入口配管'ハット	地下1階7.4外室	SUS304	21.7×2.1	○			11	—	20	39
43	精製系統	水モク第1次減圧弁圧力計	地下1階扇形室	SUS304	21.7×2.1		○		23	47	16	61
44	精製系統	水モク第2次減圧弁圧力計	地下1階扇形室	SUS304	21.7×2.8		○		26	16	49	67
45	精製系統	水モク(1)出口配管'ハット	地下1階扇形室	SUS304	27.2×2.9		○		20	20	37	90
48	精製系統	脱氣ガスセニ冷却器ドア'	地下1階扇形室	SUS304	21.7×2.5		○		12	14	—	91
57	主循環系統	主循環ポンプ'No. 12レーナ差圧計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	18	13	73
58	主循環系統	主循環ポンプ'No. 23レーナ差圧計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	18	13	63
59	主循環系統	主循環ポンプ'No. 33レーナ差圧計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	19	19	60
60	主循環系統	主循環ポンプ'No. 43レーナ差圧計'ハット	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○		24.5	18	16	62

測定番号	系統名	配管名称	設置場所	配管仕様				対策前の固有振動数(Hz)				対策後の固有振動数(Hz)				測定結果 対策の有効性	
				材質	外径×肉厚 (mm)		片持ち梁 直管 曲管	両もみし柔 直管 曲管	測定結果				X方向	Y方向	Z方向		
					X方向	Y方向			X方向	Y方向	Z方向	X方向					
61	主循環系統	主循環ポンプ No. 13ルート差圧計出口	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	24.5	57	33	26	90	63	170	良	
62	主循環系統	主循環ポンプ No. 23ルート差圧計出口	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	24.5	58	33	25	64	64	169	良	
63	主循環系統	主循環ポンプ No. 33ルート差圧計出口	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	24.5	55	34	55	94	69	139	良	
64	主循環系統	主循環ポンプ No. 43ルート差圧計出口	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	24.5	53	34	54	69	62	74	良	
67	精製系統	移送ポンプ No. 117抜きバッフル配管	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	49.5	29	40	37	84	75	90	良	
68	精製系統	移送ポンプ No. 217抜きバッフル配管	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.1		○	○	49.5	40	38	38	80	154	155	良	
71	精製系統	移送ポンプ出口配管	主循環系機器室	SUS304	13.8×2.2		○	○	26	16	37	39	22	39	39	良	
72	精製系統	移送ポンプ出口配管	主循環系機器室	SUS304	13.8×2.2		○	○	57	16	31	155	22	39	39	良	
74	精製系統	充填ポンプ No. 2バッフル配管	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.8		○	○	50	66	66	306	104	104	104	良	
76	精製系統	充填ポンプ No. 2バッフル配管	主循環系機器室	SUS304	34.0×2.8		○	○	50	63	113	113	75	112	113	良	
77	精製系統	第一排水系貯槽配管	主循環系機器室	SUS304	60.5×3.5		○	○	25	16	5	27	22	22	-	良	
79	精製系統	前置74号出口ドレン配管	主循環系機器室	SUS304	21.7×2.5		○	○	34	19	34	76	52	52	52	良	
81	二次冷却却系統	主熱交No. 2胴側ポンプバッフル配管	主循環系機器室	STP6370	21.7×2.8	○	○	67	20	-	52	86	-	-	-	良	
83	二次冷却却系統	主熱交No. 1二次系ストレナ差圧、計装配管ドレン	地下3階南トラスミヅク	SUS304	21.7×2.5		○	○	3	5	5	-	89	210	-	良	
84	二次冷却却系統	主熱交No. 1二次系ストレナ差圧、計装配管ドレン	地下3階南トラスミヅク	SUS304	21.7×2.5		○	○	3	5	5	-	105	65	-	良	
85	二次冷却却系統	主熱交No. 2二次系ストレナ差圧、計装配管ドレン	地下3階南トラスミヅク	SUS304	21.7×2.5		○	○	3	4	4	-	85	64	-	良	
86	二次冷却却系統	主熱交No. 2二次系ストレナ差圧、計装配管ドレン	地下3階南トラスミヅク	SUS304	21.7×2.5		○	○	3	4	4	-	65	87	-	良	
87	二次冷却却系統	主熱交No. 3二次系ストレナ差圧、計装配管ドレン	地下3階南トラスミヅク	SUS304	21.7×2.5		○	○	3	4	4	-	111	79	-	良	
88	二次冷却却系統	主熱交No. 3二次系ストレナ差圧、計装配管ドレン	地下3階南トラスミヅク	SUS304	21.7×2.5		○	○	19	6	-	114	79	-	-	良	
98	二次冷却却系統	No.4循環口給水SI出口圧力計配管	ポンプ室	SUS304	※27.2×3.2		○	○	16.5	23	35	35	58	40	40	良	
101	二次冷却却系統	No.2補助口給水SI入口圧力計配管	ポンプ室	SUS304	17.3×2.0		○	○	16.4	21	33	20	40	91	115	良	
102	二次冷却却系統	No.2補助口給水SI出口圧力計配管	ポンプ室	SUS304	17.3×2.0		○	○	16.4	37	102	20	58	141	58	良	
103	二次冷却却系統	No.1循環口出ロサブリューバッフル配管	ポンプ室	STP6370	21.7×2.8		○	○	16.5	64	64	22	83	176	197	良	
110	二次冷却却系統	No.3循環口出ロサブリューバッフル配管	ポンプ室	STP6370	21.7×2.8		○	○	16.5	59	59	20	149	77	181	良	
111	二次冷却却系統	No.4循環口出ロサブリューバッフル配管	ポンプ室	STP6370	21.7×2.8		○	○	16.5	66	66	20	153	35	149	良	
113	二次冷却却系統	No.2補助P口配管	ポンプ室	SUS304	42.7×3.0		○	○	16.4	22	46	15	106	45	77	良	
114	二次冷却却系統	防食剤注入配管	ポンプ室	SUS304	17.3×2.0		○	○	61	278	17	90	189	77	-	良	
117	二次冷却却系統	二次冷却却系流量計	ポンプ室	STP6370	21.7×2.8		○	○	10	8	52	25	38	68	68	良	
118	二次冷却却系統	二次冷却却系流量計	ポンプ室	STP6370	21.7×2.8		○	○	10	8	52	26	39	64	64	良	
119	二次冷却却系統	二次冷却却系流量計	ポンプ室	STP6370	21.7×2.8		○	○	16	18	34	53	161	70	70	良	

一次系及び二次系の循環器の回転数を以下に示す

- 一次系 主循環ポンプ : 1470rpm
- 一次系 緊急ポンプ : 1000rpm
- 一次系 移送ポンプ : 2870rpm
- 一次系 充填ポンプ : 3000rpm
- 一次系 脱気プロワ : 2800rpm
- 二次系 循環ポンプ : 980rpm
- 二次系 助循環ポンプ : 985rpm

表 6 漏水検知器の比較

方式	取り付け方法	長所	短所	非漏水報 排除性	確実な 漏水検知	施工の容 易性	総合
電極式	電極抵抗式 2電極間の電気抵抗の変化 で漏水を検知する。	電極板を床に直接 貼り付ける方法 (現行方式)	漏水検知方法として一般的 であり、施工が容易で ありかつ信号処理システムも 現システムを利用でき る。	結露での非漏報発報の可 能性が高い。	×	◎	×
		電極を床から離し て配置する方法	漏水検知方法として一般的 (市販品)であり、施 工が容易でありかつ信号 処理システムも現システムを 利用できる。また、非漏 水報発報の可能性が小さ いことを確認した。	漏水が停止した後も漏水檢 知信号がすぐには消えな い。	◎	◎	◎
			排水孔に水受け樹 を取り付ける	排水口に水受け樹を取り付 ける工事が必要である。漏 水が停止した後は漏水檢 知信号が消えない。		◎	△
			排水孔に水受け樹 を取り付ける	漏水検知の信頼性が高 い。		△	△
樹型	樹内の液位 測定方式	樹に溜まる水の水位を測定 することによって漏水を検 知する。	排水口に水受け樹を取り付 ける工事が必要である。	排水口に水受け樹を取り付 ける工事が必要である。	◎	○	○
	カウンター 方式	樹内に所定の水が溜まると 樹が傾いて排水され、このは 排水の回数をカウントする。 ことで漏水を検知する。	排水口に水受け樹を取り付 ける工事が必要である。	排水口に水受け樹を取り付 ける工事が必要である。	△	△	△
温度測定 方式	加熱板式	加熱した板上を漏水が通る ことによる温度変化を測定 することで漏水を検知す る。	表面温度測定用熱 電対付き加熱板を 床面に貼り付ける。	結露水による非漏報を 排除するには有効であ る。	△	△	△
	放射線測定 方式	排水の系統の放射能を測定 することで漏水を検知す る。	放射線測定器を排 水系統に設置す る。	結露水による非漏報を 排除するには有効であ る。また、一次冷却水の 漏水を排水槽で検知す るには有効な方法であ る。	◎ ×(他の方 法との組合 せが必要)	△	△(他の方 法との組合 せが必要)

表7 結露環境下での感受性確認試験結果

電極式検知器	設定感度	湿度条件	試験回数			備考
			1	2	3	
従来型(銅箔 テ-フロ)	1 MΩ	① 80% ～95%	① 約1時間 後作動	① 約1時間後 作動	① 約2時間 後作動	＊1 試験終了後設定感度 を5MΩに上げたが 検知器は作動しなかつ た。
		② 95% ～100%	① 約1時間 経過後も作動 せず	① 約2時間 経過後も作動 せず	① 約2時間 経過後も作動 せず	
改良型	従来型(銅箔 テ-フロ)	① 80% ～95%	② ①に加え 約7時間経過 後も作動せず ＊1	② ①に加え約 2時間経過後 も作動せず	② ①に加え 約2時間経過 後も作動せず	＊2 試験終了後設定感度 を5MΩに上げたが 検知器は作動しなかつ た。
		② 95% ～100%	① 約3時間後 作動	① 約5.5時間 後作動	① 約3時間後 作動	
改良型	700 kΩ	① 80% ～95%	① 約3時間 経過後も作動せ ず	① 約5.5時間 経過後も作動 せず	① 約3時間 経過後も作動 せず	＊2 試験終了後設定感度 を5MΩに上げたが 検知器は作動しなかつ た。
			② ①に加え約 1時間経過後 も作動せず	② ①に加え約 0.5時間経過 後も作動せず	② ①に加え約 3時間経過後も 作動せず＊2	

表8 漏水検知器（水分センサ、漏水センサ）連続運転試験結果

試験日	通電時間	作動の有無
4月30日	9:29～17:00	10時頃、#3水分センサが作動し、漏水センサ作動しなかった。このときの主循環系機器室温度約21°C、湿度は約90%であった。
5月1日	9:29～17:00	作動なし。11時頃、主循環系機器室温度約22°C、湿度約60%。
5月2日	9:29～17:00	作動なし。11時頃、主循環系機器室温度約22°C、湿度約60%。
5月3日	試験中断	
5月4日	試験中断	
5月5日	試験中断	
5月6日	9:29～17:15	作動なし。11時頃、主循環系機器室温度約19°C、湿度約80%。 17時頃、温度約17°C、湿度約84%。
5月7日	9:29～17:15	14:25頃、#21水分センサが作動し、漏水センサは作動しなかった。このときの主循環系機器室内温度は約18°C、湿度は約90%であった。
5月8日	9:27～17:00	9:30頃(通電直後) #1水分センサと#3水分が作動し、漏水センサは作動しなかった。このときの温度は約18°C、湿度は約95%であった。
5月9日	9:20～18:00	作動なし。
5月10日	試験中断	
5月11日	試験中断	
5月12日	9:30～17:56	作動なし、主循環系機器室11時頃約18°C、約70%。
5月13日	9:27～17:20	作動なし、主循環系機器室11時頃約19°C、約75%。

目視検査結果、水分センサの作動は結露によるものであることを確認した。

表9 トレンド表示プログラム改良前後の機能

時間軸の長さ指定	データ間隔	データの表示範囲	
		改良前	改良後
1 時間	5 秒	現時刻の 1 時間前から現時刻の直前のデータ ^{注)} まで	改良前に同じ
1 日間	2 分	現時刻の 24 時間前の 0 分から 24 時間のデータ	現時刻の 24 時間前から現時刻の直前のデータ ^{注)} まで
7 日間	10 分	現時刻の 7 日前の 0 時 0 分から 7 日間のデータ	現時刻の 6 日前の 0 時 0 分から現時刻の直前のデータ ^{注)} まで
14 日間	20 分	現時刻の 14 日前の 0 時 0 分から 14 日間のデータ	現時刻の 13 日前の 0 時 0 分から現時刻の直前のデータ ^{注)} まで
28 日間	40 分	現時刻の 28 日前の 0 時 0 分から 28 日間のデータ	現時刻の 27 日前の 0 時 0 分から現時刻の直前のデータ ^{注)} まで
データの拡大機能		無し	有り

注) 現時刻の直前のデータとは、表示要求当日の 0 時 0 分 0 秒からデータ間隔毎にサンプリングした最後のデータを言う。

表 10 水漏れ監視プログラム注意喚起報見直し前後発報レベル

プログラム	見直し後		見直し前	
	注意喚起報項目	発報レベル	注意喚起報項目	発報レベル
LARD	第 1 排水系貯槽流入率	100ℓ/h (7.8mm/h)	第 1 排水系貯槽水位変化率	15mm/h (1935ℓ/h)
	第 2 排水系貯槽(1)流入率	10ℓ/h (8.1mm/h)	第 2 排水系貯槽(1)水位変化率	15mm/h (1860ℓ/h)
	第 2 排水系貯槽(2)流入率	50ℓ/h (4.5mm/h)	第 2 排水系貯槽(2)水位変化率	15mm/h (1680ℓ/h)
	第 2 排水系貯槽(2)水位上昇	12 mm 上昇	—	—
	第 4 排水系貯槽流入率	10ℓ/h (8.4mm/h)	第 4 排水系貯槽水位変化率	15mm/h (1790ℓ/h)
LEAK	一次冷却水流出率	1000ℓ/h (1.7ℓ/min)	一次冷却水流出率	10 ℓ/min (600ℓ/h)
Supply-interval	一次冷却水補給率	1000ℓ/h (7.6 時間)	脱気タンク純水補給間隔	6 時間 (126ℓ/h)

上記、見直し後の発報レベルは、レベル 1 の注意喚起報設定値である。
 レベル 2 の注意喚起報設定値は、第 2 排水貯槽(2)流入率と一次冷却水流出率について 1m³/h とする。
 これらの注意喚起報発報レベルは、今後の運転経験やプラントの運転状況を考慮して見直しを行う。

表 11 教育訓練のクラス分け

クラス	対象	教育訓練目標
入門クラス	新入職員及び新たに運転班担当課に配属された職員など	新入職員；現場で仕事をする上で必要となる被ばく管理、管理区域の出入り管理、施設の設備・機器の配置等の基本的事項を身につけること。 新たに運転班担当課に配属された職員；組織、施設の概要、業務内容等を把握すること。
Aクラス	運転経験が半年～10 年の運転要員	運転班長及び運転班長代理の指示に基づき運転班チームの一員として、機器の操作、原子炉の通常起動・運転・停止の運転操作、運転監視、巡視点検、異常時の対応操作等ができること及び手引き等の記述内容を総合的に理解できること。 特に、運転経験年数が 5 年から 10 年程度の者については、積極的に B クラスの者を補佐できる能力を有すること。
Bクラス	運転班長、運転班長代理、運転班長及び班長代理経験者	運転班長等は、運転班チームのリーダーとして原子炉機器・系統の知識、運転操作の技能、運転管理事項を熟知し、現場における運転管理の指揮・監督・法令、保安規定、運転手引等に基づく的確な対応ができるなどを目標とする。また、A クラスの教育指導ができること。
Cクラス	施設管理統括者、施設管理者、施設管理統括者、課長代理、係長	施設管理の全体を適切に統括できること。 施設管理者、課長代理、係長は； 原子炉施設全般に対して安全管理の観点から異常時における現場及び現場指揮所での対応が的確、かつ、迅速にできること。

表 12 教育訓練項目と内容

教育訓練項目	運転再開までに行う教育訓練		対象者及び講師	教育訓練内容	運転再開後も引き続き行う教育訓練
	教育訓練内容	対象者			
運転手引き	改定後の運転手引について、今回の運転手引改訂のポイントである漏水検知器に関する事項、保安規定で定める「警報装置が正常に復帰できない場合の措置」及び注意喚起報発報後の措置並びにARGUSの利用方法等に関する部分について重点的に実施する。	対象者；A,B,Cクラス 講師； ・手引き作成担当者	運転操作に関する事項及び異常時の措置に関する事項及び教育訓練を実施する。教育訓練は、必要に応じ現場での手順確認等も含めて実施する。各クラスとも年4回程度の教育訓練を実施する。	対象者；入門、A,B,Cクラス 講師；担当係長 必要に応じて課長、原子炉主任者	対象者及び講師
設置変更許可申請書（添付書類八及び十）	設置変更許可申請書（添付書類八）により、原子炉機器の安全設計について教育を行う。また、設置変更許可申請書（添付書類十）により、異常が発生した際のプラントの挙動について教育を行う。	対象者；A,B,Cクラス 講師； ・原子炉主任者 ・設置変更許可申請書作成担当者	設置変更許可申請書（添付書類八及び十）に記載されている事項に関して、必要に応じ参考資料等も使用して教育訓練を行うことにより、施設の安全設計等について運転関係者の理解を深める。 各クラスとも年4回程度の教育訓練を実施する。	対象者；A,B,Cクラス 講師；原子炉主任者、設置変更許可申請書作成担当者	対象者及び講師
保安規定（炉規法等の関係法令を含む）	保安規定全般について、炉規制法等関係法令との関連等も含め、体系的に教育訓練を行う。	対象者；A,B,Cクラス 講師；保安規定改定担当係長	保安規定の改定の都度、改定内容についての教育を実施する。	対象者；A,B,Cクラス 講師；保安規定改定担当係長	対象者及び講師
異常時対応訓練	「JTR異常時対応要領」に基づき、JTR職員を対象として、JTRの異常時における現場及び現場指揮所の対応についての訓練を行う。	対象者；部職員全員	過去にJTR等で起きたトラブル事例等を参考に異常時対応訓練のシナリオを作成し、年1回以上の事故対応訓練を実施する。	対象者；部内職員全員	対象者及び講師
所内外のトラブル事例についての教育訓練	-----	-----	事故・故障のデータベース、INES、NSネット等を有効に活用し、所内外のトラブル事例について学習する。 年2回程度の教育訓練を実施する。	対象者；A,B,Cクラス 講師；対象トラブル事例より適宜人選。場合によっては部外の講師を依頼	対象者及び講師
その他	運転担当者については、従来通りOJTによる実務訓練を実施する。また、管理者を含め所内外で実施される講習、講演会等に積極的に参加する。				

表 13 管理者の教育訓練実績
—講習会などへの参加—

項目	実施日	部課室	参加者
ISO9001 内部監査員養成セミナー	H15.1.29~30	検査技術課	課長代理
		ホットラボ課	主査
ISO14001 内部監査員養成セミナー	H15.2.18~19	原子炉第 1 課	課長
		検査技術課	課長
安全講習会	H15.2.26	材料試験炉部	部長 安全管理担当 原子炉主任者
		計画課	課長代理 課長代理 課長代理
		原子炉第 1 課	課長 課長代理 課長代理 課長代理 課長代理
		原子炉第 2 課	総括主査
		照射第 1 課	課長 課長代理
		照射第 2 課	課長 課長代理 課長代理
		ホットラボ課	課長
		ブランケット照射開発室	副主任研究員
		原子炉第 1 課	課長
		照射第 2 課	課長
NS ネット管理者セミナー	H15.3.5	ホットラボ課	課長
		原子炉第 1 課	課長
		照射第 2 課	課長
平成 14 年度施設管理者等 安全管理訓練	H15.3.10	ホットラボ課	課長
		検査技術課	課長
茨城県原子力安全協定推進 協議会研修会	H15.3.26	原子炉第 1 課	課長代理
		計画課	課長代理

付 錄

水漏れ監視プログラム注意喚起報発報レベルの設定根拠

レベル 1

1. 第 1 排水系貯槽流入率

本貯槽には、精製系のサンプリング水、一次系及び精製系のベント弁、ドレン弁からの排水、炉プール及びカナルのオーバーフロー水が流れ込む体系となっている。

原子炉運転中は、サンプリング水が約 $30\ell/h$ で定常的に流れ込む。その他、炉プール及びカナルのオーバーフロー水が第 1 排水系貯槽に流れ込むが、その量は別図 1 に示すように、時として $1000\ell/h$ を超える。また、本貯槽は面積が大きいため（約 $129m^2$ ）、その水位変化から弁座漏れのような少量の系内漏れを検出することは困難である。このことから、本貯槽の注意喚起報は、炉プール及びカナル水の異常なオーバーフローの検知を目的とし、発報レベルは $1000\ell/h$ とする。ベント弁やドレン弁からの少量の漏水については、水漏れ監視プログラム（LEAK）で監視する。

2. 第 2 排水系貯槽(1)流入率

本貯槽には、PC 系のサンプリング水、各循環ポンプのシール水、精製系ベント弁からの排水、前置フィルタ逆洗ラインの排水、水力ラビット照射装置の排水、イオン交換塔室の床排水が流れ込む体系となっている。

原子炉運転中は、PC 系のサンプリング水と循環ポンプのシール水が流れ込むが、サンプリング水の流量調整が難しく、別図 2 に示すように数 ℓ/h ~ $50\ell/h$ の範囲で変動する。なお、原子炉運転中において、PC 系のサンプリング水と循環ポンプのシール水を除く排水は行わない。

本貯槽の注意喚起報発報レベルは、サンプリング水及びシール水による流入率 $50\ell/h$ と、水位信号の変動に伴なう流入率の変動（約 $25\ell/h$ ）の 2 倍を考慮して $100\ell/h$ とする。

3. 第 2 排水系貯槽(2)流入率及び水位上昇

本貯槽には、主循環系機器室及び炉下室の床排水、IASCC キャプセル照射設備のループキュービクル床排水及びサンプリング水、実験用流し台の排水が流れ込む体系となっているが、原子炉運転中において定常的に排水する水は無い。なお、IASCC キャプセル照射設備のサンプリング排水や実験用流し台からの排水は実験の目的に応じて行うが、この場合は計画を立て、原子炉制御室に事前連絡する。

本貯槽の注意喚起報は、比較的大きな水漏れの早期検出を目的とした流入率に対する注意喚起報と、少量の水漏れの検出を目的とした水位上昇に対する注意喚起報の 2 種類を設ける。流入率の発報レベルは、水位信号の変動に伴う流入率の変動（約 $22\ell/h$ ）の 2 倍を考慮して $50\ell/h$ とする。水位上昇の発報レベルは、水位の測定精度（測定範囲 $0\sim2000mm$ に対し約 0.6%）を考慮して $12mm$ 上昇とする。

4. 第4排水系貯槽流入率

本貯槽には、二次系のベント弁及びドレン弁からの排水、パッケージクーラのドレン排水、手洗い水の他、炉室各階の一般排水口を経由した水が流れ込む体系となっている。

パッケージクーラは計4台あり、原子炉運転中においてIASCC照射設備冷却用と計算機室冷房用は連続運転で、原子炉制御室及び照射制御室冷房用は必要に応じて使用する。これらのパッケージクーラから発生するドレン水は、その冷却能力（総計122kW）から推定して炉室の湿度が高い時には50ℓ/hに達すると考えられる。

本貯槽の注意喚起報発報レベルは、パッケージクーラの最大ドレン水量50ℓ/hと、水位信号の変動に伴う流入率の変動（約24ℓ/h）の2倍を考慮して100ℓ/hとする

5. 一次冷却水流出率

精製系のサンプリング水及び脱気タンクからの蒸発による定常的な一次冷却水流出率約36ℓ/hと、別図3に示す水位信号の変動等に伴なう流出率の変動（最大50ℓ/h）を考慮して100ℓ/hとする。

6. 一次冷却水補給率

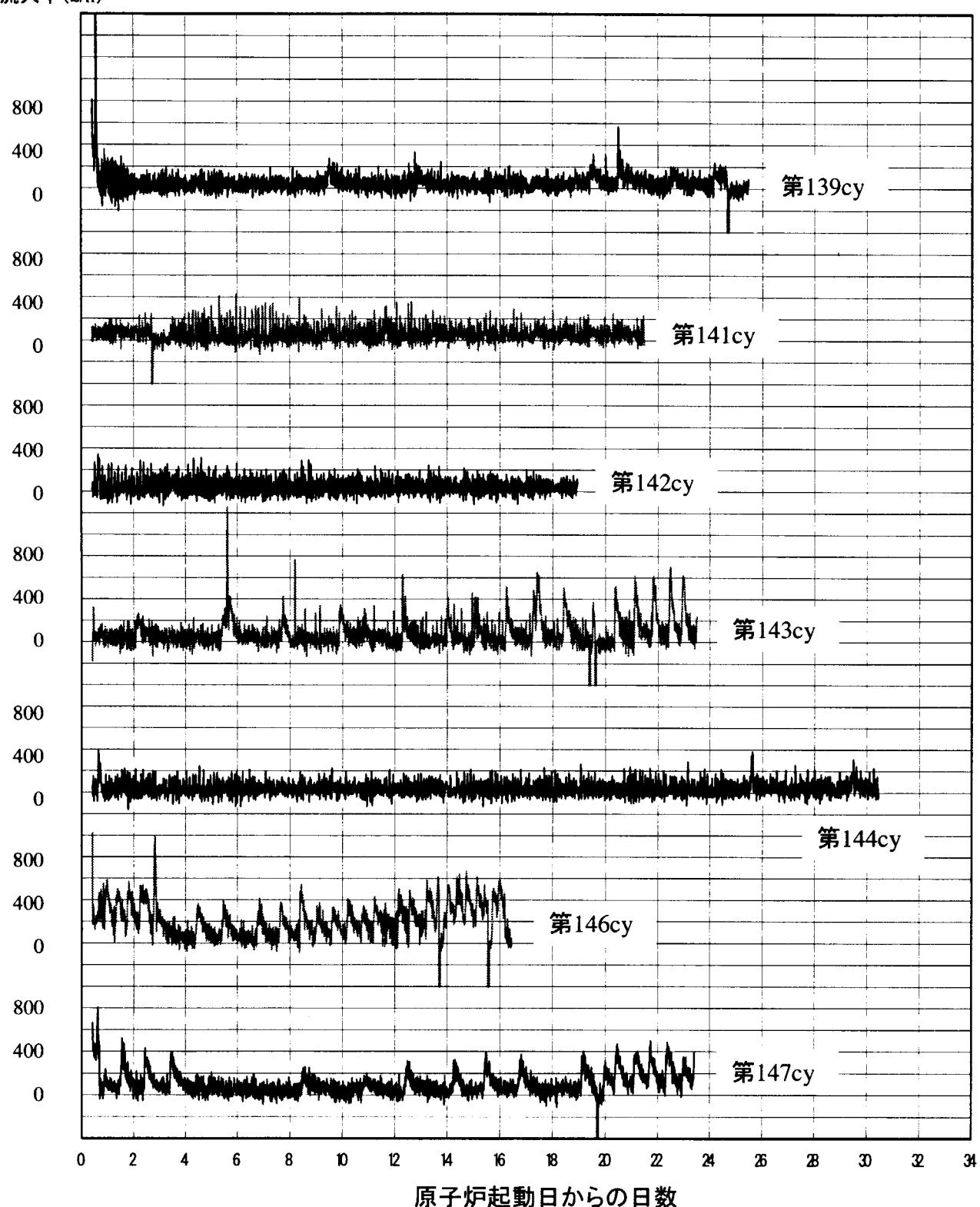
脱気タンクへの純水補給間隔は一次冷却水の温度変化等によって変動するが、第139サイクルから第146サイクルの運転実績を調査した結果、原子炉50MW運転中において最も短い補給間隔は8.2時間（補給率換算：92ℓ/h）であった。このことから、一次冷却水補給率の発報レベルを100ℓ/h（補給間隔換算：7.5時間）とする。

レベル2

レベル2の注意喚起報は、一次冷却水の漏洩率が安全上の制限（20m³/h）に近づいたことを知らせるもので、この注意喚起報が発報した場合、ARGUSのデータ収集系の異常と判断できる場合を除いて、直ちに原子炉を手動停止する。

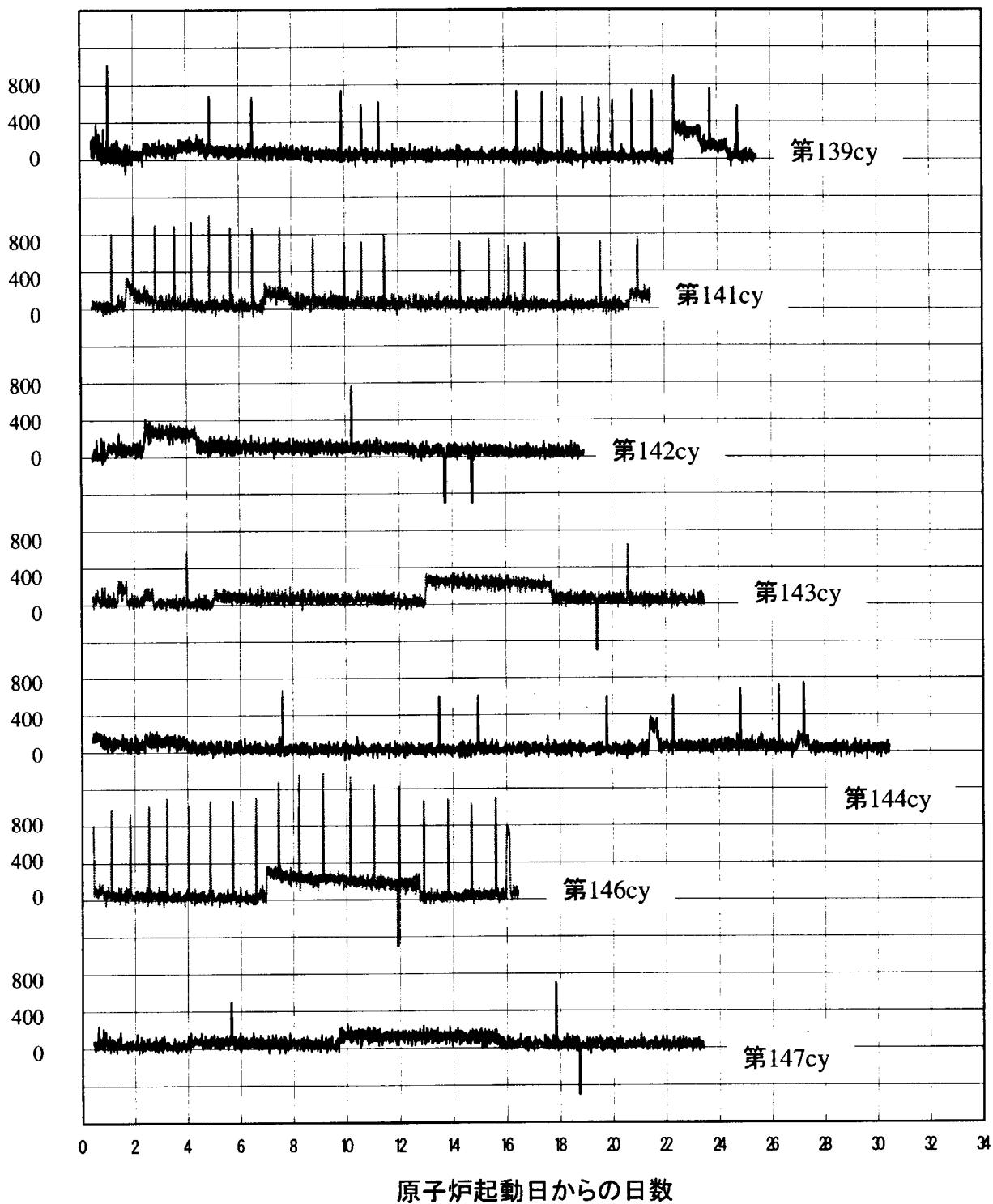
レベル2の注意喚起報は、プログラムの水漏れ検出手法を考慮して、一次冷却水の漏洩を最も速く確実に検出できる一次冷却水流出率と第2排水系貯槽(2)の流入率について設ける。発報レベルは、原子炉停止後の崩壊熱除去運転中に流出する水量と第2排水系貯槽(2)の貯水容量を考慮して1000ℓ/hとする。

流入率(ℓ/h)



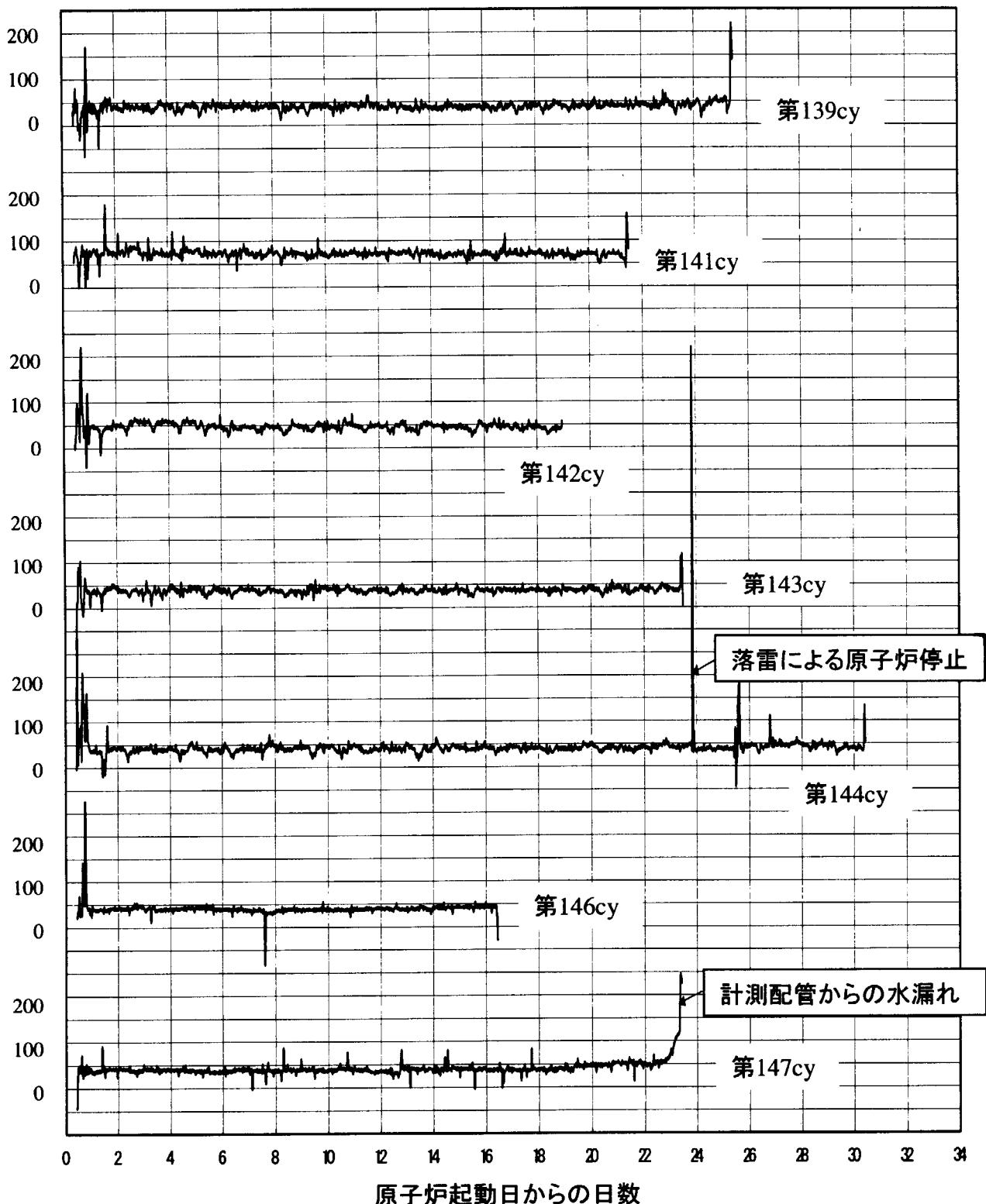
別図1 原子炉運転中の第1排水貯槽への排水流入率
(JMTR第139～147サイクル)

流入率(ℓ/h)



別図2 原子炉運転中の第2排水貯槽（1）
への排水流入率
(JMTR第139～147サイクル)

流出率(ℓ/h)



別図3 原子炉運転中の一次冷却水流出率
(JMTR第139~147サイクル)

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

1. 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。

2. 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。

3. barは、JISでは液体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリに分類されている。

4. EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
1	0.101972	0.224809		1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
9.80665	1	2.20462		0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
4.44822	0.453592	1		0.101325	1.03323	1	760	14.6959
粘度	1 Pa·s(N·s/m ²)	10 P(ポアズ)(g/(cm·s))		1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
動粘度	1 m ² /s	10 ⁴ St(ストークス)(cm ² /s)		6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m		kW·h		cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV
		1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889				
9.80665		1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J(15 °C)	
3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J(国際蒸気表)		
4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力)		
1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s		
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W		
1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1			

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		1	100		1	3876		1	100
	3.7 × 10 ¹⁰	1		0.01	1		2.58 × 10 ⁻⁴	1		0.01	1

(86年12月26日現在)

R100

古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています。