

JAERI-M  
90-221

HENDEL T<sub>2</sub>試験部の圧力容器主フランジの  
シール特性試験

1990年12月

井岡 郁夫・浅海 正延\*・稲垣 嘉之・松本 公則  
近藤 康雄・鈴木 邦彦・宮本 喜晟

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

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

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 ニッセイエプロ株式会社

HENDEL T<sub>2</sub>試験部の圧力容器主フランジのシール特性試験

日本原子力研究所東海研究所高温工学部

井岡 郁夫・浅海 正延\*・稲垣 嘉之・松本 公則

近藤 康雄<sup>+</sup>・鈴木 邦彦・宮本 喜晟

( 1990 年11月22日受理 )

大型構造機器実証試験ループ ( HENDEL ) の炉内構造物実証試験部 ( T<sub>2</sub> 試験部 ) に使用されている 2  $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼製の圧力容器は、高温工学試験研究炉 ( HTTR ) の原子炉圧力容器と同規模、同材質の圧力容器であり、主フランジのシール構造も同じ二重金属 O リング方式を用いている。そこで、T<sub>2</sub>試験部主フランジの金属 O リングのシール特性を明らかにして、HTTRの原子炉圧力容器主フランジに用いられるシール構造の健全性を確認した。

T<sub>2</sub>試験部の圧力容器主フランジに設けられているヘリウムガス漏洩量測定ノズルを利用して、18回の起動・停止を含む約7700時間の供用後、ヘリウムガス漏洩量を加圧放置法により測定した。冷却材ヘリウムガス温度400℃、圧力40 kg/cm<sup>2</sup>G、流量4 kg/secのHTTR実機条件下で、内側金属 O リングからのヘリウムガス漏洩量は、測定限度9.6×10<sup>-7</sup> atm·cm<sup>3</sup>/sec以下であった。この結果から、HTTR寿命中、ヘリウムガスの漏洩は二重金属の O リングにより防止され、Ωシール内側には圧力がほとんどかからず、主フランジのシール部はその健全性が保たれるものと予想される。

Sealing Performance Test for Main Flange of Pressure Vessel  
of T<sub>2</sub> Test Section in HENDEL

Ikuo IOKA, Masanobu ASAMI\*, Yoshiyuki INAGAKI  
Kiminori MATSUMOTO, Yasuo KONDOU†, Kunihiko SUZUKI  
and Yoshiaki MIYAMOTO

Department of High Temperature Engineering  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 22, 1990)

A pressure vessel of T<sub>2</sub> test section in helium engineering demonstration loop (HENDEL) was fabricated to the same scale of the reactor pressure vessel made of  $2\frac{1}{4}$  Cr-1Mo steel in high temperature engineering test reactor (HTTR). Also, the sealing structure of a main flange of pressure vessel in T<sub>2</sub> test section was composed of the double metal O-rings and  $\Omega$ -seal which would be used in the sealing structure of HTTR. The sealing performance test for the main flange of the pressure vessel in T<sub>2</sub> test section was carried out to confirm the integrity of sealing structure of a main flange in HTTR.

T<sub>2</sub> test section has been operated about 7700 hours in previous 18 cycles. The leakage of helium gas from inner metal O-ring was measured by the static pressurized process under the operating condition of HTTR (helium gas: 400°C, 40kg/cm<sup>2</sup>G, 4gk/s). The calculated leakage of helium gas was less than  $9.6 \times 10^{-7}$  atm·cm<sup>3</sup>/sec. From the result, it is expected that the sealing structure of main flange in HTTR would maintain the leak tightness in the life.

Keywords: HENDEL, T<sub>2</sub> Test Section, Pressure Vessel, Main Flange, Leakage, Sealing Performance, Double Metal O-ring, Secular Distortion, HTTR

---

† Department of Environmental Safety Research

\* Babcock Hitachi K.K.

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 試験方法 .....	4
2.1 主フランジのシール構造 .....	4
2.2 ヘリウムガス漏洩量の測定 .....	4
2.2.1 ヘリウムリークディテクター法 .....	4
2.2.2 真空動的法及び加圧放置法 .....	5
3. 試験結果及び考察 .....	11
3.1 建設時のヘリウムガス漏洩量 .....	11
3.2 供用時間7700時間後のヘリウムガス漏洩量 .....	12
4. 結 論 .....	21
謝 辞 .....	21
参考文献 .....	21

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental Procedures .....	4
2.1 Structure of main flange of pressure vessel in T <sub>2</sub> test section .....	4
2.2 Measurement of leakage of helium gas from the main flange ..	4
2.2.1 Helium leak detector process .....	4
2.2.2 Dynamic vacuum and static pressurized processes .....	5
3. Results and Discussion .....	11
3.1 Leakage of helium gas at the construction .....	11
3.2 Leakage of helium gas after the operating time of 7700 hours .....	12
4. Conclusions .....	21
Acknowledgement .....	21
Reference .....	21

## 1. ま え が き

高温工学試験研究炉（以後、HTTR）における一次冷却系からのヘリウムガスの漏洩は、放射性生成物の炉外への放出、極端な場合は冷却機能の低下をも生じさせるため安全性の面からヘリウムガスの漏洩を防止する必要がある。原子炉圧力容器を含むHTTRの概略をFig. 1.1に示す。HTTR原子炉圧力容器には、主フランジの他、制御棒スタンドパイプ、計測用ノズル等に多くのフランジが用いられる。特に、直径約5mの主フランジからは、ヘリウムガスが最も濃洩し易いものと考えられる。そのため、主フランジにおけるヘリウムガスシール構造は、金属のOリングを二重に配し、さらにその外側にU字型の金属を溶接するΩシールから成る三重シール構造が用いられる。この構造では、基本的に金属Oリングによりヘリウムガスの漏洩を防止し、Ωシールはそのバックアップとなっている。Ωシールは原子炉の運転・停止に伴う金属Oリングの経年変化を考慮して設置してあり、Ωシールからのヘリウムガスの漏洩は皆無となる。従って、金属Oリングによるヘリウムガスのシール特性を把握することは、漏洩に対する多重防護の観点から重要な問題となる。さらに、HTTRにおいては、Ωシールの上下を主フランジに溶接してあり、金属Oリングの運転期間中の交換は困難である。そのため、長期間の金属Oリングによるシール特性を確認する必要がある。

HTTR炉床部の構造健全性を実証するため、大型構造機器実証試験ループ（HENDEL）に、HTTRの炉床部を実寸大で模擬した炉内構造物実証試験部（T<sub>2</sub>試験部）が1986年に設置された。Fig. 1.2に、圧力容器を含むT<sub>2</sub>試験部の概略を示す。T<sub>2</sub>試験部に使用されている2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo圧力容器は、HTTR圧力容器と同規模・同材質の圧力容器であり、主フランジのシール構造も同じ2重金属Oリング方式をとっている。そこで、T<sub>2</sub>試験部主フランジの金属Oリングのシール特性及びその経年変化を明らかにして、HTTRの原子炉圧力容器主フランジのシール構造の健全性を確認する。

本報では、T<sub>2</sub>試験部の主フランジに設けられているヘリウムガス漏洩量測定ノズルを利用して、T<sub>2</sub>試験部建設時（HENDEL No.16サイクル運転：1986年4月16日～6月6日）及び供用時間6300時間後（HENDEL No.31サイクル運転：1990年2月1日～3月1日）、7000時間後（HENDEL No.32サイクル運転：1990年5月17日～6月13日）、7700時間後（HENDEL No.33サイクル運転：1990年7月4日～7月24日）に行われたヘリウムガス漏洩量の測定結果をまとめ、圧力容器主フランジシール構造の健全性を明らかにする。

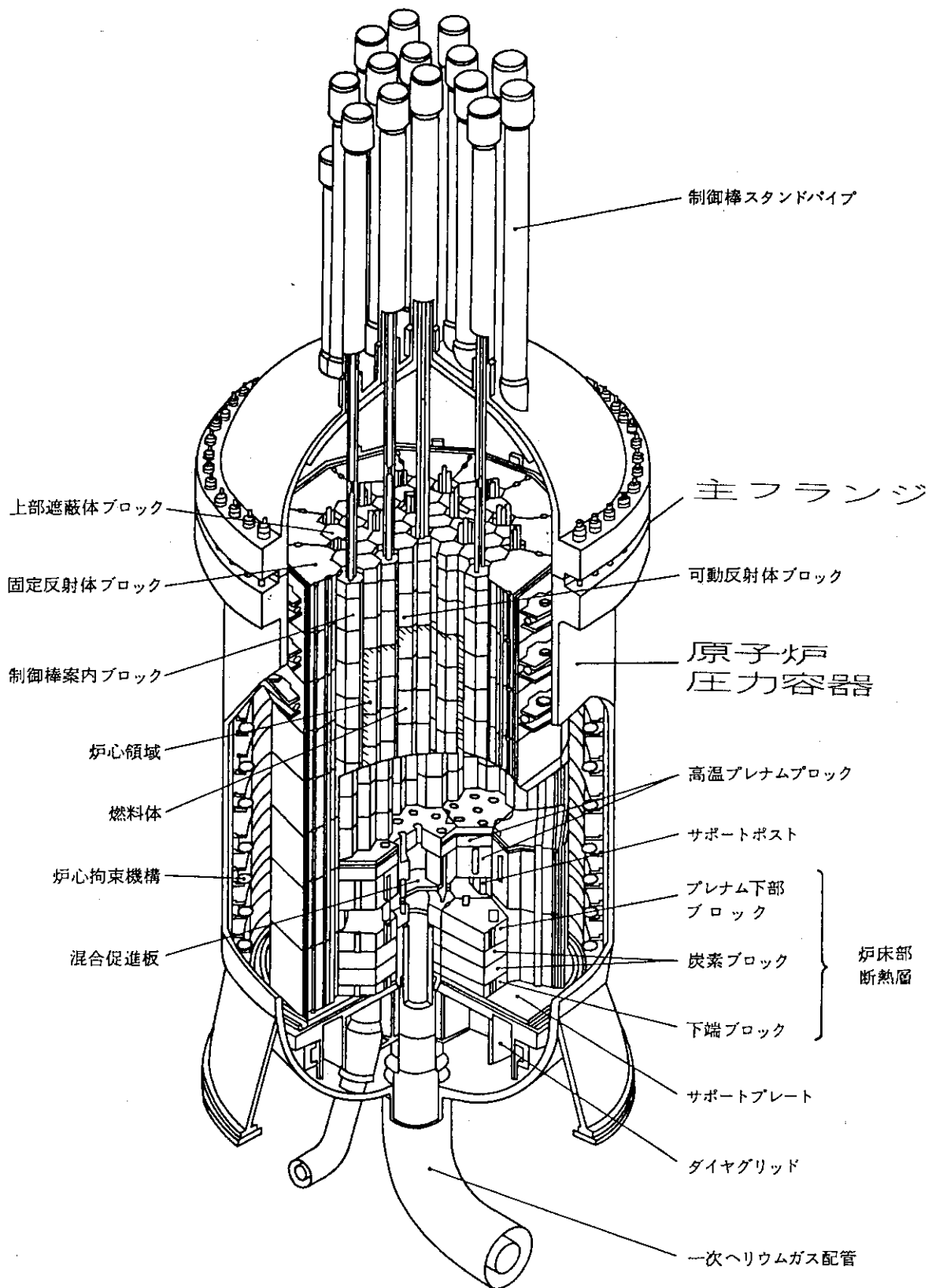


Fig. 1.1 Schematic drawing of high temperature engineering test reactor (HTTR).

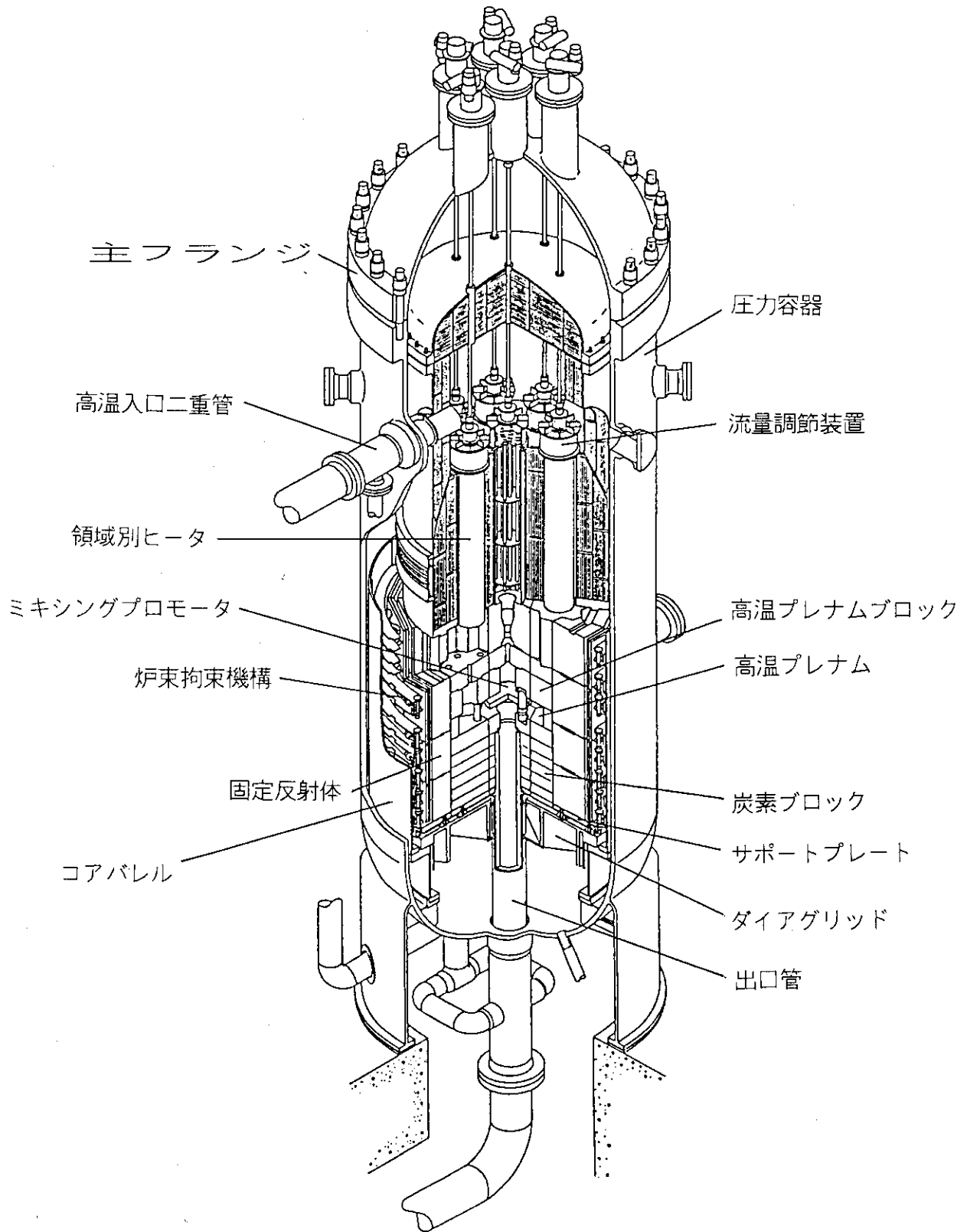


Fig. 1.2 Schematic drawing of T<sub>2</sub> test section.



## 2. 試験方法

### 2.1 主フランジのシール構造

T<sub>2</sub>試験部の圧力容器主フランジ及びシール構造の詳細をFig. 2.1に示す。主フランジは外径5325mm、厚さ565mmで、60本のスタッドボルト（直径150mm）により締め付けられる。主フランジ及びスタッドボルトの設計温度は、450℃であり、その材質には、各々高温圧力容器合金鋼鍛造品（SFVA F22B）、特殊用途合金鋼ボルト用棒鋼（SNB16）が用いられている。シール部は、2本の金属Oリングと厚さ2.8mmの金属製のΩシールからなり、主フランジのOリング接触部には、金属Oリングとの接触を考慮して、厚さ20mmのインコネル600がフランジ両側に肉盛り溶接してある。また、Ωシール溶接部にも、厚さ9mmのSUS309LとSUS308Lが肉盛り溶接してある。2本の金属Oリングは、外径4688.7mmと4755.7mmであり、その断面は外径12.7mm、肉厚1.25mmの中空である。金属Oリングの材質はインコネル718であり、その表面にはシール面の密着性を考慮して銀メッキが施されている。スタッドボルトは、Ωシールを溶接した後締め付けられるため、Ωシール材には圧縮荷重がかかっている構造となる。このシール構造は、HTTRの原子炉圧力容器の主フランジに採用されるシールと同じ構造である。

### 2.2 ヘリウムガス漏洩量の測定

一般に、漏洩量の測定方法<sup>(1)</sup>としては、放置法、動的法及びリークディテクター法がある。さらに、各々の方法は、試験体の状態により加圧法と真空法に大別される。本試験では、T<sub>2</sub>試験部建設時に検収試験の一環として、試験体を加圧してヘリウムリークディテクター法により主フランジ金属Oリングからのヘリウムガス漏洩量を測定した。リークディテクター法は、精密測定装置等を用い、測定に際し多くの煩雑さを有するが、他の方法に比べ最も高い測定精度を有している。一方、シール機構の経年変化を調べるため、約7700時間のT<sub>2</sub>試験部供用後、停止時には真空動的法により、また、T<sub>2</sub>試験部の運転中には加圧放置法により各々ヘリウムガス漏洩量の測定を行った。これらの方法は、測定精度の点ではヘリウムリークディテクター法に比べ若干劣る。リークディテクターは高温下でのヘリウムガス漏洩量の測定が困難であるが、これらの方法はT<sub>2</sub>試験部が運転状態にある場合でも、ヘリウムガス漏洩量の測定が可能である。

#### 2.2.1 ヘリウムリークディテクター法

ヘリウムリークディテクターは、いろいろなガスの中からヘリウムガスだけに感ずるように作った計器である。測定は、被試験体をプローブガス（ヘリウムガス）で加圧し、漏洩してできた空気に混ざったわずかなヘリウムガスを検出することによって、その値を漏洩量に変換する。この方法は、少ない漏洩量を正確に求めるための方法であって、漏洩量の多い場合の検出には適し

ていない。

測定装置の概略図をFig. 2.2に示す。試験は、T<sub>2</sub>試験部を真空引き後、T<sub>2</sub>試験部に3 kg/cm<sup>2</sup> Gまでヘリウムガスを充填し、加圧法により行った。真空引き時間は約45時間で、到達真空度は、圧力容器内部で約3.9 × 10<sup>-4</sup> kg/cm<sup>2</sup> (0.3 torr)であった。試験は必要な放置時間後、ヘリウムリークディテクターにより測定ライン内のヘリウムガス濃度を測定した。ヘリウムガス漏洩量は、測定したヘリウムガス濃度より、次式により計算した。

$$Q = \frac{L}{10^{-6}} \times \frac{V \cdot (D' - BG) \cdot R}{E_N} \times \frac{100}{F} \quad (1)$$

ここで、Q : ヘリウムガス漏洩量 (atm·cm<sup>3</sup>/sec)

L : 最高検出濃度 (ppm/div)

V : 測定部内容積 (cm<sup>3</sup>)

E<sub>N</sub> : 加圧放置時間 (sec)

F : T<sub>2</sub>試験部内部のヘリウムガス濃度 (%)

D' : リークレイトメータ指示値 (div)

BG : バックグラウンド指示値 (div)

R : 測定時の使用レンジ

漏洩量の測定に必要な測定部内容積は、製作図面より計算した。使用したヘリウムリークディテクターは、DLMS-33(日本真空技術製)である。なお、測定においては、ヘリウムガス濃度が最も高いと考えられるシール部の測定ができるようにサンプリングプローブ(検出器先端)をできる限りヘリウムガス漏洩量測定ノズル先端に挿入した。

## 2.2.2 真空動的法及び加圧放置法

真空動的法は、試験する部分に真空ポンプをつないで、真空引きをする。真空引きを始めると圧力は低下するが、次第に圧力低下は少なくなって、ついにはある圧力を示したまま動かなくなる。このとき、漏洩する気体量と真空ポンプから排出される気体量がバランスしたと考えて、漏洩量を計算する方法である。

加圧放置法は、試験体を加圧して、バルブ等により閉め切り、放置時間と圧力の低下から漏洩量を計算する方法である。本試験では、T<sub>2</sub>試験部の運転を圧力制御により行っているため、通常の加圧放置法と若干異なっているが、主フランジからのヘリウム漏洩量の測定は可能である。

真空動的法及び加圧放置法による主フランジからのヘリウム漏洩量測定装置の概略図をFig. 2.3に示す。ヘリウムガス漏洩量は、Fig. 2.3に示すように内側(内側金属Oリングと外側金属Oリングの間)及び外側(外側金属OリングとΩシールの間)ヘリウムガス漏洩量測定ノズルの各々に内径4 mmの導圧管を溶接し、その先端のピラニ真空計及び圧力伝送器の出力より計算した。圧力伝送器はT<sub>2</sub>試験部の運転圧力40 kg/cm<sup>2</sup> Gを考慮して、測定範囲-1 ~ 60 kg/cm<sup>2</sup> Gのものを、さらにバックアップ用としてブルドン式圧力計も設置した。また、縮小圧力の測定のためにマノメータを用意した。また、真空動的法によりヘリウムガス漏洩量を測定するため、Fig. 2:

3に示すように導圧管の先端にはピラニ真空計と油拡散ポンプを接続した。各々の測定器は、バルブ操作により個々に測定できる。また、漏洩してくるヘリウムガスの温度を測定するために、両測定ラインの主フランジシール部近傍に各1本のK型熱電対(シース径: 1.6 mm)を挿入した。

主フランジヘリウムガス漏洩量の測定システムをFig. 2.4に示す。両測定ラインの圧力及び温度は、データログを介してFig. 2.4に示すマイクロコンピュータにより10分間隔でフロッピーディスクに記録した。バックアップとして、両測定ラインの圧力、温度及び真空度、室温をハイブリッドレコーダに30秒間隔で記録した。試験終了後、既設HENDELデータ収録装置<sup>(2,3)</sup>からSRM (Shared Resource Management system)より転送したT<sub>2</sub>試験部の圧力、温度、流量データをオフラインにより処理した。

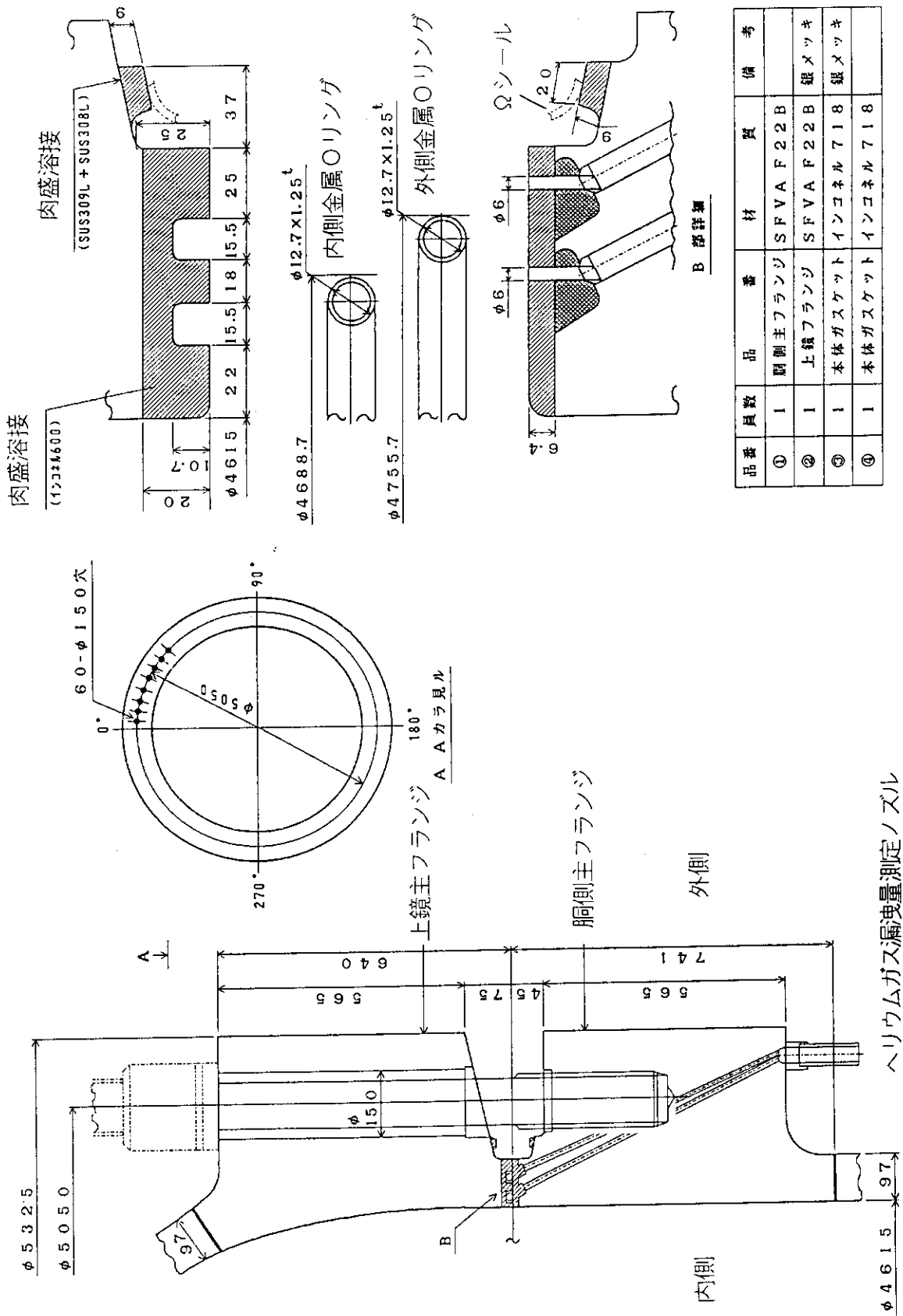


Fig. 2.1 Schematic drawing of the main flange and the sealing structure.

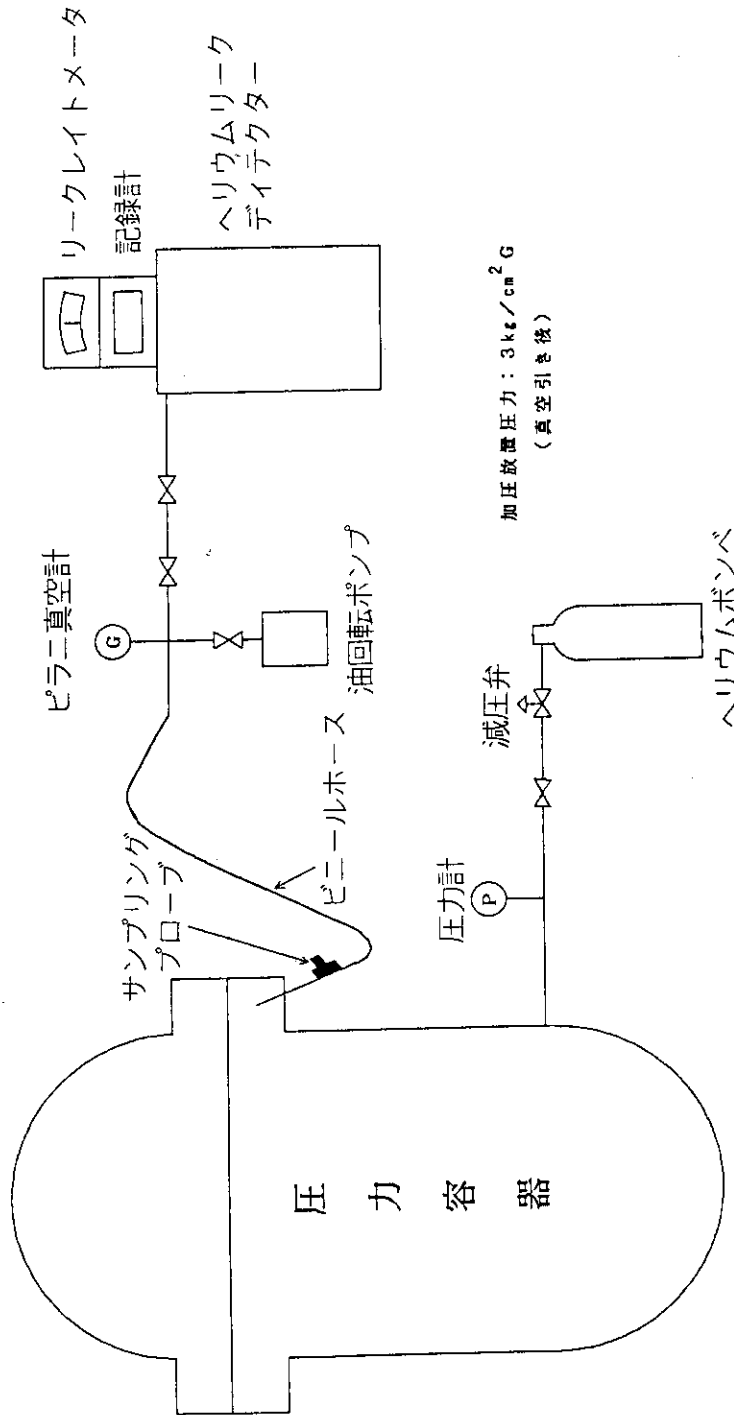


Fig. 2.2 Measuring system of leakage of helium gas from the main flange by helium leak detector process.

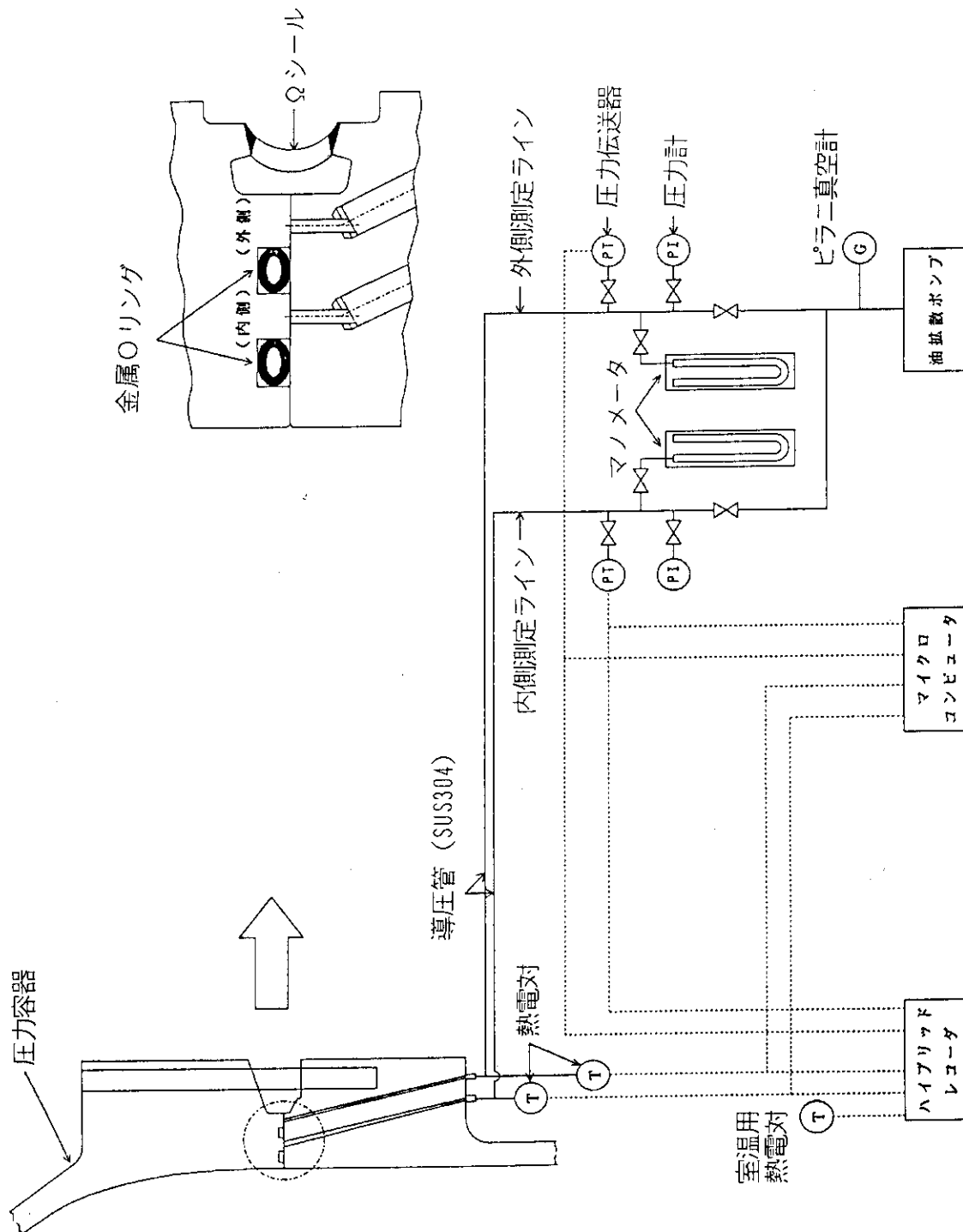


Fig. 2.3 Measuring system of leakage of helium gas from the main flange by dynamic vacuum and static pressurized processes.

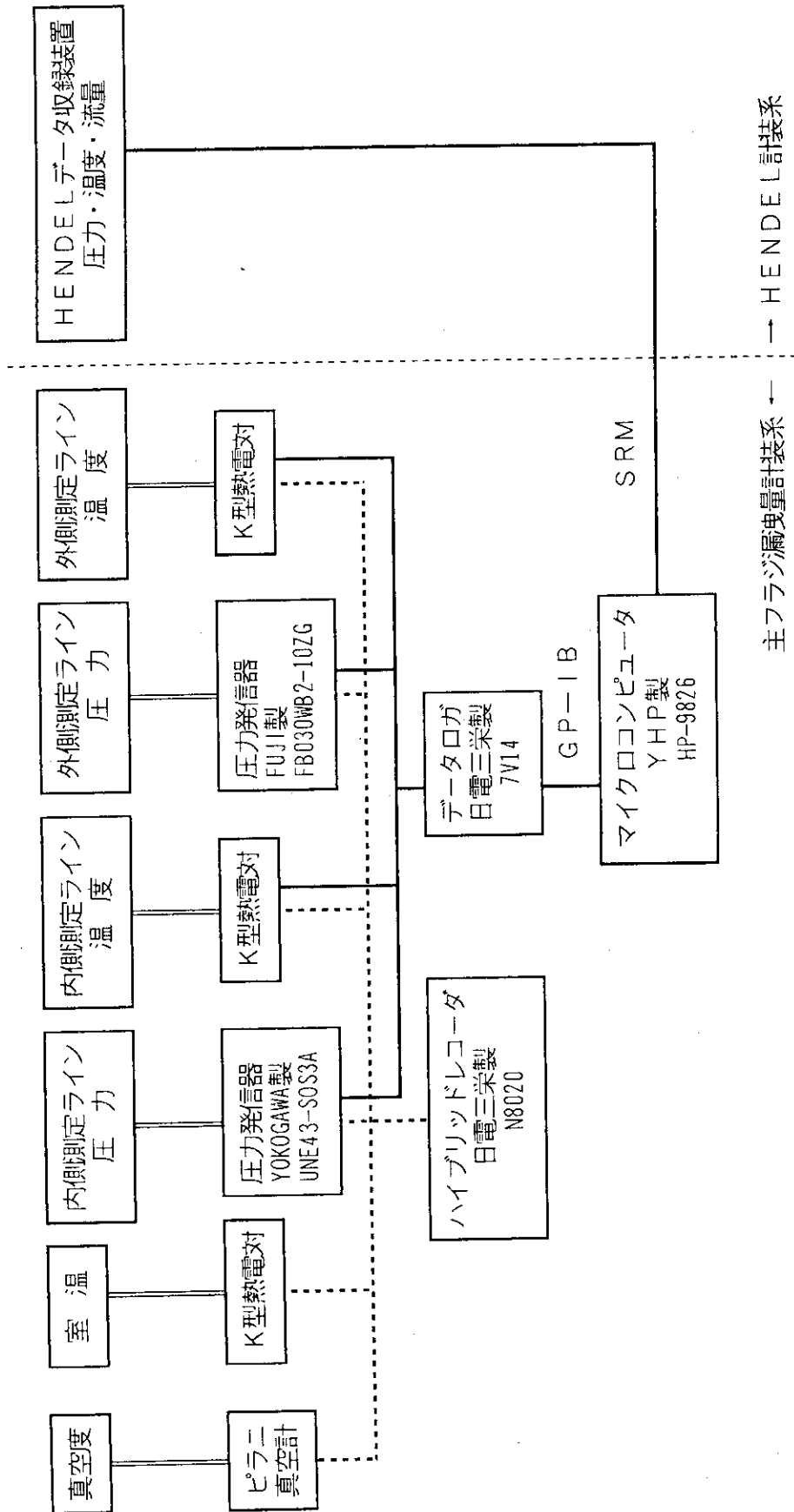


Fig. 2.4 Data acquisition system of leakage of helium gas from the main flange

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1 建設時のヘリウムガス漏洩量

建設時のヘリウムガス漏洩量は、測定精度の最も高いヘリウムリークディテクター法により行った。ヘリウムリークディテクター法によるヘリウムガス漏洩量の算出には、本ヘリウムリークディテクターの最高検出濃度を決定する必要がある。漏洩試験前後のヘリウムリークディテクターの最高検出濃度の測定結果をFig. 3.1に示す。これは、25, 50, 100ppmの標準濃度ヘリウムガスを測定した時の、各標準濃度でのリークレイトメータの出力をフルスケール50%で記録した結果である。この結果から、ヘリウムリークディテクターの最高検出濃度は、漏洩試験前で0.17 ppm/div, 試験後で0.20 ppm/divであった。よって、本試験では、(1)式における最高検出濃度Lを0.17 ppm/divとして、ヘリウムガス漏洩量を計算した。また、製作図面から計算した測定部内容積は内側及び外側測定ラインとも60cm<sup>3</sup>であり、加圧放置時間は91800 secである。以上の値を(1)式に代入すると、内側及び外側金属リングからのヘリウムガスの漏洩量は、ともに $4.0 \times 10^{-9}$  atm·cm<sup>3</sup>/secとなる。この値は、T<sub>2</sub>試験部の検収条件、機械的接合部一箇所につき $1.0 \times 10^{-3}$  atm·cm<sup>3</sup>/secを十分満足している。

ここで、得られた漏洩量から内側金属リングと主フランジ接触面の相当隙間を計算する。以下の計算では、ヘリウムガスの漏れ流れを粘性層流、等温変化及び粘性係数が一定の圧縮流体の放射状流れと仮定する。この時の相当隙間は次式で求められる<sup>(4)</sup>。

$$Q = \frac{\pi \cdot H^3}{12 \cdot \eta \cdot \ln(r_o/r_i)} \times \frac{(p_i^2 - p_o^2)}{p_i} \quad (2)$$

ここで、Q : 漏れ体積流量 (cm<sup>3</sup>/sec)

H : 相当隙間 (cm)

p<sub>i</sub> : 内側圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)

p<sub>o</sub> : 外側圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)

η : 粘性係数 (kg·sec/cm<sup>2</sup>)

r<sub>i</sub> : 金属リング内側半径 (cm)

r<sub>o</sub> : 金属リング外側半径 (cm)

(1)式で得られたヘリウムガス漏洩量と内側圧力 (4.0 kg/cm<sup>2</sup>)、外側圧力 (1.0 kg/cm<sup>2</sup>)、粘性係数 ( $3.5 \times 10^{-10}$  kg·sec/cm<sup>2</sup>)、金属リング内側及び外側半径 (232.2cm, 234.4cm)を(2)式に代入すると、相当隙間約0.004μmが得られた。なお、この計算では金属リングを用いているので、ヘリウムガスの金属リング内の透過は無視している。

実際の主フランジは、表面あらさが3.2 μm以下になるように (JISの表記では、3.2- S)加工されている。この表面あらさと(2)式により得られた相当隙間の違いは、次のように考えられる。



主フランジシール面の表面あらさは $3.2\ \mu\text{m}$ 以下になるように加工されているが、実際には、より精巧に加工されているものと考えられる。また、インコネル製の金属Oリングの表面には、銀メッキが施されているため、フランジ締め付け圧力により、その部分が塑性変形する。そして、フランジ接触部表面の凹凸部が銀メッキの塑性変形により埋められ、相当隙間が小さくなったものと考えられる。

### 3.2 供用時間 7700 時間後のヘリウムガス漏洩量

#### (1) 真空動的法

$T_2$ 試験部を約7700時間運転した後(この間、18回の起動・停止が含まれる)、停止時におけるヘリウムガス漏洩量を真空動的法で測定した。この方法は、ヘリウムリークディテクター法より精度の点で劣るが、 $T_2$ 試験部運転時の主フランジからのヘリウムガス漏洩量の測定装置に真空排気系を接続するだけで測定を行える簡便さがある。また、真空ポンプの排気速度をカタログの排気速度-圧力曲線より容易に知ることができ、最終到達圧力から簡単にヘリウムガス漏洩量を計算できる。

真空ポンプを測定ラインにつけて排気した時の圧力変化は、漏洩量が圧力によらず一定であるとすると、次式が成り立つ。

$$P \cdot S dt = -V dP + Q dt \quad (3)$$

ここで、 $t$  : 排気時間 (sec)

$P$  : 圧力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ )

$S$  : 真空ポンプの排気速度 ( $\text{cm}^3/\text{sec}$ )

$V$  : 測定部内容積 ( $\text{cm}^3$ )

$Q$  : 漏洩量 ( $\text{atm}\cdot\text{cm}^3/\text{sec}$ )

(3)式の微分方程式を排気速度が一定、 $t = 0$ において $P = P_0$ として解くと、

$$P = \frac{Q}{S} + \left(P_0 - \frac{Q}{S}\right) \cdot \exp\left(-\frac{S}{V}t\right) \quad (4)$$

となる。(4)式において、 $t = \infty$ とすれば、

$$Q = P \cdot S \quad (5)$$

となる。すなわち、真空ポンプの排気速度と最終到達圧力からヘリウムガス漏洩量を計算することができる。

内側測定ラインの真空引き時間と圧力の関係をFig. 3.2に示す。これより、最終到達圧力は、8時間後に $1.3 \times 10^{-5}\text{kg}/\text{cm}^2$ となった。この値を(5)式に代入すると、ヘリウムガス漏洩量は、 $4.6 \times 10^{-4}\text{atm}\cdot\text{cm}^3/\text{sec}$ となる。この漏洩量は、検収試験時の値に比べ、数オーダー高くなっている。この原因は、真空動的法において、配管接続部の漏洩量を見逃していることに起因す

ると考えられる。すなわち、金属Oリングのシール部以外の漏洩量が格段に大きいものと考えられる。従って、真空動的法では、T<sub>2</sub>試験部停止時におけるシール構造の経年変化を把握することができなかった。しかしながら、この漏洩量は、機械的接合部の目標値  $1.0 \times 10^{-3} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3 / \text{sec}$  より十分低い値である。そこで、次節では、最も重要な実機条件下でのシール特性について検討する。

## (2) 加圧放置法

通常の加圧放置法は、試験体内を加圧した後バルブ等を閉じて放置し、その時の圧力の低下から漏洩量を計算するが、本試験では、実機条件下でのシール部の特性を把握するため、T<sub>2</sub>試験部のヘリウムガスを  $400^\circ\text{C}$ 、 $40 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 、 $4.0 \text{ kg/sec}$ の状態に保持して、ヘリウムガス漏洩量測定ラインの圧力変化よりヘリウムガス漏洩量を算出した。

まず、測定に使用した圧力伝送器の校正を標準圧力発生器により行った。これは、圧力変化の測定にT<sub>2</sub>試験部の運転条件を考慮して測定レンジが  $-1 \sim 60 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  の圧力伝送器を使用しているため、漏洩量が少ない場合に、圧力変化が圧力伝送器の測定レンジの下限近傍になる可能性があるからである。内側及び外側測定ラインに圧力伝送器を取り付けたままで行った校正試験の結果をFig. 3.3に示す。横軸が標準圧力で、縦軸が測定系のコンピュータに入力される測定圧力であり、圧力上昇時と下降時について示している。Fig. 3.3から、 $0.0 \sim 2.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ における測定誤差は、内側測定ラインの方が小さく最大で $0.04 \text{ kg/cm}^2$ であった。また、リーク試験時のシール部に挿入した熱電対とT<sub>2</sub>試験部フランジの温度を比較したが、ほぼ同じ値を示しており、測定した温度はシール部のヘリウムガス温度であることが確認できた。

最初に、1990年7月4日～7月24日までに行われたHENDELの運転時（ヘリウムガス、最大圧力： $30 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 、最高温度： $100^\circ\text{C}$ ）に得られたヘリウムガス漏洩試験結果をFig. 3.4に示す。なお、Fig. 3.4には、HENDELの運転前後の測定結果も示してある。Fig. 3.4(a)は、T<sub>2</sub>試験部のヘリウムガス温度及びヘリウム圧力の変化を示し、Fig. 3.4(b)は、測定ラインの圧力及び温度を、Fig. 3.4(c)は、内側及び外側測定ラインのP/T（絶対圧力/絶対温度 =  $[\text{kg/cm}^2 \text{ A/K}]$ ）の値をプロットしたものである。Fig. 3.4からわかるように運転前の7月3日から運転中の7月5日の間は、ヘリウムガス温度は室温で一定であるが、圧力は $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ である。しかし、内側及び外側測定ラインの圧力上昇はなく、ヘリウムガスの漏洩量を検出できなかった。

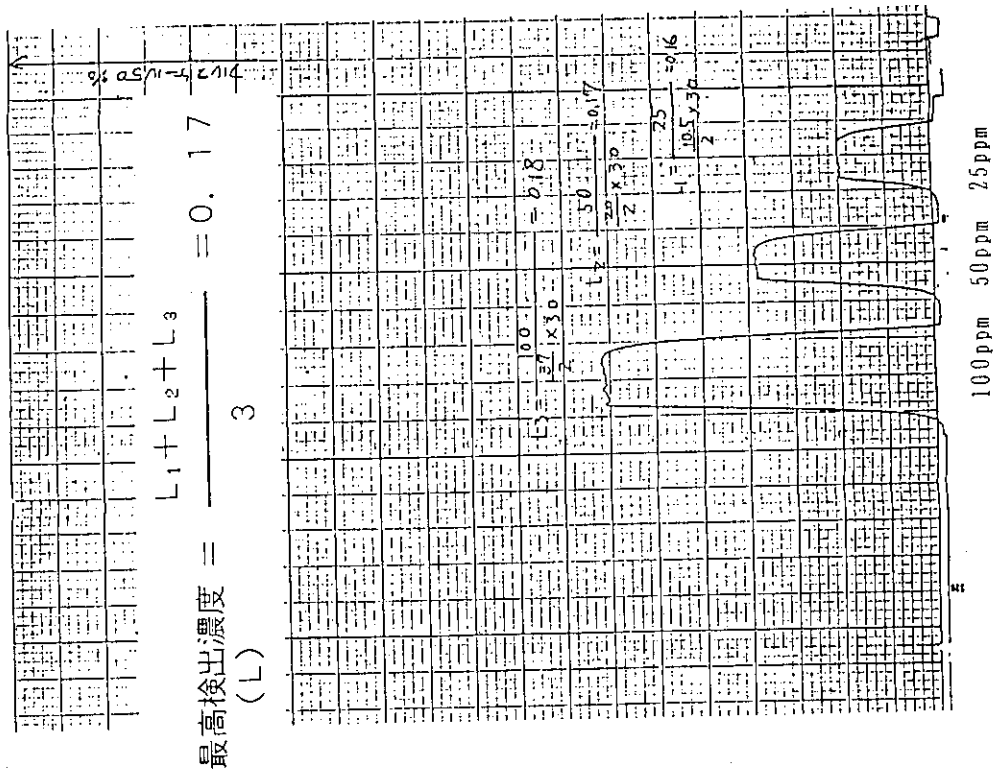
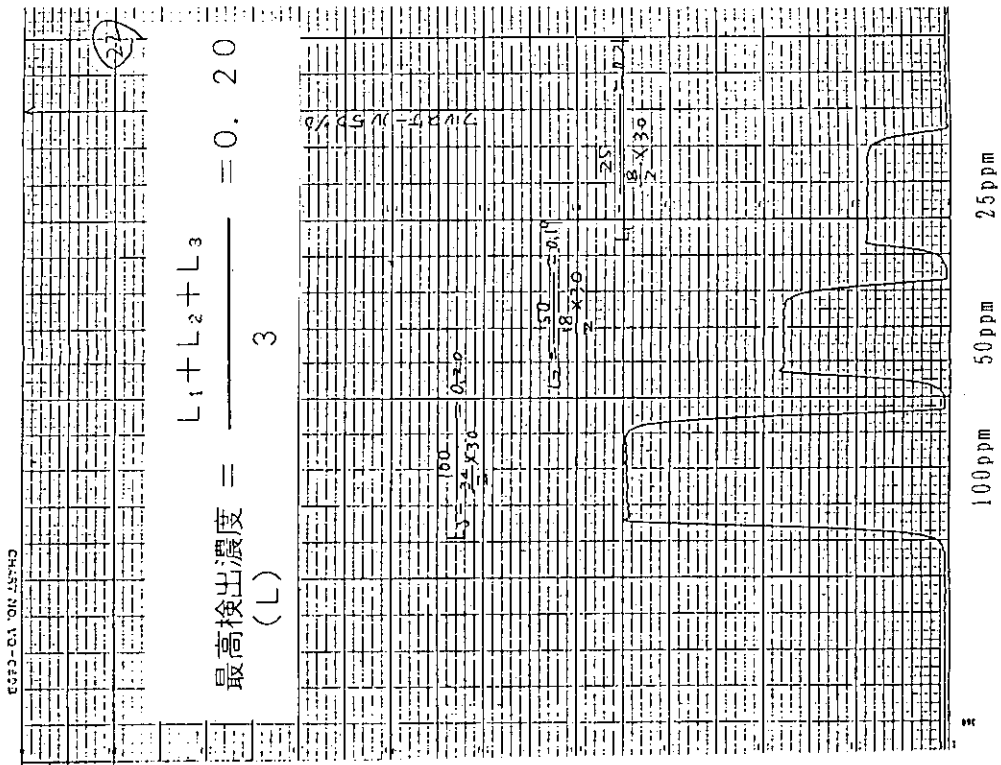
次に、HENDEL運転中の結果をFig. 3.4(a), (b)について比較する。運転開始から終了まで、両測定ラインのヘリウムガス温度はほぼ同じであり、T<sub>2</sub>試験部内のヘリウムガス温度の変化とほぼ同じであった。そして、内側及び外側測定ラインの圧力は、温度の変化と同様な変化を示している。この圧力変化は、Fig. 3.4(b)においてHENDELの運転終了後ヘリウムガス温度が室温になった時に、両測定ラインの圧力が大気圧になることから、ヘリウムガスのリークによるものではなく、ヘリウムガス温度の上昇に伴う熱膨張が原因であることがわかる。内側及び外側測定ラインのP/Tの値によって、それぞれの測定ライン内のヘリウムガスの容量の変化に注目すると、Fig. 3.4(c)に示すように両測定ラインでは、ヘリウムガスの容量はほとんど変化せずほぼ一定（ $3.2 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2 \text{ A/K}$ ）となっており、両測定ラインが閉じた系であることを示している。すなわち、T<sub>2</sub>試験部の温度及び圧力がともに最高となる試験日（7月21日）にお

いてもP/Tの値は一定であり、ヘリウムガスの漏洩に伴う圧力伝送器で測定可能な圧力上昇はなく、ヘリウムガスの顕著な漏洩は生じていないことが理解できる。

さらに、1990年2月1日～3月1日までに行われたヘリウムガス圧力40kg/cm<sup>2</sup>G、温度400°Cの実機条件下におけるヘリウムガス漏洩量の測定結果をFig. 3.5に示す。Fig. 3.4と同様、(a)はT<sub>2</sub>試験部のヘリウム温度及び圧力、(b)は測定ラインの温度及び圧力、(c)は内側及び外側測定ラインのP/Tの値を示す。ここで、Fig. 3.5(b)における、点線の部分はデータが収録できなかったため、推測の値である。Fig. 3.5(a)からわかるように、実機条件になったのは、HEND EL運転中の2月17日～2月26日までの9日間である。Fig. 3.5(b)で、外側金属Oリングのみによるシール効果を明確にするために、外側測定ラインを大気開放したためである。内側測定ラインの圧力は、温度と同様な変化を示している。Fig. 3.5(c)のP/T値もほぼ一定であり、内側金属Oリングからのヘリウムガスの漏洩は認められない。

ここで、本測定装置の測定最低漏洩量を圧力伝送器の測定精度より計算する。Fig. 3.3(b)の内側測定ラインの圧力伝送器出力と標準圧力の関係より、圧力伝送器により測定可能な圧力上昇は、0.04kg/cm<sup>2</sup>(0.039atm)以上である。従って、測定できる最低漏洩量は、伝送器の測定精度と測定部内容積(60cm<sup>3</sup>)の積となり、約2.3atm·cm<sup>3</sup>となる。この時の放置時間は28日間であるので、測定最低漏洩量は $9.6 \times 10^{-7}$ atm·cm<sup>3</sup>/secとなる。従って、主フランジからのヘリウムガス漏洩量は、測定限度 $9.6 \times 10^{-7}$ atm·cm<sup>3</sup>/sec以下と考えられる。また、Fig. 3.6(a)～(c)に1990年5月17日～6月13日までに行われたヘリウムガス圧力40kg/cm<sup>2</sup>G、温度400°Cの実機条件下でのヘリウムガス漏洩量の測定結果を示す。Fig. 3.5の結果と同様、内側金属Oリングからのヘリウムガスの漏洩は認められず、ヘリウムガス漏洩量は、測定限度 $9.6 \times 10^{-7}$ atm·cm<sup>3</sup>/sec以下と考えられる。

以上の結果より、20年間HTTRを運転したとき(稼働率60%)の内側金属Oリングと外側金属Oリングの間の圧力上昇を推定すると最大6kg/cm<sup>2</sup>Gとなる。この圧力状態がHTTRの運転中続いたと仮定して、(2)式に代入すると、金属OリングとΩシールの間の圧力上昇はHTTRの寿命中0.01kg/cm<sup>2</sup>以下と推定される。ここで、相当隙間は先に得られた0.004μmを、外側金属Oリングの内径及び外径半径は、235cm、237.8cmを用いた。従って、HTTR寿命中、ヘリウムガスの漏洩は二重金属Oリングによりほぼ完全に防止され、Ωシールには圧力はほとんどかからず、主フランジのシール部は、その健全性が十分保たれるものと予想される。



漏洩試験前

漏洩試験後

Fig. 3.1 Maximum detecting concentration of helium leak detector.

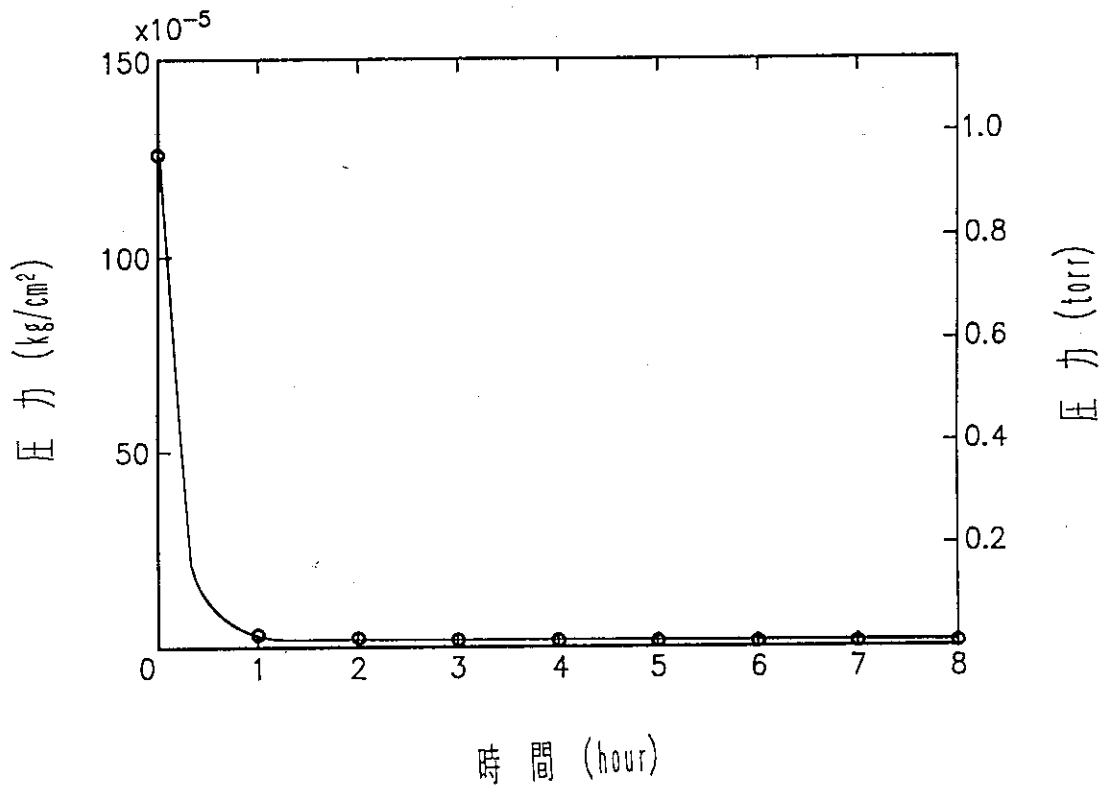


Fig. 3.2 Relationship between pressure and exhaust time in the inner measuring line.

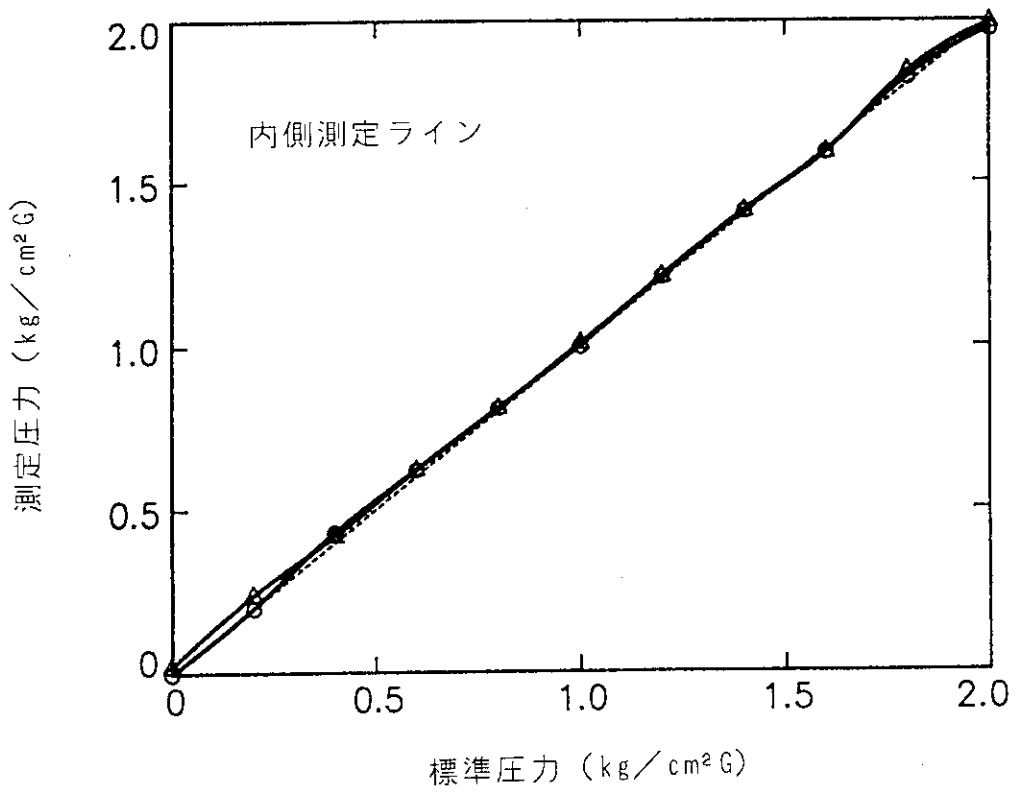
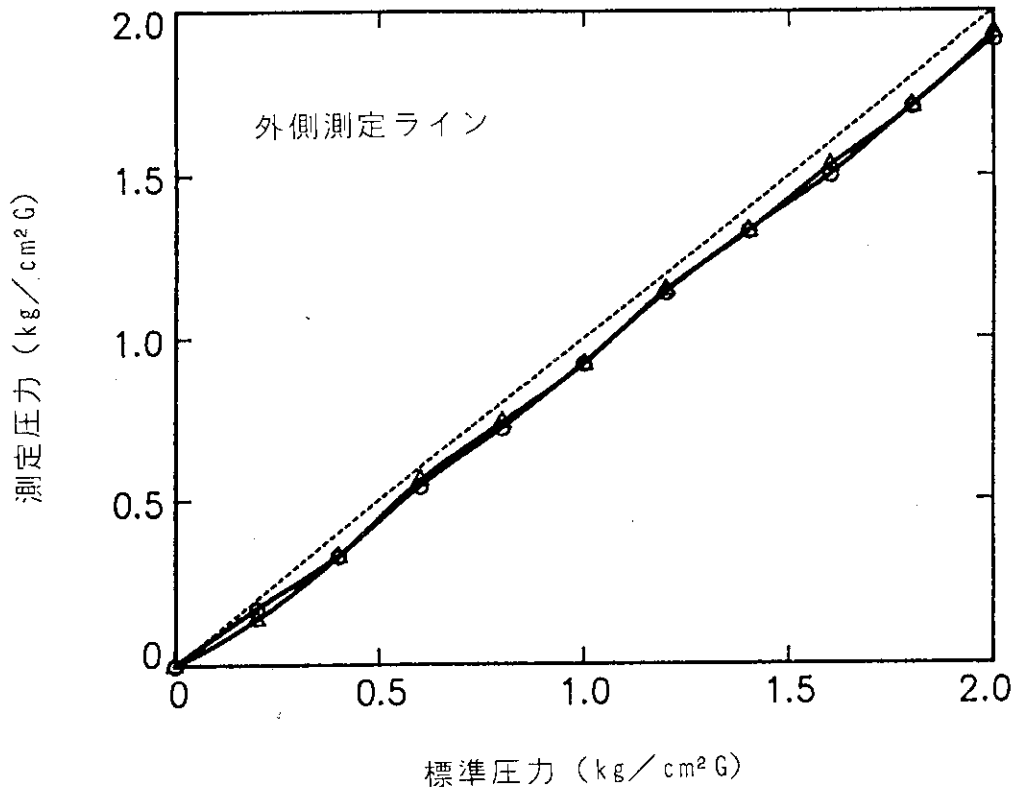


Fig. 3.3 Results of the calibration in the inner and outer pressure gauges.

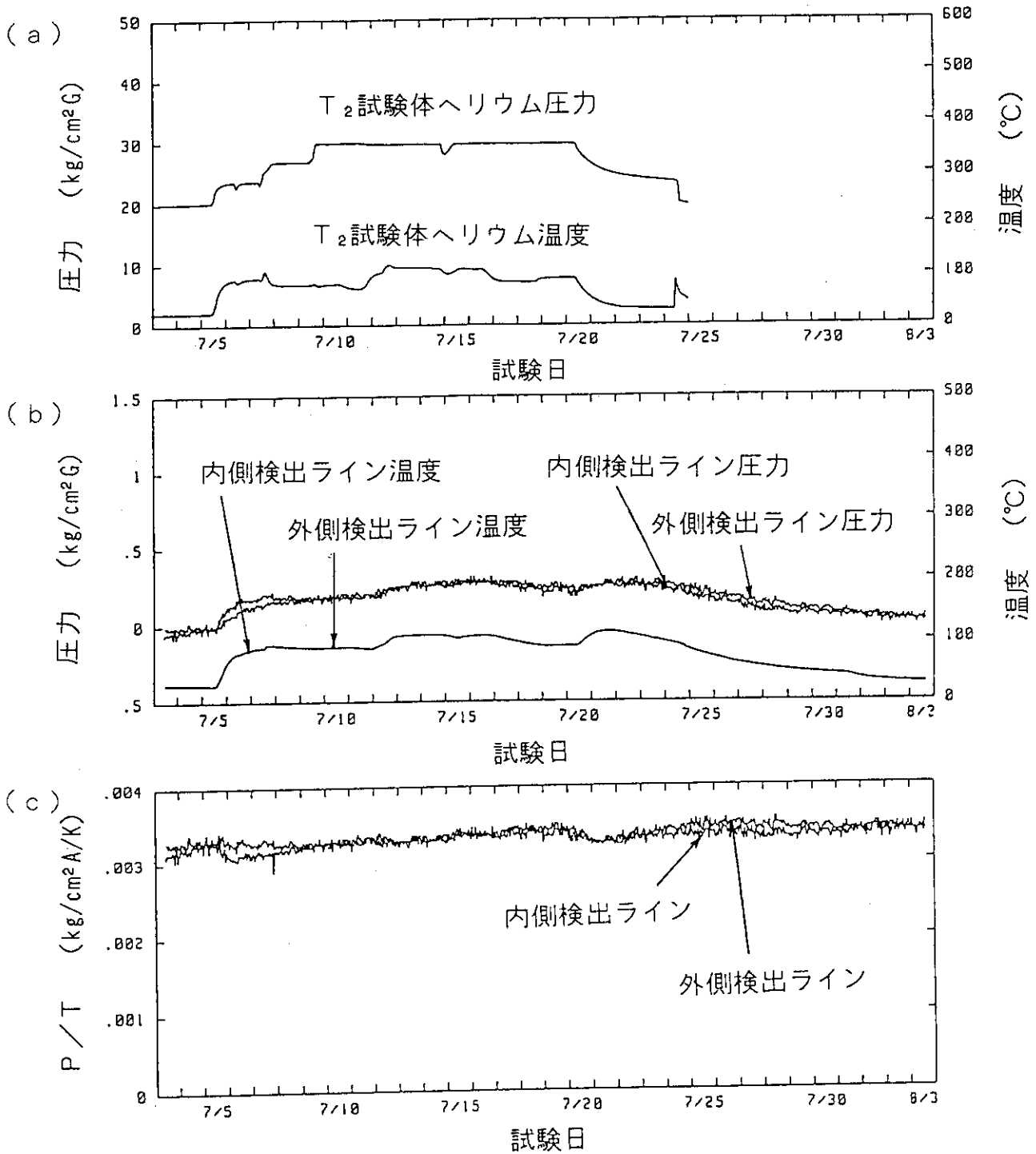


Fig. 3.4 Results of leakage of helium gas from the main flange (1990.7.3 ~ 8.3).

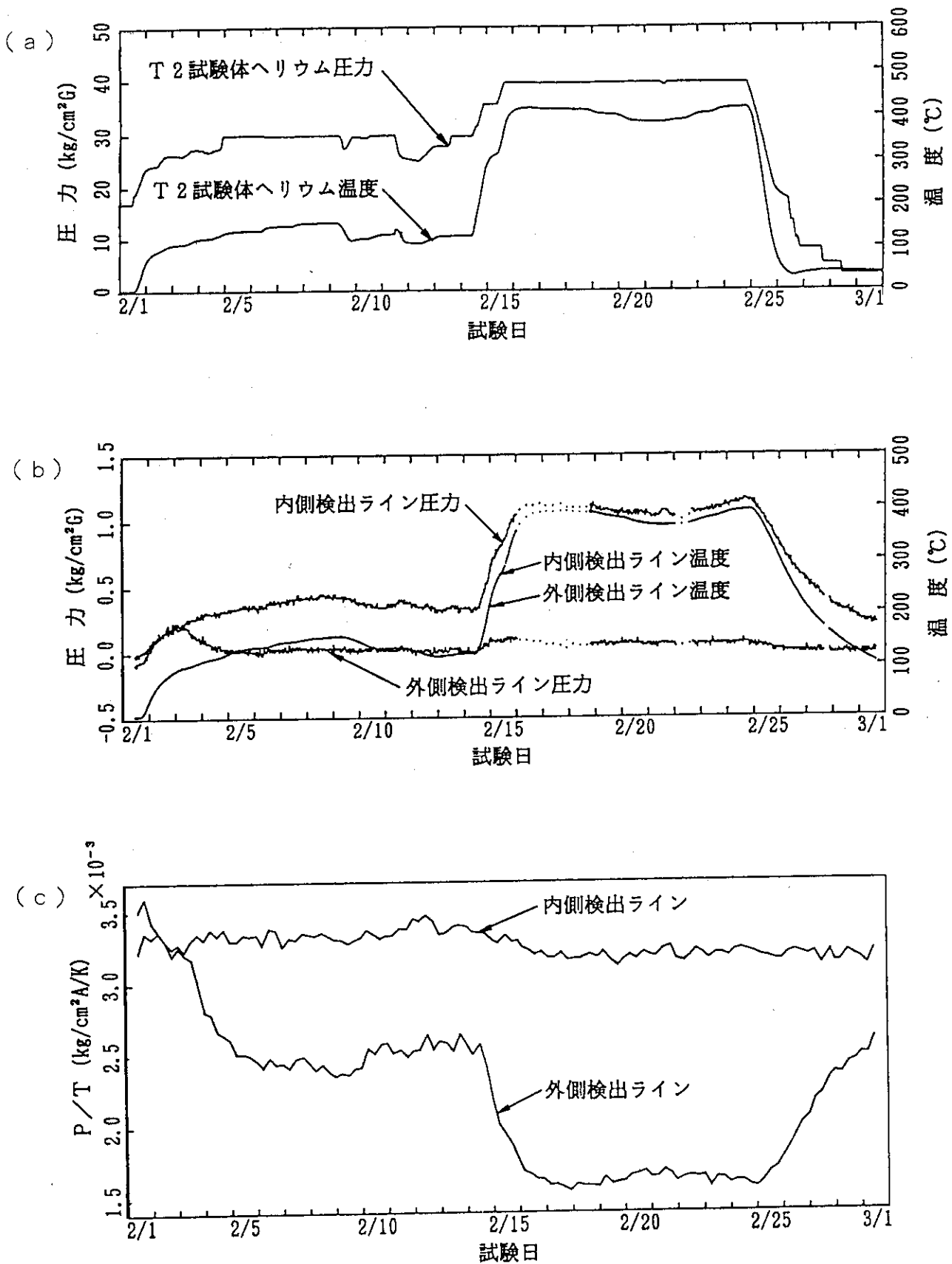


Fig. 3.5 Results of leakage of helium gas from the main flange (1990.2.1 ~ 3.1).



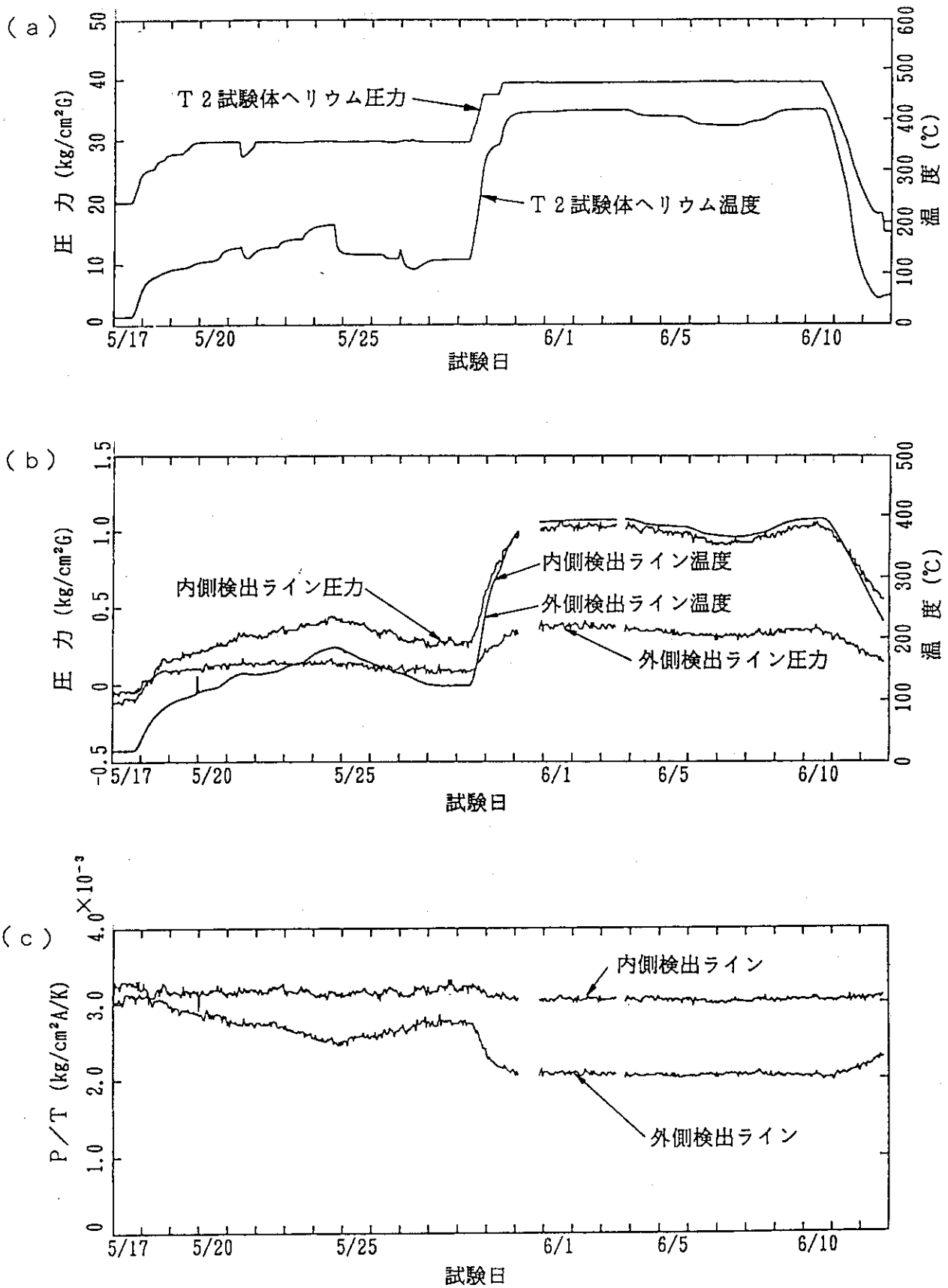


Fig. 3.6 Results of leakage of helium gas from the main flange (1990.5.17 ~ 6.13).

## 4. 結 論

HENDEL<sub>2</sub>試験部の建設時から、18回の起動・停止を含む約7700時間供用後の压力容器主フランジからのヘリウムガス漏洩量を測定し、以下のことを明らかにした。

- (1) T<sub>2</sub>試験部建設時の内側及び外側金属リングからのヘリウムの漏洩量は、両方とも  $4.0 \times 10^{-9}$  atm·cm<sup>3</sup>/secであり、十分なシール特性を示した。この漏洩量より計算される金属リングと主フランジ接触面との相当隙間は、約0.004 μmであった。
- (2) 冷却材ヘリウムガス温度 400 °C、圧力40 kg/cm<sup>2</sup>G、流量4 kg/secのHTTR実機条件下で、内側金属リングからのヘリウムガス漏洩量は、測定限度の  $9.6 \times 10^{-7}$  atm·cm<sup>3</sup>/sec以下であった。この結果から、供用時間7700時間後の主フランジのシール特性は劣化が生じていないものと考えられる。
- (3) 得られた結果から、HTTR 寿命中の主フランジにおけるヘリウムガスの漏洩は二重金属リングにより防止され、主フランジのシール部はその健全性が十分保たれるものと予想される。

## 謝 辞

HENDELの運転において、多大な御助言、御協力を頂いた下村寛昭HENDEL管理室室長並びに室員の方々及び原子力エンジニアリングの方々に心より謝意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 中川洋，漏洩防止の理論と実際，オーム社，（1978）。
- (2) 井沢直樹，私信（1986）。
- (3) 佐藤隆，国富一彦，私信（1987）。
- (4) 風巻恒司，日本機械学会関西支部第40回特別講義，（1980）79。

## 4. 結 論

HENDEL<sub>2</sub>試験部の建設時から、18回の起動・停止を含む約7700時間供用後の圧力容器主フランジからのヘリウムガス漏洩量を測定し、以下のことを明らかにした。

- (1) T<sub>2</sub>試験部建設時の内側及び外側金属リングからのヘリウムの漏洩量は、両方とも  $4.0 \times 10^{-9}$  atm·cm<sup>3</sup>/secであり、十分なシール特性を示した。この漏洩量より計算される金属リングと主フランジ接触面との相当隙間は、約0.004 μmであった。
- (2) 冷却材ヘリウムガス温度 400 °C、圧力40kg/cm<sup>2</sup>G、流量4kg/secのHTTR実機条件下で、内側金属リングからのヘリウムガス漏洩量は、測定限度の  $9.6 \times 10^{-7}$  atm·cm<sup>3</sup>/sec以下であった。この結果から、供用時間7700時間後の主フランジのシール特性は劣化が生じていないものと考えられる。
- (3) 得られた結果から、HTTR寿命中の主フランジにおけるヘリウムガスの漏洩は二重金属リングにより防止され、主フランジのシール部はその健全性が十分保たれるものと予想される。

## 謝 辞

HENDELの運転において、多大な御助言、御協力を頂いた下村寛昭HENDEL管理室室長並びに室員の方々及び原子力エンジニアリングの方々に心より謝意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 中川洋，漏洩防止の理論と実際，オーム社，（1978）。
- (2) 井沢直樹，私信（1986）。
- (3) 佐藤隆，国富一彦，私信（1987）。
- (4) 風巻恒司，日本機械学会関西支部第40回特別講義，（1980）79。

## 4. 結 論

HENDEL<sub>2</sub>試験部の建設時から、18回の起動・停止を含む約7700時間供用後の圧力容器主フランジからのヘリウムガス漏洩量を測定し、以下のことを明らかにした。

- (1) T<sub>2</sub>試験部建設時の内側及び外側金属Oリングからのヘリウムの漏洩量は、両方とも $4.0 \times 10^{-9}$  atm·cm<sup>3</sup>/secであり、十分なシール特性を示した。この漏洩量より計算される金属Oリングと主フランジ接触面との相当隙間は、約0.004 μmであった。
- (2) 冷却材ヘリウムガス温度400 °C、圧力40 kg/cm<sup>2</sup>G、流量4 kg/secのHTTR実機条件下で、内側金属Oリングからのヘリウムガス漏洩量は、測定限度の $9.6 \times 10^{-7}$  atm·cm<sup>3</sup>/sec以下であった。この結果から、供用時間7700時間後の主フランジのシール特性は劣化が生じていないものと考えられる。
- (3) 得られた結果から、HTTR寿命中の主フランジにおけるヘリウムガスの漏洩は二重金属Oリングにより防止され、主フランジのシール部はその健全性が十分保たれるものと予想される。

## 謝 辞

HENDELの運転において、多大な御助言、御協力を頂いた下村寛昭HENDEL管理室室長並びに室員の方々及び原子力エンジニアリングの方々にご心より謝意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 中川洋，漏洩防止の理論と実際，オーム社，（1978）。
- (2) 井沢直樹，私信（1986）。
- (3) 佐藤隆，国富一彦，私信（1987）。
- (4) 風巻恒司，日本機械学会関西支部第40回特別講義，（1980）79。