

高速実験炉「常陽」第3回定期点検報告

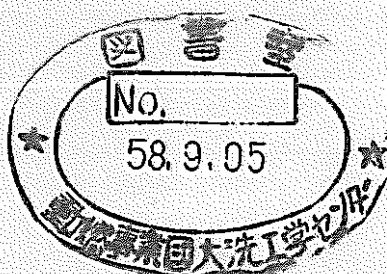
第3回格納容器全体漏洩率試験

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N941 83-71

この資料は 図書室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です

動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室

1983年6月



動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1983年6月

高速実験炉「常陽」第3回定期点検報告 第3回格納容器全体漏洩率試験

田村 政昭, 磯崎 和則, 宮口 公秀
遠藤 順一

要 旨

第3回定期点検の一環として、(1)得られた測定精度が許容漏洩率を満足することを確認し、(2)将来の格納容器漏洩率試験の実施頻度を1回／1年から3回／10年にするための必要なデータを得ること、および(3)絶対圧力法と基準容器法の最終的な比較検討を行うためのデータを得ることを目的とした第3回Na注入後格納容器漏洩率試験を実施した。

得られた結果は次のようにまとめられる。

(1) 絶対圧力法および基準容器法によって得られたみかけの漏洩率はそれぞれ $0.013 \pm 0.010\%/\text{day}$, $0.044 \pm 0.014\%/\text{day}$, 補正漏洩率を含めた漏洩率の上限は $0.172\%/\text{day}$, $0.208\%/\text{day}$ と許容漏洩率を十分満足するものであった。

(2) 今回を含めた3回の測定結果から、得られた漏洩率は極めて再現性の良いものであり、また経年劣化の徵候もみられず、第4回定期検査以降のひいては高速炉の格納容器漏洩率試験の実施頻度は3回／10年が妥当なものであることが結論づけられた。

(3) 絶対圧力法と基準容器法との優劣の判断は困難であるが、基準容器法による試験の計画、基準容器やその配管等の製作、検査及びその他試験準備の経験からは基準容器法の場合は多くの労力を必要とするため、今後の試験方法としては絶対圧力法によってのみ実施すべきである。

PNC-TN941 83-71

Jun. 1983

Experimental Fast Reactor JOYO The 3rd Annual Inspection Report

The 3rd Integrated Leak Rate Test of Pressure Containment Vessel

MASAAKI TAMURA, KAZUNORI ISOZAKI
KINHIDE MIYAGUCHI and JUNICHI ENDO

Abstract

As a series of the 3rd annual inspection of Joyo, the 3rd integrated leak rate test (ILRT) of the pressure containment vessel was conducted to confirm the leak tightness of the containment vessel and to determine the test frequency and method in future.

Results obtained from the test are summarized as follows;

- (1) Leak rates of 0.013 ± 0.010 %/day by the absolute pressure method and of 0.044 ± 0.014 %/day by the reference chamber method were obtained. After combining the results from local leak tests and correcting for measuring errors, the compensated leak rates were well within the leak rate limit of 1.90 %/day.
- (2) Since the test results obtained in the tests of past three times including this time were well reproducible and showed no signs of the degradation of the containment vessel, it is concluded that the ILRT of Joyo pressure containment vessel in future should be conducted by the frequency of three times in ten years.
- (3) The absolute pressure method should be adopted in Joyo as the test method in future, because the measuring accuracy by both the test method was confirmed to be almost equal, and the arrangement of measuring system for the reference chamber method is more complex than the absolute pressure method.

目 次

1. 緒 言.....	1
2. 格納容器の仕様.....	2
3. 試験方法.....	3
3.1 試験の概要.....	3
3.2 漏洩率測定法.....	3
3.3 試験用計器および測定系.....	11
3.4 試験前条件の設定.....	12
3.5 プラントの運転方法.....	14
4. 試験結果.....	31
4.1 試験経過.....	31
4.2 試験結果.....	31
5. 検討及び評価.....	62
5.1 平均温度の誤差による漏洩率への影響の検討.....	62
5.2 蒸気圧の測定を無視した場合の漏洩率への影響の検討.....	66
5.3 基準容器法と絶対圧力法の比較.....	66
5.4 試験実施頻度に関する検討.....	67
5.5 自動計測法と手動計測法の比較.....	77
5.6 補正誤差の取扱いについて.....	81
6. 結 言.....	82
7. 謝 辞.....	83
8. 参考資料.....	84
9. 付 錄.....	85
9.1 液体金属冷却高速増殖炉施設の原子炉格納容器の漏えい試験（案）	85
9.2 液体金属冷却高速増殖炉施設の格納容器バウンダリの定義（案）	98

List of Tables

- Table 3.1 Location of Temperatures, Dew Point Sensors and Reference Chambers
- Table 3.2 Volume Ratio of Each Rooms, Temperature Sensors and Dew Point Sensors
- Table 3.3 Specification of Each Measuring Devices
- Table 3.4 Specification of Reference Chambers
- Table 3.5 Operating Condition on Reactor Cooling System during Test
- Table 4.1 Statistical Result of Reference Chamber Method
- Table 4.2 Statistical Result of Absolute Pressure Method
- Table 4.3 Summary of Joyo Pressure Containment Vessel Integrated Leak Rate Test Results
- Table 5.1 Comparison of Integrated Leak Rate Test Method Between LMFBR and LWR
- Table 5.2 Comparison of Integrated Leak Rate Test Results of Joyo
- Table 5.3 Comparison of Local Leak Rate Test Results of Joyo
- Table 5.4 Specification of Measuring Devices by Automatic Measurement

List of Figures

- Fig. 3.1 Joyo Pressure Containment Vessel Boundary at Test
Fig. 3.2 Test Flow Diagram
Fig. 3.3 Arrangement of Measuring Devices
Fig. 4.1 Schedule of the 3rd Integrated Leak Rate Test of Pressure Containment Vessel (1)
Fig. 4.2 Schedule of the 3rd Integrated Leak Rate Test of Pressure Containment Vessel (2)
Fig. 4.3 Temperature and Pressure Profile during Test
Fig. 4.4 % Leakage
Fig. 4.5 P/T Characteristics
Fig. 4.6 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₁)
Fig. 4.7 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₂)
Fig. 4.8 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₃)
Fig. 4.9 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₄)
Fig. 4.10 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₅)
Fig. 4.11 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₆)
Fig. 4.12 Mean Temperature Profile at Each Region in Pressure Containment Vessel
Fig. 4.13 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₁)
Fig. 4.14 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₂)
Fig. 4.15 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₃)
Fig. 4.16 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₄)
Fig. 4.17 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₅)
Fig. 4.18 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₆)

- Fig. 4.19 dP vs. dT Plot of Reference Chamber Method
- Fig. 4.20 dP vs. dT Plot of Absolute Pressure Method
- Fig. 4.21 Test Results of Joyo Integrated Leak Rate Test
- Fig. 4.22 Temperature and Pressure of Primary Argon Cover Gas System during Test
- Fig. 5.1 P'/T Characteristics of Reference Chamber Method
- Fig. 5.2 Integrated Leak Rate Test Result
- Fig. 5.3 Test Results of the 2nd Joyo Integrated Leak Rate Test
Measured Automatically
- Fig. 5.4 Test Results of the 3rd Joyo Integrated Leak Rate Test
Measured Automatically
- Fig. 5.5 Test Results of the 2nd Joyo Integrated Leak Rate Test

1. 緒 言

第3回定期点検の一環として、昭和57年10月23日から11月12日にかけて第3回格納容器全体漏洩率試験（以下、格納容器漏洩率試験と言う）を実施した。

ループ型高速炉における格納容器漏洩率試験は軽水炉等におけるそれとは異なり、冷却材圧力バウンダリを確保しながら実施する必要があり、これに起因する諸条件を満足させるための試験条件の設定は非常に特殊なものとならざるを得ない。すなわち、炉容器および冷却系内のナトリウム凍結防止のため、1次冷却系および2次冷却系を循環させ、それに伴い必要となる1次アルゴンガス系ならびに格納容器雰囲気調整系を運転した状態で実施せざるを得ないものとなる。また、このような試験条件下で如何にして必要な測定精度を得るかという固有の問題を有している。

これら高速炉における格納容器漏洩率試験の実施に当っての問題点は過去2回の試験で得られた結果から試験方法と測定系の妥当性が実証されるとともに、測定精度についても従来の軽水炉等におけるそれと同等のものが得られたことから基本的に解決され、試験方法が確立されたものと言える。

従って、今回の第3回格納容器漏洩率試験は、(1)得られた測定精度が許容漏洩率を満足することを確認し、そして(2)将来の格納容器漏洩率試験の実施頻度を1回／1年から3回／10年にするための必要なデータを得ること、および(3)絶対圧力法と基準容器法の最終的な比較検討を行うためのデータを得ること、を目的として実施した。

本報告では、第3回格納容器漏洩率試験の結果について述べるとともに、将来の格納容器漏洩率試験のあり方に関する考察についても報告する。

2. 格納容器の仕様

(1) 格納容器の主要設計条件及び仕様

設計内圧	1.35 kg/cm ² g
設計温度	150 °C
設計外圧	0.05 kg/cm ² g
使用材料	JIS G 3103 (1966) SB 42相当 (ASME SA 516 Gr 60)
胴部内径	28,000 mm
全 高	54,300 mm
胴部厚さ	25 及び 27 mm
上部厚さ	12 mm
下部厚さ	27 mm

(2) 漏洩率

5 %/day (事故条件 : 360 °C, 1.35 kg/cm² g)

尚、詳細な設備仕様については参考資料(1)を参照のこと。

3. 試験方法

3.1 試験の概要

原子炉格納容器の漏洩試験に関しては、日本電気協会が軽水型原子力発電所に対する規程(JEAC)4203-1974²⁾を定めており、「常陽」も同規程に準じて試験を実施した。

試験の種類としては以下のものがある。

- (1) 格納容器全体漏洩率試験 (A種試験)
- (2) 格納容器貫通部漏洩率試験 (B種試験)
格納容器バウンダリを構成するシール部又は貫通部に対する試験
- (3) 格納容器隔離弁漏洩率試験 (C種試験)

今回の試験においてもA種試験に先立って、B種試験、C種試験を実施した。

また、格納容器漏洩率の測定法としては格納容器内気体の圧力、温度を測定し、ボイル・シャルルの法則によって気体重量を求め、その時間的変化を追跡する方法が採用されている。気体圧力の測定方法に関しては直接気体の絶対圧力を測定する方法(絶対圧力法)と格納容器内に設けられた基準容器との差圧を測定する方法(基準容器法とよばれる)の2つの方法があり、それぞれに実績があるが今回の試験では両者を採用して漏洩率の測定を行った。

なお今回の漏洩率試験における試験条件は次の通りである。

試験圧力	0.675 kg/cm ² g (設計圧力の1/2)
試験温度	常温
漏率率	1.90 %/day
試験時間	24時間以上
使用加圧気体	乾燥窒素(床上・床下共通雰囲気)

3.2 漏洩率測定法

ナトリウム注入後の格納容器全体漏洩率は次の各漏洩率寄与分の総和で表現される。

$$L_r = L_c + \sum_i L_{ai} + \sum_i L_{pi}$$

ここで、

L_r : 格納容器の全体漏洩率 (%/day)

L_c : カバーガスの格納容器内への漏込みを無視した場合の格納容器全体漏洩率
(みかけの漏洩率) (%/day)

Na冷却炉の場合、炉容器(含、回転プラグ)および冷却系は低圧系であり、かつ冷却材液面上アルゴンカバーガスを格納容器加圧時も格納容器雰囲気より一定差圧

高圧に調圧する。また、必要な場合、シール部にアルゴンガスのシールガスを供給する。この場合、カバーガスが幾分か格納容器雰囲気に漏込み、格納容器雰囲気のガス重量を増すことになる。みかけの全体漏洩率は格納容器雰囲気の圧力および温度の測定値のみから算出されるもので、カバーガスの漏込みによる効果を考慮していない値である。

ΣL_{ai} : 上記のカバーガスが格納容器へ漏込むことによる格納容器のみかけの全体漏洩率低減分 (%/day)

このガスの格納容器への漏込み量は本来このガスが占める部分のガス重量を試験開始時と終了時において推定し、その差として決定される。この値を格納容器漏洩率 (%/day) として換算するために、格納容器内雰囲気の試験開始時重量を推定することが必要である。ここで、添字は供給ライン、カバーガスブランケット部および廃気ラインを示す。

ΣL_{pi} : 格納容器全体漏洩率試験時に加圧できない容器バウンダリ部分（格納容器貫通部を含む）からの漏洩率 (%/day)

具体的には、格納容器漏洩率試験時にも雰囲気の除熱を行うため作動させておくフレオン冷媒系やカバーガスの調圧を行う一次アルゴンガス系および一次ナトリウム充填ドレン系、圧縮空気供給系、燃料つかみ部洗浄設備排液及び排気系の隔離弁が対象となる。これらの漏洩率は別途局部漏洩率試験を実施し、測定する。

以下に L_c 及び ΣL_{ai} の測定法について示す。

3.2.1 カバーガスの格納容器内への漏込みを無視した場合の格納容器漏洩率 (L_c) の計算法
漏洩率 L_c は基準容器法および絶対圧力法によって求める。

(1) 基準容器法による漏洩率計算法

漏洩率試験は48時間（比較的温度が一定となる真夜中から夜明けまでの期間）継続し、下記の測定値を30分毎に記録する。

- ① 格納容器内温度 (°C)
- ② 格納容器内圧力 (kg/cm² g)
- ③ 格納容器内湿度
- ④ 油マノメータ差圧 (mm oil)
- ⑤ 大気圧 (mm Hg)
- ⑥ マノメータ油温度 (°C)

上記測定値を用いて、24時間における漏洩率を次式によって求める。すなわち、格納容器内の湿り気体にボイル・シャルルの法則及びダルトンの法則を適用して、次式で示される。

$$L = \frac{2400}{H} \left[1 - \frac{V_1' V_2 T_1 T_2'}{V_1 V_2' T_1 T_2} + \frac{1}{P_1 - P_{\nu 1}} \left\{ \frac{T_1 V_2}{T_2 V_1} (\Delta P_2 + P_{\nu 2}) - (\Delta P_1 + P_{\nu 1}) \right\} \right]$$

実際の使用計算式としては次の仮定のもとに簡略化した式を用いる。

- (1) 格納容器と基準容器の容積が試験前後で変わらない。

$$V_1 \approx V_2, V'_1 \approx V'_2$$

- (2) 蒸気分圧は試験圧力に比べて十分小さい。

$$P_1 - P_{v1} \approx P_1$$

これにより

$$L = \frac{2400}{H} \left[1 - \frac{T_1 T'_2}{T'_1 T_2} + \frac{1}{P_1} \left\{ \frac{T_1}{T_2} (\Delta P_2 + P_{v2}) - (\Delta P_1 + P_{v1}) \right\} \right] \%/\text{day}$$

ここで、

L : 24時間当たりの%漏洩量 (%/day)

P : 格納容器内湿り窒素ガスの絶対圧 (mm Hg)

ΔP : 基準容器と格納容器の差圧 (mm Hg)

P_v : 格納容器内水蒸気分圧 (mm Hg)

T : 格納容器内絶対温度 (°K)

T' : 基準容器の絶対温度 (°K)

V : 格納容器内容積 (m^3)

V' : 基準容器内容積 (m^3)

H : 測定時間 (Hour)

添字 1 : 測定開始基準時刻における値

〃 2 : H 時間後の値

(2) 絶対圧力法による漏洩率計算法

絶対圧力法による漏洩率は格納容器内の湿り気体にボイル・シャルルの法則、ダルトンの分圧の法則を適用して次式より求める。

格納容器内状態式

$$(P_1 - P_{v1})V = G_1 RT_1$$

$$(P_2 - P_{v2})V = G_2 RT_2$$

従って求める漏洩率 L は

$$L = \frac{2400}{H} \left\{ 1 - \frac{(P_2 - P_{v2}) T_1}{(P_1 - P_{v1}) T_2} \right\} \%/\text{day}$$

ここで記号はすべて基準容器法と同様とする。

3.2.2 測定値の処理方法

測定されたデータから漏洩率の算出に必要な温度、圧力等を求める方法は次の通りである。

(1) 格納容器内平均温度 (T)

格納容器内に配置した 45 点の温度計の重みつき平均値として求める。

$$T = 1 \left\{ \frac{\frac{W_1}{\frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 T_j}}{} + \frac{\frac{W_2}{\frac{1}{6} \sum_{i=9}^{14} T_i}}{} + \frac{\frac{W_3}{\frac{1}{7} (\sum_{i=15}^{17} T_i + \sum_{i=20}^{22} T_i + T_{35})}}{} + \frac{\frac{W_4}{\frac{1}{2} (T_{18} + T_{19})}}{} \right. \\ \left. + \frac{\frac{W_5}{\frac{1}{14} (\sum_{i=23}^{34} T_i + \sum_{i=36}^{37} T_i)}}{} + \frac{\frac{W_6}{\frac{1}{8} \sum_{i=38}^{45} T_i}}{} \right\}$$

T_i : i 番目の温度計の指示 (°C)

W_i : i 番目の温度計の重み

$$W_1 = 0.13333, W_2 = 0.11578, W_3 = 0.04699$$

$$W_4 = 0.02549, W_5 = 0.37145, W_6 = 0.30696$$

(2) 格納容器内平均水蒸気分圧 (P_{ν})

格納容器内に配置した 23 個の露点計の重みつき平均値として用いる。

$$P_{\nu} = T \left\{ \frac{\frac{1}{4} W_1 \sum_{i=1}^4 P_{\nu i}}{\frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 T_j} + \frac{\frac{1}{3} W_2 \sum_{i=5}^7 P_{\nu i}}{\frac{1}{6} \sum_{j=9}^{14} T_j} + \frac{\frac{1}{3} W_3 (P_{\nu 8} + P_{\nu 9} + P_{\nu 10})}{\frac{1}{7} (\sum_{j=15}^{17} T_j + \sum_{j=20}^{22} T_j + T_{35})} + \frac{\frac{1}{2} W_4 P_{\nu 10}}{\frac{1}{2} (T_{18} + T_{19})} \right. \\ \left. + \frac{\frac{1}{9} W_5 \sum_{j=12}^{20} R_j}{\frac{1}{14} (\sum_{j=23}^{34} T_j + \sum_{j=36}^{37} T_j)} + \frac{\frac{1}{3} W_6 \sum_{j=21}^{23} P_{\nu i}}{\frac{1}{8} \sum_{j=38}^{45} T_j} \right\}$$

$P_{\nu i}$: i 番目の露点計の指示

W_i : i 番目の露点計の重み

(3) 基準容器内平均温度 (T')

基準容器それぞれに取りつけた計 8 本の温度計の重みつき平均値として求める。

$$T' = 1 \left\{ \frac{\frac{V_1}{T_1} + \frac{V_2}{T_{14}} + \frac{V_3}{\frac{1}{2} (T_{15} + T_{21})}}{} + \frac{\frac{V_4}{\frac{1}{4} (T_{27} + T_{28} + T_{29} + T_{30})}}{} \right\}$$

$$V_1 = 0.12830, V_2 = 0.11048, V_3 = 0.07465, V_4 = 0.68657$$

(4) 大気圧と格納容器内圧力 (P)

水銀気圧計及び水銀マノメータの読みに対して、温度補正及び校正結果の補正を行って、次式から格納容器内絶対圧力を求める。

$$P = \left\{ [PA] \times \left(1 - \frac{0.0001634 \times t_{47}}{1 + 0.0001818 \times t_{47}} \right) + h_1 \right\} \\ + \left\{ [PG] \times \left(1 - \frac{0.000163 \times t_{47}}{1 + 0.0001818 \times t_{47}} \right) + h_2 \right\}$$

〔PA〕：大気圧計の読み

〔PG〕：水銀マノメータの読み

 h_2 ：大気圧計の器差 h_1 ：水銀マノメータの器差 t_{47} ：測定時の大気温度(5) 基準容器と格納容器との差圧 (ΔP)

油マノメータのU字管の左右の読みの差に測定時の油温度の比重をかけて、差圧 ΔP を求め
る。

$$\Delta P = [\Delta P] \times \left(1 - \frac{0.0001634 \times t_{47}}{1 + 0.0001818 \times t_{47}} \right) \times 10^{-4} \times \frac{760}{1.03323}$$

〔 ΔP 〕：油マノメータの油頭差

3.2.3 平均漏洩率およびその信頼限界

格納容器の漏洩率として単位時間当たりの%漏洩量Qを計算し、次に示す統計処理を行って平均漏洩率を算出する。

(1) 回帰直線の決定

格納容器から漏洩があれば、単位時間毎に求めた%漏洩量Qは経過時間Hに対し直線的に増加し次式で表わされる。

$$Q_i = a + b H_i \quad (1)$$

ここに、

 a ：基準点における%漏洩量 b ：単位時間当たりの%漏洩量

各経過時間を H_i 、%漏洩量を Q_i 、測定回数をNとすれば、 a および b の最高値は次式にて求まる。

$$a = \frac{(\sum Q_i)(\sum H_i)^2 - (\sum H_i)(\sum H_i Q_i)}{N(\sum H_i^2) - (\sum H_i)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{N(\sum H_i Q_i) - (\sum H_i)(\sum Q_i)}{N(\sum H_i^2) - (\sum H_i)^2} \quad (3)$$

(2) 直線性の検討

回帰係数 b の有意差の検定、すなわち回帰係数の真の値 β が 0 であるという仮説の検定を次式により行う。下記の不等式が成立すれば有意差があることになり回帰係数 $b \neq 0$ と評価される。

$$\frac{V_R}{V_{yx}} \geq F(\phi_R, \phi_{yx}, \alpha) \quad (4)$$

ここに、

V_R : 回帰の不偏分散

V_{yx} : 残差の不偏分散

ϕ_R : 回帰の自由度 ($\phi_R = N - 2$)

ϕ_{yx} : 残差の自由度 ($\phi_{yx} = N - 2$)

α : 危険率 ($\alpha = 0.05$)

F : F - 分布

各経過時間を X_i 、%漏洩量を Y_i 、測定回数を N とすれば分散比は下記要領にて求まる。

$$S(X, Y) = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{N} \quad (5)$$

$$S(Y, Y) = \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{N} \quad (6)$$

共変動：

$$S(X, Y) = \sum X_i Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{N} \quad (7)$$

回帰の平方和

$$S_R = \frac{[S(X, Y)]^2}{S(X, X)} \quad (8)$$

残差の平方和

$$S_{yx} = S(Y, Y) - S_R \quad (9)$$

回帰の不偏分散

$$V_R = \frac{S_R}{\phi_R} = \frac{S_R}{1} \quad (10)$$

残差の不偏分散

$$V_{yx} = \frac{S_{yx}}{\phi_{yx}} = \frac{S_{yx}}{N - 2} \quad (11)$$

分散比

$$F_0 = \frac{V_R}{V_{yx}} \quad (12)$$

(3) 平均漏洩率およびその信頼限界

前記の直線性の分散分析の結果有意差が認められれば、平均漏洩率 \bar{L} は次式にて求まる。

$$\bar{L} = 24 \{ b \pm t(\phi, \alpha) \sigma \} (\%/\text{day}) \quad (13)$$

ここに、 σ ：標準偏差の推定値

$$\sigma = \sqrt{\frac{V_{yx}}{S(X, Y)}} \quad (14)$$

$t(\phi, \alpha)$: 自由度、 $\phi = N - 2$ 、危険率 α の t 分布関数

3.2.4 測定系の妥当性の確認

漏洩率試験中の格納容器内の気体については Boyle-Charles の法則が常に成立するから、

$\Delta P = P_1 - P_2$ 、 $\Delta T = T_1 - T_2$ は次式を満足する。

$$\Delta P = \frac{P_1}{T_1} \left(1 - \frac{q}{G_1} H \right) \Delta T + \frac{q}{G_1} H \cdot P_1$$

ここで、 q : 気体の漏洩量 (kg/hr)

H : 状態 1 から状態 2 までの経過時間 (hr)

G_1 : 状態 1 における気体の容器内総重量 (kg)

$\Delta P'$: P_1/T_1 の傾きの直線上の ΔT における ΔP の値

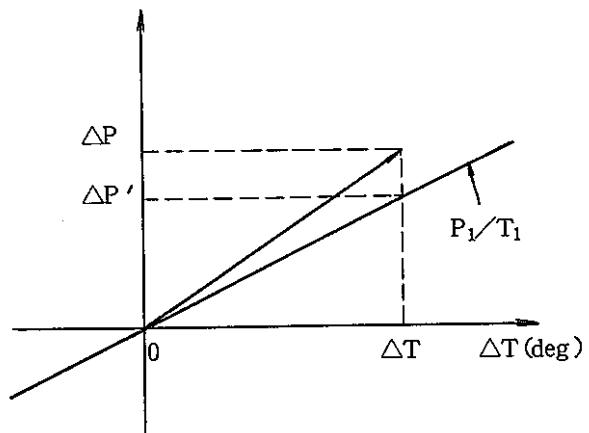
$$\Delta P' = \frac{P_1}{T_0} \Delta T$$

ΔP と $\Delta P'$ の差をとると、任意の H 、 ΔP 、 ΔT に関して

$$\begin{aligned} \Delta P - \Delta P' &= \frac{P_1}{T_1} \left(-\frac{q}{G_1} H \right) \Delta T + \frac{q}{G_1} H \cdot P_1 \\ &= \frac{q}{G_1} H P_1 \left(1 - \frac{\Delta T}{T_1} \right) \quad \Delta P (\text{Kg/cm}^2) \\ &= \frac{q}{G_1} H P_1 \frac{T_2}{T_1} \geq 0 \end{aligned}$$

となる。すなわち右図に示すように、 ΔT と ΔP の関係をプロットすると測定基準点の温度 T_1 と圧力 P_1 によって決まる直線上またはその上方にプロットされる。

漏洩率試験は試験期間中たえず前式により測定系の正常性、算出された漏洩率の妥当性を確認しながら実施する。



3.2.5 カバーガスの漏洩率計算法

カバーガスの漏込み量を評価するため、全体漏洩率試験と並行して下記の測定値を30分毎に記録する。

- ① 供給タンク温度
- ② " 壓力
- ③ カバーガス領域温度
- ④ " 壓力
- ⑤ 低圧タンク温度
- ⑥ " 壓力

上記測定値を用いて、24時間における漏洩率を次式によって求める。

$$L = \frac{Q_a}{Q_c} \times 100 \quad (\%/\text{day})$$

ここで、 Q_a ：カバーガスの格納容器内への漏込み量 (Nm^3/day)

$$Q_a = (W_{egi} + W_{egh} + W_{egl}) \times \frac{24}{H} \times \frac{22.4136}{V}$$

このうち、

$$W_{egi} = \frac{V_i}{R_a} \left(\frac{P_{i1} + P_{c1}}{T_{i1}} - \frac{P_{i2} + P_{c2}}{T_{i2}} \right)$$

W_{egi} ：試験期間中のカバーガス領域ガス重量の変化 (kg)

V_i : i 番目のカバーガス領域の容積 (m^3)

P_i : " " 壓力 (kg/m^2)

T_i : " " 温度 ($^\circ\text{K}$)

P_c : 格納容器内湿り空気の絶対圧力 (kg/m^2)

R_a : 気体定数

添字 1, 2 はそれぞれ試験開始時および試験終了時を示す。

$$W_{egh} = \frac{V_h}{R_a} \left(\frac{P_a + P_{h1}}{T_{h1}} - \frac{P_a + P_{h2}}{T_{h2}} \right)$$

W_{egh} : Ar 供給タンクのガス重量変化 (kg)

V_h : " 容積 (m^3)

T_h : " 温度 ($^\circ\text{K}$)

P_h : " 壓力 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{g}$)

P_a : 大気圧 (kg/m^2)

$$W_{egl} = \frac{V_L}{R_a} \left(\frac{P_a + P_{L1}}{T_{L1}} - \frac{P_a + P_{L2}}{T_{L2}} \right)$$

W_{eg1} : 低圧タンクの容積T_L : " 温度P_L : " 圧力

H : 試験時間 (hr)

V : Ar ガスの 1 g 分子量 (g/mol)

Q_c : 試験開始時の格納容器内ガス量 (Nm³)

$$Q = \frac{q}{1 - \frac{P_{c2}}{P_{c1}} \cdot \frac{T_1}{T_2}} \cdot \frac{22.4136}{V}$$

q : 昇圧開始時から試験開始時までの格納容器内への正味の給気ガス量 (kg)

P : 格納容器内湿り気体の絶対圧力 (kg/m²)

T : " " 温度 (°K)

添字 1 : 測定開始基準時刻における値

添字 2 : H 時間後の値

3.3 試験用計器および測定系

漏洩率試験に用いられる基準容器、温度検出器及び露点検出器の設置場所、個数を Table 3-1 に、温度計及び露点計のもつ比率を Table 3-2 に、試験用計器仕様を Table 3-3 に、基準容器仕様を Table 3-4 に示す。測定系を Fig. 3-1 に、計器配置図を Fig. 3-2 にそれぞれ示す。

ここで、本試験で用いられる主な計器類の設定は次の考え方によって定めた。

(1) 格納容器内温度

日本電気協会の“原子炉格納容器の漏洩率の測定基準に関する試験研究成果報告書”³⁾によると、「常陽」の様な円筒形鋼製格納容器の場合には格納容器内の真の平却温度を求めるための温度計の配置は高さ方向 5 ~ 6 断面、半径方向 $R = r/r_0 = 0.75$ の位置で東西南北 4 カ所を選べば良い旨述べられている。

しかし、「常陽」の場合には頂部鏡部に設置することは保守及び点検の点から不可能であり、また $R = 0.75$ の位置に設置することも実現性に乏しい。更に、床下雰囲気はいくつもの小部屋に分割されており、各部屋間に温度のばらつきがある場合、温度の移動が速かに行われない懸念がある。

したがって、JEAC の標準漏洩率試験方案に示されている温度計の配置によらず、格納容器内床下各部屋の空調ダクトよりの風の流れにもとづき、各室の温度を代表すると考えられる個所に設置することにした。

(2) 格納容器内蒸気分圧

蒸気圧の測定についての個数及び設置位置に関する研究報告はなく、理論的にはつかみにくく

いが、暫定的に温度計測点の半分ぐらいの測定点数とした。

したがって、「常陽」の場合には温度計配置計画に従って、温度計とほぼ同位置でかつ半分の23個を設置した。

(3) 基準容器

基準容器法は基準容器を空間を代表する温度雰囲気に設置して、基準容器の温度を格納容器内温度と等しいと仮定することにより成り立っている。しかし、「常陽」の場合には各部屋に温度のアンバランスがあり、基準容器の適切な配置は実際上不可能である。

したがって、格納容器内空間を床下部4、床上及びドーム部4の部分に仮想的に分割し、それぞれの空間を代表するように計8個の基準容器を配置することとした。基準容器の体積は各代表空間の体積比と等しくなるように決められた。8個の基準容器はいずれも銅製で、直径50mm、長さ0.7～5mの円筒形であり、細管で結合されて格納容器外において内圧が測定できるようになっている。

基準容器系は漏洩のないことが基本であり、試験に先立ってハロゲンガスによって漏洩のないことを確認する必要がある。

(4) 格納容器内圧力及び格納容器と基準容器との差圧

精密水銀圧力計を格納容器外に設けて絶対圧力を測定する。格納容器内圧力は水銀マノメータによって相対圧力を測定する。基準容器内圧力と格納容器内圧力との差圧は油マノメータを用いて測定する。

3.4 試験前条件の設定

電気技術規程原子力編 JEAC 4203-1974 “原子炉格納容器の漏洩試験”²⁾の規程に従い、高速炉としての「常陽」の特殊性を考慮したA種試験の試験前の必要条件は次の様に規程される。尚、詳細は高速実験炉「常陽」格納容器漏洩率試験に関する試験基準 (PNC SN 941 78-136)¹⁾に記述する通りであり、ここでは基本的な考え方を述べるにとどめる。

高速炉の特殊性は次の通りである。

- (1) 原子炉の冷却材が液体ナトリウムである。
- (2) 仮想される事故は核暴走事故である。

これら特殊性をもとに、「常陽」における格納容器漏洩試験 (A種試験) 前の必要条件は、

(1) 原子炉冷却材圧力バウンダリの開放は試験時の原子炉冷却材の健全保持に支障をきたすので行なわないものとし、この差違が全体漏洩率試験の結果に及ぼす効果は別に測定し、全体漏洩率の結果を補正しなければならない。

また、上記規程の解説4を「常陽」に適用すると、A種試験は再臨界事故の状態を模擬した状態および範囲に対して行なわなければならない。ただし、試験時の原子炉の健全状態の保持に支障のある模擬は行わないものとし、この差違が全体漏洩率試験の結果に影響を及ぼす可能

性のある部分について、その効果を別に測定し、全体漏洩率試験の結果を補正しなければならない。従って原則的には、

(1) 再臨界事故後の状態を模擬するため、通常時格納容器内雰囲気につながらないものであっても事故時に必然につながる系統は格納容器内雰囲気に開放しなければならない。ただし、試験時の原子炉の健全状態保持に支障のあるものはこの限りではない。

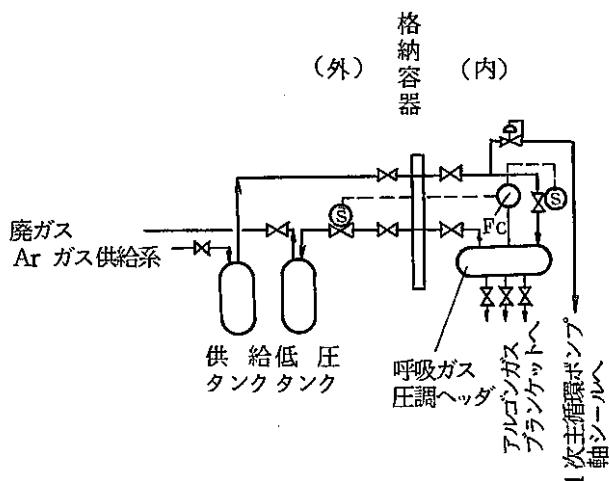
(2) 再臨界事故後の状態で自動的に閉となる隔離弁は閉め、開のままの隔離弁あるいは工学的安全施設が作動するために開となる隔離弁は開けておかなければならない。

しかるに、上記(1)を実際の試験条件として適用した場合、常陽における関連系統の状態は次のとおりとなる。

- ・格納容器床上、床下雰囲気を導通する。
- ・安全容器は格納容器の雰囲気に開放する。
- ・炉容器および一次冷却系のリークジャケットは格納容器雰囲気に開放する。
- ・遮蔽コンクリート冷却系の格納容器内ダクトは格納容器の雰囲気に開放する。

尚、再臨界事故は原子炉冷却材圧力バウンダリは格納容器床下雰囲気に開放状態となるが、この模擬は高速炉の特殊性より、試験時の原子炉の健全状態の保持に支障をきたすので行わないものとし、試験時も原子炉容器ならびに一次冷却系のナトリウム液面上のアルゴンガスブランケットは格納容器内雰囲気圧力よりもわずかに高圧に保つ。このためアルゴンガスブランケット調圧ラインは試験中も次図のごとく運転中とし、その差異による効果は次のとおり補正する。

- ・貫通部を開としたことによる効果：別途行う局部漏洩試験の結果により補正する。
- ・格納容器内のアルゴンガスブランケットからのガスリークの効果：全体漏洩率試験の期間中におけるガスリーク量を測定し、全体漏洩率試験の結果を補正する。



また、上記(2)で、再臨界事故時に開のままの隔離弁を有する系統は「常陽」の場合、格納容器雰囲気調整系のフレオンラインである。このラインは格納容器全体漏洩率試験中も運転され

るが、別途、このラインから漏洩がないことを確認しなければならない。すなわち全体漏洩率試験時にフレオンラインからのフレオソリークが格納容器の加圧源になってはならない。

以上のことから、A種試験の範囲は日本電気協会電気技術指針 JEAG 4602-1972 原子炉冷却圧力バウンダリ、格納容器バウンダリの定義⁴⁾の格納容器バウンダリ^(注)とする。ただし、格納容器バウンダリが狭くならないように、格納容器隔離弁がシリーズに2個設けられている場合は格納容器の近い方の（あるいは格納容器の内側の）隔離弁は原則として開にして、格納容器から遠い方の（あるいは格納容器の外側の）隔離弁だけを閉鎖する（单一故障を想定）。

[補足]

格納容器ナトリウムサービス配管で直接隔離弁を有するものについては試験終了後の材料の劣化を防止するために試験中格納容器内雰囲気には導通させず、貫通配管の口径が小さい場合に限って次の方法のいずれかにより試験を実施しても良いものとする。

- ① 前述(1)のアルゴンガスにより、試験時格納容器隔離弁を加圧し、本部分からのアルゴンガスリークは前述(1)の補正の中に含める。
- ② 試験中、格納容器隔離弁は非加圧状態とし、本部分からの漏洩は別途行う局部漏洩試験の結果より補正する。

「常陽」の場合、上記①に対応するものとして中間熱交換器2次側ドレン配管があり、②に対応するものとして一次ナトリウム充填ドレン配管がある。

^(注)「常陽」における格納容器バウンダリの考え方は次の通りである。

- (1) 貫通部の設計条件としては、実管（プロセス配管）と貫通金物内側部分および貫通金物外側部分いずれも格納容器バウンダリとするが、機能的には貫通金物内側部分を第一義とし、貫通金物外側はバックアップとする。
- (2) 格納容器の全体漏洩率試験は貫通金物内側をバウンダリとして行う。これらは両端シールの格納容器配管貫通部に適用する。

Fig. 3.3 に格納容器バウンダリ図を示す。

3.5 プラントの運転方法

A種試験前条件の設定に基づき、本試験時におけるプラントの運転方針および各系統設備の運転条件を次のように定める。

3.5.1 プラントの運転方針

- (1) 本試験時の試験条件は事故条件をできる限り模擬する。従って、通常時格納容器雰囲気につながらないものであっても事故時に必然的につながる系統は格納容器雰囲気に開放する。また、自動的に閉となる隔離弁は閉め、開のままの隔離弁あるいは工学的安全施設が作動するために開となる隔離弁は開けておく。

- (2) 原子炉は停止され、系統内ナトリウム温度は約 200 °Cに保たれて循環状態とする。ナトリウムの温度調節は空気冷却器および2次系予熱ヒータとポンプ入熱による。
- (3) カバーガスはプラント通常運転時と同様、格納容器内雰囲気に対し、一定差圧かつ高圧を保つ。これにより、一次系の外圧保護ならびに内圧過剰によるシール部破損を防止する。ただし、カバーガスの給排気量は格納容器雰囲気と別に測定する。
- (4) ナトリウム系からの放熱による過度の雰囲気温度上昇を防止するため、格納容器雰囲気調整系のうち、フレオン冷媒系と必要な格納容器内循環ファンを作動させる。

3.5.2 プラントの運転条件

- (1) 原子炉本体
 - ① 炉運転状態
原子炉は停止し、崩壊熱が十分低くなっている状態とする。
 - ② 炉容器ナトリウム液位
オーバーフローラインも稼動させ通常レベル (GL-6100) に維持する。これによってオーバーフローラインの予熱保持をも兼ねることになる。
 - ③ 制御棒駆動機構および回転プラグのバックアップシール
漏洩率試験中は Ar 供給系隔離弁閉となるため当該部のバックアップシール Ar ガスは供給しない（事故模擬）。
 - ④ 回転プラグ冷却パス
回転プラグの冷却は不要であるので、冷却パスは床下雰囲気に連通し、回転プラグ冷却層内 N₂ の圧力は格納容器内圧と共通にする（事故模擬：床下開放）。
 - ⑤ 中性子検出器案内管
同上とする。
- (2) 原子炉冷却系（ナトリウムプロセス部分）
 - 冷却材圧力バウンダリを確保し、Na 温度保持のためナトリウムプロセス部分は以下の通りとなる。
 - ① Naの充填状態
 - 1次冷却系
 - 主 冷 却 系………通常運転状態
 - 補 助 冷 却 系……… " (逆流)
 - オーバーフロー系……… "
 - 純 化 系……… CT冷却用窒素ガスラインが隔離されるためナトリウムの純化および純度監視は行わず、また電磁ポンプは停止中であるので、系統内 Na の凍結防止のため予熱ヒータを運転する。

• 2 次冷却系

主 冷 却 系 通常運転状態

補 助 冷 却 系 "

(2) Na 流動状態

• 1 次冷却系

主循環ポンプ 定格運転。Ar ガスシールは行う。

補助電磁ポンプ 停止中（逆流）

オーバフロー電磁ポンプ 稼働中、冷却用 N₂ は床下霧囲気調整系により供給される。

純化系電磁ポンプ 停止中（予熱）

• 2 次冷却系

主循環ポンプ 50 % タップ（カバーガス圧力低減化に伴うポンプのキャビテーション防止のため）

補助電磁ポンプ 稼働中

その他の Na ポンプ 特に限定せず

(3) Na 温度保持

主冷却系および補助冷却系のナトリウム温度保持は、主として 2 次系主循環ポンプ入熱ならびに 2 次系予熱ヒータ入熱による。必要な場合、除熱は主空気冷却器により行い、補助空気冷却器は全閉とする。この際、原子炉出口温度が約 200 °C で一定に保たれるようにし、頻繁な Na 温度調節は行なわない。本試験時は炉停止後長時間を経過しており炉心の崩壊熱レベルも落着いているので、炉心側が熱系制御系に与える外乱はほとんどない。従って 2 次系ヒータ投入により基底除熱負荷を主空気冷却器に課して、主空気冷却器 Na 温度調節器に設定値を与え、安定なダンパ制御領域で運転する。

オーバフロー系は炉容器からのオーバフロー流で温度保持され、電気ヒータは遮断する。

1 次純化系は電気ヒータで温度保持される。

(3) 原子炉冷却系（1 次 Ar ガスプロセス部分）

(1) 調圧対象

• 呼吸ガス関係

1 次アルゴンカバーガスは格納容器漏洩率試験時も冷却材圧力バウンダリが確保されるため調圧する。すなわち、呼吸ガス圧力調整ヘッダ部において霧囲気圧力よりも 50 mm 高く保つ。

• 1 次主循環ポンプの軸シールガス

Ar ガス軸シールは行う。

(2) 調圧方法

ガス圧力の調整は 3.3 項に示すように行い、呼吸ガス圧調ヘッダに接続される清浄 Ar 供給ラインならびに廃ガスライン、それぞれの格納容器貫通部の局部漏洩試験の結果で全体漏洩試験の測定結果を清算する。

(4) 原子炉冷却系 (N₂ プロセス)

1 次冷却系コールド・トラップ冷却用 N₂ ガス系は外圧対策として格納容器内 N₂ 配管を均圧弁により床下 N₂ 雾囲気と共に通する（事故模擬）。

(5) 原子炉冷却系 (2 次 Ar ガスプロセス部分)

格納容器外側圧力バウンダリーを大気圧に設定するため、ほぼ大気圧まで下げる。

(6) 燃料取扱系

- ① T/R ドアバルブ(格納容器内)は閉とする（事故模擬：格納容器バウンダリ）。
- ② 燃料交換機ならびに出入機キャスク類およびガスラインは気密とし、試験時の格納容器雾囲気圧による外圧が作用した状態とする（昇圧対策）。
- ③ 廃ガスコレクションヘッダ、燃料取扱系 Ar ヘッダ、真空ポンプ等は気密とし、試験時の格納容器雾囲気圧による外圧が作用した状態とする（昇圧対策）。
- ④ 燃取系廃ガスラインの格納容器貫通部およびグリッパ洗浄ライン格納容器貫通部の隔離弁は閉状態とし、外圧が作用した状態とする（事故模擬：格納容器バウンダリ）。

(7) FFD 系

1 次 Ar ガス系から隔離し、気密に保つ（他と切り離して常圧に保持）。

(8) 格納容器雾囲気調整系

格納容器漏洩試験時、格納容器内で除熱を行う必要のあるものは以下の系統である。床上雾囲気調整系は事故模擬のため隔離し、床下雾囲気調整系及び冷媒系は工学的安全施設として稼働させる。

• 床上雾囲気調整系に関するもの

回転プラグ上面からの放熱

1 次主循環ポンププラグ上面からの放熱

1 次主循環ポンプ駆動部の冷却

• 床下雾囲気調整系に関するもの

Na 包含機器配管からの放熱（含、2 次 Na 配管）

オーバフロー、補助系電磁ポンプの冷却

• 冷媒系

床上、床下系統の除熱を行うため格納容器漏洩試験時に冷媒系は稼働させる。なお、冷媒系格納容器貫通部の局部漏洩試験を別途実施して、全体漏洩試験の測定結果を清算する。

(9) 遮蔽コンクリート冷却系

床下雾囲気と圧力平衡させた状態で昇圧、漏洩試験、減圧を行う（事故模擬：床下開放）。

これにより、遮蔽コンクリート冷却系の格納容器バウンダリは格納容器全体漏洩試験に含まれる。

(10) 安全容器 (N_2 プロセス部分)

呼吸系隔離弁は閉とし、安全容器内 N_2 雾囲気は床下雾囲気と共通にする(事故模擬:床下開放)。

(11) 予熱 N_2 ガス系 (含、リークジャケット)

予熱 N_2 ガス系隔離弁は閉とし、格納容器内 N_2 ガス系 (含、リークジャケット) は床下雾囲気と共にする (事故模擬:床下開放)。

Table 3-5 に原子炉冷却系運転状態を示す。

表 3.1 溫度検出器・露点検出器および基準容器の設置場所
 Table 3.1 Location of Temperatures, Dew Point Sensors
 and Reference Chambers

部屋番号	温度検出器番号	露点検出器番号	基準容器記号	備考
(地下二階)				
R - 102	T ₁			
R - 103	T ₂ , T ₃	H ₁	RC - 1	RC - 1 は T ₁ ~ T ₈ および H ₁ ~ H ₄ に対応する。
R - 104	T ₄ , T ₅	H ₂		
R - 105	T ₆	H ₃		
R - 106	T ₇			
R - 109	T ₈	H ₄		
(地下中二階)				
R - 201	T ₉	H ₅		
R - 203	T ₁₀ , T ₁₁			
R - 204	T ₁₂ , T ₁₃	H ₆		
R - 206	T ₁₄	H ₇	RC - 2	RC - 2 は T ₉ ~ T ₁₄ および H ₅ ~ H ₇ に対応する。
(地下一階)				
R - 303	T ₁₅ , T ₁₆	H ₈	RC - 3	RC - 3 は T ₁₅ , T ₁₆ および H ₈ に対応する。
(地下中一階)				
R - 401	T ₁₇	H ₉		
R - 405	T ₁₈ , T ₁₉	H ₁₀		
R - 406	T ₂₀			
R - 410	T ₂₁ , T ₂₂	H ₁₁	RC - 4	RC - 4 は T ₁₇ ~ T ₂₃ および H ₉ ~ H ₁₁ に対応する。
R - 412	T ₂₃			
(地上一階)				
R - 501	T ₂₄ ~ T ₄₅	H ₁₂ ~ H ₂₃	RC - 5 ~ RC - 8	RC - 5 ~ RC - 8 は T ₂₄ ~ T ₄₅ および H ₁₂ ~ H ₂₃ に対応する。

表 3.2 各部屋の空間容積比率と温度計・露点計の持つ比率

Table 3.2 Volume Ratio of Each Rooms, Temperature Sensors and Dew Point Sensors

グループ	部屋 No.	空間容積	比 率	温度計 1 ケ の持つ比率	露点計 1 ケ の持つ比率	備 考
1	R - 101	95.57	0.005073	0.016554	0.033108	○
	R - 102	363.155	0.019278			○
	R - 103	345.578	0.018342			○×
	R - 202	396.971	0.021073			○×
	R - 104	371.45	0.019718			○
	R - 105	192.84	0.010237			○×
	R - 106	191.938	0.010189			○×
	R - 107	86.996	0.004618			○
	R - 108	261.809	0.013898			○×
	R - 109	188.463	0.010004			○×
2	R - 201	295.541	0.015689	0.019166	0.038332	○×
	R - 203	667.294	0.035423			○
	R - 204	308.515	0.016377			○×
	R - 205	387.881	0.020590			○
	R - 206	384.381	0.020405			○×
	R - 302	63.006	0.003345			○
	R - 305	59.671	0.003168			○
3	R - 301	29.872	0.001586	0.006668	0.015558	○×
	R - 303	169.156	0.008980			○
	R - 304	43.596	0.002314			○×
	R - 401	87.181	0.004628			○
	R - 403	147.413	0.007825			○
	R - 406	157.774	0.008375			○
	R - 409	48.701	0.002585			○
	R - 410	88.096	0.004677			○×
	R - 411	19.176	0.001018			○
	R - 412	88.262	0.004685			○
4	R - 402	46.366	0.002461	0.012659	0.025319	○
	R - 404	201.786	0.010712			○
	R - 405	207.22	0.011000			○
	R - 408	21.585	0.001146			○
5	R - 407	39.248	0.002083	0.026834	0.041742	○
	RP - U 部	55.629 6982.166	0.002953 0.370645			○○○○ ¹⁴
	鏡 部	5743.634	0.304898			○○○○ ⁸
6	全 体	18837.870	0.999998		0.101633	○○○○ ³

(注) ○ 温度計, × 露点計

表 3.3 漏洩率試験計器仕様

Table 3.3 Specification of Each Measuring Devices

測定項目	計器名称	測定範囲	精度および分解能	備考
大気圧	水銀指示気圧計	650～820 mmHg	指示精度 ±0.5 mmHg 分解能 0.1 mmHg	
格納容器内圧力	精密水銀マノメータ	0～1500 mmHg	指示精度 ±1.0 mmHg 分解能 0.05 mmHg	
格納容器と基準容器との差圧	油マノメータ	-500～500 mm oil	指示精度 ±0.5 mm oil 分解能 0.1 mm oil	
格納容器内温度	温度測定素子 (測温抵抗体)	-50～80 °C	精度 JIS 0.5 級	
	デジタル電圧計	0～160 mV (-5～45 °C)	分解能 0.01 mV (0.005 °C)	-5～45 °Cを0～100 mVにセット
	Ω/mV 変換器	0～100 mV (-5～45 °C)	再現性 0.05 mV (0.025 °C)	
格納容器内湿度	湿度測定素子 (露点温度検出器)	-45～60 °C	精度 ±1%フルスケール (0.05 °C)	
	デジタル電圧計	0～160 mV (-10～40 °C)	分解能 0.01 mV 0.005 °C	-10～40 °Cを0～100 mVにセット
	Ω/mV 変換器	0～100 mV (-10～40 °C)	再現性 0.01 mV (0.005 °C)	

表 3.4 基準容器仕様
Table 3.4 Specification of Reference Chambers

記号	設置部屋番号	外径 (mm)	肉厚 (mm)	長さ (mm)	容積 ($\times 10^{-2} \text{m}^3$)	容積比 (%)	代表空間容積 (m^3)	温度素子番号	湿度素子番号
RC-1	R-103	50	1.5	3419	0.6484	12.830	2416.899	T ₁ ~ T ₈	H ₁ ~ H ₄
RC-2	R-206	50	1.5	3015	0.5584	11.048	2081.208	T ₄ ~ T ₁₄	H ₅ ~ H ₇
RC-3	R-303	50	1.5	681	0.3773	7.465	1406.247	T ₁₅ , T ₁₆	H ₈
RC-4	R-410	50	1.5	681				T ₁₇ ~ T ₂₃	H ₉ ~ H ₁₁
RC-5 /	R-501	50	1.5	4460	3.4700	68.657	12933.516	T ₂₄ ~ T ₄₅	H ₁₂ ~ H ₂₃

(* 1) 格納容器内容積: 18836 m^3

表 3.5 格納容器漏洩率試験中の原子炉冷却系運転状態

Table 3.5 Operating Condition on Reactor Cooling System during Test

	モード プラント機器状態	床上窒素化置換	昇圧	試験	降圧	床上空気化置換	モード変換
基本条件	ナトリウム充填状態		通常運転液位 (GL - 6100)				
	原子炉入口 Na 温度			200 °C			
一次冷却系	1 次主循環ポンプ		定格 (1260 m³/h)				
	1 次補助電磁ポンプ		停止 (逆流)				
	オーバフロー系電磁ポンプ		定格 (12 m³/h)				
	1 次 Na 純化系電磁ポンプ		停止 (予熱)				
二次冷却系	2 次主循環ポンプ		50 % (820 m³/h)				
	2 次補助電磁ポンプ		定格 (65 m³/h)				
	2 次 Na 純化系電磁ポンプ		定格 (4 m³/h)				
	主空気冷却器ダンパ		全閉				
	主空気冷却器送風機		停止				
	補助空気冷却器ダンパ		全閉				
一次予熱設備	補助空気冷却器送風機		停止				
	予熱 N₂ ガス設備		停止				
	オーバフロー系電気ヒータ		± 30 °C に調節				
	1 次 Na 純化系電気ヒータ		± 30 °C に調節				
二次予熱設備	1 次 Na 充填ドレン系電気ヒータ		配管部 ± 30 °C に調節 タンク類 ± 5 °C				
	2 次主冷却系電気ヒータ		± 20 °C に調節				
	2 次補助冷却系電気ヒータ		± 20 °C に調節				
	2 次 Na ドレン系電気ヒータ		± 20 °C に調節				
	2 次 Na 純化系電気ヒータ		± 20 °C に調節				

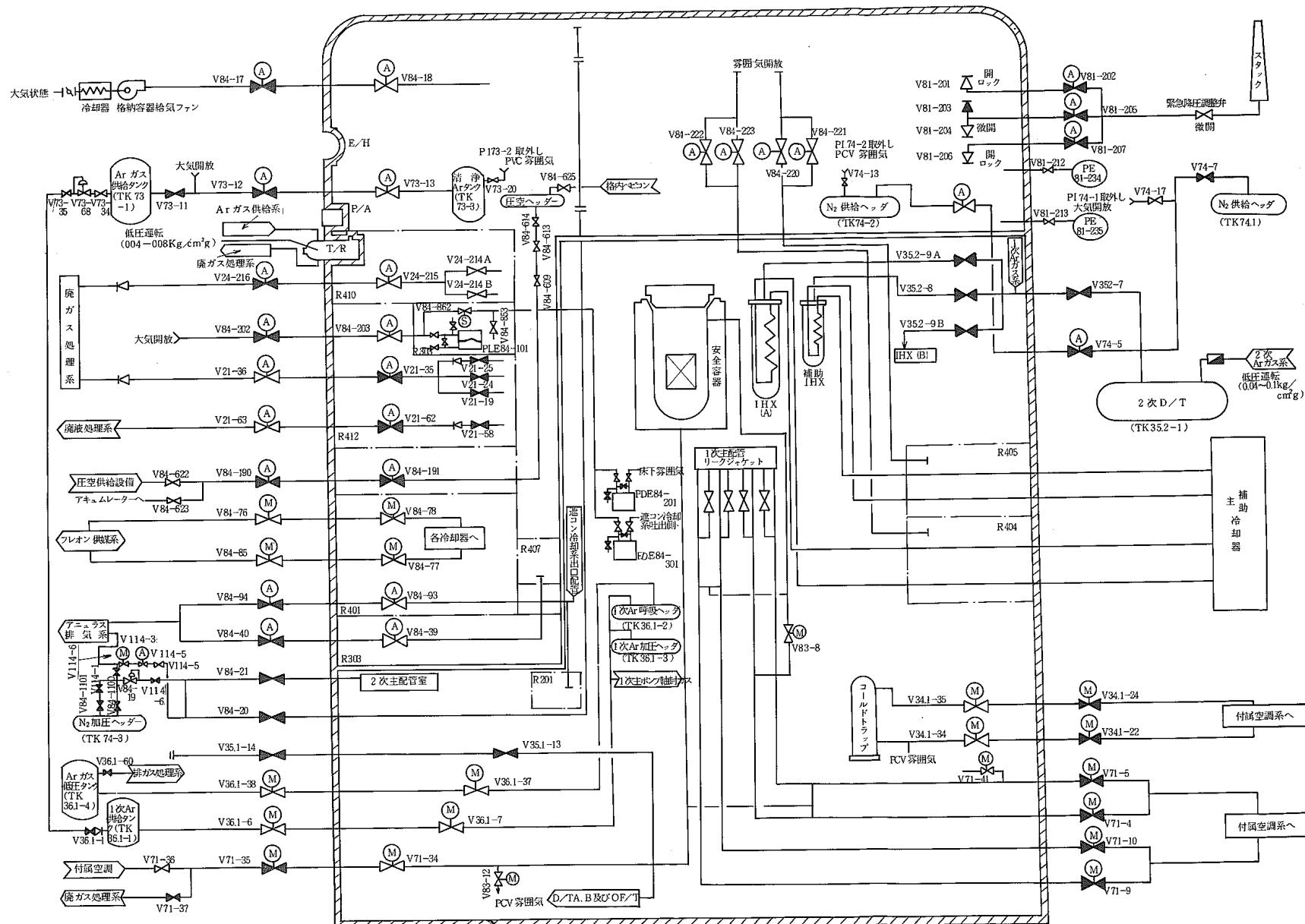


図 3.1 A種試験時の格納容器バウンダリ構成図

Fig. 3.1 Joyo Pressure Containment Vessel Boundary at Test

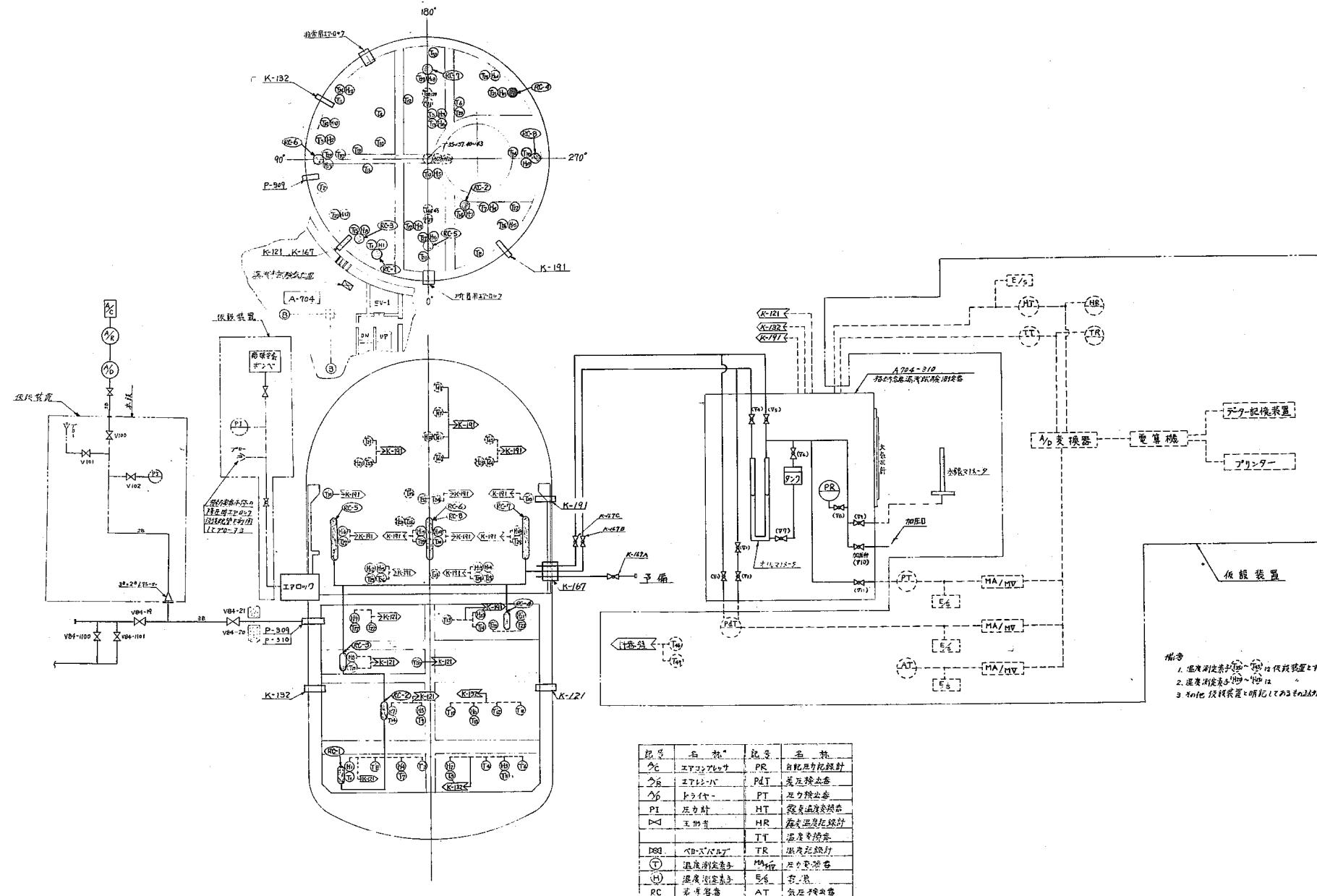


図 3.2 漏洩率試験系統図

Fig. 3.2 Test Flow Diagram

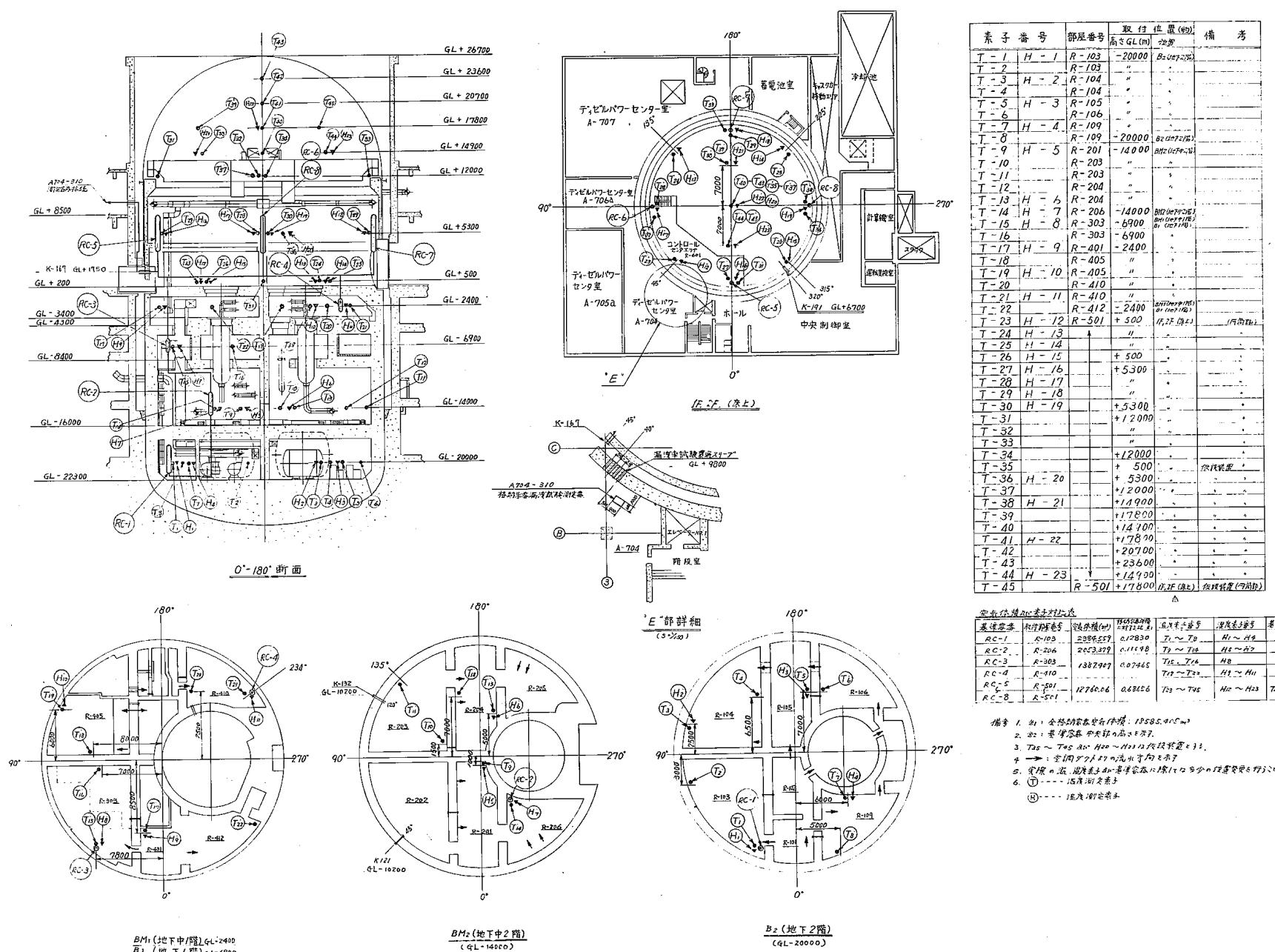


図3.3 漏洩率試験計器配置図

Fig. 3.3 Arrangement of Measuring Devices

4. 試験結果

格納容器漏洩率試験は測定系の調整、プラント条件づくり等の試験前諸準備の整った昭和57年11月2日10時に格納容器の加圧を開始し、48時間にわたる試験圧力での漏洩率測定後、11月6日12時降圧完了をもって終了した。以下に本試験結果について述べる。

4.1 試験経過

Fig. 4.1 に格納容器漏洩率試験および関連工程表を、Fig. 4.2 に昇・降圧曲線（実積）を示す。試験準備作業は10月17日の1次系ダンプタンク及び2次系ドレン系ヒータの「切」操作によって開始され、11月1日の床上窒素置換をもって終了した。試験準備作業が全て終了したことを確認した後、11月2日10時に格納容器の加圧を開始した。昇圧は順調に行われ、22時48分には $0.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ に到達し、異常のないことを確認した。11月3日0時48分に昇圧を再開し、昇圧率 $\approx 0.0233 \text{ kg/cm}^2/\text{hr}$ で3日16時49分には試験圧力 $0.675 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ に余裕をみた約 $0.69 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ に設定された。その後格納容器内雰囲気の安定とプラント各部の状態安定を確認し、3日19時30分から48時間にわたる漏洩率測定に入った。

試験期間中は30分毎に大気圧、格納容器内温度、圧力、蒸気圧および油差圧等を測定し、漏洩量および漏洩率を計算した。また、プラント各部の状態監視のため1時間毎に冷却系ナトリウム温度、流量および動的機器類の電流値等を測定、記録した。

48時間経過後の11月5日19時30分には格納容器の漏洩率が許容漏洩率 $1.90\%/\text{day}$ より十分小さく、基準容器法によるみかけの漏洩率 $0.044 \pm 0.014\%/\text{day}$ 、絶対圧力法によるみかけの漏洩率 $0.013 \pm 0.010\%/\text{day}$ 、補正項を含めた基準容器法による全体漏洩率 $0.208\%/\text{day}$ （上限）、絶対圧力法による全体漏洩率 $0.172\%/\text{day}$ （上限）であることを確認し、漏洩率試験を終了した。

この間のプラント状態は当初の予想通り全て順調なものであった。

4.2 試験結果

4.2.1 カバーガスの格納容器内への漏込みを無視した場合の格納容器全体漏洩率 (Lc)

漏洩率試験中、下記事項を0.5時間間隔で測定した。

- (イ) 格納容器内温度
- (ロ) 格納容器内圧力
- (ハ) 格納容器内湿度
- (ニ) マノメータ油温度
- (ホ) マノメータ差圧

(～) 大気圧

(ト) 室温

上記測定値を用いて試験開始時点よりの下記(イ)～(ヘ)をグラフにプロットした。これらのグラフを Fig. 4.3～Fig. 4.5 に示す。また、領域毎の格納容器内の温度を Fig. 4.6～Fig. 4.12 に、水蒸気分圧を Fig. 4.13～Fig. 4.18 にそれぞれ示す。

(イ) 漏洩率 (%)

(ロ) P'/T' P' : 基準容器内絶対圧力 T' : 基準容器内絶対温度(ハ) P_m/T P_m : 格納容器内気体絶対圧力 T : 格納容器内平均温度

(ニ) 基準容器平均温度および格納容器内平均温度

(ホ) 格納容器内平均蒸気圧

(～) マノメータ差圧 (格納容器と基準容器との差圧)

(1) 測定系の妥当性の確認

漏洩率試験中に漏洩率が正常に測定されていることをチェックする目的で試験開始時点よりの P'/T' および P_m/T を Fig. 4.19 及び Fig. 4.20 にプロットした。図中、横軸の ΔT は初期状態 1 から任意の状態 2 までの温度差 ($\Delta T = T_1 - T_2$) を、縦軸の ΔP は初期状態 1 から任意の状態 2 までの圧力差 ($\Delta P = P_1 - P_2$) を示す。絶対圧法、基準容器法とともに比較的多くのデータが直線の下にあり、霧囲気の状態安定と平均温度の算出に問題があるものと考えられる。

(2) 平均漏洩率およびその信頼限界

3.2.3 項に従って試験期間中の測定値の統計処理を行い、漏洩率を算出した。3.2.3 項の式(1)～(14)により求められた各値を Table 4.1 および Table 4.2 に示す。これらの値を用いて、上記式に従い統計処理によって平均漏洩率を求める。

F 比は第 1 自由度、第 2 自由度 ($N - 2$) の F 分布に従い、危険率 (有意水準) $\alpha = 0.05$ に対して

$$F(1, N-2, 0.05) = 3.942584$$

となる。基準容器法 ($F_0 = 39.2756317$) および絶対圧法 ($F_0 = 6.2779629$) はともに、

$$F_0 > F(1, N-2, 0.05)$$

となり、有意差があり漏洩率は直線性をもつ。従って、基準容器法および絶対圧法とも有意差ありで、漏洩量は直線性を有し、(8)式による回帰直線が定められる。求める平均漏洩率 \bar{L} は(13)式、Table 4.1 に示す統計量計算結果および 95 % 信頼限界に対し、危険率 $\alpha = 0.05$ の t 分布関数 $t(95, 0.05) = 1.988$ とを用いると

基準容器法については、

$$b = 0.0018636$$

$$\sigma = 0.0002973$$

$$\bar{L} = 24 \times \{ 0.0018636 \pm (1.988 \times 0.0002973) \}$$

$$= 0.044 \pm 0.014 (\%/\text{day})$$

絶対圧法については、

$$b = 0.0005432$$

$$\sigma = 0.0002168$$

$$\bar{L} = 24 \times \{ 0.0005432 \pm (1.988 \times 0.0002168) \}$$

$$= 0.013 \pm 0.010 (\%/\text{day})$$

となる。

Fig. 4.21 に上記結果にもとづいた回帰直線を実線にて示す。

尚、統計処理に際しては P'/T' および P_m/T を対象としてデータの棄却操作を行ったが棄却されず全て意味のあるものと判定された。従ってこの結果を基にして全測定点数による漏洩率計算を行った。

ここで、データの棄却は次の方法に従って行った。

$R = P'/T'$ および P_m/T の n 個のデータ R_1, R_2, \dots, R_m について標本平均 R_0 、標本分散 S^2 、残差 V_i を計算する。

$$R_0 = \frac{1}{n} \sum_i R_i$$

$$S^2 = \sum_i (R_i - R_0)^2 = \sum_i R_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_i R_i)^2$$

$$V_i = R_i - R_0$$

ここで、 $\tau^2 = V_i^2 / S^2$ とおいて次のF値を計算する。

$$F = \frac{(n-2) \tau^2}{(n-1) - \tau^2}$$

F分布表より第1自由度1、第2自由度($N-2$)、危険率5%のF分布 $F(1, N-2, 0.05)$ を求め

$$F_0 \geq F(1, N-2, 0.05)$$

の比較を行う。 $F_0 > F(1, N-2, 0.05)$ であれば R_i を棄却する。

4.2.2 カバーガスが格納容器へ漏込むことによる格納容器のみかけの全体漏洩率低減分(La)
前記Lcの測定と並行して、下記事項を0.5時間間隔で測定した。

(イ) 供給タンク温度

(ロ) " 壓力

(ハ) カバーガス領域温度

(二) カバーガス領域圧力

(ホ) 低圧タンク温度

(ヘ) " 壓力

上記測定値に関する試験開始時点よりの推移を Fig. 4.22 に示す。

これより求める漏洩率 L_a は代表的な 2 点間の測定結果を用いて、次のように求められた。

(1) カバーガス系よりの格納容器内への漏込み ;

$$0.00069242 \pm 0.011405 \%/\text{day}$$

(2) 格納容器外カバーガス系の漏洩 ;

$$0.0051826 \pm 0.0167477 \%/\text{day}$$

4.2.3 試験時に加圧できない容器バウンダリ部分からの漏洩率 ($\sum L_{pi}$)

$\sum L_{pi}$ の対象となるのは本試験時にも雰囲気の除熱を行うため作動させておくフレオン冷媒系、カバーガスの調圧を行う一次アルゴンガス系および一次Na 充填ドレン系圧縮空気供給系、燃料つかみ部洗浄設備排液・排気系が対象となる。

これらの漏洩率は全体漏洩率試験に先立って行われる局部漏洩率試験の一環として求められた。結果は次の通りである。

尚、局部漏洩率試験時の試験圧力は $1.35 \text{ kg}/\text{cm}^2\text{g}$ (設計圧力) であり、ここに示す漏洩率は $0.675 \text{ kg}/\text{cm}^2\text{g}$ に換算して求めたものである。

(1) フレオン冷媒系

本系統の場合の漏洩率はフレオン系よりの格納容器内への漏込みと隔離弁の漏洩率を加え合わせて求められる。これらはそれぞれ、 $0.00072517 \pm 0.0001431 \%/\text{day}$ および $0 \pm 0.000125 \%/\text{day}$ であった。

(2) 一次アルゴンガス系隔離弁

$$7.3157 \times 10^{-6} \pm 1.3460 \times 10^{-5} \%/\text{day}$$

(3) 一次Na充填ドレン系隔離弁

$$0 \pm 7.9479 \times 10^{-7} \%/\text{day}$$

(4) 圧縮空気供給系隔離弁

$$2.4847 \times 10^{-6} \pm 2.0185 \times 10^{-7} \%/\text{day}$$

(5) 燃料つかみ部洗浄設備排液系隔離弁

$$2.9768 \times 10^{-7} \pm 2.5936 \times 10^{-7}$$

(6) 燃料つかみ部洗浄設備排気系隔離弁

$$4.1871 \times 10^{-6} \pm 6.9858 \times 10^{-7}$$

したがって本試験における最終的な漏洩率 L_t は JEAC 4203²⁾ に示す各種の補正誤差を含めて Table 4.3 に示すようにまとめられ、これより漏洩率の上限値はそれぞれ

絶対圧力法：0.172 %/day

基準容器法：0.208 %/day

となり、いずれも許容漏洩率 1.90 %/day を十分に満足する結果が得られた。

表 4.1 基準容器法による統計量計算結果

Table 4.1 Statistical Result of Reference Chamber Method

統 計 量	計 算 結 果
平 方 和	$S(X, X) = 1.843 \times 10^4$
	$S(Y, Y) = 0.2172138$
共 变 動	$S(X, Y) = 34.3473018$
回 帰	$S_R = 0.0640117$
残 差	$S_{YX} = 0.1532$
不 变 分 散	$V_R = 0.06401$
	$V_{YX} = 0.001630$
回 帰 直 線 の 勾 配・切 片	$b = 0.0018636$
	$a = 0.0107261$
分 散	$\sigma = 0.0002973$
測 定 回 数	$N = 97$
F 比 (分散比)	$F = 39.2756317$

表 4.2 絶対圧法による統計量計算結果

Table 4.2 Statistical Result of Absolute Pressure Method

統 計 量	計 算 結 果
平 方 和	$S(X, X) = 1.843 \times 10^4$
	$S(Y, Y) = 0.0868718$
共 变 動	$S(X, Y) = 10.0117211$
回 帰	$S_R = 0.0054386$
残 差	$S_{YX} = 0.08143$
不 变 分 散	$V_R = 0.005439$
	$V_{YX} = 0.0008663$
回 帰 直 線 の 勾 配・切 片	$b = 0.0005432$
	$a = 0.0582204$
分 散	$\sigma = 0.0002168$
測 定 回 数	$N = 97$
F 比 (分散比)	$F = 6.2779629$

表 4.3 格納容器全体漏洩率試験結果のまとめ

Table 4.3 Summary of Joyo Pressure Containment Vessel Integrated Leak Rate Test Results

(単位: %/day)

区分	項目	漏洩率
シールガスおよびカバーガス等の漏れ込みを無視したみかけの漏洩率 (Lc)	絶対圧力法	0.013 ± 0.010
	基準容器法	0.044 ± 0.014
シールガスおよびカバーガスが格納容器へ漏込むことによる格納容器のみかけの漏洩率低減分 (La)	カバーガス系よりの格納容器内への漏込み	0.00069 ± 0.0114
	格納容器外カバーガス系の漏込み	0.0052 ± 0.0167
格納容器内全体漏洩率試験時に加圧できない容器バウンダリ部分(格納容器貫通部を含む)からの漏洩率	フレオン系よりの格納容器内への漏込み	0.00072 ± 0.0001
	フレオン系隔離弁(V 84-75, 76, 77, 78)	0 ± 0.000125
	1次アルゴンガス系隔離弁($V_{36.1-36,38}^{6,7}$)	0.00000073 ± 0.0000134
	1次Na充填ドレン系隔離弁(V 35.1-14)	0 ± 0.00000079
	圧縮空気供給系隔離弁(V 84-190, 191)	0.0000024 ± 0.0000002
	燃料つかみ部洗浄設備排液系隔離弁(V_{21-63}^{21-62})	0.00000029 ± 0.00000025
	燃料つかみ部洗浄設備排気系隔離弁(V_{21-36}^{21-35})	0.0000041 ± 0.0000006
その他の補正誤差		± 0.114
補正漏洩率合計		0.007 ± 0.142
漏洩率の上限値	絶対圧力法	0.172
	基準容器法	0.208

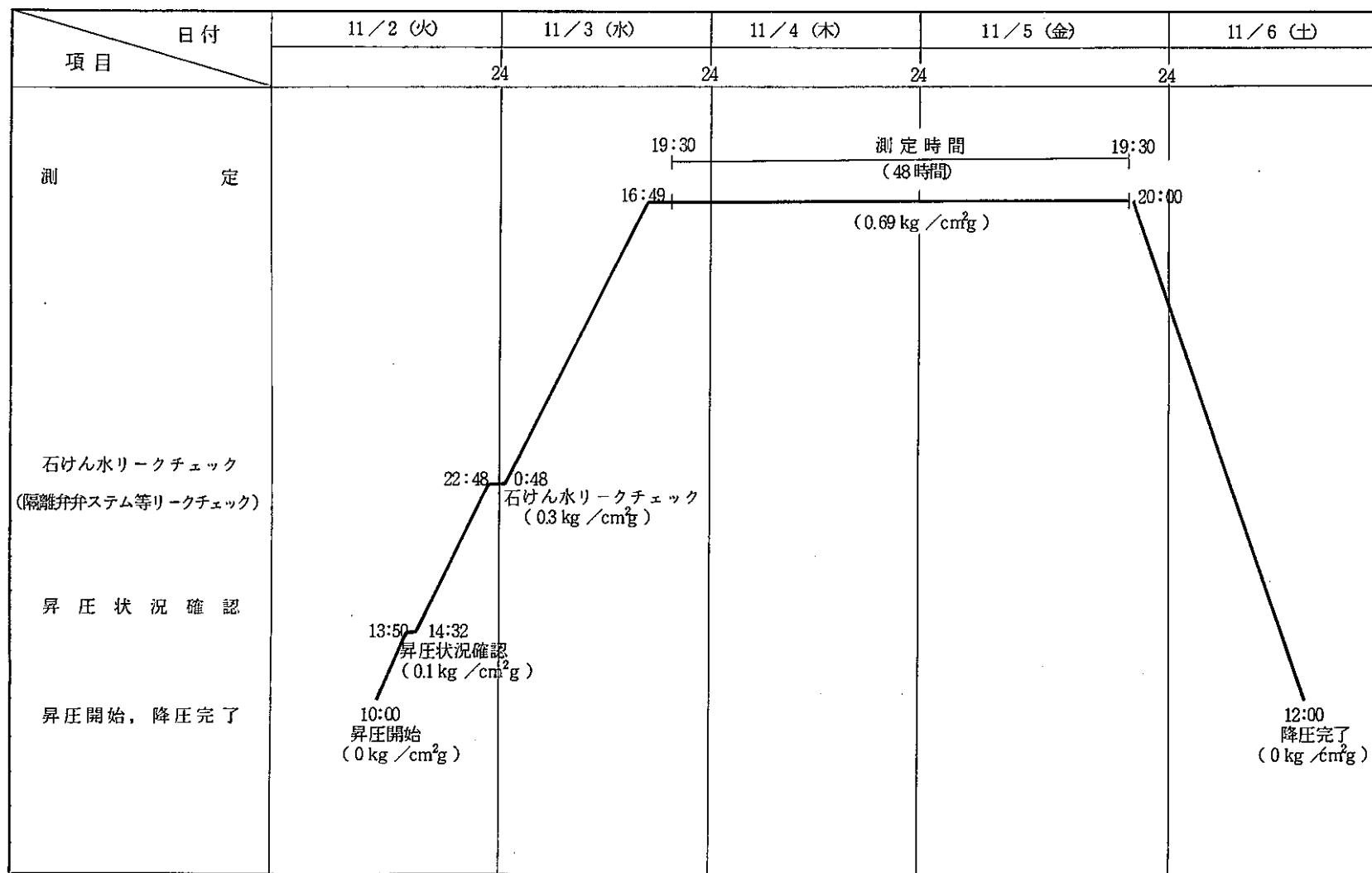


図4.2 第3回ナトリウム注入後格納容器全体漏洩率試験試験経過

Fig. 4.2 Schedule of the 3rd Integrated Leak Rate Test of Pressure Containment Vessel (2)

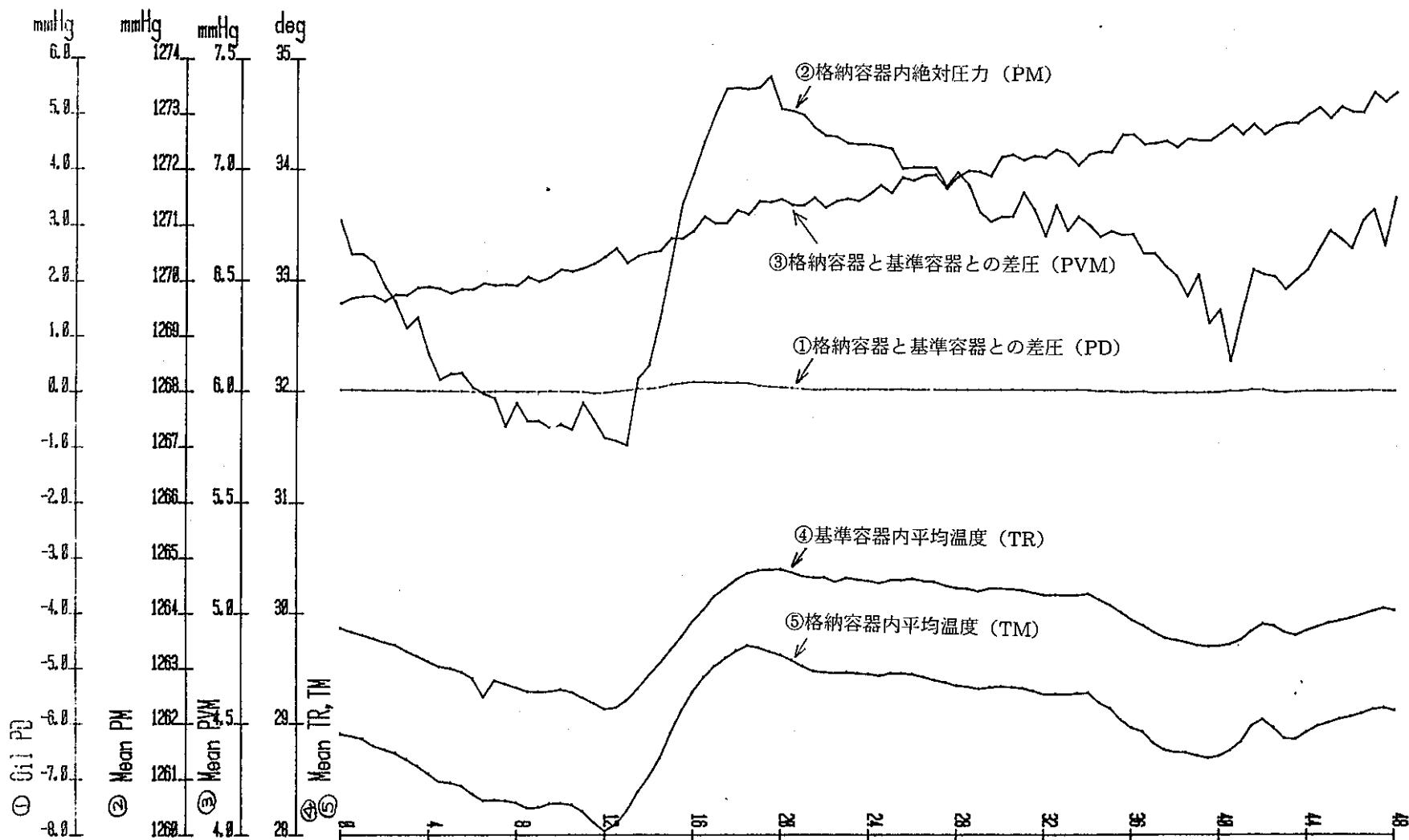


図 4.3 格納容器漏洩率試験時の温度・圧力の変化

Fig. 4.3 Temperature and Pressure Profile during Test

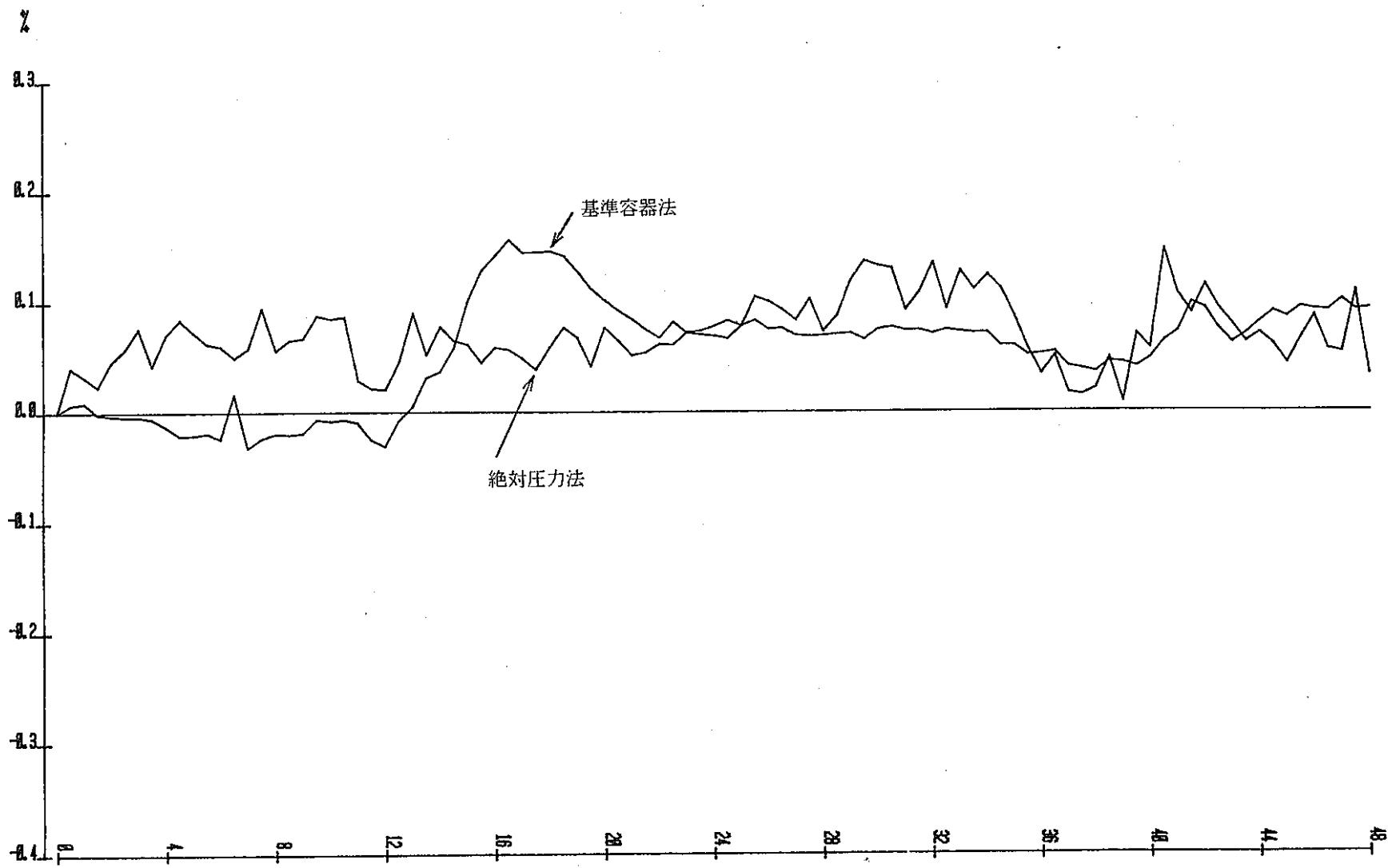


図 4.4 格納容器漏洩率試験時の漏洩量 (%)

Fig. 4.4 % Leakage

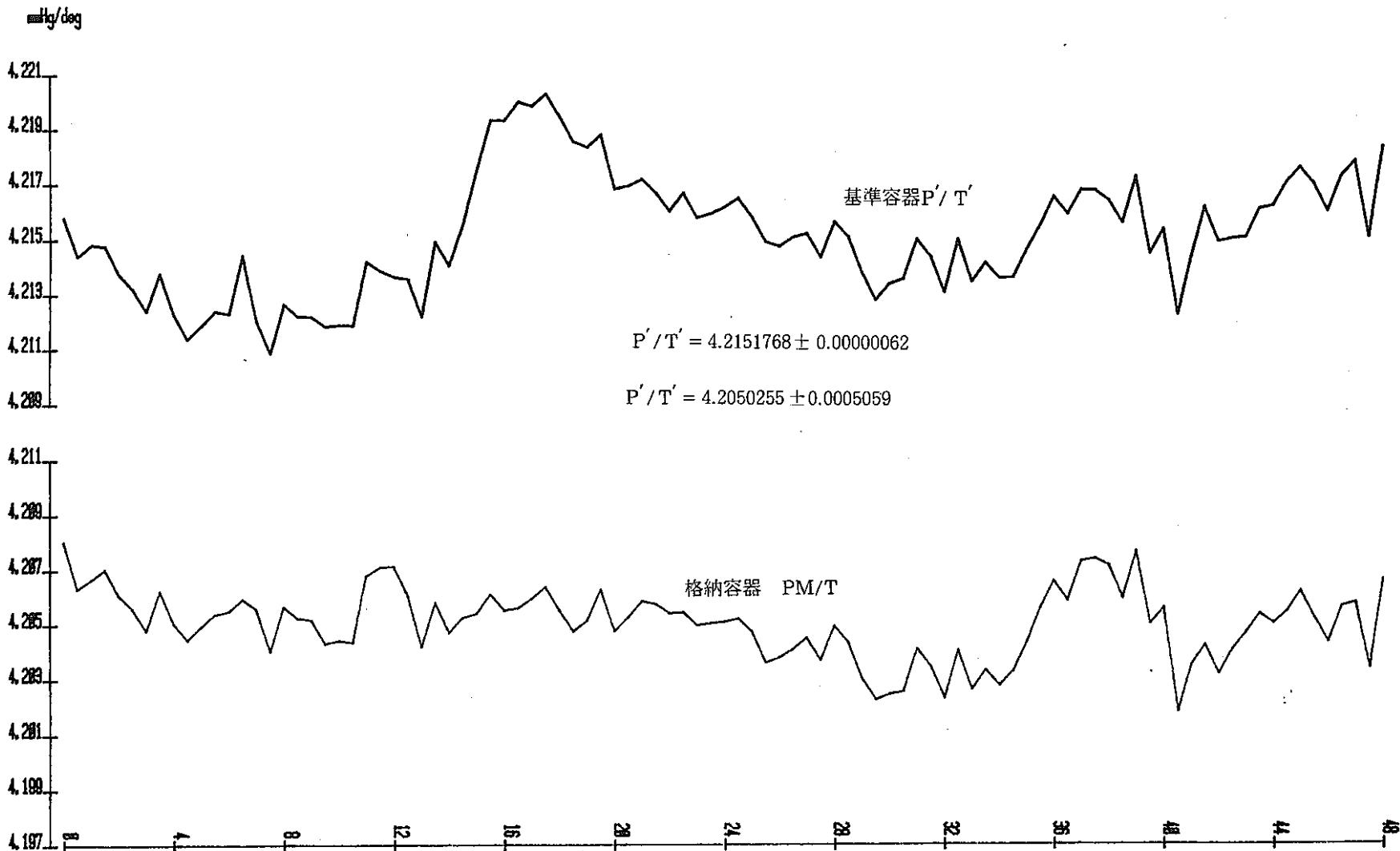


図 4.5 格納容器および基準容器の圧力/温度変化

Fig. 4.5 P/T Characteristics

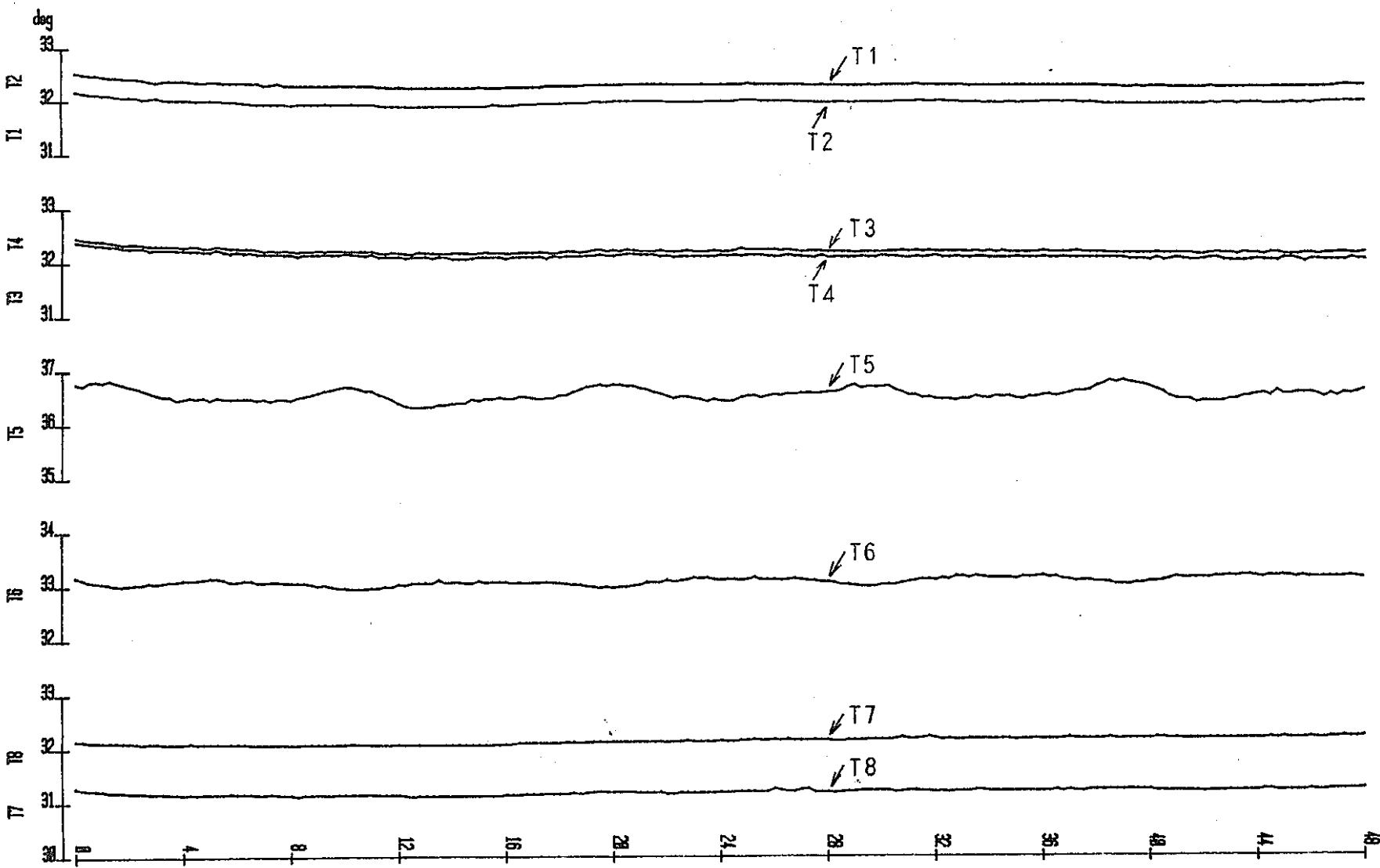
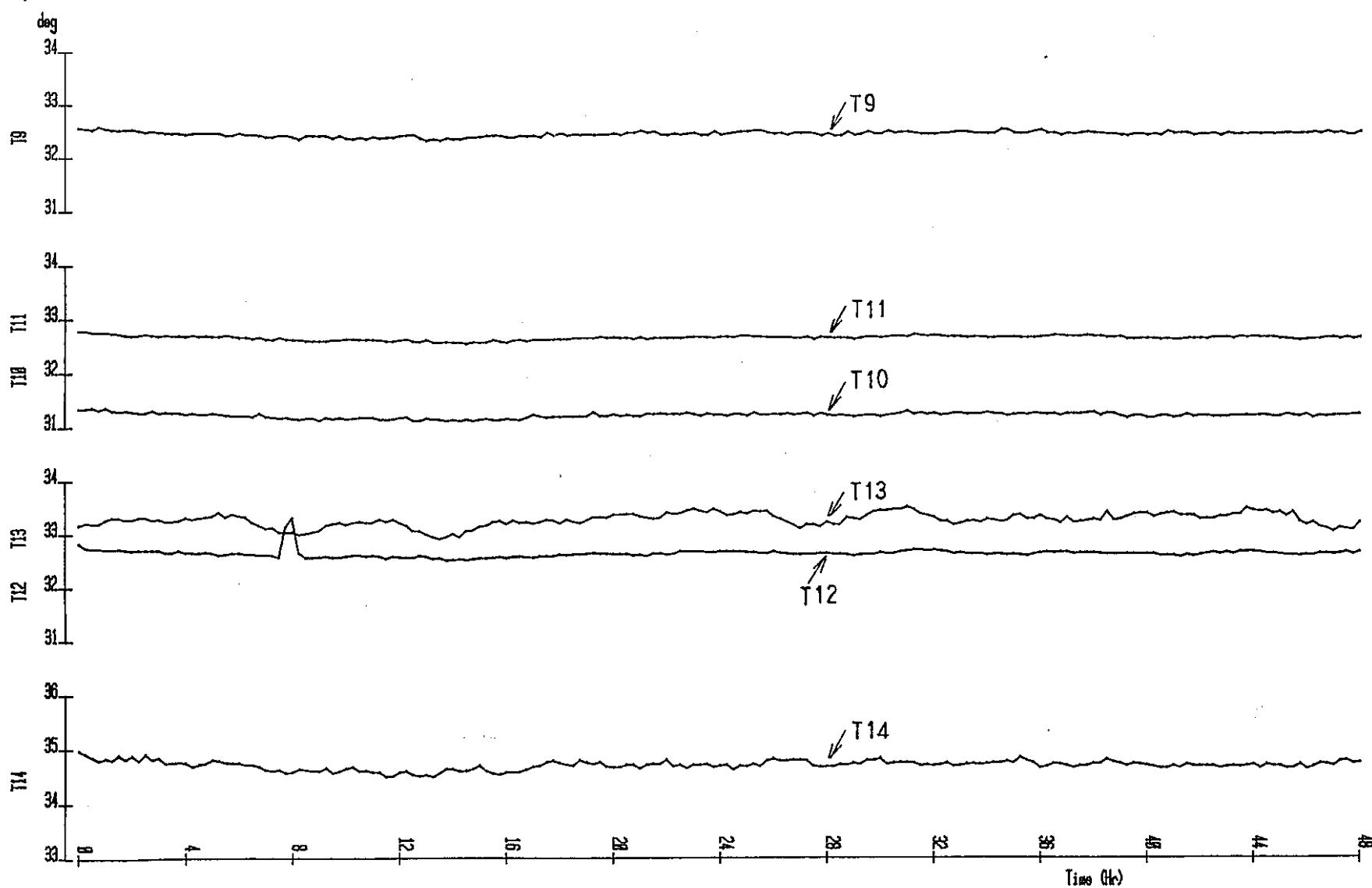
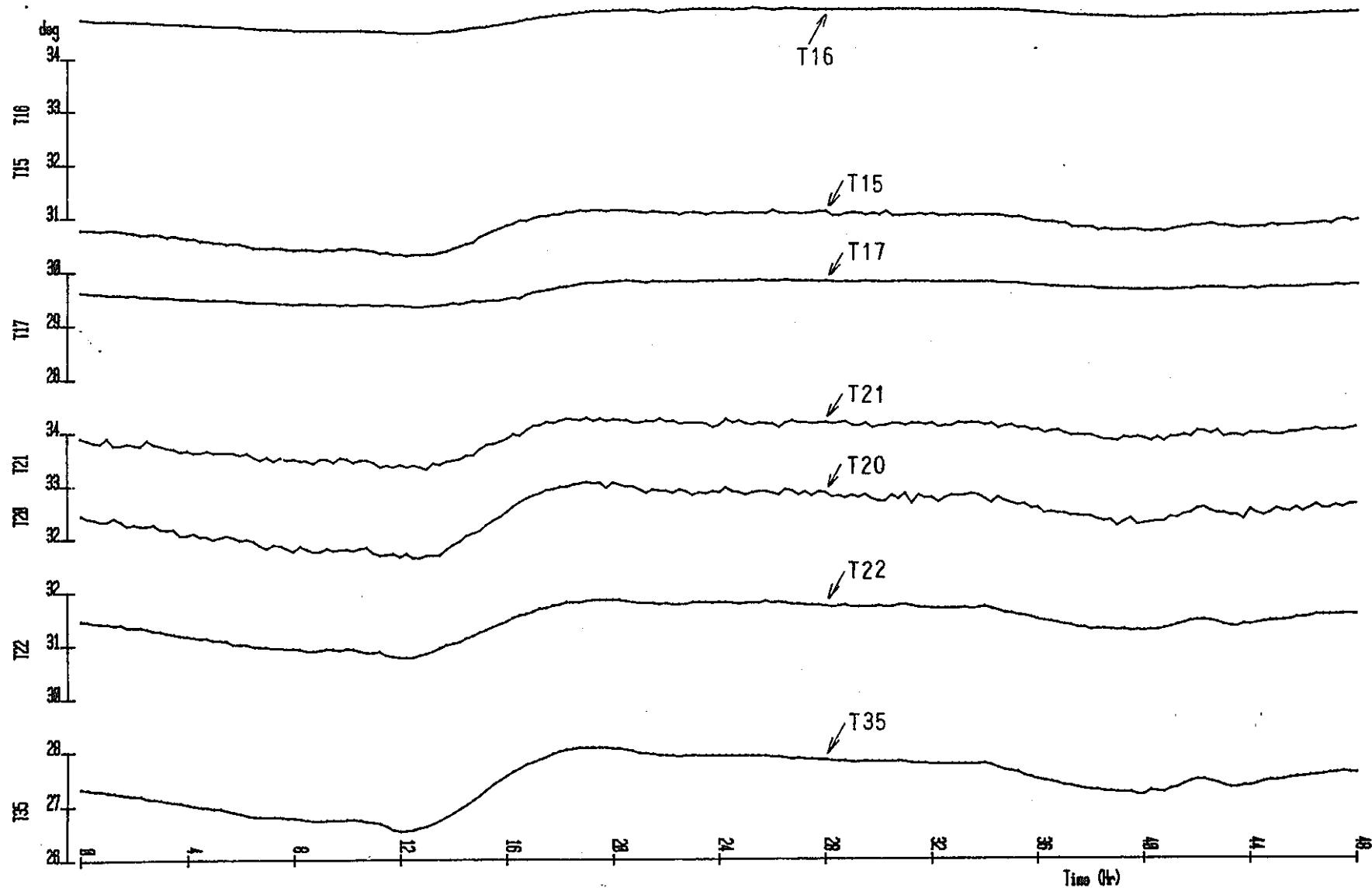


図 4.6 試験時の格納容器内温度（領域W₁）

Fig. 4.6 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₁)

図 4.7 試験時の格納容器内温度（領域W₂）Fig. 4.7 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₂)

図 4.8 試験時の格納容器内温度（領域W₃）Fig. 4.8 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₃)

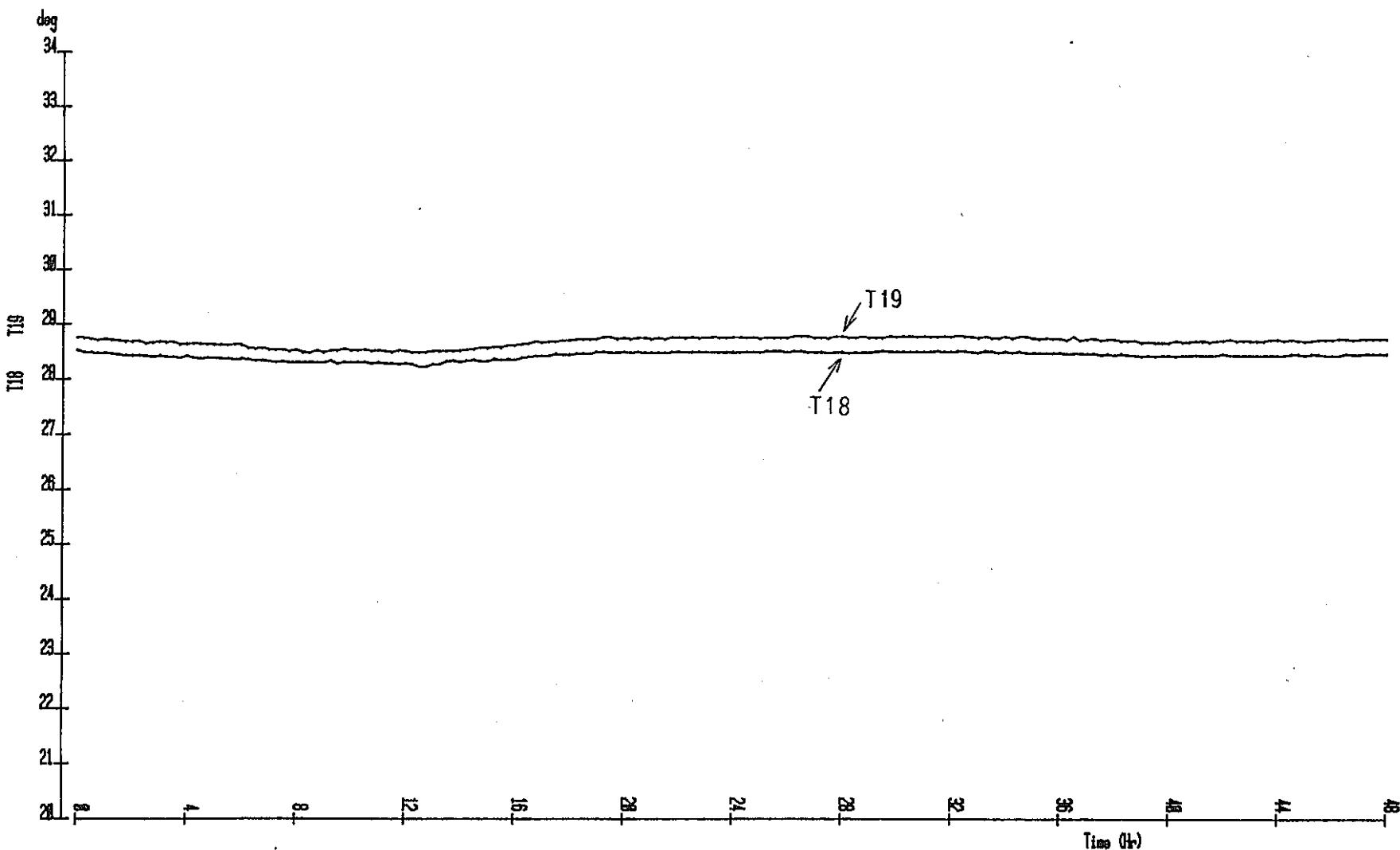
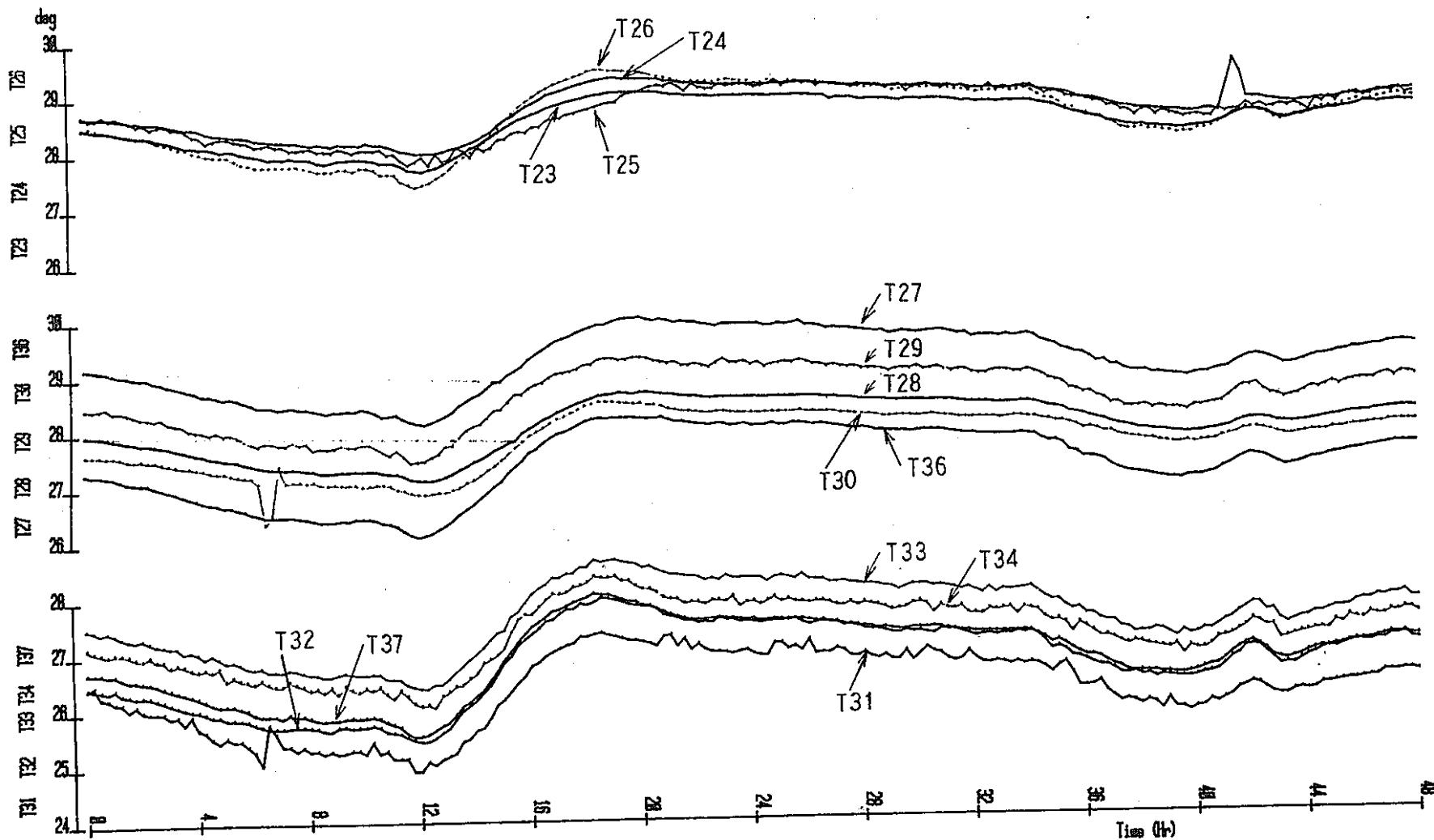
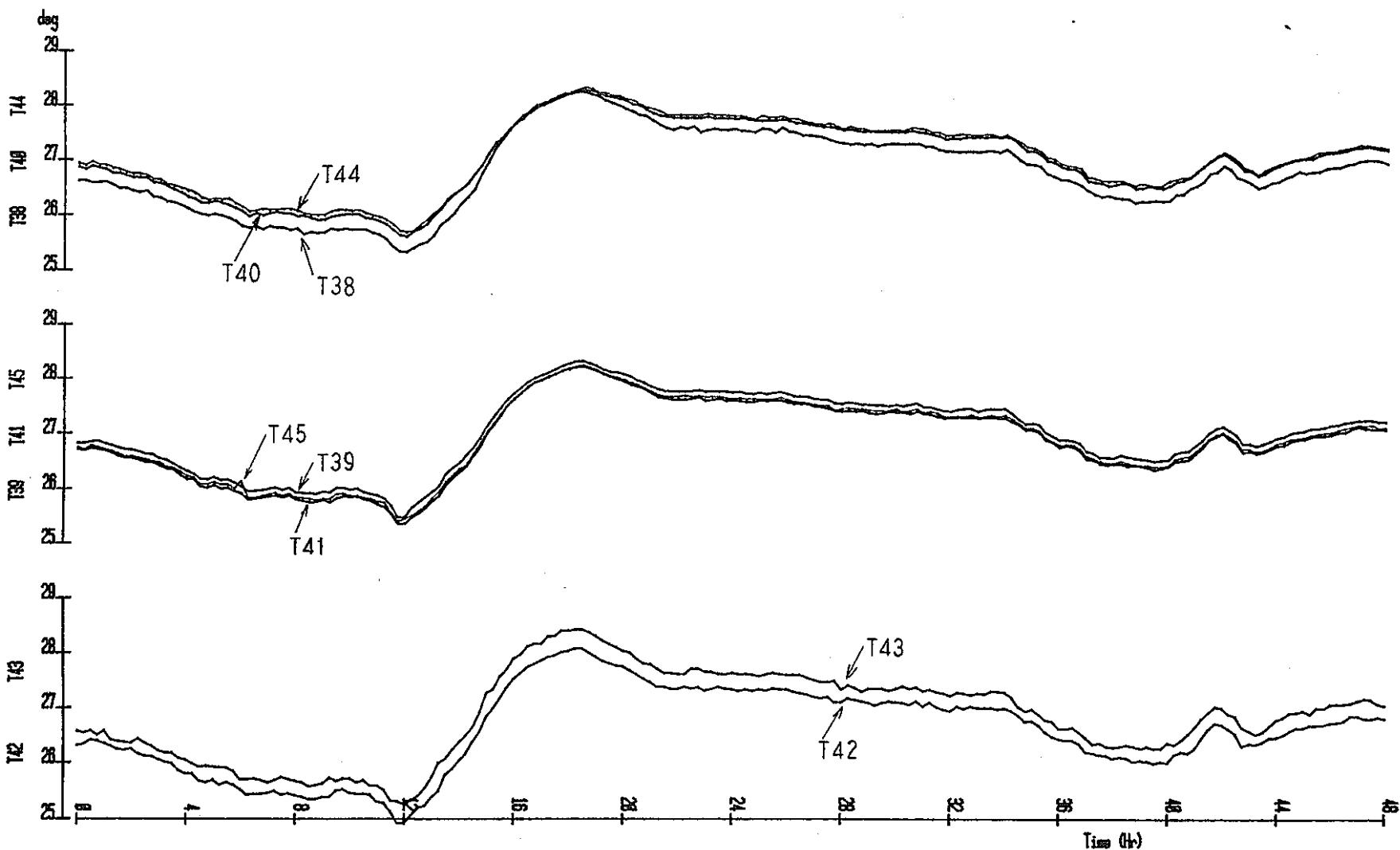


図 4.9 試験時の格納容器内温度（領域W₄）

Fig. 4.9 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₄)

図 4.10 試験時の格納容器内温度（領域W₅）Fig. 4.10 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₅)

図 4.11 試験時の格納容器内温度（領域 W₆）Fig. 4.11 Temperature Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₆)

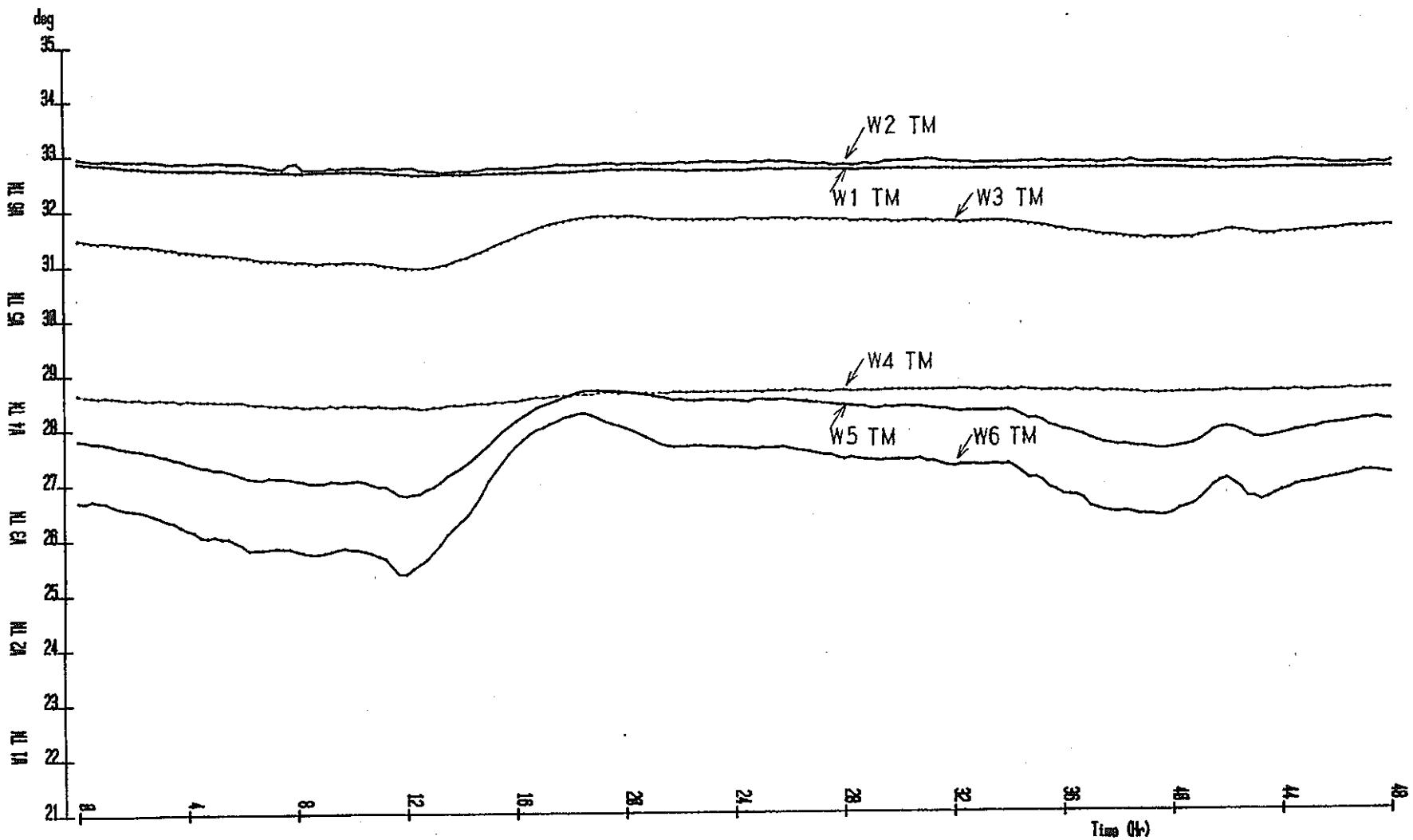


図 4.12 試験時の格納容器内温度 (領域海平均温度)

Fig. 4.12 Mean Temperature Profile at Each Region in Pressure Containment Vessel

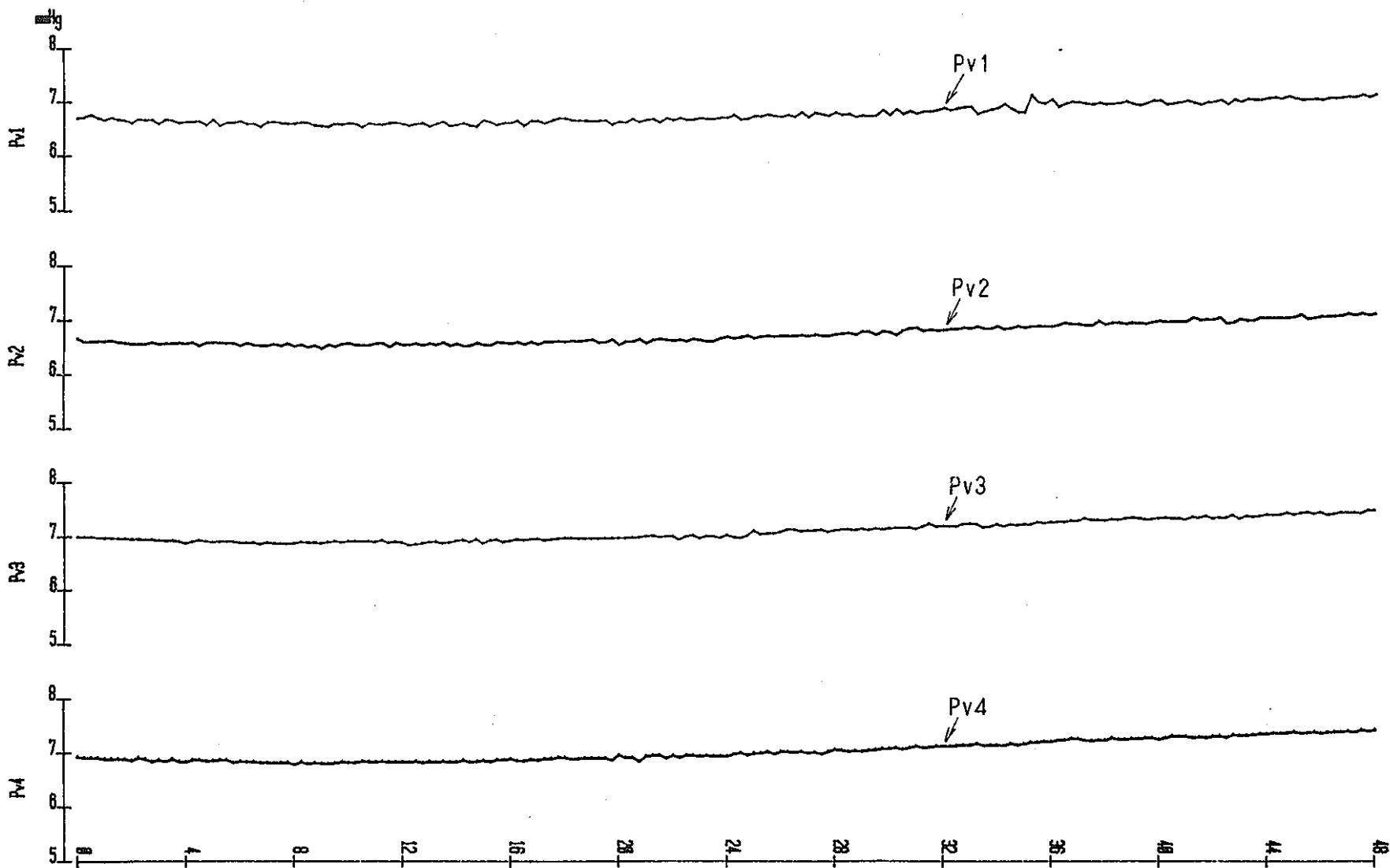


図 4.13 試験時の格納容器内水蒸気分圧（領域W₁）

Fig. 4.13 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₁)

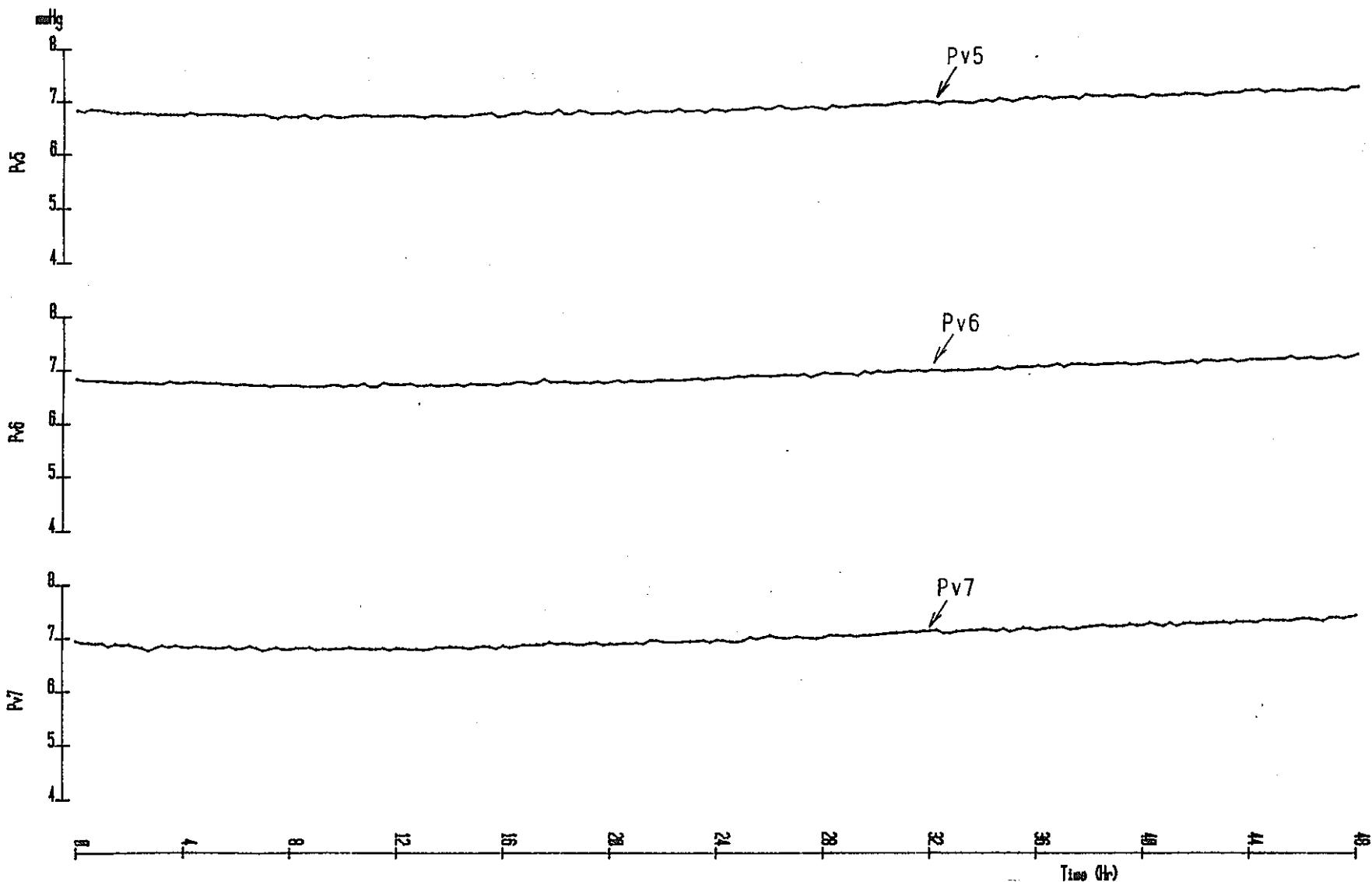
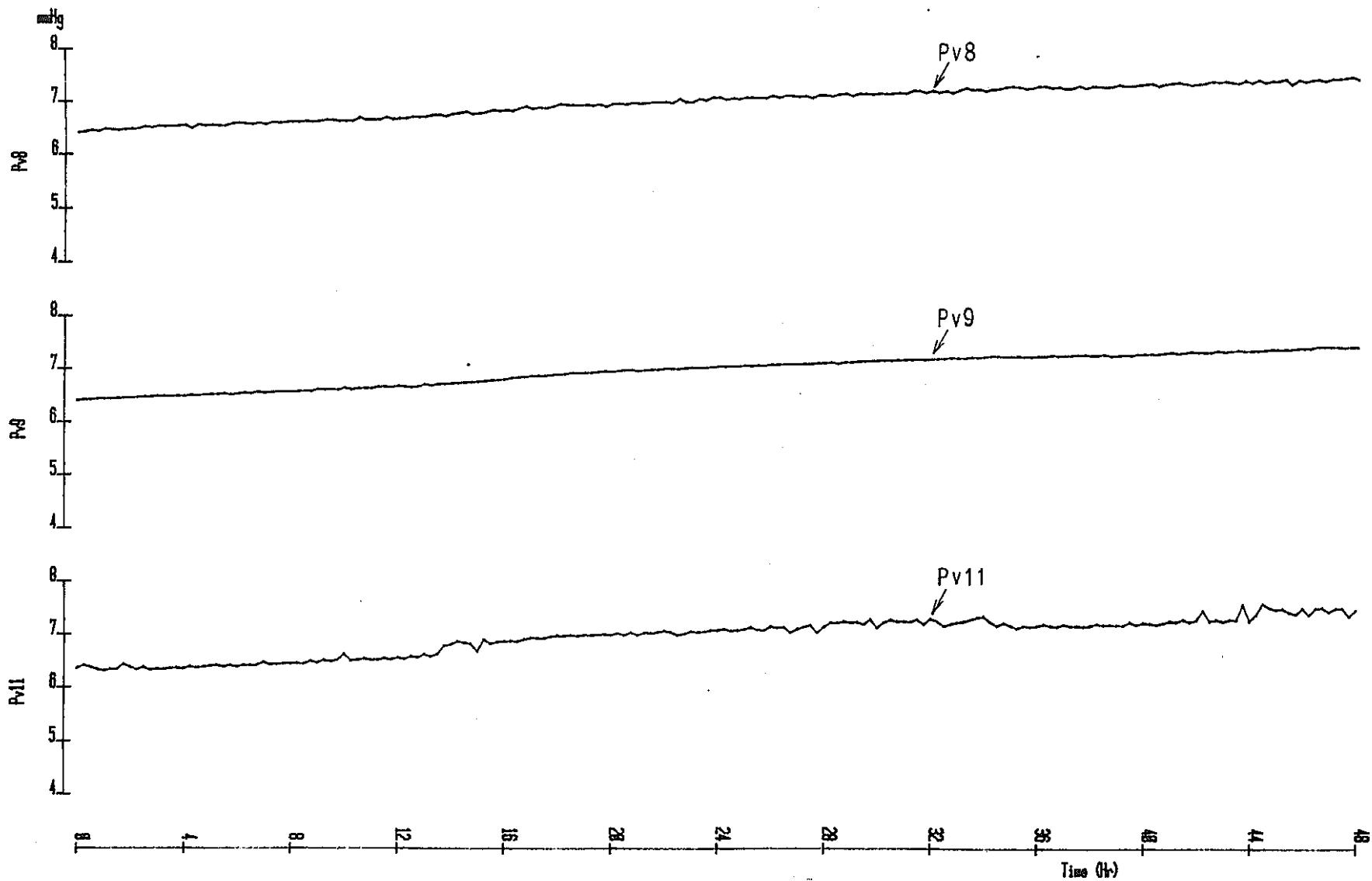


図 4.14 試験時の格納容器内水蒸気分圧 (W_2 領域)

Fig. 4.14 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W_2)

図 4.15 試験時の格納容器内水蒸気分圧 (W_3 領域)Fig. 4.15 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W_3)

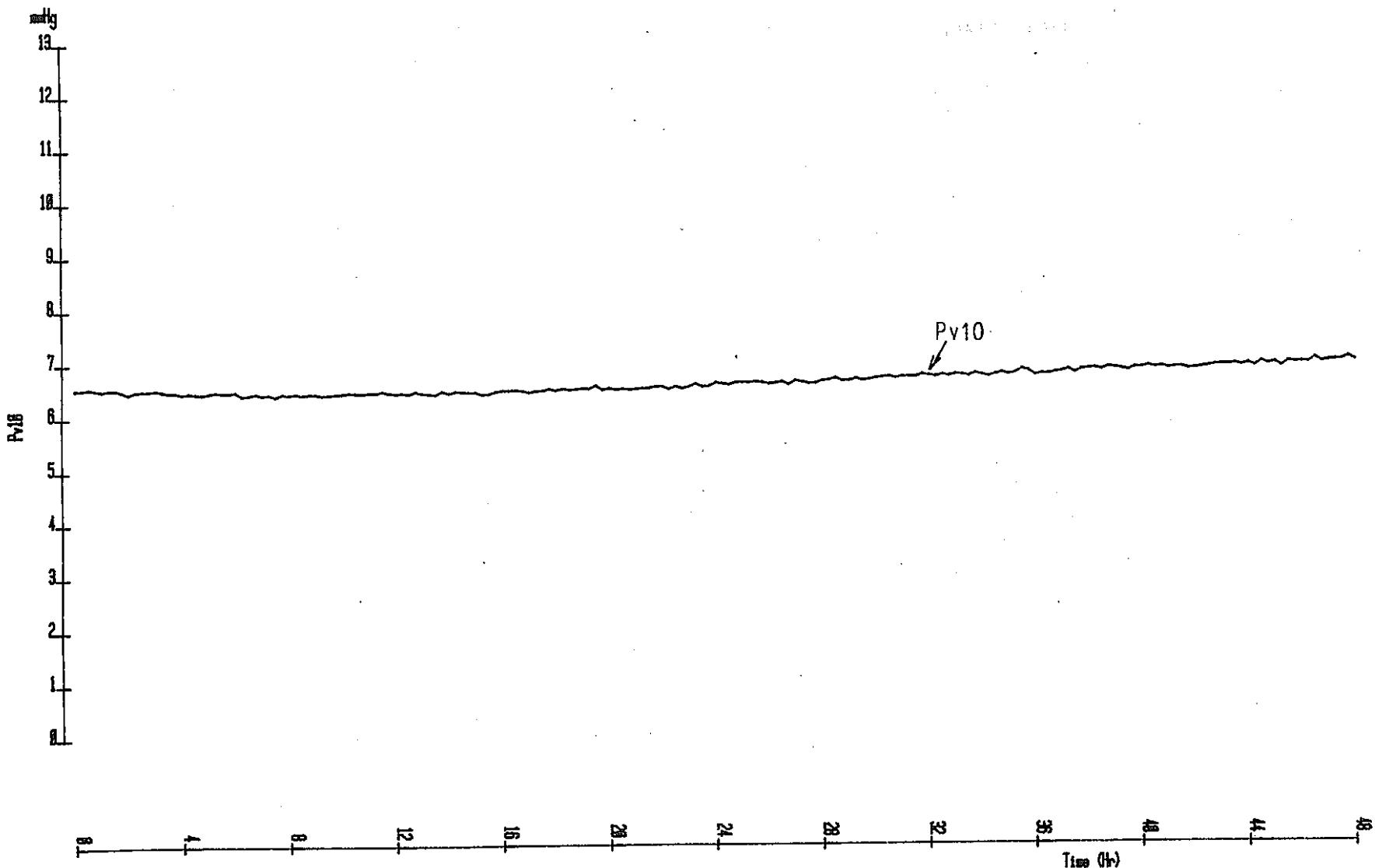
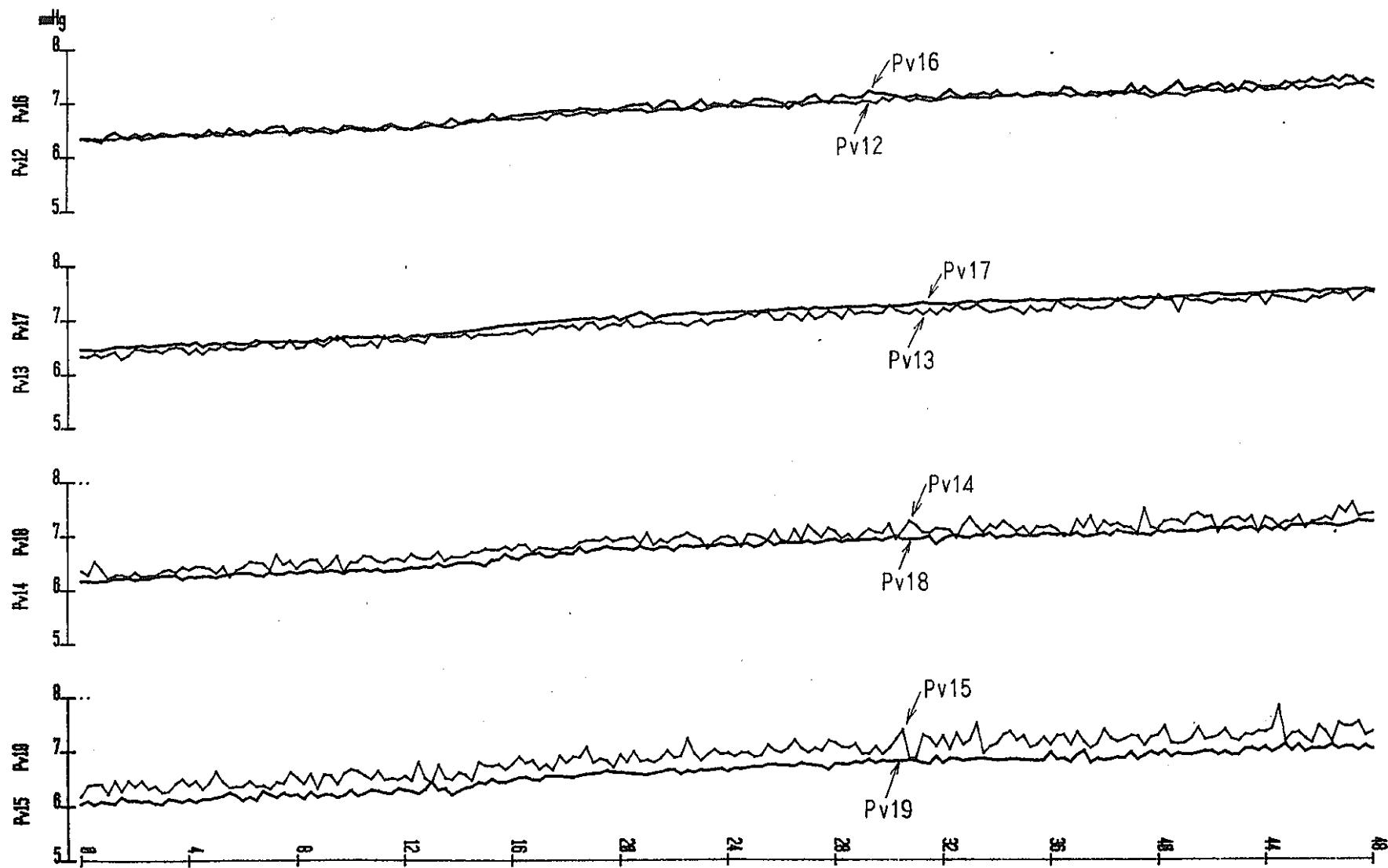
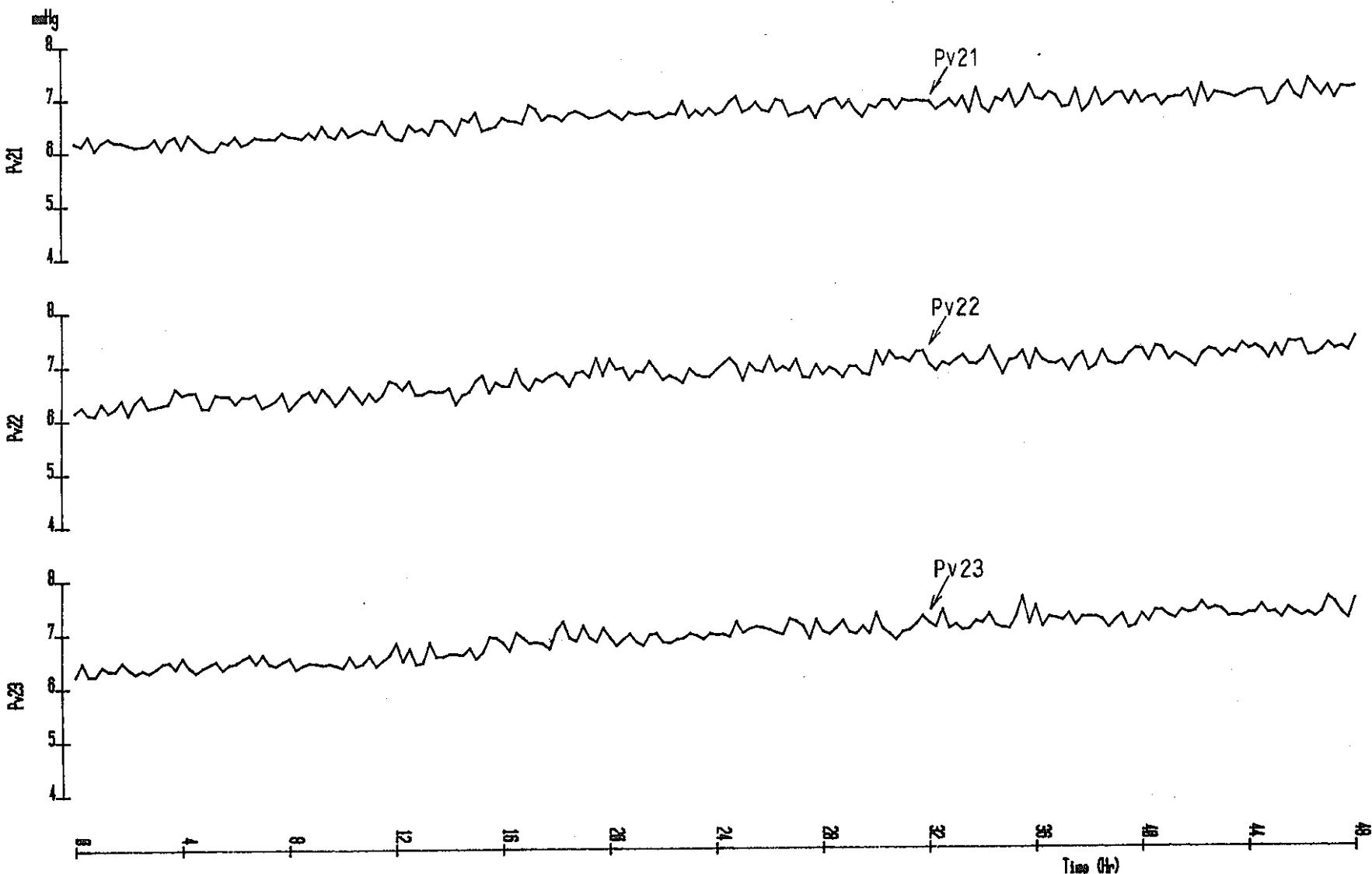


図 4.16 試験時の格納容器先水蒸気分圧（領域W₄）

Fig. 4.16 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W₄)

図 4.17 試験時の格納容器内水蒸気分圧 (W_5 領域)Fig. 4.17 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W_5)

図 4.18 試験時の格納容器内水蒸気分圧 (W_6 領域)Fig. 4.18 Vapor Pressure Profile in Pressure Containment Vessel during Test (Region W_6)

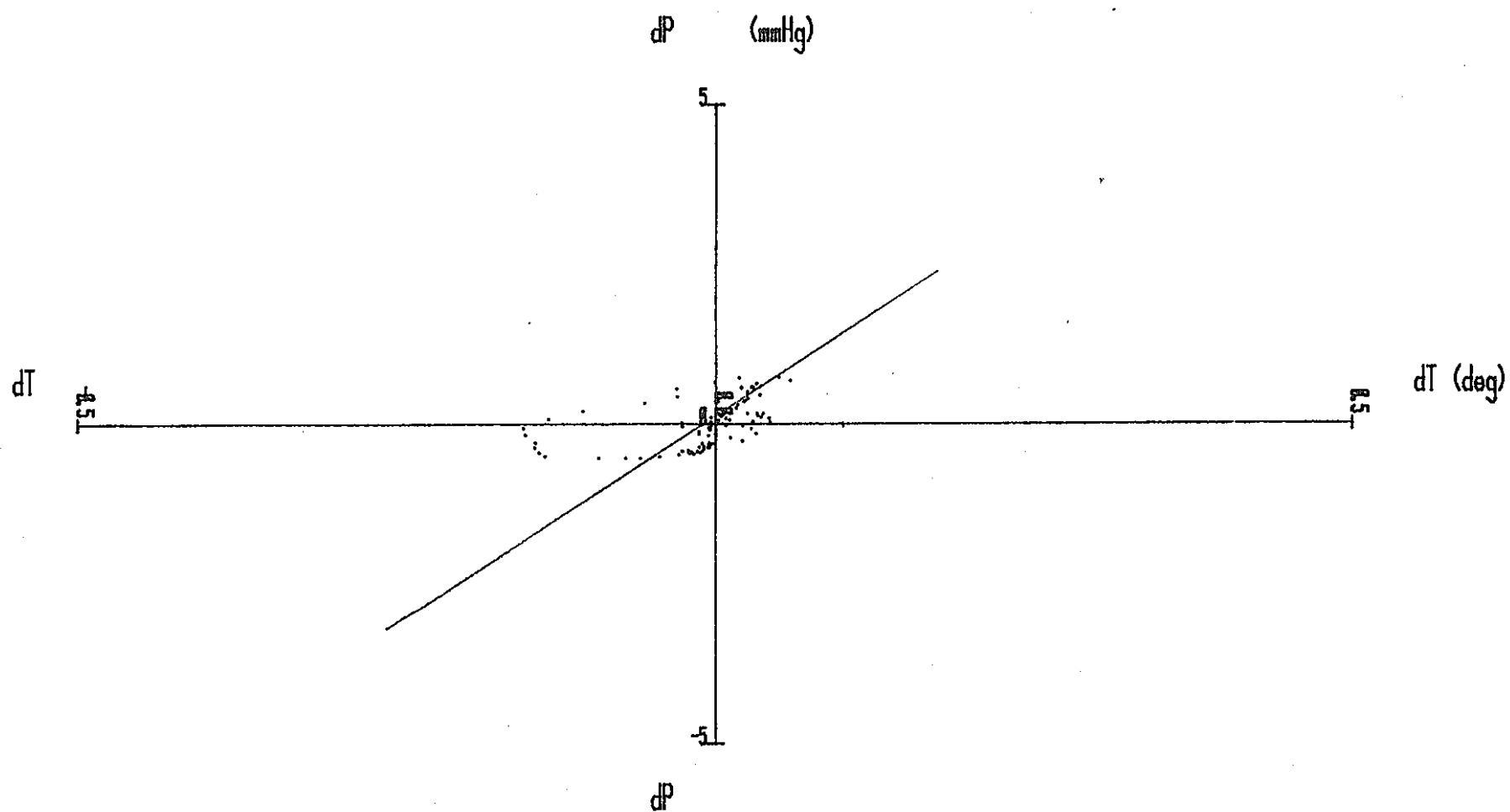


図 4.19 基準容器法における測定系の妥当性の確認

Fig. 4.19 dP vs. dT Plot of Reference Chamber Method

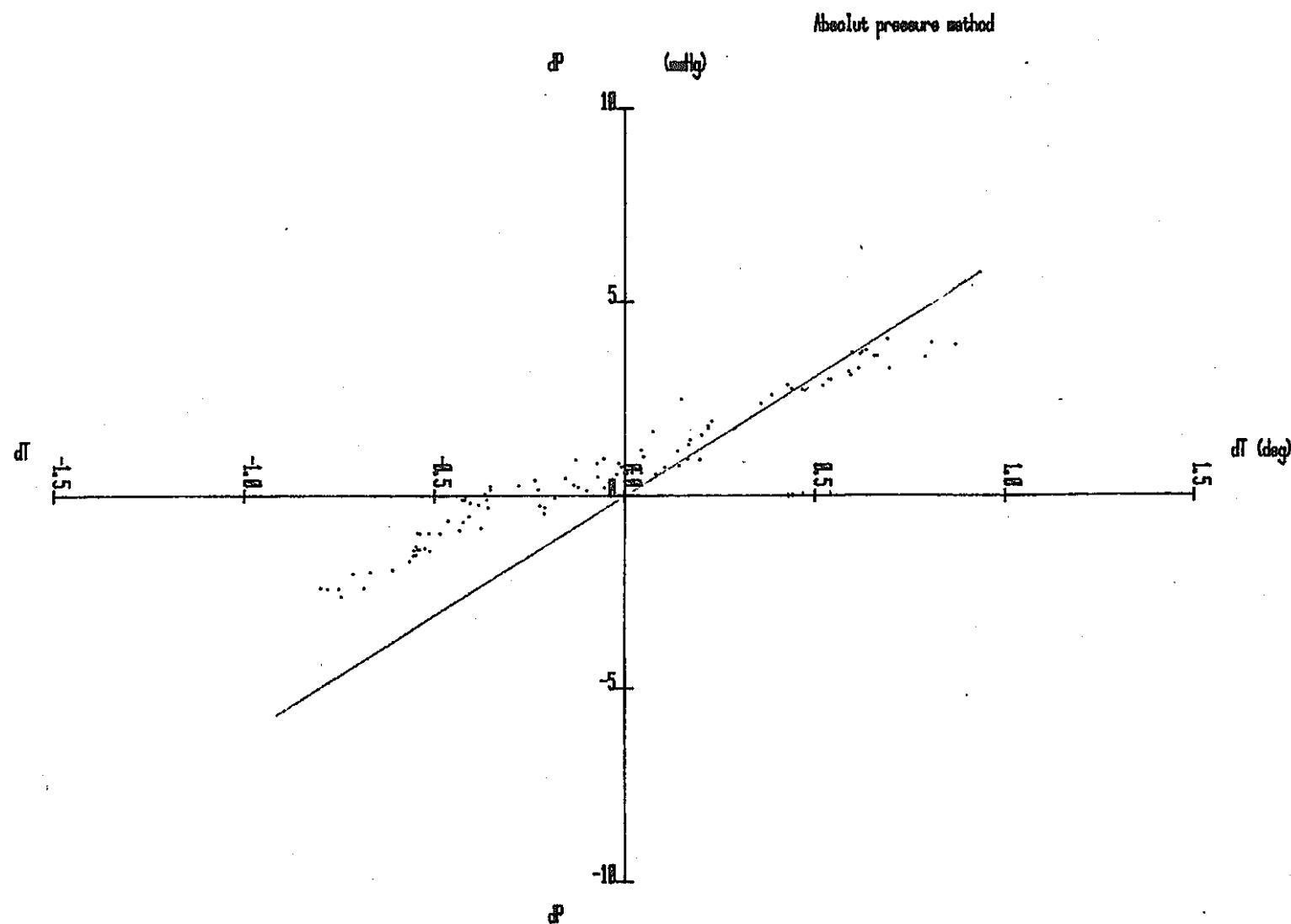


図 4.20 絶対圧力法における測定系の妥当性の確認

Fig. 4.20 dP vs. dT Plot of Absolute Pressure Method

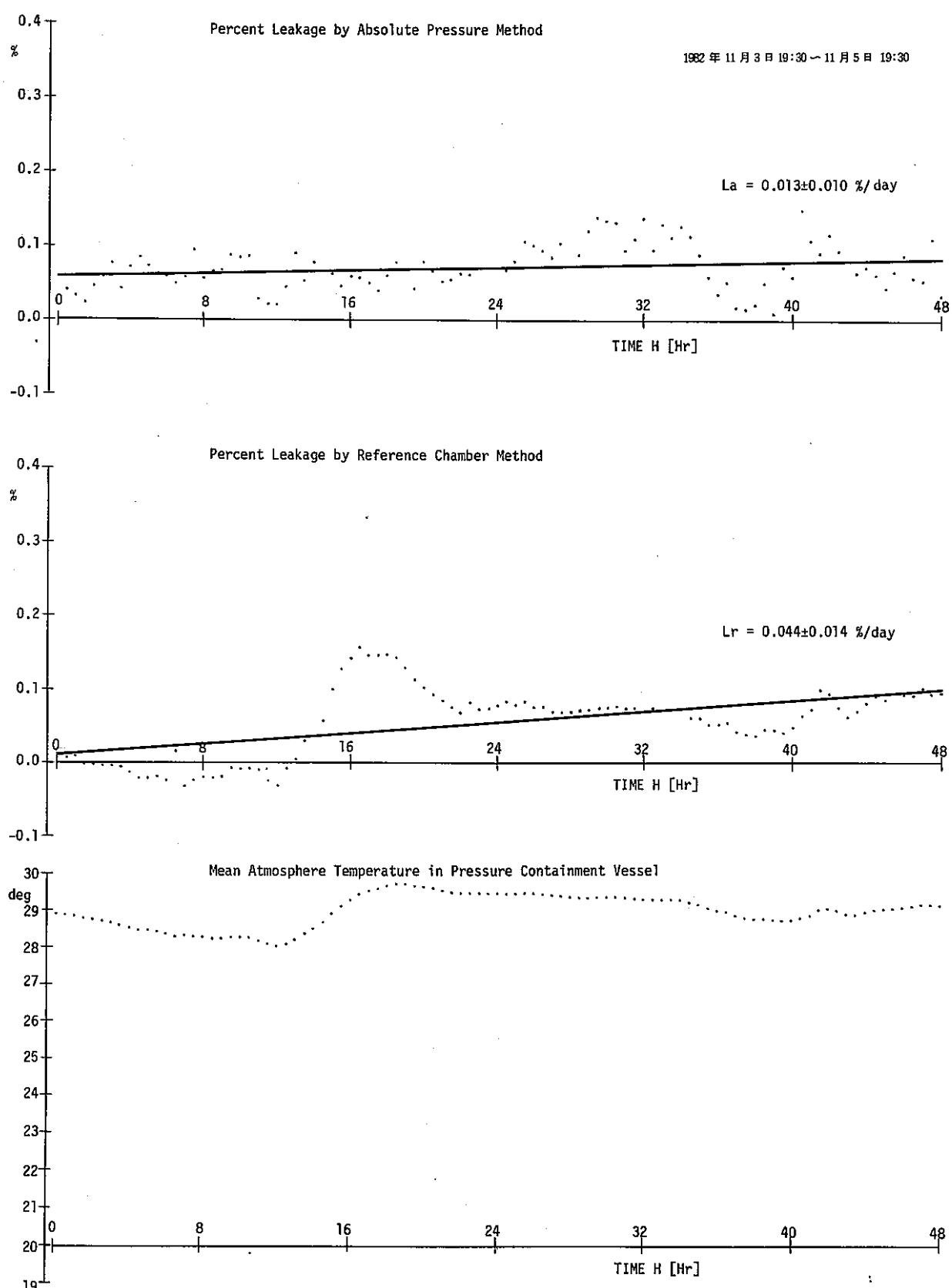


図 4.21 格納容器全体漏洩率試験結果

Fig. 4.21 Test Results of Joyo Integrated Leak Rate Test

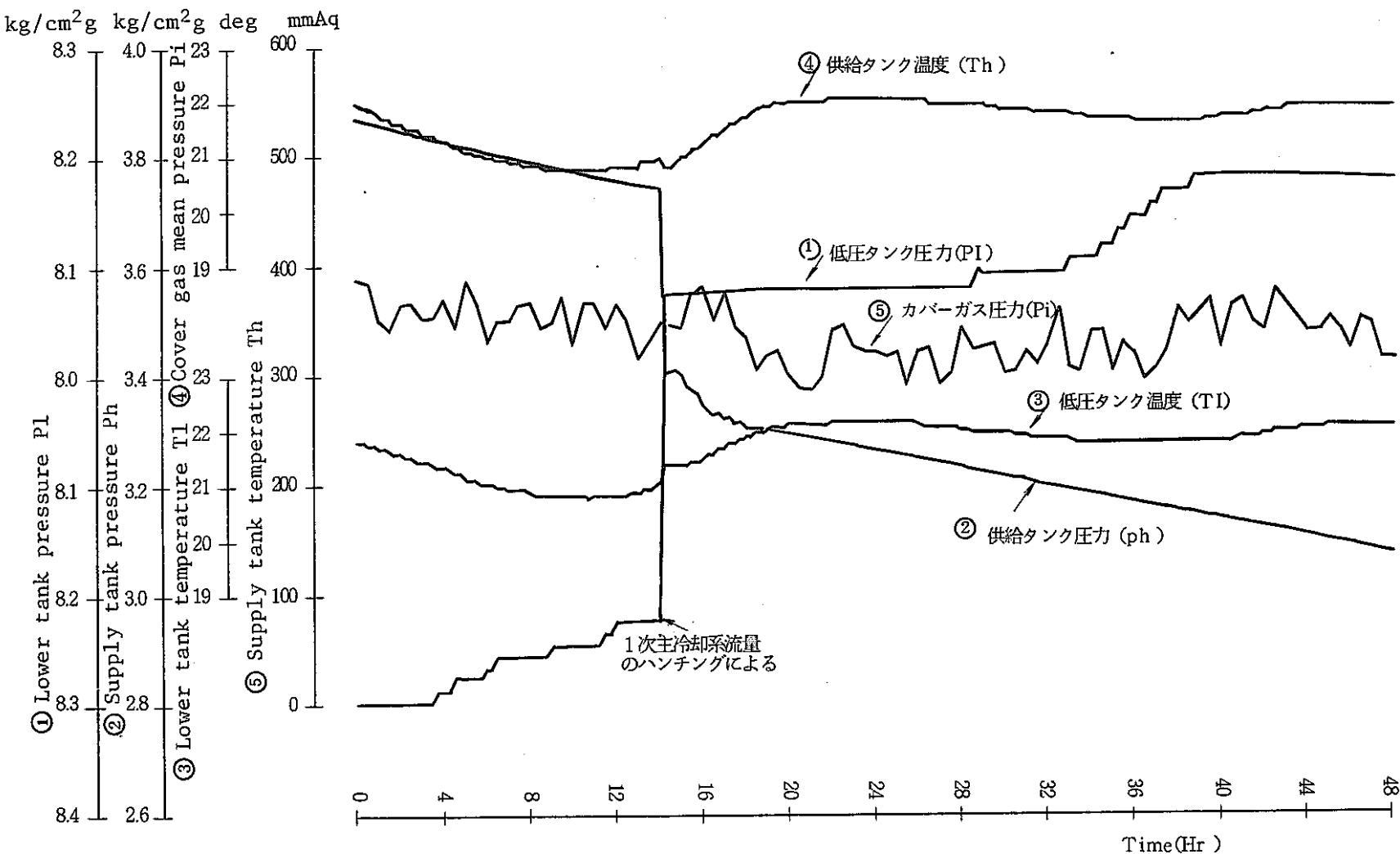


図 4.22 1次 Ar ガス系カバーガス温度・圧力の推移

Fig. 4.22 Temperature and Pressure of Primary Argon Cover Gas System
during Test

5. 検討及び評価

5.1 平均温度の誤差による漏洩率への影響の検討

(1) 温度測定点数に関する検討

「常陽」の場合、格納容器内温度分布が複雑であり、安全上の余裕をみて極力多数の温度計を取り付けるよう計画したが、実際には Fig. 4.6 ~ Fig. 4.12 に示すように格納容器内は領域毎に異った温度分布を示している。しかしながら、各温度の推移をみると、当初計画された個数よりも更に少い個数で格納容器内温度を十分カバーできることが予想される。

したがって、ここでは温度測定点数をそれぞれ 30, 15 とした場合の漏洩率を計算し、45 点の場合と比較検討した。

絶対圧力法の場合

$$\begin{aligned} \text{測定点数 } 45 : \bar{L}_a &= 0.013 \pm 0.010 \%/\text{day} \\ 30 : \bar{L}_a &= 0.014 \pm 0.010 \%/\text{day} \\ 15 : \bar{L}_a &= 0.014 \pm 0.010 \%/\text{day} \end{aligned}$$

基準容器法の場合

$$\begin{aligned} \text{測定点数 } 45 : \bar{L}_r &= 0.044 \pm 0.014 \%/\text{day} \\ 30 : \bar{L}_r &= 0.046 \pm 0.014 \%/\text{day} \\ 15 : \bar{L}_r &= 0.046 \pm 0.016 \%/\text{day} \end{aligned}$$

ここで、測定点数の選択基準としては、Fig. 3.3 に示す測定計器配置図と Fig. 4.6 ~ Fig. 4.12 に示す各領域毎の温度分布曲線を参考とした。具体的には、30点の場合、 $T_1, T_4 \sim T_{10}, T_{13} \sim T_{15}, T_{17}, T_{19}, T_{21}, T_{35}, T_{25} \sim T_{34}, T_{38} \sim T_{40}, T_{43}, T_{44}$ を、15点の場合、 $T_1, T_5, T_{13}, T_{14}, T_{15}, T_{21}, T_{35}, T_{19}, T_{28}, T_{30}, T_{31}, T_{33}, T_{39}, T_{41}$ を選んだ。なお、温度計の削減にともない露点計はほぼそれぞれの割合に準じた。

この結果より、測定点数を 30, 15 とした場合の漏洩率およびその誤差は 45 点の場合に比べて僅かながら大きな値を示すが、その漏洩率は誤差範囲内で等しいものとみなすことができる。

従って、現行温度測定点数を大幅に合理化しても十分な測定精度で漏洩率が求められるものと考えられる。特に、測定された温度分布から床下霧囲気の温度変動は小さく、非常に安定したものであるため床下霧囲気の温度測定点数を減らし、その分を床上霧囲気に設置するのが測定精度上からも望ましい。

(2) 基準容器法を用いる場合における基本的検討確認事項について

JEAC4203⁽²⁾ によると基準容器法を用いる場合における基本的検討確認事項として次の 5 項目の検討を要求している。

- ① m 個の領域に分割する際の分割のしかた、個数が適切であること。
- ② 各領域の温度を代表する点に基準容器あるいは温度測定点（絶対圧力法の場合）が配置されていること。
- ③ 各領域について格納容器の体積と基準容器の容積の比 V_i/V_i' が一定であること。
- ④ 各領域の温度 T_i と基準容器の温度 T_i' が等しいこと。
- ⑤ 漏えい率試験の測定精度の検討に当って考慮すべき項目は下記の 3 項目とする。
 - (イ) 漏えい率計算式省略による誤差
 - (ロ) 計器精度による誤差
 - (ハ) 測定計器（基準容器を含む）配置の不適正による誤差

以上の 5 項目のうち、①、②は基準容器法、絶対圧力法に共通の事項である。

基準容器の状態方程式を、

$$P'/T' = nR/V'$$

n : 基準容器内気体分子モル数

とすると、基準容器内気体分子モル数および体積は変化しないので $P'/T' = \text{一定}$ となる。前記①～④項目が成立しているならば、基準容器内の温度 T' の代わりに格納容器内平均温度 T を代入し、 $P'/T = \text{一定}$ なる関係が成立する。すなわち、 P'/T が一定であることが証明されれば漏えい率試験中、前記①～④項目は満足されていると見なすことができる。また、⑤(イ)に示す誤差のうち基準容器と格納容器との温度差がないとしたことによる誤差も P'/T の評価に含まれる。更に⑤(ハ)に示す誤差は前記①～④項目の不適正によるもので、同様に P'/T の関係から評価できる。

本試験における P'/T の測定結果を Fig. 5.1 に示す。測定結果より P'/T 平均値および 95% 信頼限界は、測定点数全数を用いて

$$\bar{A} = \sum A_i / N \pm t(\phi, \alpha) \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

$$= 4.2278597 \pm 0.0000003815$$

ここで、 $A : P'/T$

N : 測定回数

$t(\phi, \sigma)$: 自由度 $\phi = N - 1$, 危険率 α の t 分布関数

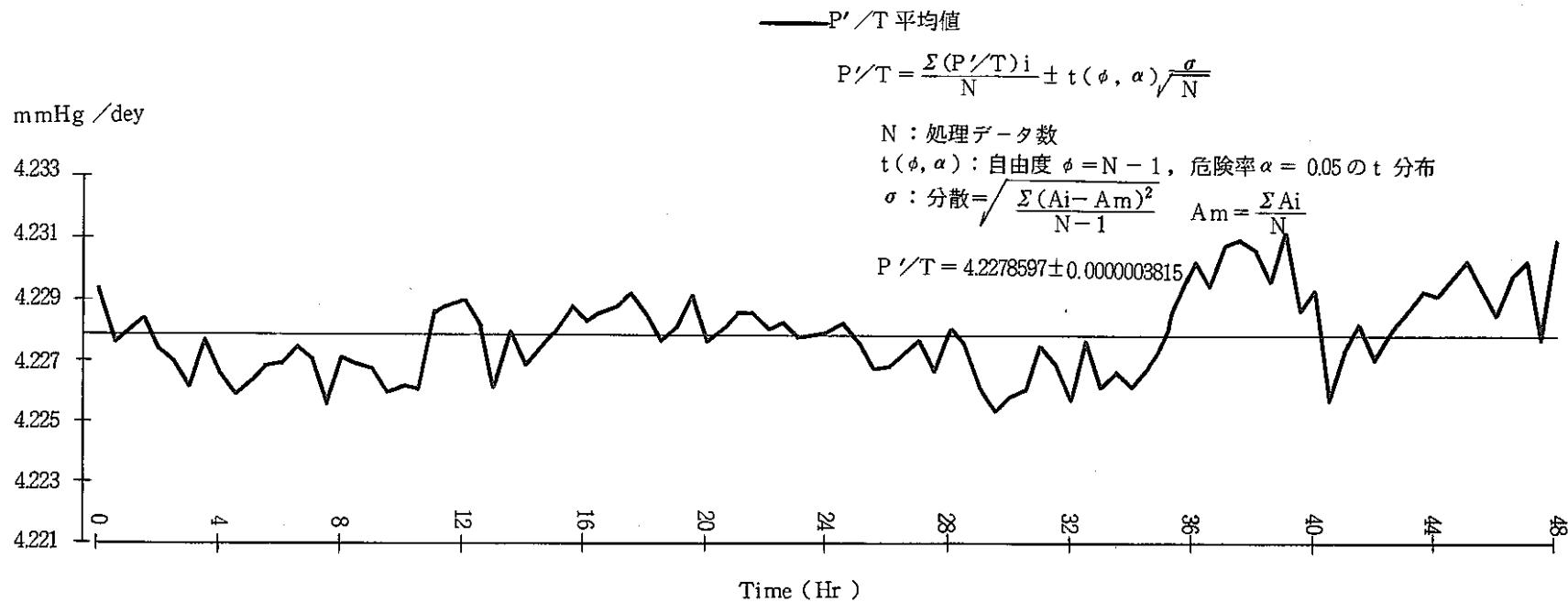
$\alpha = 0.05$ (95% 信頼限界を用いる)

σ : 分散

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (A_i - A_m)^2}{N-1}}, \quad A_m = \sum A_i / N$$

このようにして求めた 95% 信頼区間 ± 0.0000003815 に関して、これを漏洩率に対する誤差に換算すれば $0.00146\%/\text{day}$ となる。

このように95%信頼区間の漏えい率に対する誤差は許容漏洩率に対して十分に小さいものであり、本試験期間中の P'/T は一定であるとみなすことができる。従って漏えい率試験中前記①～④項目は満足され、しかも⑤(イ)いに関する誤差も無視し得るものであることが分かった。また本試験においては基準容器と格納容器との温度をそれぞれ別個に測定、評価したが、両者に平均温度差がないとして、すなわち $T_1=T_1'$, $T_2=T_2'$ として簡略化した計算式を用いても、その誤差は非常に小さく、十分な精度で評価しうることが分かった。

図 5.1 基準容器法の場合における P'/T Fig. 5.1 P'/T Characteristics of Reference Chamber Method

5.2 蒸気圧の測定を無視した場合の漏洩率への影響の検討

漏洩率試験では、格納容器内圧力および格納容器と基準容器との差圧を求める場合、試験気体中の水蒸気分圧を測定して各々 3.2.1 項に示す漏洩率計算式に代入し、補正している。試験気体が空気の場合、水蒸気分圧の測定は無視しえない要素となっているが、「常陽」のように乾燥窒素を用いる場合の水蒸気分圧は無視し得るのではないかと予想される。もし水蒸気分圧の測定が無視できるならば露点計の校正と設置のための労力の軽減化はもちろん測定系の簡素化も可能となる。

このため、第 2 回目と第 3 回目の測定結果をもとに、基準容器法および絶対圧力法のそれぞれにおける水蒸気分圧を無視した場合の漏洩率を算出した。すなわち、基準容器法の場合、 $L =$

$$\frac{2400}{H} \left[1 - \frac{T_1 T_2'}{T_1' T_2} + \frac{1}{P_1} \left(\frac{T_1}{T_2} \Delta P_2 - \Delta P_1 \right) \right], \text{ 絶対圧力法の場合, } L = 2400/H \left(1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \right) \text{ として漏洩率を求めた。}$$

基準容器法の場合

$$\text{第 2 回目: } L_r = -0.0046 \pm 0.0057$$

$$\text{第 3 回目: } \bar{L}_r = 0.0070 \pm 0.0137$$

絶対圧力法の場合

$$\text{第 2 回目: } \bar{L}_a = -0.0064 \pm 0.0204$$

$$\text{第 3 回目: } \bar{L}_a = -0.0247 \pm 0.0102$$

いずれの場合も漏洩率の絶対値は極めて小さいものの第 3 回目の基準容器法の場合を除いて、負の漏洩率を示している。

このように、「常陽」において得られた測定結果では水蒸気分圧を無視することは妥当な近似とは言えず、算出対象とした 2 つの測定結果からのみでは水蒸気分圧の測定を省略することは妥当ではないと判断される。尚、第 2 回目の水蒸気分圧を考慮した漏洩率は 5.3 項に示すように基準容器法の場合、 $\bar{L}_r = 0.039 \pm 0.006\%/\text{day}$ 、絶対圧力法の場合、 $\bar{L}_a = 0.034 \pm 0.021\%/\text{day}$ である。

5.3 基準容器法と絶対圧力法の比較

「常陽」格納容器漏洩率試験においては今回を含め漏洩率測定法として全て基準容器法と絶対圧力法とを併用して実施してきた。

基準容器法は格納容器内部に基準容器を 1 個または多数個配置し、この 2 容器間の圧力差の変動を水または油マノメータによって計測する方法である。配置する基準容器の漏洩は格納容器のそれに比較して無視できるものでなければならない。この方法の特長は、

- ① 基準容器をたくみに配置して真夜中の気温の変化が小さいときにおいて容器間の温度差を無視できるようにすれば、両者の圧力差が正確にマノメータで示される。
- ② 日中の気温変化によって両者間に温度差を生じてもその圧力差が小さいため、比重が小さ

い水または油で計測できる。

③ 両者間の圧力差が小さいので、万一基準容器に漏洩があってもその量は極めてわずかである。

などである。

一方、絶対圧力法は漏洩率を測定しようとする容器内の気体圧力と温度を記録し、その結果を温度で補正して求めるものである。これは基準容器法に比較して簡単であるが、格納容器内の温度を正確に測定する必要のあること、圧力の測定が水銀マノメータによるため多少精度がおちるなどの問題がある。

これまでに実施した6回の漏洩率試験の結果は次の通りである。

	測定漏洩率 (%/day)	
	基準容器法	絶対圧力法
◦ 格納容器本体完成時（昭和46年8月）	-0.0270 ± 0.0314	-0.0039 ± 0.019
許容漏洩率 0.03%/day at 1.35 Kg/cm ² g		
◦ Na注入前（昭和49年10月）		
許容漏洩率 0.45%/day at 1.35 Kg/cm ² g	0.010 ± 0.005	0.018 ± 0.007
0.296%/day at 0.675 Kg/cm ² g	0.033 ± 0.018	0.026 ± 0.020
◦ Na注入後（第1回～第3回）		
許容漏洩率 1.90%/day at 0.675 Kg/cm ² g	0.036 ± 0.008	0.036 ± 0.011
	0.039 ± 0.006	0.034 ± 0.021
	0.044 ± 0.014	0.013 ± 0.010

このように両者による測定結果はいずれも比較的よく一致しているため精度的な面から優劣を下すことは困難と思われる。しかしながら、基準容器法による試験の計画、基準容器やその配管系の製作、検査およびその他試験準備の経験からは基準容器法は多くの労力を必要とするため、照射炉心における定検スケジュールとの整合性を考えた場合、「常陽」における格納容器漏洩率試験の試験方法としては今後は絶対圧力法のみによって実施するのが妥当である。

5.4 試験実施頻度に関する検討

従来から「常陽」における格納容器漏洩率試験の実施頻度については JEAC-4203⁽²⁾ の規程（A種試験（全体漏洩率試験）はプラントの定期検査毎に行わねばならない）を準用して実施してきた。

「常陽」におけるひいては高速炉におけるNa注入後（供用開始後）の格納容器漏洩率試験は、冷却材として液体金属Naを使用することから前述のように従来の軽水炉の場合との相違点が生ずる。すなわち、冷却材Naが自由液面を有する空間については、Naと空気との接触防止のためにアルゴンガス等の不活性ガスで覆う必要がある。このカバーガス系を格納容器雰囲気へベン

トすることは、Naの純度管理、ひいては原子炉の安全確保上不可能である。

またNaは約98°Cで凝固するので冷却材としての機能を維持するためには、原子炉停止後の冷態状態においても冷却系統の温度を200°C程度に予熱しておく必要がある。また格納容器の漏洩試験時においても炉心の崩壊熱除去の目的で主冷却系統等を循環状態に維持せざるを得ないものとなる。従って高速炉の格納容器漏洩試験においては、高温のNaを予熱循環するため、格納容器雰囲気調整系を運転する必要があり、かつ漏洩率測定のための温度測定の精度を十分に確保しなければならない。

一方、炉心を冷却するNaは放射化されて放射線源となり、また一次Naを内包する機器、配管は窒素ガス等の不活性雰囲気下におかれて、万一のNa漏洩時にも火災に至らないよう設計されている。この窒素雰囲気を空気に置換して格納容器漏洩率測定用計器を配置するために、一次Naをドレンして空間線量率を下げる必要がある。計器を設置した後、再びNaを充填して崩壊熱除去を確保するとともに、Naを予熱循環する。以上のような格納容器漏洩試験の状態設定に十数日を要する。

Table 5.1に軽水炉と「常陽」(Na冷却炉)の格納容器漏洩率試験の比較をまとめて示す。

JEAC-4203⁽²⁾によれば、A種試験のスケジュール(解説15)は、「当面、「A種試験はプラントの定期検査毎に行なわねばならない」とする。将来は、実績をみて以下の方針で再検討するものとする。即ち「使用前漏洩率試験後、10年の使用期間毎に3回のA種試験を1組とし各組の3回目の試験は各10年の使用期間の終りと一致させて、ほぼ等間隔で実施してもよい。但し、もし、格納容器バウンダリ構成要素の試験装置が設けられていないならば、A種試験を格納容器の使用寿命を通じて(あるいはB種およびC種試験を行うことができるよう改造が行なわれる特点まで)、2年を越えない間隔で実施しなければならない。また、連続する2回の定期漏洩率試験において、合格基準を満足しない場合はそれ以降プラントの定期検査毎にA種試験を実施し、2回連続して合格基準を満足した時点で上述の10年毎に3回のA種試験スケジュールにもどすものとする。」」とあり、この規程を受け、また高速炉の格納容器漏洩試験(特にA種試験)は試験状態作りに長期間を要し、さらに軽水炉の試験実績や「常陽」の経験から、漏洩試験の方法および格納容器の健全性確認の手法が確立されていることから、A種試験の頻度(定期検査毎)を見直し、MK-II炉心における照射ベッドとしての稼働率の向上の観点からも今後のA種試験のスケジュールとして3回/10年として実施することが望ましい。

ここで諸外国の高速炉の格納容器漏洩試験に対する考え方を米国の例を引用して参考とする。

- ① 米国の中性子束照射炉 FFTFでは格納容器完成時に漏洩試験を行ったが、以後は全く行っていない。
- ② 米国の中性子束照射炉 FFTFでは、建設完了時Na注入前に漏洩試験を実施し、Na注入後の全出力運転を達成後に漏洩試験を実施した。同炉の安全審査書 FSAR (Final Safety Analysis Report)には、A種試験の頻度として3回/10年と記載されている。

③ 米国の原子力安全規則 10 CFR 50 Appendix J では A 種試験の頻度として 3 回／10 年と定めており、米国の軽水炉ではこれに基いて試験を行っている。

「常陽」および高速炉の格納容器の漏洩率試験実施頻度を 3 回／10 年とした場合の利点は以下の通りである。

- ① 定期検査工程の短縮（約 1 カ月）とこれによる稼働率の向上 軽水炉においても稼働率の向上を図るため定期検査の短縮化を図る傾向にあり、高速炉においても例外ではない。特に、「常陽」 MK - II の場合は照射炉心という性格上、円滑な照射計画を遂行するためには定期検査工程の短縮は重要である。
- ② プラント操作の簡略化：格納容器漏洩率試験条件の設定と格納容器昇降圧操作は極めて特殊で困難なものであり、簡略化によるぼう大なマンパワーの節約とプラント操作の適正化は大きな利点となる。
- ③ 予算の節約：液体 N₂、計器校正、人件費など約 2,000 万円相当の節約となる。

ここで、格納容器漏洩率試験の実施頻度を 3 回／10 年とする妥当性を過去の実績をもとに検討する。

第 1 回から第 3 回までの Na 注入後格納容器漏洩率試験の結果を Table 5.2, Table 5.3, Fig. 5.2 に示す。これらの結果から、次のことがわかる。

- ① 「常陽」における 3 回の Na 注入後格納容器漏洩試験の結果、誤差を全て加算した安全側の評価値が約 0.2 %/day で許容漏洩率 1.90 %/day を十分満足した。
- ② 全ての補正を行った全体漏洩率の合計は良好な再現性を有するとともに、最確値に対して約 3 倍の誤差を有している。
- ③ 誤差の中には、測定系の特性に基づく誤差（格納容器内の温度計の配置、ダンプタンクを隔離したための誤差等）の 0.116 %/day が定差として含まれている。
- ④ 局部漏洩率試験（以下、B 種、C 種）の誤差の絶対値は A 種試験に比べて非常に小さく、B, C 種については信頼度の高い測定が行われた。
- ⑤ B, C 種の第 1 回目の測定誤差が他の 2 回に比べて大きいのは、誤差の処理方法が異なるためである。第 2 回目以降は誤差の処理方法の改善（微分誤差法から統計処理法へ変更した）により最確値に対して十分小さな値となった。

尚、A 種試験の許容漏洩率 L_{to} と設計圧力における許容漏洩率 L_d との関係は次の通りである。

$$L_t = L_d (P_t / P_d)^{1/2} \% / \text{day}$$

$$L_{to} = L_t (1 - A_1) \% / \text{day}$$

ここに、P_d : 設計圧力 (1.35 kg/cm²g)

P_t : 試験時の圧力 (0.675 kg/cm²g)

L_d : 設計圧力 P_d における許容漏洩率 (3 %/day 於 1.35 kg/cm²g, 常温)

L_t : 試験圧力 P_t における許容漏洩率

L_{t_0} : 試験圧力 P_t における試験条件下での劣化による漏洩率增加を考慮した許容漏洩率

A_1 : 格納容器の劣化による漏洩率增加のために見込む余裕係数

$$A_1 = 0.1 \text{ (毎年実施する場合, すなわち } 0.1/\text{年})$$

$$A_1 = 0.3 \text{ (3 年毎に実施} = 0.1/\text{年} \times 3\text{ 年})$$

とする。

これより,

$$L_t = 3 \times \left(\frac{0.675}{1.35} \right)^{\frac{1}{2}} = 2.12\%/\text{day}$$

$$L_{t_0} = \begin{cases} 2.12 \times (1 - 0.1) = 1.90\%/\text{day} & \text{(毎年実施)} \\ 2.12 \times (1 - 0.3) = 1.48\%/\text{day} & \text{(3 年毎に実施)} \end{cases}$$

となる。

このように、3回の試験で得られた補正漏洩率を除いたみかけの漏洩率の再現性は良好で、ほぼ一定の値を示しており、格納容器の劣化を示す徴候はみられない。一方、補正漏洩率を加えた全体漏洩率についても同様なことが言える。従って、劣化を見込んだ許容漏洩率を求める式 $L_{t_0} = L_t (1 - A_1)$ を用いて、今後の測定頻度を検討すると次の通りとなる。

$$2.12 \times (1 - 0.1 t) \geq 0.208$$

$$t \leq 9.01 \text{ 年}$$

この方法によれば測定頻度は1回／9年で良いことになる。

これらの事実から格納容器に要求される安全機能と格能容器バウンダリの構造とを考えた場合、B, C 種試験からなる局部漏洩率試験を1回／年実施し、A種試験は3回／10年で十分であると言える。

ここで、格納容器バウンダリの構造から B, C 種試験対象個所以外からの漏洩に関する考察を加える。

格納容器の構成要素としては次のものがある。

- ① 格納容器貫通部およびシール部 (B 種試験対象)
- ② 格納容器隔離等 (C 種試験対象)
- ③ 格納容器 (シェル) 母材
- ④ 格納容器 (シェル) 溶接部

このうち、①, ②については漏洩が考えられるが、③, ④については下記の理由によりほとんど漏洩はないと見なすことができる。

- ① 製作時の品質管理

・母材については素材メーカー及び設置者において厳重な品質管理を実施している。

・溶接部については開先検査、機械試験、PT, RT, 耐圧試験、漏洩試験を実施し、その健全性を確認している。

◦ 材料として溶接性の良い SB-42 を使用している。

② 使用実績

現在までの使用実績として、地震等設計条件を越える過大な荷重が加わるような事態は発生しておらず、また、これまでの 3 回の A 種試験の結果から格納容器の健全性は保たれてい る。

③ 運転管理

◦ 格納容器内雰囲気は常時、温度、圧力がコントロールされ一定に保たれており、格納容器（シェル）に過大な応力が加わることはなく健全性は保たれている。

◦ 格納容器表面は塗装されており、腐食により損傷が生じることはない。

④ B 種試験対象部との比較

B 種試験対象個所としては、機器搬出入口、所員用エアロック、ケーブル貫通部のようにパッキン等のシール部を持ち漏洩量の比較的大きいものと溶接線のみで構成されたものがある。後者については熱応力が発生し易い場所であり、そのまま格納容器溶接部と比較することは出来ないが、溶接線に同程度の漏洩が発生したと仮定して、B 種試験の結果から格納容器（シェル）溶接部の漏洩率を見積ってもその量は B、C 種試験測定値に比べて小さな値である。

以上の議論から、「常陽」の第 4 回定期検査以降並びに将来の高速炉における格納容器漏洩率試験の方法と頻度は、A 種試験を 3 回／10 年、B、C 種試験を 1 回／1 年とするのが妥当であると結論される。

表 5.1 高速炉と軽水炉の格納容器漏洩率試験の比較 (1/2)

Table 5.1 Comparison of Integrated Leak Rate Test Method Between LMFBR and LWR

	軽 水 炉	常 陽 (Na 冷 却 炉)
(1) 適用基準	日本電気協会電気技術規定 JEAC-4203 1974 "原子炉格納容器の漏洩試験" (熱出力 100 MW 以上の軽水炉に適用)	同左を準用
(2) 試験時のプラント状態	(1) 原子炉冷却材喪失事故後の状態を模擬するために原子炉水位を通常運転時の水位にして、原子炉冷却材圧力バウンダリを格納容器内の雰囲気に開放する。 (2) 冷却材喪失事故後に自動閉となる隔離弁は閉、開のまま又は工学的安全施設が作動するため開となる隔離弁は開とする。 A種試験（全体漏洩率試験）の範囲は日本電気協会電気技術指針「原子炉冷却材バウンダリ格納容器バウンダリの定義」の格納容器バウンダリ	(1) 同左を準用、ただし再臨界事故後に原子炉冷却材バウンダリは格納容器床下雰囲気に開放状態となるが、試験時の原子炉の健全性保持のためこの模擬はしない。 (2) 再臨界事故時に開のままの隔離弁を有する系統としては格納容器雰囲気調整系のフレオン系統がある。これは全体漏洩率試験中も運転される。 (3) 一次冷却系統を運転状態で試験するためアルゴンカバーガス系統をも運転状態とする。
(3) 試験方法および結果	原子炉その他の系統を停止し常温で試験を実施する。 測定結果がそのまま全体漏洩率となる。 加圧水型炉の実績 許容漏洩率（毎年実施） 0.09%/day 測定値 0.02~0.07%/day 95%信頼限界 ~0.01%/day $\frac{\text{測定値}}{\text{許容漏洩率}} = \frac{0.02}{0.09} = 0.22$	(2) のとおり原子炉冷却系統、アルゴンカバーガス系統、フレオン系統を運転した状態で試験するため測定結果（みかけの漏洩率）を補正する必要がある。 許容漏洩率（3年毎に実施） 1.48%/day みかけの漏洩率の測定値 0.013~0.044%/day 95%信頼限界 0.006~0.021%/day 補正後の漏洩率 0.020~0.055%/day

	軽 水 炉	常 陽 (Na 冷 却 炉)
		誤差 0.014~0.042%/day 測定値(補正後) $\frac{0.055}{1.48} = 0.04\%/\text{day}$ 許容漏洩率
(4) 局部漏洩率試験	機器搬入口、エアロック扉、格納容器貫通部については 温度の安定した状態で精度よく測定できる。 隔離弁についてはドレンの状況により精度に影響する可 能性がある。	同 左 隔離弁についても同様に安定した状態で測定できる。
(5) 工 程	クリティカル工程として6日間	クリティカル工程として約1カ月

表 5.2 格納容器漏洩率試験結果の比較

Table 5.2 Comparison of Integrated Leak Rate Test Results of Joyo

(単位: %/day)

項目		使用前検査 (ナトリウム注入後第1回)		第1回定検 (ナトリウム注入後第2回)		第3回定検 (ナトリウム注入後第3回)	
全 体 漏 洩 率	みかけの漏洩率 [*] (温度のみ補正)	(絶対圧力法) 0.036 ± 0.011	(基準容器法) 0.036 ± 0.008	(絶対圧力法) 0.034 ± 0.021	(基準容器法) 0.039 ± 0.006	(絶対圧力法) 0.013 ± 0.010	(基準容器法) 0.044 ± 0.014
	補正漏洩率 ① 1次アルゴンガス系	0.003 ± 0.039		0.015 ± 0.013		0.0057 ± 0.0274	
	② 格納容器雰囲気調整系	0.0002 ± 0.001		0.0006 ± 0.0002		0.00072 ± 0.000225	
	③ 1次Na充填ドレン系	0.000005 ± 0.0001		0.000006 ± 0.000009		0 ± 0.00000079	
	④ その他の漏洩率	0 ± 0.116		0 ± 0.116		0 ± 0.114	
	合計	0.039 ± 0.167	0.039 ± 0.164	0.050 ± 0.150	0.055 ± 0.135	0.020 ± 0.152	0.051 ± 0.156
	許容値と比較する漏洩率 ^{**} (Ltm)	0.206	0.203	0.200	0.190	0.172	0.208

* 温度補正のみ行なった数値で、1次アルゴンガス系等の補正漏洩率を加えていない値

** 95%信頼限界を加えた上限値

表 5.3 格納容器局部漏洩率試験結果の比較

Table 5.3 Comparison of Local Leak Rate Test Results of Joyo

(単位: %/day)

時 期 項 目		(ナトリウム注入後第1回)	第 1 回 定 檢 (ナトリウム注入後第2回)	第 3 回 定 檢 (ナトリウム注入後第3回)
局 部 漏 洩 率	B種 合計*	0.00704 ± 0.00660	0.00745 ± 0.00026	0.00219 ± 0.00002
	C種 合計**	0.00117 ± 0.00386	0.00403 ± 0.00028	0.00512 ± 0.00045
	B, C種 合計	0.00821 ± 0.01046	0.01148 ± 0.00053	0.00731 ± 0.00047
	許容値と比較する漏 洩率 (Ltm)	0.01867	0.01201	0.00778

* B種対象箇所 合計 34箇所

- 所員用エアロック, 非常用エアロック
- 機器搬出入口
- トランスファロータ
- ケーブルペネットレーション
- 配管貫通部 (シール部が溶接構造のみのもの)

** C種試験対象箇所 合計 26箇所

- 隔離弁
- 真空破壊弁

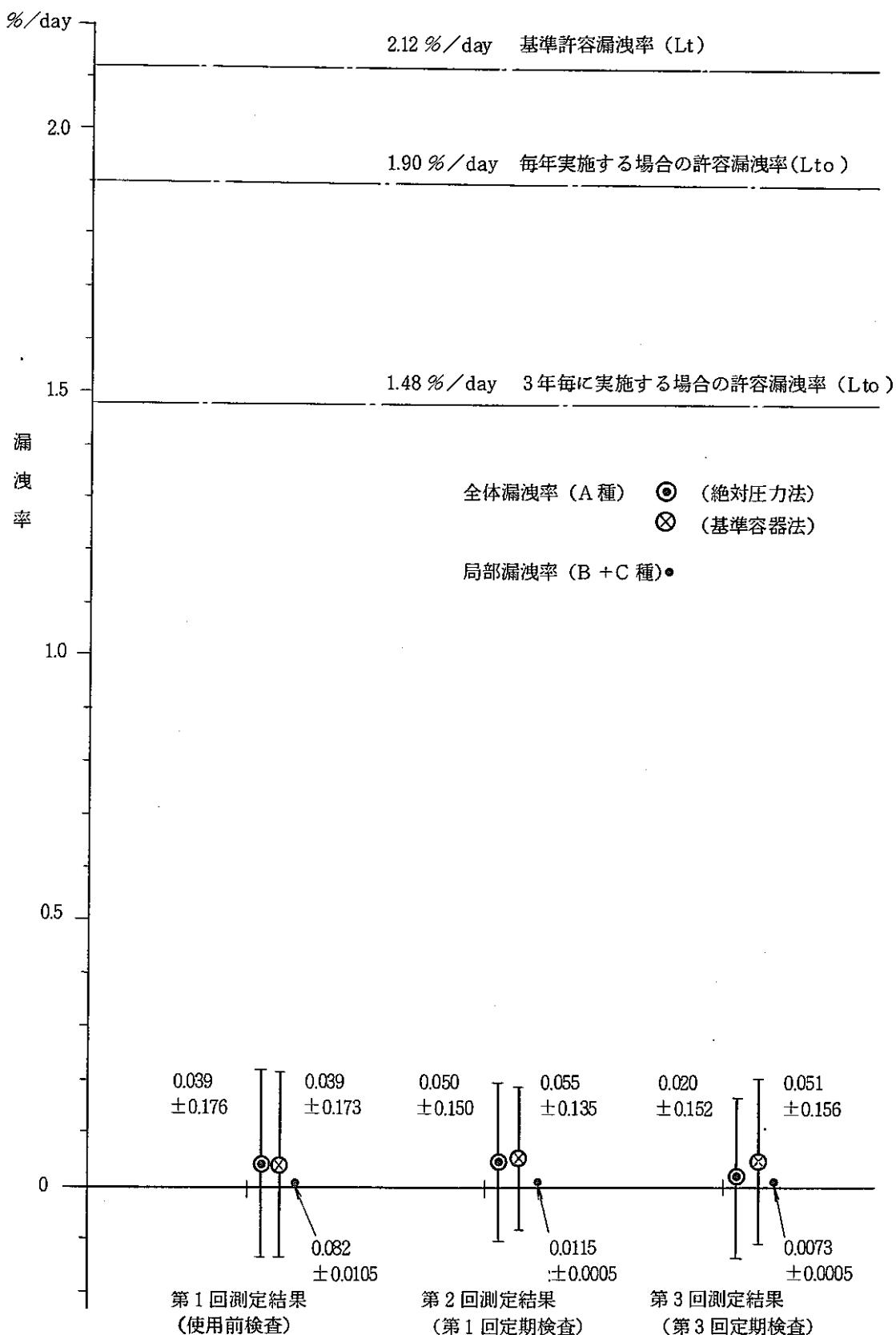


図 5.2. 漏洩率測定結果

Fig. 5.2 Integrated Leak Rate Test Result

5.5 自動計測法と手動計測法の比較

全体漏洩率試験の測定計器および測定の方法については、測定の必要となる圧力、温度、露点温度のうち、圧力にあってはマノメータ（大気圧、格納容器内圧力、格納容器と基準容器との差圧）の目視による読み取り計測を温度および露点温度にあっては測温抵抗体、Dewcel 温度検出器を用いた自動計測としたが、第2回 Na 注入後の測定からは比較参考を目的として圧力測定を圧力伝送器による自動計測に代え、すべての測定を自動とした全体漏洩率測定を並行して実施した。自動測定の結果を Fig. 5.3 (第2回目) , Fig. 5.4 (第3回目) に、第2回目の手動測定の結果を Fig. 5.5 にそれぞれ示す。また、自動計測に用いた測定計器の仕様を Table 5.4 に示す。

表 5.4 自動計測に用いた測定計器

Table 5.4 Specification of Measuring Devices by Automatic Measurement

計器名称	測定項目	測定範囲	測定精度	数量
1. 気圧発信器	大気圧	930~1050 mb	JIS 0.5級	1
2. 圧力伝送器	格納容器内圧力	0~2 kg/cm ² ·g	JIS 0.5級	1
3. 電子式差圧伝送器	格納容器と基準容器との差圧	-50~+150 mmAq	JIS 0.5級	1

目視による読み取り計測の場合、格納容器内温度の変化が十分に補正出来ず、%漏洩量の変化に温度変化の影響が現われ、温度変化の増減に追従した%漏洩量の変化がみられたが、自動計測にあっては今回の基準容器法の場合を除いて、いずれも温度変化が完全に補正され、極めて良好なデータを示している。読み取り計測と自動計測の%漏洩率に差異がみられ、しかも自動計測の場合が高目の結果を示す傾向がみられるが、これは結果的に温度変化を完全に補正したことによると思われる。

これらの結果から、自動計測法の有効性が実証されたものと考えられるが、更にデータを蓄積することによって将来は自動計測法のみの測定系で漏洩率測定を実施することを検討すべきである。

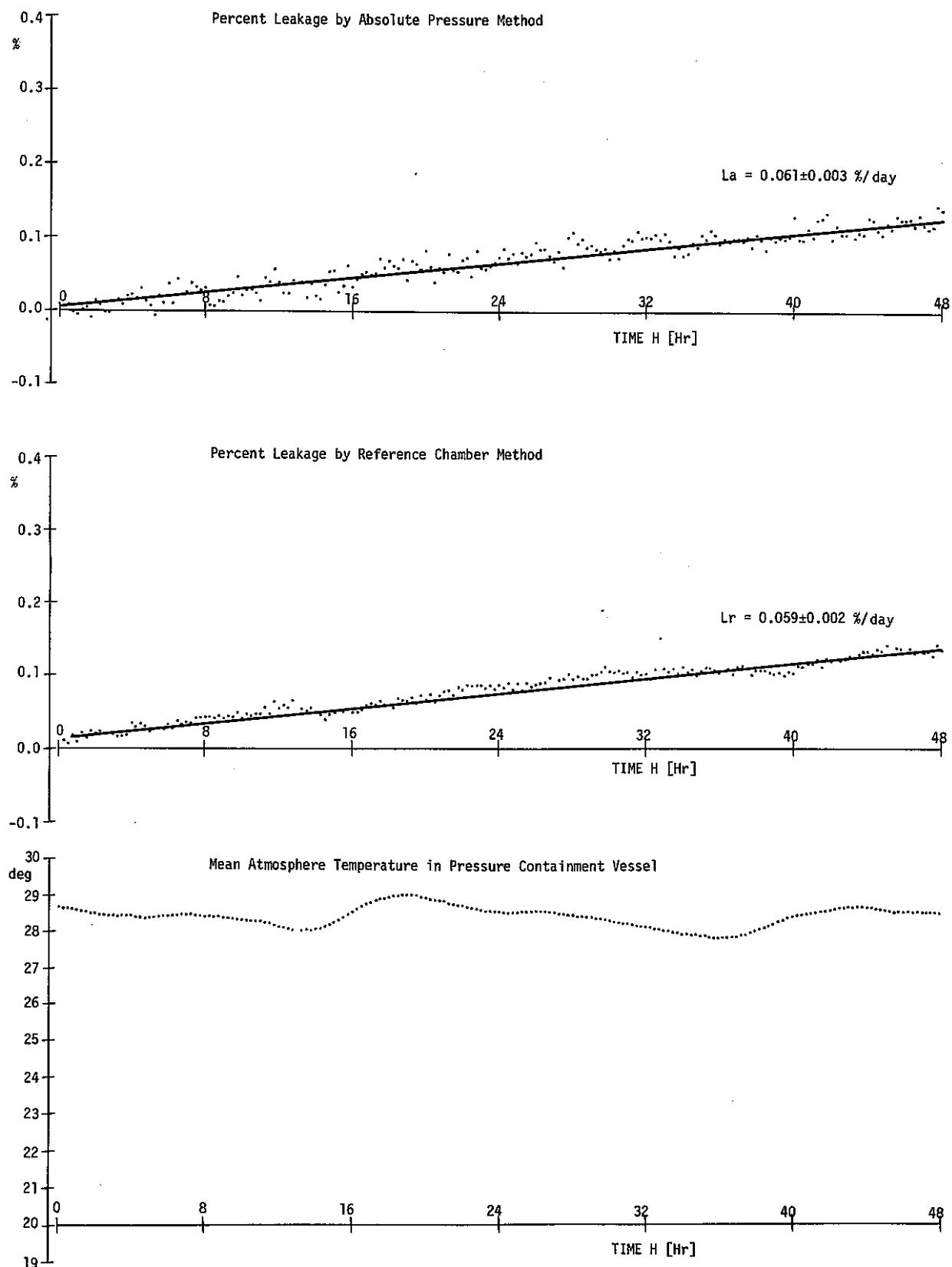


図 5.3 格納容器全体漏洩率試験結果 (Na 注入後第2回：自動計測による結果)

Fig. 5.3 Test Results of the 2nd Joyo Integrated Leak Rate Test
Measured Automatically

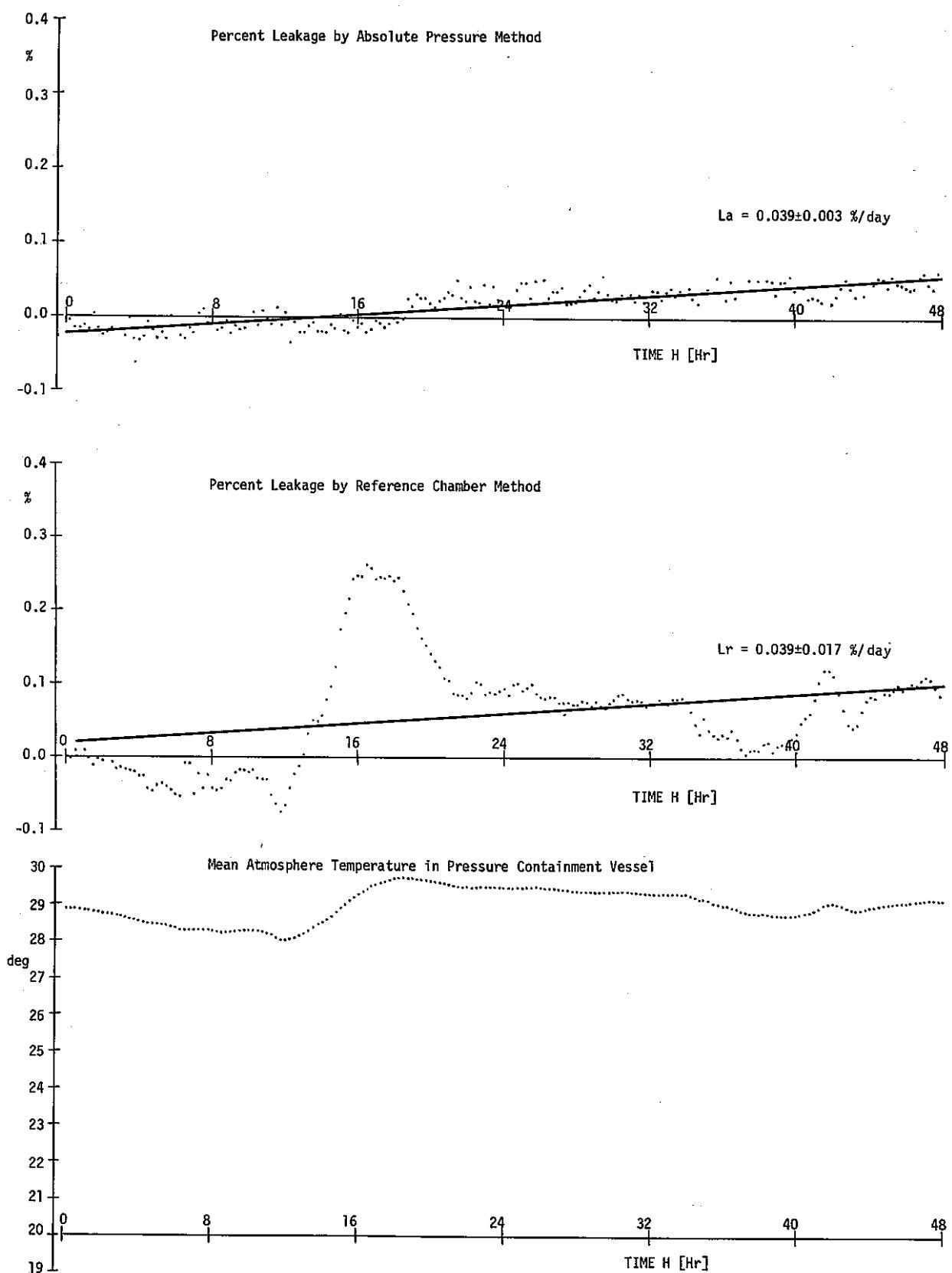


図 5.4 格納容器全体漏洩率試験結果 (Na 注入後第 3 回: 自動計測による結果)

Fig. 5.4 Test Results of the 3rd Joyo Integrated Leak Rate Test
Measured Automatically

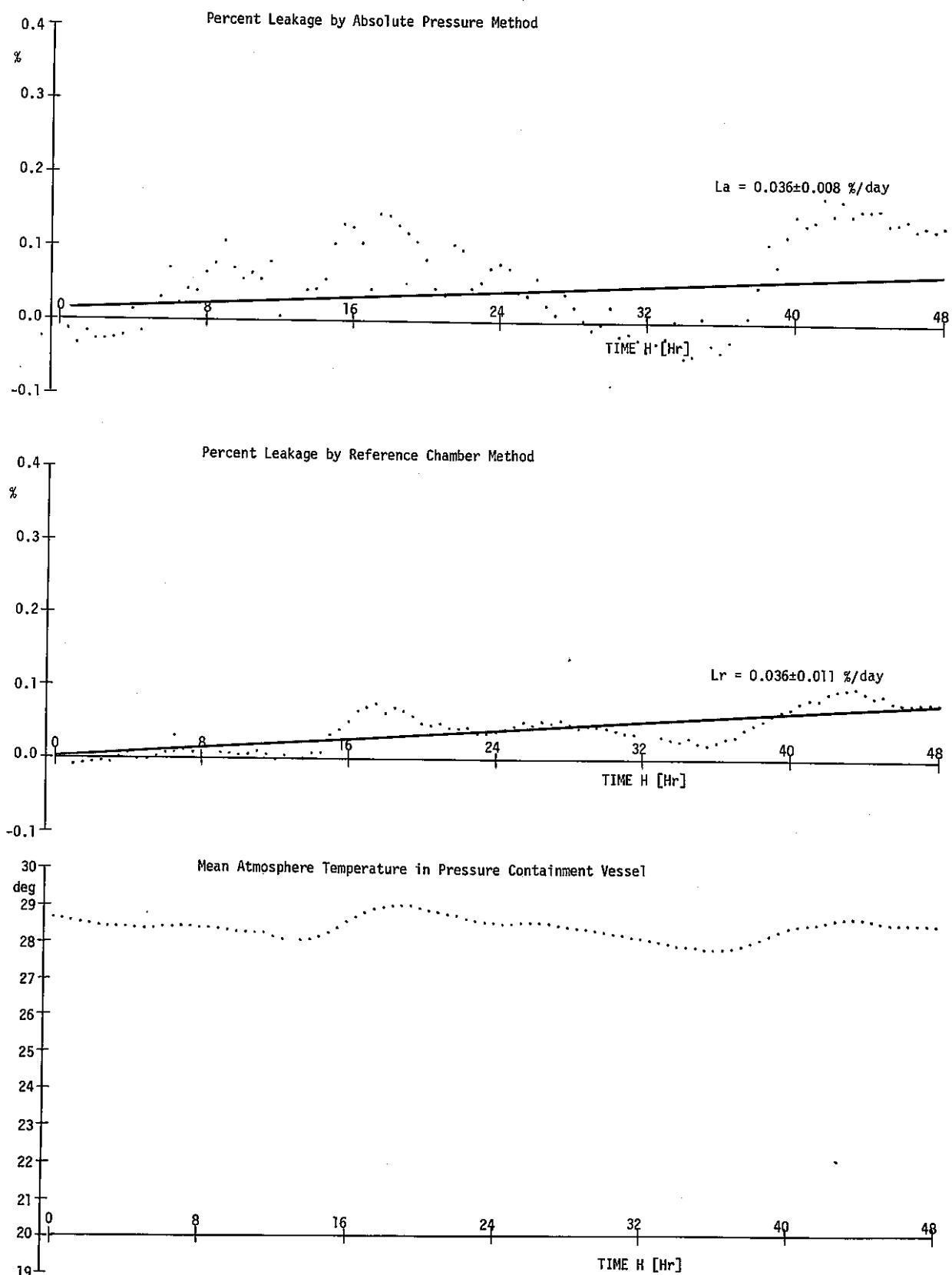


図 5.5 格納容器全体漏洩率試験結果 (Na 注入後第 2 回: 手動計測による結果)

Fig. 5.5 Test Results of the 2nd Joyo Integrated Leak Rate Test

5.6 振正誤差の取扱いについて

Table 5.2 に示すように、Na 注入後の漏洩率測定結果における補正誤差のうち、その他の補正誤差として $\pm 0.114 \sim \pm 0.116$ を計上している。この内訳は① 計器配置の不適性、② 基準容器の漏洩、③ 計算式簡略化、④ 基準容器連通管の温度測定不適性、⑤ 蒸気圧の数式化によるもの、⑥ 油比重の数式化によるもの、⑦ ダンプタンクの切離しによるもの、および⑧ 遮蔽コンクリート冷却系の試験時と事故時の差異によるものとからなっているが、許容漏洩率が十分に大きいため安全側にすべて補正誤差として計上した。しかしながらこのうち、①～⑥の誤差は定差として扱うべきものであり、軽水炉等では JEAC 4203 の考えに従い、誤差としては計上していない。また、⑧についてはオーダー的に 1 衔小さいものであり無視でき、結果的には⑦が問題となる。これまでの計測ではダンプタンクの温度変化を嫌って切離した状態で測定し、これによる補正を誤差として考慮した。しかしながら、⑦による誤差は本来全く考慮する必要のないものであることから、今後の漏洩率試験においては、その他の補正誤差は無視するのが妥当である。

6. 結 言

第3回定期点検の一環として、(1) 得られた測定精度が許容漏洩率を満足することを確認し、(2) 将来の格納容器漏洩率試験の実施頻度を1回／1年から3回／10年にするための必要なデータを得ること、および(3) 絶対圧力法と基準容器法の最終的な比較検討を行うためのデータを得ることを目的とした第3回Na注入後格納容器漏洩率試験を実施した。

得られた結果は次のようにまとめられる。

- (1) 絶対圧力法および基準容器法によって得られたみかけの漏洩率はそれぞれ $0.13 \pm 0.010\%/\text{day}$, $0.044 \pm 0.014\%/\text{day}$, 補正漏洩率を含めた漏洩率の上限は $0.172\%/\text{day}$, $0.208\%/\text{day}$ と許容漏洩率を十分満足するものであった。
- (2) 今回を含めた3回の測定結果から、得られた漏洩率は極めて再現性の良いものであり、また経年劣化の徴候も見られず、第4回定期検査以降のひいては高速炉の格納容器漏洩率試験の実施頻度は3回／10年が妥当なものであることが結論づけられた。
- (3) 絶対圧力法と基準容器法との優劣の判断は困難であるが、基準容器法による試験の計画、基準容器やその配管系の製作、検査およびその他試験準備の経験からは基準容器法の場合は多くの労力を必要とするため、今後の試験方法としては絶対圧力法によってのみ実施すべきである。
- (4) 水蒸気分圧を無視した場合の、みかけの漏洩率は必ずしも妥当なものとは言えず現時点では露点計を省略することはできない。
- (5) 第2回および第3回目の漏洩率試験において並行して測定した完全自動計測法による漏洩量は温度変化が完全に補正され、極めて良好なデータを示している。従って、今後は更にデータの蓄積を図り、完全自動計測法を採用する方向で検討すべきである。
- (6) 今後の漏洩率試験においては、その他の補正誤差は計上しないのが妥当である。

7. 謝 辞

本試験を遂行するに当って御指導頂いた谷山技術課長、漏洩率測定班、弁・タップ等の漏洩チェック班として協力して頂いた原子炉第二課の諸氏、および試験条件づくりに奮闘して頂いた原子炉第一課運転直の諸氏に感謝の意を表する。

8. 参 考 資 料

- (1) 田村, 他: PNC SN 941 78-136 高速実験炉「常陽」格納容器漏洩率試験に関する試験基準 1978年8月
- (2) 電気技術基準調査委員会発行, JEAC 4203-1974, 原子炉格納容器の漏えい試験
- (3) 山口富夫, 他「原子炉格納容器漏洩率測定精度の実験的研究—絶対圧力法による漏洩率試験」
- (4) 日本電気協会電気技術指針 JEAG 4602-1972 原子炉冷却圧力バウンダリ, 格納容器バウンダリの定義

9. 付 錄

9.1 液体金属冷却高速増殖炉施設の原子炉格納容器の漏洩試験（案）

原子炉格納容器の漏洩試験については JEAC 4203-1974において熱出力 100 MW以上の軽水型原子力発電所に施設する格納容器を対象に試験標準方案が規程されている。「常陽」においても JEAC 4203-1974を準用して試験を実施しているが、「常陽」におけるこれまでの経験から LMFBRにおける格納容器漏えい試験の試験標準方案（案）としてのあり方を以下に提案する。

液体金属冷却高速増殖炉施設の原子 炉格納容器の漏えい試験（案）

1. 適用範囲（解説 1）

この規程は液体金属冷却高速増殖炉施設の格納容器バウンダリの漏洩試験に適用する。ここで、
格納容器バウンダリとは、日本電気協会電気技術指針 JEAG 4602-1972 「原子炉冷却材圧力バ
ウンダリの定義」でいう「格納容器バウンダリ」である。

2. 試験種別

漏洩試験は、次の3種類とする。

(1) A種試験

格納容器バウンダリ全体を加圧して行なう全体漏洩率試験

(2) B種試験（解説 2）

格納容器バウンダリを構成するシール部又は貫通部を個々にまたはグループごとに加圧して行
なう局部漏洩試験。

(3) C種試験（解説 3）

原子炉格納容器隔離弁漏洩率試験

3. A種試験

3.1 試験前の必要条件（解説 4）

- (1) JEAG 4602-1972において2通りの格納容器バウンダリが示されている場合には原子炉格
納容器の外側へ広くなるように決めるものとする。
- (2) 格納容器隔離弁の閉鎖は原則として、事前に操作したり、調整したりすることなく、かつ通
常の作動方式により閉鎖しなければならない。ただし、通常の作動方式によって、閉鎖すると
3.1.(1)の範囲を狭める場合は、出来るだけ3.1.(1)の範囲を狭めないように原子炉格納容器に近
い側（または内側）の隔離弁を開き、遠い側（または外側）の隔離弁を閉鎖するものとする。
- (3) 使用前漏洩率試験の場合を除き、原則として、その直前に漏洩の補修を行なってはならない。
- (4) 原子炉カバーガスバウンダリ或いは液体金属ナトリウムを内含する系統であって、試験期間
中に格納容器雰囲気にペントできない部分はこれを隔離し、A種試験と並行して別に漏洩率測
定が可能なよう測定系を配置する。

3.2 A種試験の方法

- (1) A種試験は原則として常温の空気または窒素ガスで格納容器バウンダリを3.4に定める試験

圧力に加圧して行なう。

- (2) A種試験は本規程別冊標準方案に従って絶対圧力法または基準容器法で行なうか、あるいは、これらと同等以上であることが証明された方法で行なわなければならない（解説5）。
- また、定期漏洩率試験は、使用前漏洩率試験で採用した試験方法で行なうことが望ましい。
- (3) A種試験のために選定した漏洩率試験方法は、計器計画のときの計器誤差の全ての和が3.6に定める許容漏洩率の大きさよりも十分小さい値におさまるものでなければならない。（解説6）
- (4) A種試験の測定継続時間は24時間以下の時間で十分であることが実証される場合を除いて原則として24時間以上でなければならない。
- (5) 測定は少くとも1時間毎に行ない、測定開始基準時刻から各測定時刻までの漏洩気体重量と格納容器バウンダリ内気体重量の比を%であらわした値（以下、%漏洩量という。）を算出し、各測定時刻迄毎の%漏洩量に線型最小二乗法を適用して平均漏洩率およびその95%の信頼限度を算定する。（解説7）
- (6) 原子炉冷却材圧力バウンダリ等、隔離した部分についても平均漏洩率および測定誤差（または95%の信頼限界）を算定し、(5)で算定した全体漏洩率の妥当性評価または漏洩率の補正を行う。（解説7-1）

3.3 合格基準

3.2に定める試験方法によって得られた平均漏洩率の95%信頼限界（上の限界）（補正が必要な場合には補正後の95%信頼限界）が3.6に定める許容漏洩率より小さい場合を合格とする。

3.4 試験圧力（解説8）

A種試験は、過渡解析によって得られたピーク圧力 P_p または設計圧力 P_d で実施する（以下ピーク圧力試験という）。あるいは、圧力と漏洩率の関係が漏洩率試験によって確認されている格納容器においてはこれよりも低い圧力、ただしピーク圧力 P_p の50%以上の圧力 P_t で実施してもよい（以下、低圧試験という。）毎回の試験は同じ圧力で実施することが望ましい。

低圧試験を行なう場合は、使用前漏洩率試験に際して（ピーク圧力試験から低圧試験へ変更する場合は低圧試験による第一回目の漏洩率試験に際して）ピーク圧力試験をあわせて実施し、圧力と漏洩率の関係を求め3.6(1)により低圧試験の許容漏洩率を求めなければならない。

3.5 A種試験の実施

使用前漏洩率試験は、格納容器本体の建設が完了し、かつ格納容器を貫通またはシールする格納容器バウンダリ構成部の取付け完了後であって、発電所の運転開始前に行なうものとし、定期漏洩率試験は運転開始後、定期的に行なうものとする。試験の結果が3.3に定める合格基準を満

足しない場合は満足するまで補修と再試験を行なわなければならない。ただし、定期漏洩率試験においては補修を行なった部分について圧力 P_p (または P_d) で、その前後に局部漏洩試験を行ない、その結果全体としての漏洩率の95%の信頼限界(上の限界)が3.6に定める許容漏洩率以下に減少したと判断される場合は、再試験(A種試験)を行なわなくてもよい。

3.6 A種試験の許容漏洩率(解説9, 10, 11, 12)

劣化による漏洩の増加を考慮して各試験圧力に対して以下に定める許容漏洩率 L_{to} , L_{po} , L_{do} をA種試験の許容漏洩率とする。

(1) 低圧試験

圧力 P_t における許容漏洩率 L_{to} は、次の計算式により計算する。(解説9, 10)

$$L_t = \begin{cases} L_p (P_t / P_p)^{\frac{1}{2}} \text{ (または } L_d (P_t / P_d)^{\frac{1}{2}} \text{)} & \dots L_{tm} / L_{pm} \text{ (または } L_{tm} / L_{dm} \text{)} \\ & > 0.7 \text{ の場合} \\ L_p (L_{tm} / L_{pm}) \text{ (または } L_d (L_{tm} / L_{dm}) \text{)} & \dots 0.7 > L_{tm} / L_{pm} \text{ (または } L_{tm} / L_{dm} \text{)} > 0.3 \text{ の場合} \end{cases}$$

L_{tm} / L_{pm} (または L_{tm} / L_{dm}) が0.3より小さい場合は十分検討の上 L_t を定めるものとする。

$$L_{to} = L_t (1 - A_1)$$

L_d は、原子炉設置許可申請書および工事計画認可申請書に記載される設計圧力 P_d における許容漏洩率

L_p は、試験圧力 P_p における試験条件下での許容漏洩率

L_t は、試験圧力 P_t における試験条件下での許容漏洩率

L_{to} は、試験圧力 P_t における試験条件下での劣化による漏洩増加を考慮した許容漏洩率

L_{pm} (または L_{dm})、 L_{tm} は、使用前漏洩率試験あるいは第1回目の低圧試験においてそれぞれ圧力 P_p (または P_d) および P_t で測定された平均漏洩率

A_1 は、格納容器の劣化による漏洩増加のための見込む余裕係数。その他は次の試験までの計画間隔によって異なる。(解説12)

(2) ピーク圧力試験

圧力 P_p (または P_d) における許容漏洩率 L_{po} (または L_{do}) は、次の計算式により計算する。

$$L_p = L_d (P_p / P_d)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{解説9})$$

$$L_{po} = L_p (1 - A_1)$$

$$L_{do} = L_d (1 - A_1)$$

L_d は、原子炉設置許可申請書および工事計画認可申請書に記載される設計圧力 P_d に

おける許容漏洩率

L_p は、試験圧力 P_p における試験条件下での許容漏洩率

L_{p_0} は、試験圧力 P_p における試験条件下での劣化による漏洩の増加を考慮した許容漏洩率

L_{d_0} は、試験圧力 P_d における試験条件下での劣化による漏洩の増加を考慮した許容漏洩率

A_1 は、格納容器の劣化による漏洩増加のために見込む余裕係数。その値は次の試験までの計画間隔によって異なる。（解説12）

4. B種試験

4.1 試験方法

B種試験は、次の方法などによるものとする。

- (1) 格納容器バウンダリ構成要素の一部として設けられたテスト・チェンバを加圧してハロゲン検出法（あるいは他の同等な方法）により漏洩を検出する。
- (2) 格納容器バウンダリ構成要素の一部として設けられたテスト・チェンバを加圧して、その圧力減少割合を測定する。
- (3) 格納容器貫通部あるいはシールを個々にまたはグループ毎に加圧し得る恒久的設備により漏洩率を連続監視する。

4.2 試験圧力

すべてのB種試験は計算ピーク圧力 P_p 以上の圧力で、格納容器バウンダリ構成要素を個々にあるいはグループ毎に局部的に気体で加圧することにより実施しなければならない。

4.3 合格基準

B種およびC種試験を受けなければならない全構成要素の総合漏洩率は L_{p_0} の 60 % を越えてはならない。（解説13）

5. C種試験

5.1 試験方法

C種試験は、B種試験に適用されるいずれかの方法で局部的加圧（あるいは他の同等な方法）により実施しなければならない。

5.2 試験圧力

- (1) 水、窒素ガス等の流体によるシール系をもたない格納容器隔離弁は空気または窒素ガスで計

算ピーコク圧力 P_p 以上に加圧して実施しなければならない。

- (2) 流体によるシール系を備えた格納容器隔離弁は、その流体で圧力 $1.1 P_p$ 以上に加圧して実施しなければならない。

5.3 合格基準

B種およびC種試験を受けなければならない全構成要素の総合漏洩率は L_{p_0} の60%を越えてはならない。ただし、流体によるシール系を備えた格納容器隔離弁の漏洩率はシール系が健全であることが確認されている場合には総合漏洩率に加算しなくてよい。（解説13）

6. 格納容器定期漏洩率試験のスケジュール（解説14）

6.1 A種試験のスケジュール（解説15）

A種試験は、3回／10年の頻度で実施する。

6.2 B種試験のスケジュール（解説16）

B種試験（エアロックに対するものを除く。）を行なうことができる場合は、プラントの定期検査毎に行なう。//エアロックは6箇月毎に試験しなければならない。また、エアロックが開かれた場合には、その都度、試験しなければならない。

6.3 C種試験のスケジュール（解説16）

C種試験を行なうことができる場合は、プラントの定期検査毎に行なう。

7. 特殊な試験に対する要求事項

7.1 補修および改修

7.1.1 一般補修（解説17）

格納容器バウンダリ構成部に漏洩が発見され、下記の7.1.2に該当しない補修を行なう場合には、漏洩の減少量が判断できるよう、その前後で局部漏洩試験を行なわなければならない。

7.1.2 大きな改修および取替（解説18）

使用前試験（A種試験）後において、格納容器バウンダリ構成部の大きな改修または取替えを行なった場合には、A種試験をあらためて行なわなければならない。

A種試験を3.4の低圧試験によって行なう場合にはあらためて圧力と漏洩率の関係を求めなければならない。

合格基準は3.3による。これを満足しない場合は、満足するまで補修と再試験（A種試験）を行なわなければならない。ただし、改修または取替えを行なった部分について、その前後で局部

漏洩試験を行ない、その結果、全体として漏洩率が 3.6 の許容漏洩率以下に減少したと判断される場合は再試験（A種試験）を行なわなくてもよい。

7.2 複数容器の格納容器〃

相互に連絡された複数容器からなる格納容器は A種試験を行なう場合には単一の格納容器みなす。

7.3 多重漏洩障壁の格納容器

漏洩に対して幾つかの障壁を持つ一次原子炉格納容器の A種試験にあたっては、各障壁の測定漏洩率が許容漏洩率を越えないことを個々に実証しなければならない。

8. 検査および試験の報告

8.1 格納容器の検査

格納容器の構造上の健全性あるいは気密性のいずれかに影響を与える恐れのある構造上の劣化が起っていないかどうかを調べるために、格納容器バウンダリ構成要素の重要な部分の詳細な目視検査および接近可能な内面、外面の一般的な検査をプラントの定期検査毎に A種試験の前に実施しなければならない。もし、重大な構造上の劣化が発見された場合は、格納容器の建設時に適用した仕様書に規定されている補修手順、非破壊検査および試験に従って、修正措置がとられるまで、A種試験を実施してはならない。このような構造上の劣化および、とられた修正措置は A種試験の報告の一部として報告されなければならない。

8.2 試験結果の報告

A種試験の結果は本規程別冊、標準方案による報告書の形式に従って、報告しなければならない。

定期漏洩率試験については、B種、C種試験の結果も報告書で報告しなければならない。3.3, 4.3, 5.3 の合格基準をそれぞれ満足しなかった場合には、その結果を別の要約書で報告しなければならない。この要約書には試験データの解析および合格基準を満足しなかった原因となるような格納容器バウンダリ構成要素の構造上の状態を記載しなければならない。

[解説]

1. 適用範囲（解説 1）

本規程および標準方案において格納容器バウンダリを格納容器と略称する場合もある。

2. 試験種別

(2) B 種試験（解説 2）

B 種試験は、格納容器バウンダリを形成する格納容器貫通部の局部的漏洩検出あるいは局部的漏洩量測定を目的とするものであり、下記の貫通部を対象とする。

- (1) シール、ガスケット、密封材を使用するペネトレーション、配管用ペネトレーションでベローを使用しているもの、電気配線用ペネトレーションでフレキシブル金属シールを使用しているもの。
- (2) エアロック扉のシール。（エアロックの操作部の貫通部で格納容器バウンダリを形成するものを含む）
- (3) 弾力性のあるシール又はガスケットを使用している扉。（シール溶接してある扉を除く）
- (4) 上記 1, 2, 3 以外で使用中に漏洩が進展する可能性のある格納容器バウンダリ構成要素。

(3) C 種試験（解説 3）

C 種試験は、格納容器隔離弁の漏洩率を測定する試験であり、下記の隔離弁を対象とする。

- (1) 運転中、格納容器内外の雰囲気に開放されることのある隔離弁（格納容器ページ系隔離弁、格納容器外部との間の真空逃し弁等）。この範疇に入るものは計装系の弁も対象とする。
- (2) 隔離弁閉鎖信号によって自動的に閉じる隔離弁
- (3) 格納容器の設計条件を定めるに至った想定事故等の事故時あるいは事故後に作動する必要のある隔離弁（格納容器雰囲気調整系の隔離弁等）。

3. A 種試験

3.1 試験前の必要条件（解説 4）

A 種試験は、格納容器の設計条件を定めるに至った想定事故等の事故後の状態を模擬した状態および範囲に対して行なわなければならない。

従って原則的には、

- (1) 格納容器の設計条件を定めるに至った想定事故等の事故後の状態で自動的に閉となる隔離弁は閉め、開のまま隔離弁あるいは工学的安全施設が作動するために開となる隔離弁は開けてお

かなければならない。

(2) 格納容器隔離弁の閉鎖は事前に操作したり調整したりすることなく、通常の作動方式により閉鎖しなければならない。

(3) 使用前試験の場合を除き、原則としてその直前に漏洩の補修を行なってはならない。

しかしながら、1次系ナトリウムを溶融させた状態で試験する場合にはカバーガスの供給、圧力制御が必要であり、また溶融保持のための高温加熱（例：約200°C）に伴う放熱除去のため霧囲気調整系の常時運転が必要となる等、事故時閉の隔離弁であっても試験中開とし、それらの機能を満足させる必要が生じる（1次カバーガス系、格納容器の霧囲気調整系等）。それらの系統にあっては上記(1)に係わらず隔離弁を開として試験を実施するが、隔離弁を開としたことによる全体漏洩率への影響は適切な方法で評価する（解説7-1参照）。

以上のことからA種試験の範囲は、日本電気協会電気技術指針 JEAG 4602-1972 「原子炉冷圧力バウンダリ、格納容器バウンダリの定義」の「格納容器バウンダリ」とする。ただし、格納容器バウンダリが狭くならないように、格納容器隔離弁がシリーズに2個設けられている場合は、格納容器に近い方の（あるいは格納容器の内側の）隔離弁は原則として、格納容器から遠い方の（あるいは格納容器の外側の）隔離弁だけを閉鎖するものとする（单一故障を想定）。

次に上記(3)について述べると、定期試験の直前に漏洩の補修を行なわないことを原則としているが、これは劣化による漏洩の増加状態を把握し、第2回以降の定期試験の時期を決定するための参考とするものである。したがって、その前後で試験を行なうことなどにより、補修による漏洩の減少量が判断できる場合には補修を行なってもよい。

3.2 A種試験の方法（解説5,6,7-1）

（解説5） 絶対圧力法と基準容器法について

格納容器の全体漏洩率試験（A種試験）は原則として絶対圧力法または基準容器法で行なうことになっている。いずれも格納容器を加圧し、その圧力変化を測定して漏洩率を求めるのであるが、絶対圧力法では絶対圧力の変化を測定し、基準容器法では格納容器内に無漏洩の基準容器を配置し、格納容器と基準容器の差圧の変化を測定する。なお、温度と水蒸気圧を測定し、その変化の及ぼす影響を補正する。基準容器には乾燥空気または乾燥窒素を用いる。

格納容器の一部または全体が屋外に露出している格納容器では格納容器内の温度分布が複雑で、変化が激しいので、多数の基準容器を配置しなければならず、また基準容器内の温度が格納容器の温度に十分追従できないので、基準容器法よりも絶対圧力法の方が適している。格納容器が建物内にある場合は温度分布が比較的単純でほとんど変化しないので、温度測定点も基準容器の数も少くてよいので、基準容器法、絶対圧力法のいずれも使用できるが、同程度の計器を使用する場合基準容器法のほうが誤差が小さい。

以下に絶対圧力法と基準容器法の基本式を比較のために示す。なお、格納容器、基準容器の体

積変化は無視する。基準容器内平均温度は格納容器内平均温度に等しいとする。

(記号) P : 格納容器内の空気分圧 (絶対圧)

p : 基準容器の内圧 (絶対圧)

V : 格納容器の容積

v : 基準容器の容積

T : 格納容器内平均温度 (= 基準容器内平均温度)

N : 格納容器内気体のモル数

n : 基準容器内気体のモル数

R : 気体常数

添字 1 は試験開始時, 2 は一定時間経過後を示す。△はこの間の変化分を示す。 $(\Delta N = N_2 - N_1, \Delta P = P_2 - P_1, \dots)$

(なお、標準方案では上記と異なる記号を用いている場合がある。)

(絶対圧力法)

$PV = NRT$ から

$$\frac{\Delta N}{N_1} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{P_2}{P_1} - 1 = \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{\Delta P}{P_1} - \frac{\Delta T}{T_1} \right) \dots \quad (I)$$

(基準容器法)

$$\begin{cases} PV = NRT, \quad Pv = nRT \\ (P - p) = \frac{N}{V} - \frac{n}{v} RT \quad \text{から} \end{cases}$$

$$\frac{\Delta N}{N_1} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{(P - p)_2}{P_1} - \frac{(P - p)_1}{P_1} = \frac{T_1}{T_2} \left[\frac{\Delta(P - p)}{P_1} - \frac{(P - p)_1}{P_1} \cdot \frac{\Delta T}{T_1} \right] \dots \quad (II)$$

試験開始時に $P_1 = p_1$ としておけば $(P - p)_1 = 0$ であり、また、ほぼ等しくしておくだけでも $(P - p)_1 / P_1 < 1$ である。したがって、

(I)式と(II)式の温度変化の影響を示す項を比較すると(II)式の方がはるかに小さい。しかし、元来基準容器法が温度変化の小さい格納容器に採用されることを考えれば温度変化の影響の項を小さくしてもこの効果は小さい。むしろ、温度変化の激しい格納容器に対してこそ基準容器法が有利に見えるが、基準容器内温度に追従できないので基準容器法は適していない。基準容器法の長所は絶対圧力 P_0 变化を測定するのではなく、差圧 $(P - p)$ の変化を測定するので、測定精度を上げることが比較的容易な点にある。

(解説 6) 本規程別冊標準方案に従って試験を行なう場合は、誤差は十分小さいと考えられるので、特に誤差評価を行なわなくてよい。

(解説 7) ここでいう「平均漏洩率の95%の信頼限度」とは本規程別冊標準方案 2・3 節に示す \bar{L} すなわち $\bar{L} = 24 \{b + t(\phi, \alpha)\sigma\} (\%/\text{day})$ である。上の限界とは $24 \{b + t(\phi, \alpha)\}$

σ } (%/day)である。

(解説 7-1) 原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離、1次カバーガス系あるいは格納容器雰囲気調整系の隔離弁の開放等、試験状態が事故状態を模擬していない状態で試験する場合にあっては、得られる A 種試験結果を基に事故状態における全体漏洩率評価が可能なように必要な部分の漏洩率試験と並行してまたは試験前に実施する必要がある。この場合、必要な部分の漏洩率試験は平均漏洩率及びその測定誤差が得られる方法によって適切に実施するものとし、測定結果は、A 種試験結果が事故状態における全体漏洩率を表わしていることを考慮するかまたは A 種試験結果に試験状態と事故模擬状態の差を考慮して適切に加減し全体漏洩率を得ることに用いる。

3.4 試験圧力 (解説 8)

「毎回の試験は同じ圧力で行なうことが望ましい。」とあるが、次の場合試験圧力を変更することが出来る。

- (1) 低圧試験からピーク圧力試験へ変更する場合。
- (2) ピーク圧力試験から低圧試験へ変更するために、定期漏洩率試験時に、圧力 P_p (または P_d) および P_t において、 L_{pm} (または L_{dm}) および L_{tm} を測定する場合。

3.6 A 種試験の許容漏洩率 (解説 9, 10, 11, 12)

(解説 9) A 種試験を空気以外の気体で行なう場合、および L_d から L_p を求める場合は下記の計算式により計算する。

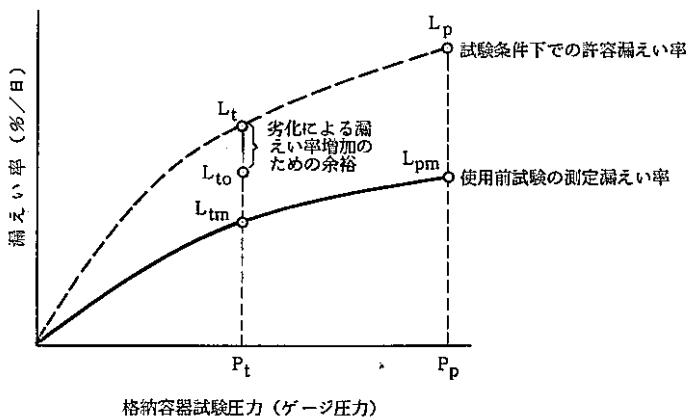
$$L_p = L_d \left(\frac{P_p}{P_d} \right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{R_p}{R_d} \right)^{\frac{1}{2}}$$

R_d は、空気ガス定数 ($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{kg}^{\circ}\text{K}$)

R_p は、試験に使用する気体ガス定数 ($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{kg}^{\circ}\text{K}$)

ここで L_d から L_p を求める場合 $L_p \propto L_d (P_p/P_d)^{\frac{1}{2}}$ が成立するとするのは、一般に $1.00 P_p \leq P_d \leq 1.15 \times 0.9 P_p$ なので、 $L_p \propto L_d (P_p/P_d)^{\frac{1}{2}}$ も $L_p \propto L_d (P_p/P_d)$ もそれほど差がないという理由による。

(解説 10) 格納容器の許容漏洩率 L_{to} 算出法図



(解説11) 日本および米国発電所における P_d , P_t , L_d , L_p , L_{tm} 等の数値例

発電所名	P_d (kg/cm ² g)	P_p (kg/cm ² g)	P_t (kg/cm ² g)	L_d (%/day)	L_{dm} (%/day)	L_{pm} (%/day)	L_{tm} (%/day)
敦賀 (定) (BWR)	4.35	2.95	1.90	0.5	—	0.168	—
美浜1号 (前) (PWR)	2.39	2.38	1.20	0.1	0.022	0.022	0.015
美浜1号 (定) (PWR)	2.39	2.38	1.20	0.1	0.05	0.05	—
美浜2号 (PWR)	2.45	2.45	1.30	0.1	0.041	0.041	0.03
福島1号 (前) (BWR)	4.35	2.6	1.83	0.5	0.19	—	0.09
福島1号 (定) (BWR)	4.35	2.6	1.83	0.5	—	—	0.20
福島1号 (BWR)	4.35	2.6	1.83	0.5	—	0.26	—
福島2号 (前) (BWR)	3.92	2.55	1.96	0.5	0.111	—	0.021
サン・オノフレ (PWR)	3.26	3.26	1.63	0.5	—	—	0.26
コネティカットヤンキ (PWR)	2.81	2.81	1.05	0.3	—	—	0.25
オイスター・クリーク (BWR)	4.36 (DW) 2.46 (SC)	2.46	1.41	1.0	—	—	$1.0 \times \frac{L_{tm}}{L_{pm}}$
ナイン・マイル・ボイ ント (BWR)	4.36 (DW) 2.46 (SC)	2.46	1.51	1.6	—	—	$1.6 \times \frac{L_{tm}}{L_{pm}}$

備考：(前) 使用前漏えい率試験

(定) 定期漏えい率試験

DW: ドライウェル

SC: サプレッションチェンバ

(解説12) A_1 はさしあたり、使用前試験または 7.1.2 に定める大きな改修もしくは取替え後の試験の場合は、次の試験までの計画間隔が 1 年のときは 0.1, 2 年のときは 0.2 とし、端数が出るときは補間により求められる数値とする。

また定期試験の場合は、その試験結果および局部漏洩試験の結果に基づいて検討し決定する。

4. B種試験

4.3 B種試験の合格基準 (解説13)

5. C種試験

5.3 C種試験の合格基準 (解説13)

C種試験を受けなければならない隔離弁のうち、次の二つの条件を同時に満足する流体によるシール系を備えた隔離弁の漏洩率は総合漏洩率に加算しなくてもよい。

- (1) その弁に関するシール流体の漏洩率が原子炉設置許可申請書および工事計画認可申請書に記載されているシール流体の漏洩率を越さないということが実証されている弁。

- (2) その隔離弁のシール系のための流体の容量が、 $1.10 P_{\rho}$ の圧力で、少なくとも30日間のシール機能を十分保証する弁。

6. 格納容器定期漏洩率試験のスケジュール（解説14）

第1回定期漏洩率試験の時期は、法律で定められるプラントの定期検査または最初の燃料取替時のいずれか早い時期に行なうことを原則とするが、第1回定期漏洩率試験以前に本文7.1.2に記載の大きな改修または取替えを行なった場合には、あらためて検討の上決定する。

6.1 A種試験のスケジュール（解説15）

軽水炉におけるこれまでの試験実績ならびに高速実験炉「常陽」における、LMFBR についても軽水炉とほぼ同様の方法で試験可能という経験から以下の方針とする。使用前漏洩率試験後、10年の使用期間毎に3回のA種試験を1組とし、各組の3回目の試験は各10年の使用期間の終りと一致させて、ほぼ等間隔で実施してもよい。但し、もし、格納容器バウンダリ構成要素の試験装置が設けられていないならば、A種試験を格納容器の使用寿命を通じて（あるいはB種およびC種試験を行なうことができるよう改修が行なわれる時点まで）、2年を越えない間隔で実施しなければならない。また、連続する2回の定期漏洩率試験において、合格基準を満足しない場合はそれ以降プラントの定期検査毎にA種試験を実施し、2回連続して合格基準を満足した時点で上述の10年毎に3回のA種試験スケジュールにもどすものとする。

6.2 B種試験のスケジュール（解説16）

6.3 C種試験のスケジュール（解説16）

A種試験を3回／10年の頻度で実施することとしたのでB種、C種試験は毎年実施すること。

7. 特殊な試験に対する要求事項

7.1.1 一般補修（解説17）

補修を行なう場合、補修による漏洩減少量が判断できるようその前後で局部漏洩試験を行なうことが望ましいとしているが、これは劣化による局部漏洩増加状態を把握し、第2回以降の定期試験の時期を決定するための参考とするものである。

7.1.2 大きな改修および取替（解説18）

ここでいう大きな改修または取替えとは、たとえば格納容器内へ大きな機器を搬入するために格納容器を開口溶接した場合、またはエア・ロックとびら設備全体を取替えた場合等をいう。

// (7.2)

9.2 液体金属高速増殖炉施設の格納容器バウンダリの定義（案）

JEAG 4602-1972「原子炉冷却材圧力バウンダリ・格納容器バウンダリの定義」を高速炉に適用した案を以下に示す。

III 格納容器バウンダリ

1. 適用範囲

ナトリウム冷却高速中性子型の発電用原子力設備に適用する。

2. 格納容器バウンダリの範囲

冷却材漏洩事故時に圧力障害となり、かつ、放射性物質の放散に対する障壁を形成するもので、次の範囲とする。

(1) 格納容器本体（貫通部ノズル、ベローズ、フルードヘッドを含む）

(2) 格納容器を貫通する配管

格納容器を貫通する配管は次の a, b, c, d, e に該当する範囲とする。

a 通常時閉、事故時閉のものは、隔離弁が格納容器の内外にある場合には、内外の隔離弁を含みそこまで（図1参照）。また隔離弁が格納容器の内側あるいは外側のいずれかにある場合には、格納容器側からみて第2隔離弁を含みそこまで（図2, 3参照）

[注1] 放射性物質の放散に対する障壁としては第1弁までで良いはずであるが、事故時に隔離弁が閉鎖する必要がある系なので隔離弁の单一故障を考え上記の範囲とする。

[注2] この指針でいう通常時とは「冷却材漏洩事故が起きる可能性のある状態」とする。

b 通常時閉、事故時閉のものは、格納容器側からみて第1隔離弁を含みそこまで（図4, 5参照）。

c 通常時閉（あるいは開）、事故時閉のものであって事故時に閉回路をつくるが、その閉回路に故障が生じた場合隔離しても差し支えない回路では格納容器からみて第1隔離弁を含みそこまで（図6, 7, 8, 9参照）。

d 格納容器の内、外、または内外で閉回路を構成する配管系については格納容器側からみて第1隔離弁を含みそこまで（図6, 7, 8, 9, 10, 11参照）。

e 通常時および事故時の双方に共用される配管系であって、格納容器の内または外で閉回路を構成し、その回路に故障が生じた場合にも隔離されず、かつ隔離されなくとも支障のないものは、格納容器からみてその閉回路のすべて（図12, 13参照）。

ここで隔離弁とは、遠隔操作の可能な弁、自動作動の電動弁および空気作動弁、逆止め弁、および事故時に容易に閉鎖可能な現場操作弁とする。

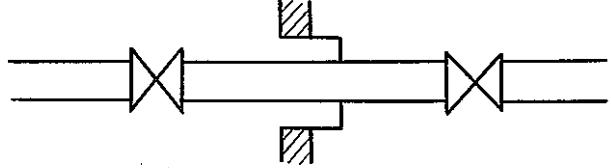
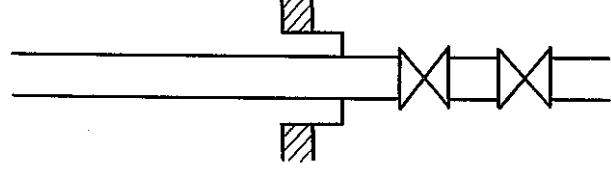
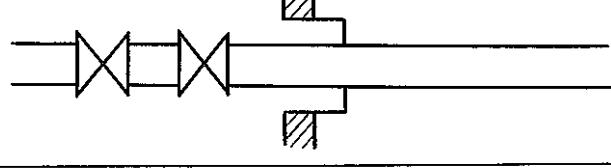
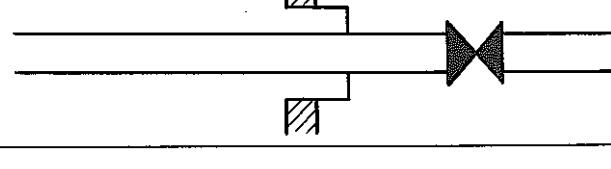
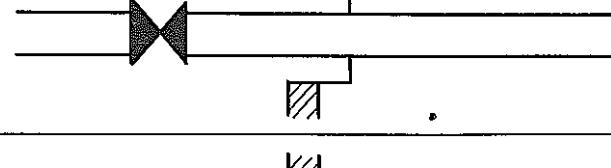
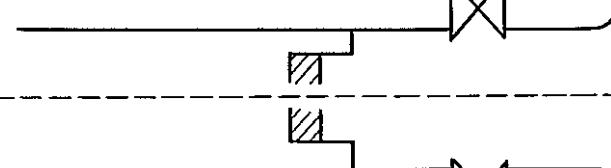
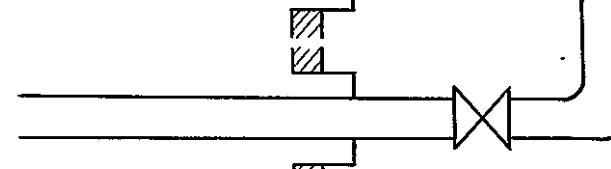
図 番	格 納 容 器 バ ウ ン ダ リ	備 考
1	(内) 	(外)
2		
3		
4		
5		
6	 	行詰り、あるいは現状の配管系

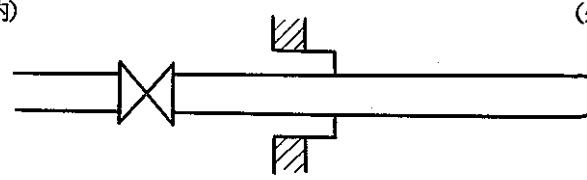
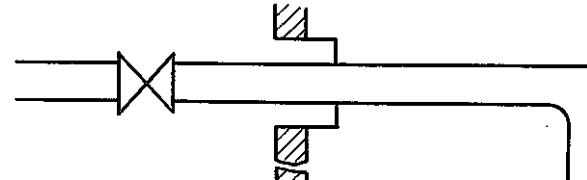
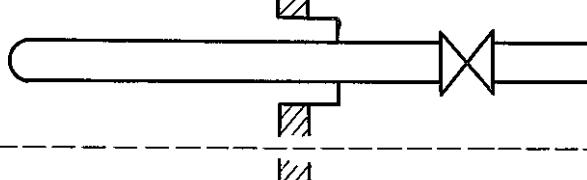
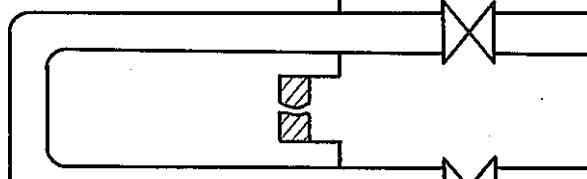
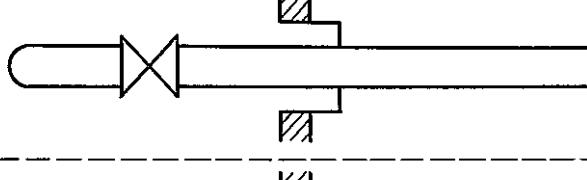
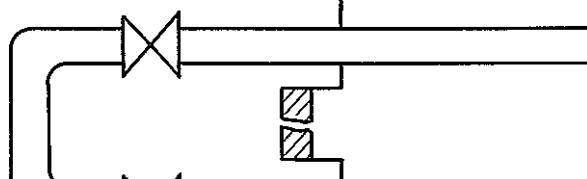
図 番	格 納 容 器 バ ウ ン ダ リ	備 考
7	(内)  (外) 	行詰り、あるいは現状の配管系
8	 	同 上
9	 	同 上

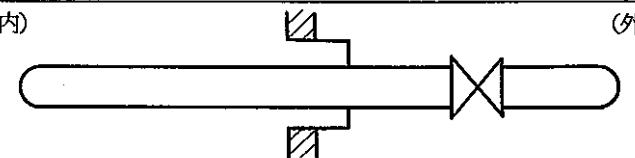
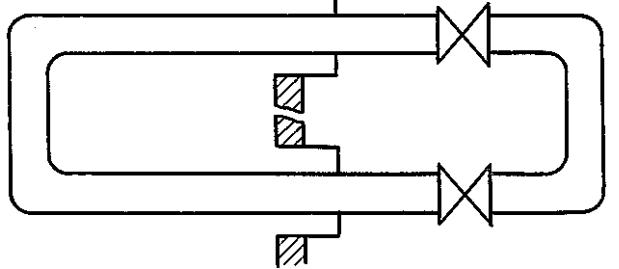
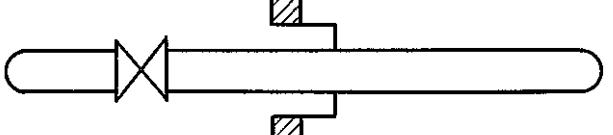
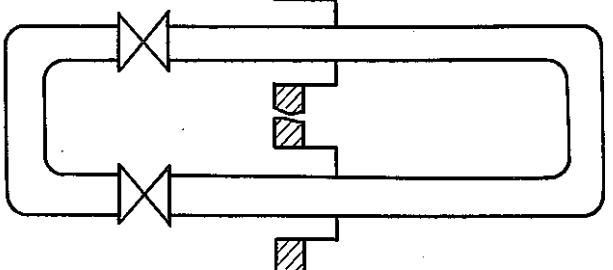
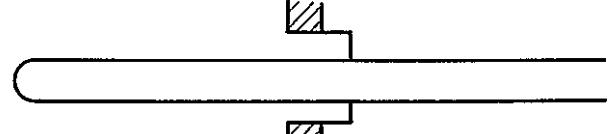
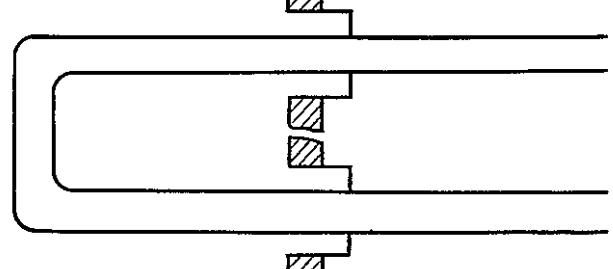
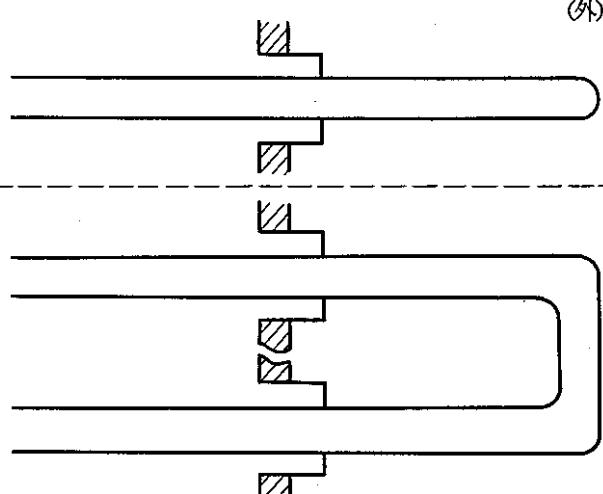
図 番	格 納 容 器 バ ウ ン ダ リ	備 考
10	(内)  (外) 	行詰り、あるいは現状の配管系
11	 	同 上
12	 	同 上

図 番	格 納 容 器 バ ウ ン ダ リ	備 考
13	(内) (外) 	行詰り、あるいは現状の配管系

- (1)  格納容器バウンダリ
- (2)  隔離弁で①通常時開、事故時閉のもの
②通常時閉、事故時開のもの
③通常時閉、事故時閉のもの
- (3)  隔離弁で通常時閉、事故時閉のもの
- (4)  連続している格納容器の中間を省略したもの