

# 高速実験炉「常陽」

燃料取扱設備の漏洩試験方法に関する検討

1996年11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)

## 高速実験炉「常陽」燃料取扱設備の漏洩試験方法に関する検討

伊東 秀明\*<sup>1</sup>、佐々木 俊哉\*<sup>1</sup>  
青木 裕\*<sup>1</sup>、大久保 利行\*<sup>1</sup>  
金野 良\*<sup>2</sup>

### 要 旨

高速実験炉「常陽」の燃料取扱設備は、取り扱う燃料集合体に付着した冷却材ナトリウムの酸化防止や放射性ガスの拡散を防止するため、アルゴンガスを封入して密封する構造としている。この密封構造には、2重Oリングシール構造が用いられ、この密封性が維持されていることを確認するため定期的に漏洩試験を実施している。

しかし、これまで「常陽」の燃料取扱設備で実施してきた加圧放置法による漏洩試験方法では、所定の漏洩測定精度を得るために多くの時間を要することが課題となっていた。

この課題を解決するため、これまで実施してきた漏洩測定方法を整理、検討すると共に、一般的に用いられる容器等の漏洩試験方法及び原子炉格納容器の漏洩測定方法を調査、検討した。

これらの検討結果に基づき、使用計器の測定精度を向上させた測定試験装置を製作して加圧法、He加圧法、減圧法、液体窒素冷却減圧法の4つの測定方法による測定試験を行った。

この結果から、各測定方法の実用性や測定限界等について明らかにし、以下の結果を得た。

- (1) 燃料取扱設備には、減圧法による漏洩測定方法が、測定精度、測定値の安定性に優れ、適合性が高い。
- (2) 計器の精度を高め漏洩量を統計的手法で計算する機能を付加した小型の自動測定装置を製作し、この装置によれば漏洩測定が所定の精度内で安定して実施可能である。
- (3) 漏洩測定が所定の精度内で安定して実施可能なことから、複数のシール部を一括して測定することにより、100箇所以上あるシール部の測定作業時間を約半分に短縮した。

---

\*1 動燃 大洗工学センター 実験炉部 原子炉第一課

\*2 現 川崎重工業株式会社

A study for leak testing in the fuel handling facility "JOYO"

Hideaki Itou\*1 , Toshiya Sasaki\*1 , Hiroshi Aoki\*1 ,  
Toshiyuki Okubo\*1 , Ryou Konno\*2

Abstract

The fuel handling facility in "JOYO" must maintain an argon atmosphere and be gas tight; this prevents the oxidation of sodium adhering to a fuel assembly and leakage of radioactive gases.

Periodic leak testing of the double O-ring gas seal had been performed at increasing pressure to assure its specified leak tightness. The problem with this method was that it took a long time to obtain an accurate measurement.

The leak testing methods for the fuel handling facility, the reactor containment vessel, and other vessels were all reexamined. As a consequence, it was determined that alternative devices and methods for improving the leak rate measurements should be studied.

Four methods of leak testing were evaluated; the present increasing pressure method, helium leak testing, decreasing pressure method, and a liquid nitrogen decreasing pressure method. A new automatic leak measurement device was used in these evaluations.

The results of the utilization and limitations of the four methods of leak testing are summarized as follows

- (1) The decreasing pressure leak testing method was efficient with regard to accuracy and stability for use in the fuel handling facility.
- (2) The automatic leak measurement device used a statistical calculation to measure the leak rate stability and it met the specified measurement requirements.
- (3) The leak rate measuring time was reduced by half with this new device and it could also simultaneously examine other objects.

---

\*1 JOYO Operation Section,  
Experimental Reactor Division O-arai Engineering Center, PNC

\*2 Kawasaki heavy industries, Ltd.

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 従来の漏洩試験の状況 .....	2
2.1 試験方法及び測定条件の状況 .....	2
2.2 測定結果の状況 .....	4
2.3 過去の漏洩試験に関する検討事項 .....	4
2.4 公的な漏洩試験方法 .....	5
3. 漏洩量算出式の検討 .....	13
3.1 理論式 .....	13
3.2 A社の計算式 .....	14
3.3 B社の計算式 .....	15
3.4 まとめ .....	15
4. 漏洩測定の精度検討 .....	16
4.1 従来 of 精度評価 .....	16
4.2 大気圧変動の影響 .....	18
4.3 まとめ .....	19
5. 漏洩試験方法の改善策の検討 .....	27
5.1 測定計器の精度向上による改善 .....	27
5.2 減圧法による漏洩試験 .....	28
5.3 基準容器法による漏洩試験 .....	28
5.4 ヘリウムリーク試験方法 .....	29
5.5 その他の漏洩試験方法 .....	30
5.6 まとめ .....	31
6. 加圧放置法による漏洩量測定試験 .....	40
6.1 微少漏洩量測定装置の製作 .....	40
6.2 測定試験 .....	42
6.3 加圧試験結果の考察 .....	44
6.4 ヘリウムガス加圧による漏洩試験 .....	46
6.5 ヘリウムガス加圧試験の考察 .....	46

7.	減圧法による漏洩測定試験	6 6
7.1	測定試験	6 6
7.2	減圧法試験結果の考察	6 7
7.3	コールドトラップ冷却による減圧法の測定試験	6 8
7.4	コールドトラップ冷却減圧法の考察	6 9
8.	加圧法及び減圧法の比較試験	8 6
8.1	測定試験	8 6
8.2	考 察	8 7
8.3	運用上での問題点	8 7
9.	漏洩量測定装置の製作	9 8
9.1	装置構成	9 8
9.2	漏洩量の計算方法	9 9
9.2.1	記号説明	9 9
9.2.2	漏洩量計算の概要	1 0 0
9.2.3	漏洩量計算の基本式及び計算式の概要	1 0 1
9.2.4	測定項目	1 0 2
9.2.5	表示画面での計算方法	1 0 2
9.2.6	集計画面での計算方法	1 0 4
9.3	治具単体の漏洩試験結果	1 0 6
10.	漏洩量測定装置の保証精度	1 2 6
10.1	漏洩量測定装置の保証精度の検討	1 2 6
10.2	保証精度計算の測定条件設定に関する注意事項	1 2 7
11.	試験部容積の測定	1 3 5
11.1	容積測定方法の原理	1 3 5
11.2	基準容器の容積測定	1 3 6
11.3	微小漏洩量測定装置の治具容積測定結果	1 3 6
11.4	漏洩量測定装置の治具容積測定結果	1 3 6
12.	結 言	1 5 9
13.	参考文献	1 6 0

## - 表リスト -

表 4. 1	- 1	分解能詳細計算結果	2 1
表 4. 2	- 1	大気圧測定データ	2 2
表 4. 2	- 2	分解能詳細計算結果 (大気圧)	2 6
表 5. 1	- 1	分解能詳細計算結果 (絶対圧力測定)	3 3
表 5. 2	- 1	分解能詳細計算結果 (減圧法)	3 4
表 5. 3	- 1	分解能詳細計算結果 (基準容器法 1)	3 8
表 5. 3	- 2	分解能詳細計算結果 (基準容器法 2)	3 9
表 6. 2	- 1	漏洩量測定装置の全試験結果 (加圧放置法)	4 9
表 6. 4	- 1	ヘリウム加圧法による漏洩測定結果の比較	6 1
表 7. 1	- 1	減圧法による漏洩量測定装置の試験結果	7 0
表 7. 3	- 1	コールドトラップ冷却による減圧法の漏洩試験測定結果	7 5
表 7. 4	- 1	減圧法の漏洩試験結果 (試験実施順)	8 5
表 8. 1	- 1	加圧法及び減圧法の比較測定結果 (可動シール部)	8 9
表 9. 3	- 1(1/3)	治具 1 単体の試験結果 (回帰時間の測定データ)	1 2 1
表 9. 3	- 1(2/3)	治具 1 単体の試験結果 (回帰時間の測定データ)	1 2 2
表 9. 3	- 1(3/3)	治具 1 単体の試験結果 (回帰時間の測定データ)	1 2 3
表 10. 1	- 1	保証精度計算結果詳細 (1)	1 3 0
表 10. 1	- 2	保証精度計算結果詳細 (2)	1 3 1
表 10. 1	- 3	保証精度計算結果詳細 (3)	1 3 2
表 10. 1	- 4	保証精度計算結果詳細 (4)	1 3 3
表 10. 2	- 1	設定条件による保証精度の増減率	1 3 4
表 11. 3	- 1	微小漏洩量測定装置治具容積測定結果	1 3 8
表 11. 4	- 1	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (1)	1 4 7
表 11. 4	- 2	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (2)	1 4 8
表 11. 4	- 3	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (3)	1 4 9
表 11. 4	- 4	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (4)	1 5 0
表 11. 4	- 5	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (5)	1 5 1
表 11. 4	- 6	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (6)	1 5 2
表 11. 4	- 7	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (7)	1 5 3
表 11. 4	- 8	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (8)	1 5 4
表 11. 4	- 9	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (9)	1 5 5
表 11. 4	- 10	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (10)	1 5 6
表 11. 4	- 11	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (11)	1 5 7
表 11. 4	- 12	漏洩量測定装置治具容積測定結果 (12)	1 5 8

## — 図 リ ス ト —

図 2. 2	- 1	実機設備測定結果(1)	.....	7
図 2. 2	- 2	実機設備測定結果(2)	.....	7
図 2. 2	- 3	実機設備測定結果(3)	.....	8
図 2. 2	- 4	実機設備測定結果(4)	.....	8
図 2. 2	- 5	実機設備測定結果(5)	.....	9
図 2. 2	- 6	実機設備測定結果(6)	.....	9
図 2. 3	- 1	漏洩試験用フランジ	.....	1 0
図 2. 3	- 2	比較試験概略図	.....	1 1
図 2. 3	- 3	漏洩測定装置原理図	.....	1 2
図 4. 2	- 1	大気圧測定グラフ	.....	2 3
図 4. 2	- 2	大気圧変化グラフ	.....	2 3
図 4. 2	- 3	変動率の頻度分布	.....	2 4
図 4. 2	- 4	分解能計算結果(大気圧)	.....	2 5
図 5. 1	- 1	分解能計算結果(絶対圧力測定)	.....	3 2
図 5. 2	- 1	減圧放置法による分解能(1)	.....	3 5
図 5. 2	- 2	減圧放置法による分解能(2)	.....	3 6
図 5. 3	- 1	分解能計算結果(基準容器法)	.....	3 7
図 6. 1	- 1	漏洩量測定時の装置配置図	.....	4 7
図 6. 1.	- 2	微小漏洩量測定装置 概要図	.....	4 7
図 6. 1.	- 3	パソコン表示画面(開始～測定中)	.....	4 8
図 6. 2 (a)	- 1	治具単体測定結果(1)(加圧放置法)	.....	5 0
図 6. 2 (a)	- 2	治具単体測定結果(2)(加圧放置法)	.....	5 1
図 6. 2 (b)	- 1	比較用タンク測定結果(1)(加圧放置法)	.....	5 2
図 6. 2 (b)	- 2	比較用タンク測定結果(2)(加圧放置法)	.....	5 3
図 6. 2 (b)	- 2	比較用タンク測定結果(3)(加圧放置法)	.....	5 4
図 6. 2 (c)	- 1	N/FドアバルブNo. 11 測定結果(1)(加圧放置法)	.....	5 5
図 6. 2 (c)	- 2	N/FドアバルブNo. 11 測定結果(2)(加圧放置法)	.....	5 6
図 6. 2 (c)	- 3	N/FドアバルブNo. 11 測定結果(3)(加圧放置法)	.....	5 7
図 6. 2 (d)	- 1	N/FドアバルブNo. 3 測定結果(加圧放置法)	.....	5 8
図 6. 2 (d)	- 2	N/FドアバルブNo. 5 測定結果(加圧放置法)	.....	5 9
図 6. 2 (d)	- 3	N/FドアバルブNo. 6 測定結果(加圧放置法)	.....	6 0
図 6. 4 (a)	- 1	治具単体測定結果(1)(ヘリウム加圧法)	.....	6 2
図 6. 4 (a)	- 2	治具単体測定結果(2)(ヘリウム加圧法)	.....	6 3
図 6. 4 (b)	- 1	T/RドアバルブNo. 1 測定結果(アルゴン加圧法)	.....	6 4
図 6. 4 (b)	- 2	T/RドアバルブNo. 1 測定結果(ヘリウム加圧法)	.....	6 5
図 7. 1 (a)	- 1	治具単体測定結果(減圧法)	.....	7 1
図 7. 1 (b)	- 1	N/FドアバルブNo. 11 測定結果(減圧法)	.....	7 2



図 7. 1 (c) - 1	N / F ドアバルブ No. 3 測定結果 (減圧法)	7 3
図 7. 2 - 1	構造材料の室温における真空中のガス放出速度	7 4
図 7. 3 (a) - 1	治具単体測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	7 6
図 7. 3 (a) - 2 (1/2)	治具単体測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	7 7
図 7. 3 (a) - 2 (2/2)	治具単体測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	7 8
図 7. 3 (b) - 1 (1/2)	N / F ドアバルブ No. 11 測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	7 9
図 7. 3 (b) - 1 (2/2)	N / F ドアバルブ No. 11 測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	8 0
図 7. 3 (c) - 1 (1/2)	N / F ドアバルブ No. 3 測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	8 1
図 7. 3 (c) - 1 (2/2)	N / F ドアバルブ No. 3 測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	8 2
図 7. 3 (d) - 1 (1/2)	T / R ドアバルブ No. 1 測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	8 3
図 7. 3 (d) - 1 (2/2)	T / R ドアバルブ No. 1 測定結果 (減圧法、コールドトラップ有)	8 4
図 8. 1 (a) - 1	C / P ドアバルブ No. 9 測定結果 (加圧法、可動シール部)	9 0
図 8. 1 (a) - 2	C / P ドアバルブ No. 9 測定結果 (減圧法、可動シール部)	9 1
図 8. 1 (b) - 1	C / P ドアバルブ No. 2 測定結果 (加圧法、可動シール部)	9 2
図 8. 1 (b) - 2	C / P ドアバルブ No. 2 測定結果 (減圧法、可動シール部)	9 3
図 8. 1 (c) - 1	T / R ドアバルブ No. 3 測定結果 (加圧法、可動シール部)	9 4
図 8. 1 (c) - 2	T / R ドアバルブ No. 3 測定結果 (減圧法、可動シール部)	9 5
図 8. 1 (d) - 1	T / R ドアバルブ No. 2 測定結果 (加圧法、可動シール部)	9 6
図 8. 1 (d) - 2	T / R ドアバルブ No. 2 測定結果 (減圧法、可動シール部)	9 7
図 9. 1 - 1	漏洩量測定装置の全体図	1 0 8
図 9. 1 - 2	漏洩量測定装置のシステム図	1 0 9
図 9. 1 - 3	漏洩量測定装置本体	1 1 0
図 9. 1 - 4	測定治具 1	1 1 1
図 9. 1 - 5	測定治具 2	1 1 2
図 9. 1 - 6	測温抵抗体センサ (治具 1 用)	1 1 3
図 9. 1 - 7	測温抵抗体センサ (治具 2 用)	1 1 4
図 9. 1 - 8	測温抵抗体センサ (雰囲気測定用)	1 1 5
図 9. 1 - 9	真空破壊ポンプ	1 1 6
図 9. 1 - 10	プリンタ	1 1 7
図 9. 3 - 1	治具単体試験結果 (全測定時間の測定値グラフ)	1 1 8
図 9. 3 - 2	治具 1 単体の試験結果 (回帰時間の測定値グラフ)	1 1 9
図 9. 3 - 3	治具 1 単体の試験結果 (回帰時間の漏洩量グラフ)	1 2 0
図 9. 3 - 4	減圧法による漏洩試験結果 (治具 1 単体、2 日間測定)	1 2 4
図 9. 3 - 5	加圧法による漏洩試験結果 (治具 1 単体、2 日間測定)	1 2 5
図 10. 1 - 1	漏洩量測定装置の保証精度評価グラフ (1)	1 2 9
図 10. 1 - 2	漏洩量測定装置の保証精度評価グラフ (2)	1 2 9
図 11. 1 - 1	容積測定方法の装置構成概要	1 3 7
図 11. 4 - 1	測定治具 1 容積測定結果	1 3 9
図 11. 4 - 2	測定治具 2 容積測定結果	1 4 0
図 11. 4 - 3	新漏洩検査治具容積測定図 (1/6)	1 4 1

図11. 4 - 4	新漏洩検査治具容積測定図(2/6)	.....	1 4 2
図11. 4 - 5	新漏洩検査治具容積測定図(3/6)	.....	1 4 3
図11. 4 - 6	新漏洩検査治具容積測定図(4/6)	.....	1 4 4
図11. 4 - 7	新漏洩検査治具容積測定図(5/6)	.....	1 4 5
図11. 4 - 8	新漏洩検査治具容積測定図(6/6)	.....	1 4 6

# 1. 緒言

高速実験炉「常陽」の燃料取扱設備は、原子炉冷却材である金属ナトリウムが付着した燃料等を取り扱うことから、アルゴンガスを封入した気密容器構造の中で燃料等を移送するFBR特有の構造を有している。

その中で燃料・機器に付着した冷却材ナトリウムが燃料取扱中に酸化固着すると、燃料のつかみ及び離しを行うグリッパ等の機械的動作に不具合を生じることも考えられる。

また、燃料取扱設備には原子炉カバーガスの圧力バウンダリを形成するもの、内包する放射性ガスの外部への拡散防止が要求されるもの、さらには格納容器の一部を形成しているものがある。

このため多くの燃料取扱設備は、極力溶接構造として高い密封性を確保している。

しかし、各設備の間で燃料を受け渡すために開口するのに必要なドアバルブや、グリッパ上昇下降等の機構に用いられる駆動軸の貫通部、また、機器の分解点検において必要となる機器取合部等は、溶接による密封が不可能であるため、Oリングにより所定の密封性を確保している。

このOリングは、経年劣化によりその機能が低下するため定期的に密封性を確認する必要があると共に、劣化に応じて定期的に交換を行う必要がある。また、交換後には適正に据付けられ、所定の密封性を有することを確認する必要がある。このため、「常陽」燃料取扱設備ではOリングを2重に設置する構造を採用し、このOリングの中間部をアルゴンガスで加圧して、その測定圧力値の変化から漏洩量を算出して維持目標値以下であることを確認している。

しかし、これまで「常陽」の燃料取扱設備で実施してきた測定計器や測定方法を用いた漏洩試験では、最も厳しい漏洩量の維持目標値である $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以下の結果を判定するのに長時間を要し、多くの時間と労力を費やしていた。

このため、これまでの漏洩試験方法の課題を整理、検討すると共に、一般的に用いられている容器等の漏洩試験方法及び原子炉格納容器の漏洩測定方法を調査、その適用性を検討した。

この結果から測定精度を向上させた計器を用いると共に、測定手法の改善を図った測定試験をいくつかのケースで実施してデータを集積・評価し、その性能を確認した。これによって、現場での使用において安定性の高い漏洩試験装置の開発と試験手法の確立を実現できた。

漏洩測定が所定の精度内で安定して実施可能なことから、複数のシール部を一括して測定することが可能となり、100箇所以上もあるシール部の測定作業時間を約半分に短縮することが可能となった。

## 2. 従来の漏洩試験の状況

### 2.1 試験方法及び測定条件の状況

従来から燃料取扱設備について実施してきた漏洩試験方法は、各設備固有の性能の違いにより漏洩量算出式や維持目標値が異なっている。よって、ここ数年間において実施されてきた漏洩量測定方法について調査・整理を行った。

以下に各メーカー及び動燃の実施要領を示す。

#### ① A社

- ・使用計器 : ゲッチングン型水銀マンオメータ (最小読取値 : 0.02 mmHg / 動燃支給)
 

デジタル温度計	(最小読取値 : 0.1 °C)	}	任意に選定
アルコール温度計	(最小読取値 : 1 °C)		
水銀温度計	(最小読取値 : 0.1 °C)		
- ・試験圧力 : 368 mmHg 以上 (0.50 kgf/cm<sup>2</sup>)
- ・測定時間 : 30 分間
- ・維持目標値 : 固定シール部 :  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] 以下  
 駆動シール部 :  $1 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec] 以下
- ・漏洩量算出式 :

$$Q = \left\{ P_0 \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right) + \left( p_1 - \frac{T_1}{T_2} p_2 \right) \right\} \frac{T_{av} \cdot V}{T_1 \cdot t \cdot P_0} \text{ [atm cc/sec]}$$

但し、 $T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2}$

- |   |                |   |                     |  |                 |   |                      |     |
|---|----------------|---|---------------------|--|-----------------|---|----------------------|-----|
| { | Q              | : | 漏洩率 [atm cc/sec]    |  | T <sub>av</sub> | : | 平均温度                 | [K] |
|   | P <sub>0</sub> | : | 標準圧力 = 760 mmHg     |  | T <sub>1</sub>  | : | 試験当初の温度              | [K] |
|   | p <sub>1</sub> | : | 試験当初の圧力 [mmHg]      |  | T <sub>2</sub>  | : | 試験後の温度               | [K] |
|   | p <sub>2</sub> | : | 試験後の圧力 [mmHg]       |  |                 |   |                      |     |
|   | t              | : | 試験時間 = 1800 秒 (30分) |  | V               | : | 被試験体容積 [cc] = 200 cc |     |

#### ② B社

- ・使用計器 : 高精度デジタルマンオメータ (最小読取値 : 0.00001 kg/cm<sup>2</sup> = 0.007 mmHg  
 [横河製 2661-12 : ±0.01% of rdg + 0.01% of FS]  
 アルコール温度計 (最小読取値 : 1 °C)
- ・試験圧力 : 1.5 kg/cm<sup>2</sup> , 0.7 kg/cm<sup>2</sup> 以上 (測定対象により異なる)
- ・測定時間 : 30 分間
- ・維持目標値 :  $1 \times 10^{-3}$  [ atm cc/sec ] 以下  
 (「設備設計書」では、対象部の構造が可動部と固定部の違いにより維持目標値を  $1 \times 10^{-3}$  ,  $1 \times 10^{-4}$  [ atm cc/sec ] としている。)

- ・漏洩量算出式：

$$Q = \frac{V_0 T_0}{t P_0} \left\{ \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q : \text{漏洩量 [atm cc/sec]} \\ P_0 : \text{標準圧力} = 1.033 \text{ kg/cm}^2 & T_0 : \text{標準温度} = 293.15 \text{ [K] (20 }^\circ\text{C)} \\ p_1 : \text{試験当初の圧力 [kg/cm}^2] & T_1 : \text{試験当初の温度 [K]} \\ p_2 : \text{試験後の圧力 [kg/cm}^2] & T_2 : \text{試験後の温度 [K]} \\ t : \text{試験時間} = 1800 \text{ 秒 (30分)} & V : \text{被試験体容積 [cc]} \end{array} \right.$$

### ③動燃（自主試験実施要領）

基本的には製作メーカー（A，B社）と同様に実施している。

- ・使用計器：ゲッチングン型水銀マンオメータ（最小読取値：0.02 mmHg）  
 デジタル温度計（最小読取値：0.01℃）  
 水銀温度計（最小読取値：0.1℃）  
 アルコール温度計（最小読取値：1℃）
 

}	任意に選定
---	-------

### ④動燃（定期自主試験実施要領）

- ・使用計器：各設備により異なる。  
 [但し、測定計器の選定については明記されていない。]
- ・試験圧力：
  - ・交換機、出入機：0.50 kgf/cm<sup>2</sup>
  - ・キャスクカー：1.50 kgf/cm<sup>2</sup>
- ・測定時間：30分間
- ・維持基準値：1 × 10<sup>-3</sup> [atm cc/sec]以下
- ・漏洩量算出式：
  - 交換機、出入機は、A社の計算式
  - キャスクカーは、B社の計算式
- ・測定箇所
  - (a)燃料交換機孔ドアバルブ（4ヶ所）  
 （弁体シール，駆動軸シール，駆動側フランジシール，上側フランジシール）
  - (b)燃料出入機ドアバルブ（7ヶ所）  
 （弁体シール，駆動軸シール(1)，(2)，駆動装置側フランジシール，上側フランジシール，  
 下側フランジシール，ケーブル貫通部シール）
  - (c)キャスクカードアバルブ（3ヶ所）  
 （ドアバルブシャッターパッキン，ハンドルプラグシール，駆動側フランジシール）

以上のように、これまで燃料取扱設備に適用してきた漏洩試験方法は、製作メーカーの違いによる2通りの試験要領がある。この内、温度計については、計器の選定、温度測定場所等に不明確な点が多かった。

## 2.2 測定結果の状況

新燃料貯蔵設備キャスクカー側ドアバルブの漏洩試験結果を図2.2-1～5に示す。また、燃料交換機孔ドアバルブの漏洩試験結果を図2.2-6に示す。

ここに示した漏洩試験のほとんどの測定結果において、測定温度の変化に対して補正圧力が大きく変化し、従来の測定方法や測定機器の精度では、短い試験期間内に維持目標値である $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以下の漏洩量を測定して判定することは困難であり、温度測定器の精度を向上させる等の改善が必要であった。

## 2.3 過去の漏洩試験に関する検討事項

漏洩試験の測定方法や測定計器の精度に関しては、これまでも問題があることは認識されており、過去にも検討がなされてきた。これまでに実施された試験内容を簡単に紹介する。

### (1) 圧力測定計器の比較試験（昭和58～59年）

試験用フランジを製作し、ゲッチンゲン型水銀マンオメータとデジタル式圧力計を用いて漏洩測定試験を行い、比較検討を行った。

製作されたフランジを図2.3-1に、比較試験の概略図を図2.3-2に示す。

試験結果は、以下の通りであった。

- ・フランジ（ヘリウムリーク） :  $9.70 \times 10^{-10}$  [atm cc/sec]
- ・ゲッチンゲン型水銀マンオメータ :  $1.84 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]
- ・デジタル式圧力計 : リーク大のため中止

この時の結論としては、各圧力測定器または測定治具からの漏洩によるものと推測された。

### (2) ゲッチンゲン型水銀マンオメータの変更（昭和61年）

この時期以前に使用していた水銀マンオメータは、1/20バーニヤ付きの直読式(0.05mm)のものを使用していた。この計器の場合、測定者の目の位置により読み取る値が異なるために、読取り誤差が問題となった。

これを改善するために、水銀マンオメータを水銀柱上端を電導式のアナログ表示するに機能を有し、1/50バーニヤ付き直読式(0.02mm)のものに変更して読取り誤差及び測定分解能の向上を図った。

### (3) 基準容器との圧力差による測定装置（昭和62～63年）

容積を正確に測定された基準容器と被試験体との圧力差を測定することにより、漏洩を測定する装置を試作して試験を行った。装置原理図を図2.3-3に示す。

この時の試験結果では測定部及び基準容器の温度変化により、差圧計が極端に変動し、安定した測定が不可能であった。

### (4) その他の検討事項

- ・昭和54年頃は、漏洩試験方法を標準化することを検討した。その際、漏洩量計算におけ

る 容積値に着目し、一部の設備に対して被測定部容積の実測が行われた。

- ・昭和57年頃までの燃料取扱用キャスクカーの漏洩試験方法は、ホースを使用した水柱マノメータにより測定されていた。試験条件は、以下の通りであった。

圧力測定 : 3000mmAq(0.3kg/cm<sup>2</sup>) の水柱マノメータ  
 測定時間 : 10分  
 維持目標値 : 1 × 10<sup>-3</sup>[atm cc/sec]以下  
 尚、温度変化に対する補正は実施されていない。

- ・昭和58年10月に漏洩試験の維持目標値について調査検討がなされた。この検討では、維持目標値を以下に変更することとした。

A社 : 固定部 1 × 10<sup>-5</sup>、可動部 1 × 10<sup>-4</sup>[atm cc/sec]以下  
 B社 : 固定部 1 × 10<sup>-4</sup>、可動部 1 × 10<sup>-3</sup>[atm cc/sec]以下 とした。

- ・昭和63年12月に燃料取扱用キャスクカーの維持基準値について検討を行い、測定対象のOリングの径や1重、2重Oリング毎、またバックアップシールの有無の違いにより、各Oリングの漏洩量の評価が行われた。

## 2.4 公的な漏洩試験方法

### (1)NDIS 3409 「放置法による漏洩試験方法」(参考文献(1))

NDIS規格にある漏洩試験方法を以下に示す。

$$\text{漏洩量計算式} : Q = \frac{1}{t} \frac{V_0 T_0}{1.033} \left( \frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) \quad [\text{stdcc/sec}]$$

t : 測定時間 [sec]  
 V<sub>0</sub> : 試験部の容積 [cc]  
 T<sub>0</sub> : 基準温度 [273.15 K]  
 P : 圧力 [ゲージ圧 + 1.033 kg/cm<sup>2</sup>]  
 T : 温度 [K]

但し上記式は、規格の本文にはなく、解説に記載されている。

- ・試験圧力 : 最大許容圧力の25%を越えない圧力まで加圧
- ・放置時間 : 規定されていない場合は、10分間以上
- ・合否基準 : 規定値が指定されていない場合は、1 × 10<sup>-2</sup>[stdcc/sec] 以下

この規定の計算式は、B社の方法とまったく同一である。この規格と燃料取扱設備の漏洩試験とを比較すると、試験圧力が大きいこと、測定時間が短いこと、また指定されていない場合の判定基準が1 × 10<sup>-2</sup>[stdcc/sec] と大きな許容値であることが上げられる。

### (2)JIS Z 2332 「放置法による漏れ試験方法」(参考文献(2))

JIS規格にある漏洩試験方法とNDIS規格との比較を以下に示す。

- ・漏洩量の計算式は、以下の4通りが示されている。
  - ①温度変化、大気圧の影響を無視する場合
  - ②温度変化、大気圧の影響を考慮する場合(理論式)
  - ③温度変化が無視できず、大気圧の影響を無視する場合

④温度変化、大気圧の影響が無視できない場合

- ・試験圧力は、NDIS規格と同じ。
- ・放置時間も、NDIS規格と同じ。
- ・基準温度は、293[K]である。
- ・合否基準については、本文及び解説においても数値的記載はない。

JIS 規格の③式は、B社と同様である。



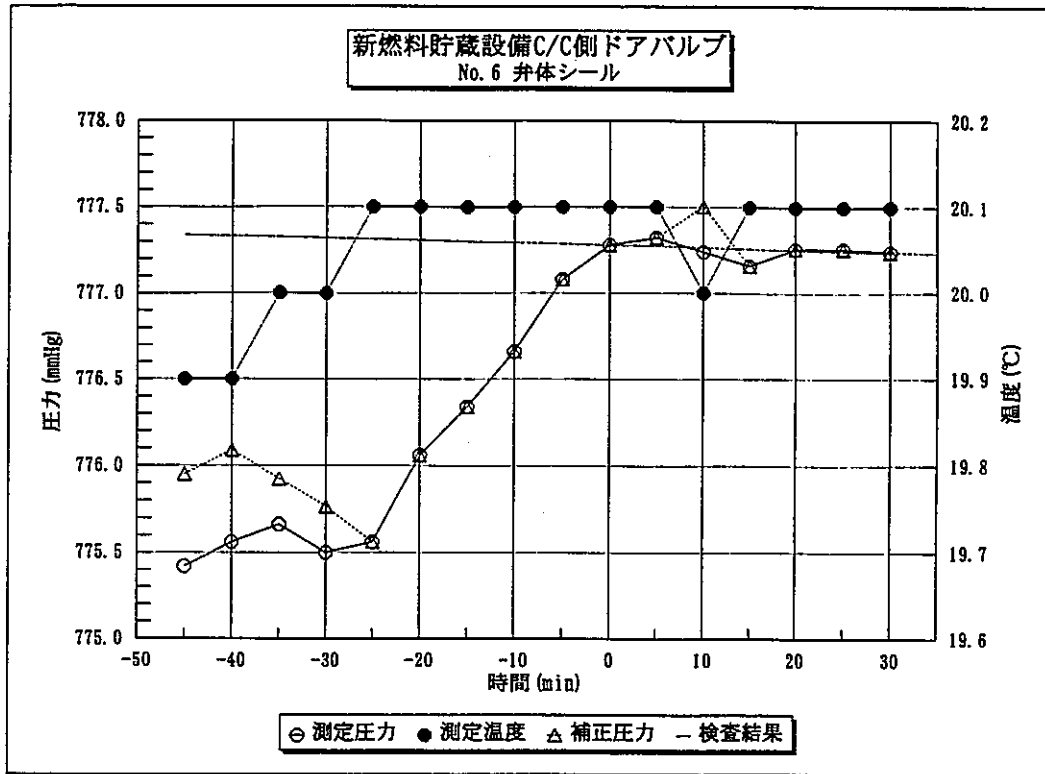


図 2.2 - 1 実機設備測定結果 (1)

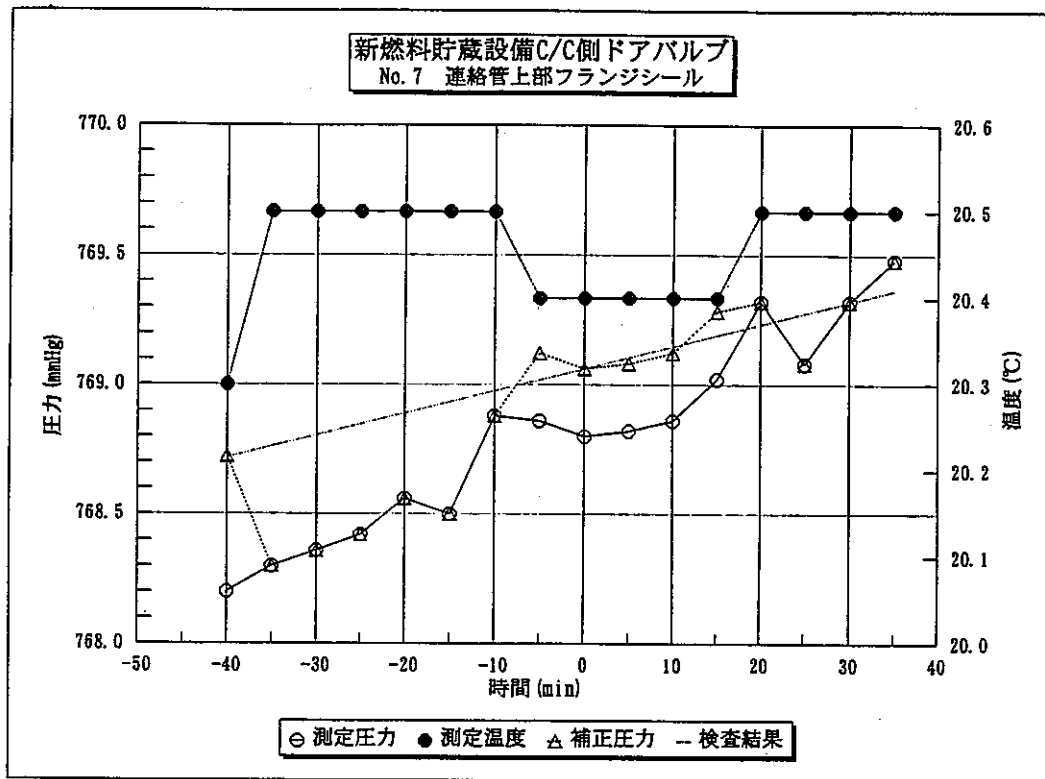


図 2.2 - 2 実機設備測定結果 (2)

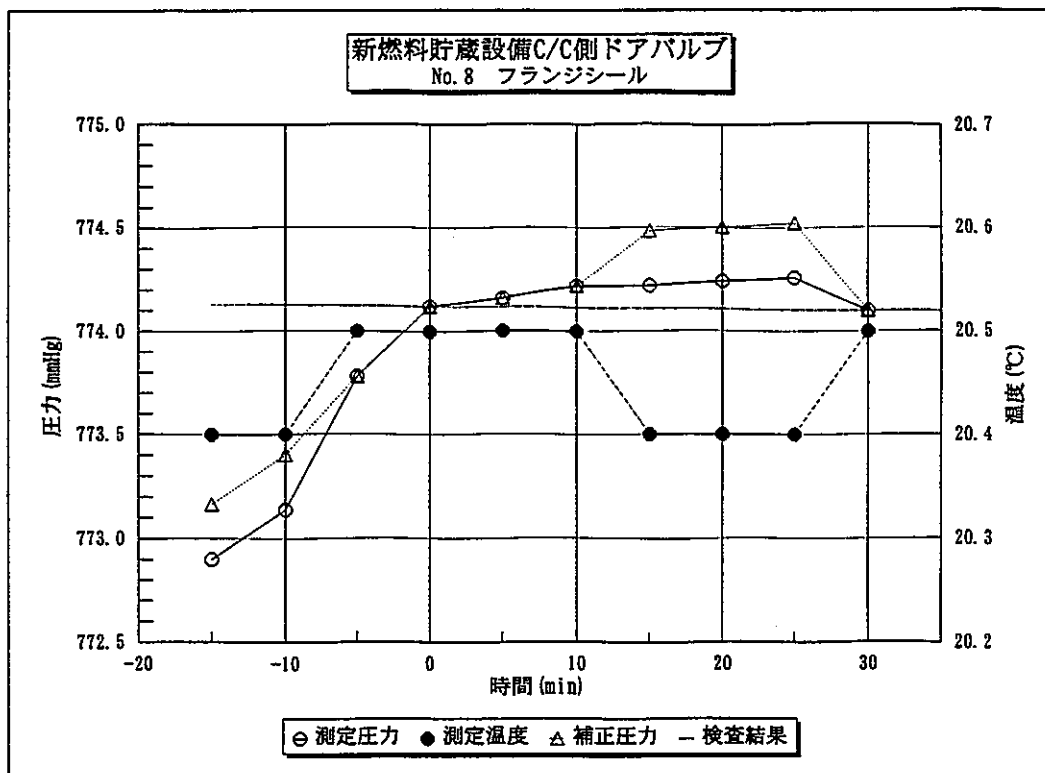


図 2.2 - 3 実機設備測定結果 ( 3 )

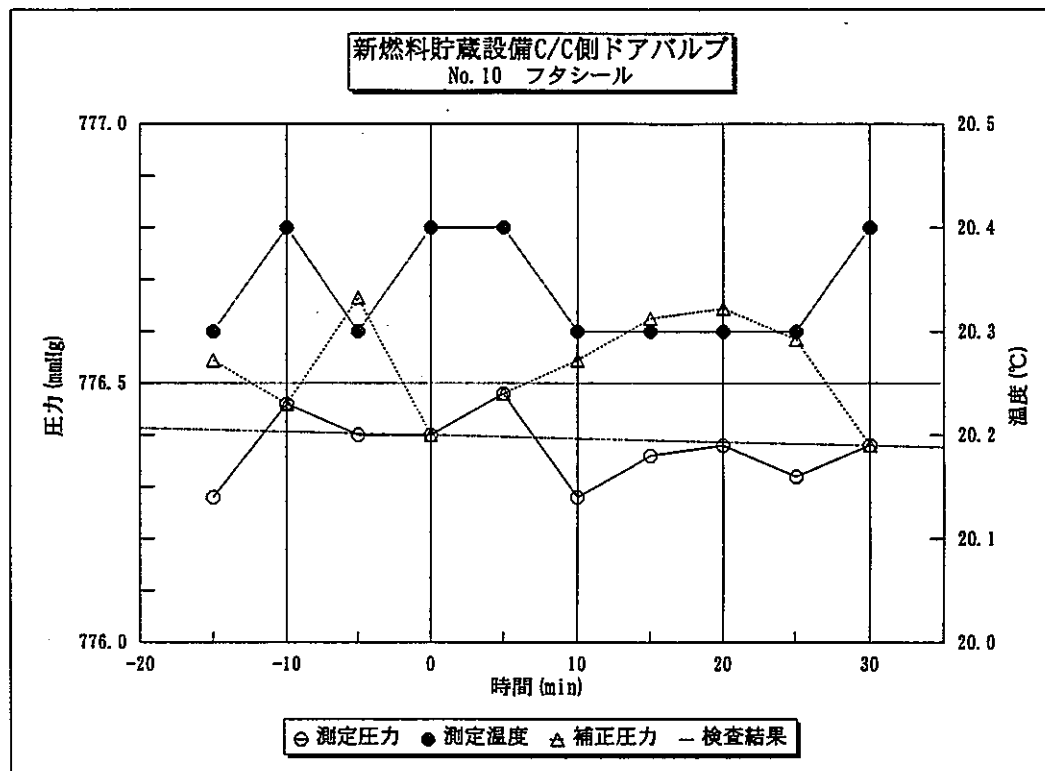


図 2.2 - 4 実機設備測定結果 ( 4 )

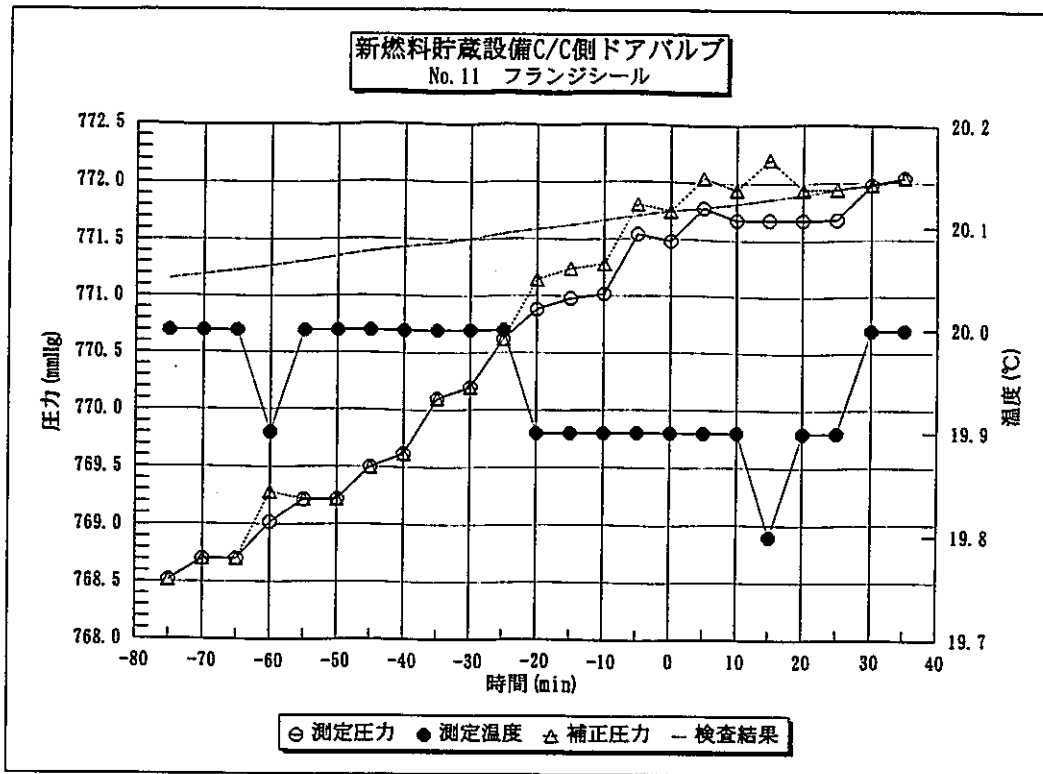


図 2.2 - 5 実機設備測定結果 ( 5 )

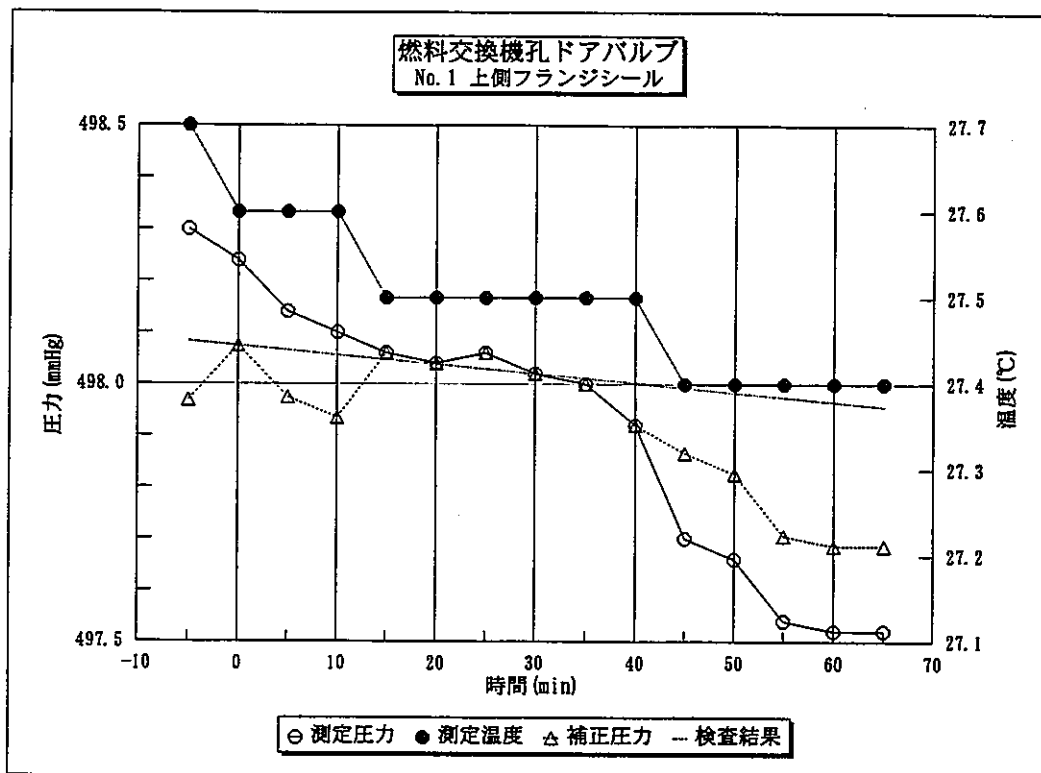
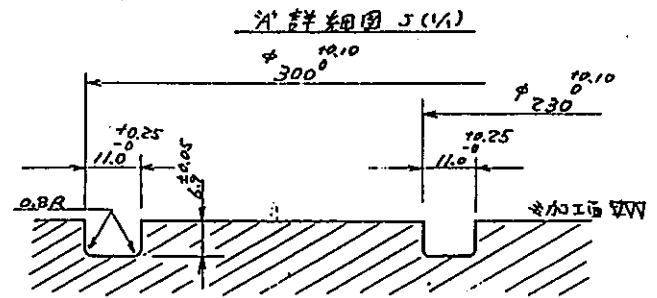
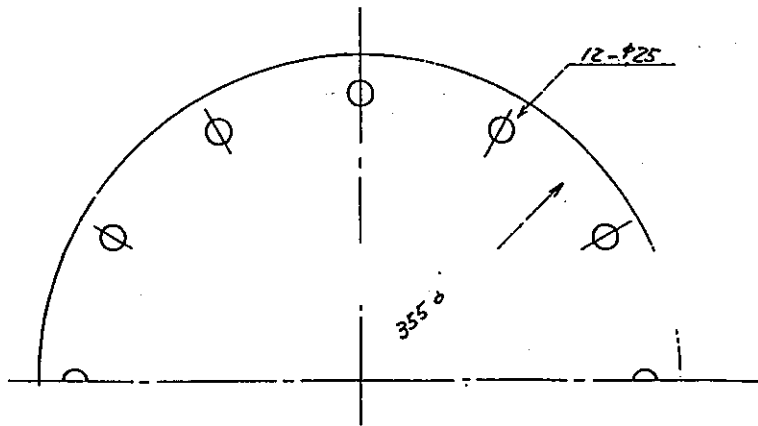
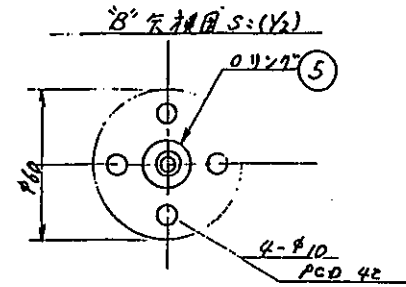
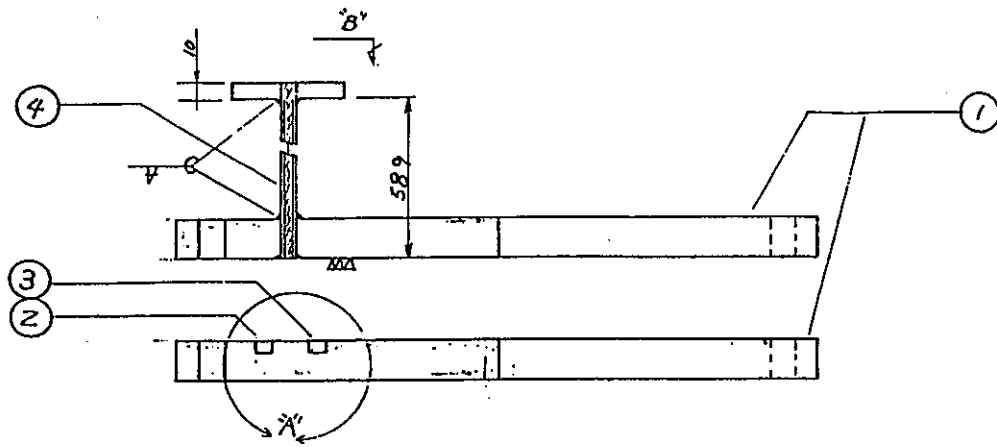


図 2.2 - 6 実機設備測定結果 ( 6 )

訂正欄		
年・月・日	記号	検印



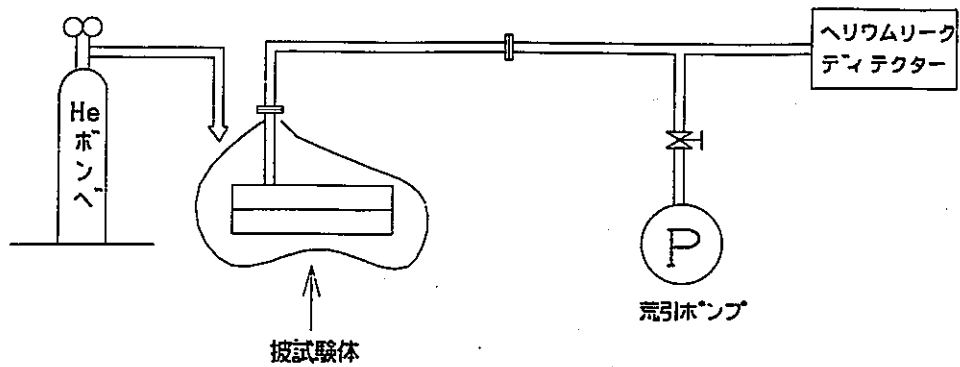
品番	部品名	材質	個数	備考
5	Oリング		1	V15
4	ボルト	SUS	1	1/8" Sch 20
3	Oリング		1	P215
2	Oリング	ハイトン	1	P28.5
1	フランジ	SS	2	JIS 10K 10B

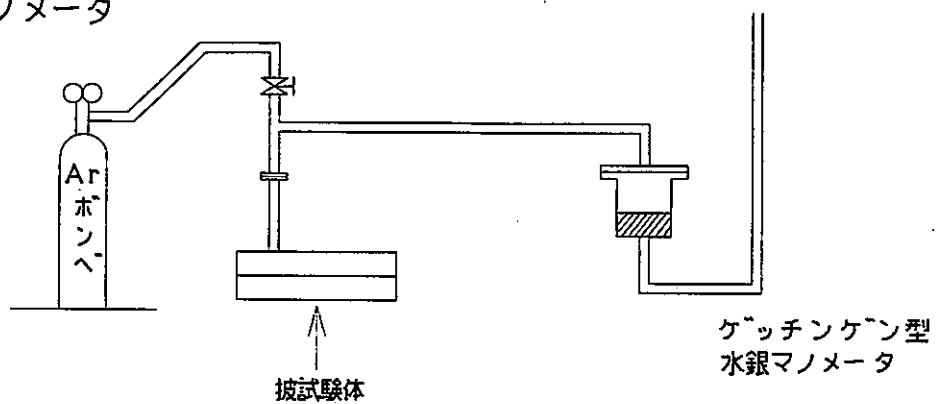
名称	2重Oリング部		画法	三角	尺度	1/3 ( )	承認
	漏洩試験実験装置						
	製作図						
	検図						

図 2.3 - 1 漏洩試験用フランジ

### Heリーク試験



### ゲッチングン型 水銀マンノメータ



### デジタル マンノメータ

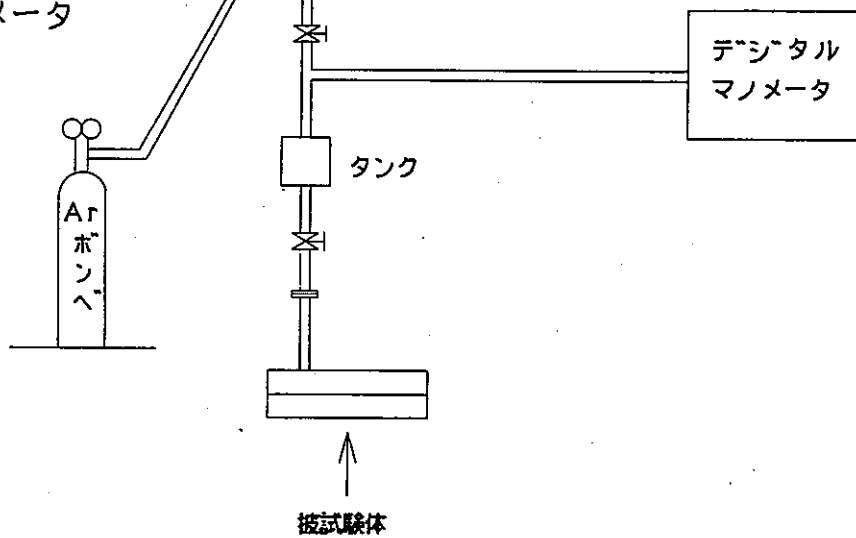


図 2.3 - 2 比較試験概略図

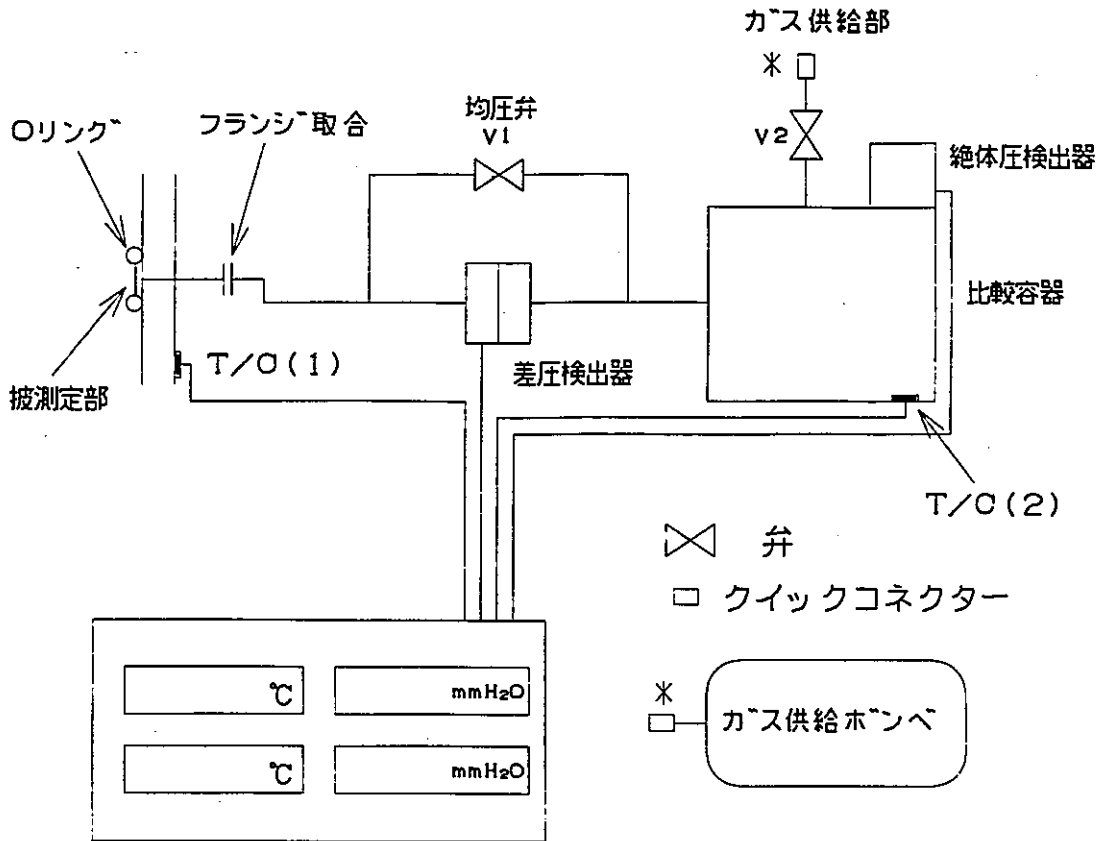


図 2.3 - 3 漏洩測定装置原理図

(1) 装置は以下の 3 つの部から構成される。

- a) 比較容器, 絶対圧検出部, 差内検出部, 温度センサー, 弁を一体とした検出部
- b) 変換部, 電源部, 表示器からなる出力部
- c) ガス供給ポンプ等の付属部

(2) 測定法

- a) T/C (1) を被測定部に取付ける。(被測定部のガス温度測定のため)
- b) 均圧弁 V1 とガス供給弁 V2 を開とし、ガス供給ポンプを接続  
V2 により徐々に供給する。

### 3. 漏洩量算出式の検討

前項にて記載した通り燃料取扱設備の漏洩試験方法は、加圧放置法によるものであり、試験体内にガス（現状ではアルゴンガス）を加圧し一定時間経過後の圧力変化により漏れ量を測定する試験方法である。

漏洩量を計算するための測定項目も、圧力及び温度の2点と同様であるが、漏洩量を算出する式が異なっている。

この項では、その計算式の根拠について検討を行った。

#### 3.1 理論式

漏洩量は、漏れ流体の単位時間当たりの流量であり、これを式で表すと以下になる。

$$[\text{漏洩量}] = \frac{[\text{圧力差}] \times [\text{容積}]}{[\text{時間}]}$$

$$Q = \frac{V}{t} \Delta P$$

$$= \frac{V}{t} \{ P_{\text{abs1}} - P_{\text{abs2}} \} \quad \text{----- (1)}$$

- Q : 漏洩量 [atm cc/sec]
- V : 試験体容積 [cc]
- t : 測定時間 [sec]
- P<sub>abs</sub> : 絶対圧力 [atm-abs]
- 1 : 測定開始時
- 2 : 測定終了時

(1)式の測定開始時と終了時において温度が変化する場合は、気体の標準状態（20℃、1気圧）に換算する必要があり、次のように補正を行う。

気体の状態方程式：P V = n R Tより

$$\frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{P_0 \cdot V}{R \cdot T_0} = n : \text{一定}$$

$$P_0 = \frac{P}{T} T_0$$

$\left\{ \begin{array}{l} P_0 : \text{標準状態 } 1 [\text{atm}] \\ T_0 : \text{標準状態 } 293.15 [\text{K}] \\ \quad \quad \quad = 20 [^\circ\text{C}] \end{array} \right.$

従って、(1)式の漏洩量は以下のように表され、これが漏洩量計算の理論式となる。

$$Q = \frac{V}{t} \left\{ \frac{P_{\text{abs1}}}{T_1} T_0 - \frac{P_{\text{abs2}}}{T_2} T_0 \right\}$$

$$= \frac{V \cdot T_0}{t} \left\{ \frac{P_{\text{abs1}}}{T_1} - \frac{P_{\text{abs2}}}{T_2} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

（ここでのP<sub>abs</sub>は、温度変化を受けた絶対圧力値[atm-abs]である。）

また絶対圧力は、ゲージ圧力と大気圧の合計であることより、(2)式は以下に変形できる。

絶対圧力：P<sub>abs</sub> = p + P [atm-abs]

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1} - \frac{p_2 + P_2}{T_2} \right\} \text{----- (3)}$$

- Q : 漏洩量 [atm cc/sec]
- V : 試験体容積 [cc]
- t : 測定時間 [sec]
- T<sub>0</sub> : 基準温度 [K] (293.15 K = 20 °C)
- T : 測定温度 [K]
- P : 外気圧 [atm-abs]
- p : 測定圧力 [atm]
- 1 : 測定開始時
- 2 : 測定終了時

また、この(2)式及び(3)式は、「JIS Z 2332 放置法による漏れ試験方法」の試験体の温度変化及び大気圧の影響を考慮する場合の理論式と同じである。

### 3.2 A社の計算式

A社の漏洩試験は、測定圧力を [mmHg] 単位のゲージ圧力計により測定を行っているため、(2)式を [mmHg] 単位の換算する必要がある。

$$P_{abs} = \frac{p + P}{P_0}$$

- p : 測定ゲージ圧力 [mmHg]
- P : 大気圧 [mmHg]
- P<sub>0</sub> : 標準状態 [760 mmHg]
- P<sub>abs</sub> : 絶対圧力 [atm-abs]

従って、(2)式を次のように変換する。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{V \cdot T_0}{t} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1 P_0} - \frac{p_2 + P_2}{T_2 P_0} \right\} \\ &= \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1} - \frac{p_2 + P_2}{T_2} \right\} \\ &= \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \left( \frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) + \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) \right\} \end{aligned}$$

ここで、測定前後において大気圧の変化がないと (P<sub>01</sub> = P<sub>02</sub> = P<sub>0</sub>) 仮定すると、

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0 \cdot T_1} \left\{ P_0 \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right) + \left( p_1 - \frac{T_1}{T_2} p_2 \right) \right\}$$

この式で、標準状態の温度 T<sub>0</sub> の代わりに、測定温度の平均値 T<sub>av</sub> を使用すると、

$$T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$Q = \frac{V \cdot T_{av}}{t \cdot P_0 \cdot T_1} \left\{ P_0 \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right) + \left( p_1 - \frac{T_1}{T_2} p_2 \right) \right\} \text{---- (4)}$$

となり、A社の漏洩量算出式が導かれる。



### 3.3 B社の計算式

B社の漏洩試験は、測定圧力を [kgf/cm<sup>2</sup>] 単位のゲージ圧力計により測定を行っているため、(2)式を [kgf/cm<sup>2</sup>] 単位の換算する必要がある。

$$P_{abs} = \frac{p + P}{P_0}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} P & : \text{測定ゲージ圧力 [kgf/cm}^2\text{]} \\ P & : \text{大気圧 [kgf/cm}^2\text{]} \\ P_0 & : \text{標準状態 [1.033 kgf/cm}^2\text{]} \\ P_{abs} & : \text{絶対圧力 [atm-abs]} \end{array} \right.$$

従って、(2)式を次のように変換する。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{V \cdot T_0}{t} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1 P_0} - \frac{p_2 + P_2}{T_2 P_0} \right\} \\ &= \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1} - \frac{p_2 + P_2}{T_2} \right\} \\ &= \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) + \left( \frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) \right\} \end{aligned}$$

ここで、測定前後において大気圧の変化がなく ( $P_1 = P_2 = P_0$ )、温度変化が圧力変化よりも十分に小さい ( $\Delta T \ll \Delta p$ ) と仮定すると、

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right\}$$

この式に、 $T_0 = 20[\text{°C}] = 293.15 [\text{K}]$ 、 $P_0 = 1.033 [\text{kgf/cm}^2]$  を代入すると、

$$Q = \frac{V \cdot 293.15}{t \cdot 1.033} \left\{ \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right\} \text{----- (5)}$$

となり、B社の漏洩量算出式が導かれる。

### 3.4 まとめ

漏洩量の計算式について検討を行った結果、A社及びB社のいずれの計算式も、基本的には理論式から導かれることを確認した。

但し、A社の算出式では、測定前後における大気圧の変化を無視し、標準温度 (20°C) の代わりに測定温度の平均値を使用したものである。また、B社の算出式では、A社と同様に大気圧の変化を無視したものであり、更に温度変化による大気圧の補正も除いたものである。

これらのA社やB社の漏洩量計算式により測定することは、大気圧変化の影響が少ない短時間の測定試験で、かつ温度変化が小さい場合では実用に際して問題はないと思われるが、詳細な誤差評価が必要である。

## 4. 漏洩測定の精度検討

燃料取扱設備の漏洩試験は、圧力と温度を測定することにより漏洩量を算出する間接測定による試験である。よって、測定精度の評価では各測定器の測定精度を組み合わせる総合的な評価を行う必要がある。

本項における精度の検討は、JEAC-4203「原子炉格納容器の漏えい試験」（参考文献(3)）に定められている測定計器の精度による誤差の検討方法に基づき実施した。

この誤差検討方法は間接測定に関する誤差評価方式であり、各測定計器毎の誤差を平均自乗誤差法により求めるものである。

平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(L) = \sum_i \left( \frac{\partial L}{\partial X_i} \right)^2 \sigma^2(X_i)$$

この式のLにA社またはB社の計算式を代入し、 $X_i$ には各測定項目（圧力、温度）を、 $\sigma(X_i)$ には各計器の誤差または最小読取値を代入することにより、総合的な測定誤差または分解能が求められる。

尚、本レポートにおいては、測定誤差と分解能を次の定義により使い分ける。

- ・分解能： $\sigma(X_i)$ に各計器の最小読取値を代入する。

この分解能とは、各測定器が有する最小の判別能力から、漏洩測定の組合せ誤差を求めるものであり、この値より少ない漏洩を測定する能力を有しないことを示す。

- ・保証精度： $\sigma(X_i)$ に各計器が有する計器誤差を代入する。

この保証精度では、各測定器が有する測定誤差から、漏洩測定の組合せ誤差を求めたものであり、この保証精度から分解能までの範囲の測定値は誤差範囲内であることが示され、測定値としては信頼性が少ないものと考えられる必要がある。従って、公的な漏洩試験を実施するには、この保証精度が維持目標値よりも十分に小さいことが、試験を行う上での前提条件となる。

本項での各測定方法の測定精度評価には、分解能に基づき計算し、各試験方法の最小の測定能力から試験方法の妥当性の評価を行う。

### 4.1 従来 of 精度評価

#### (1) A社の計算条件

A社の漏洩測定に対する分解能の計算方法を添付資料1に示す。

分解能を計算する上での測定条件を以下に設定する。但し、測定時間と容積については測定誤差を有するものとして評価するが、大気圧の変化については除外する。

#### ①漏洩試験の測定状態

$$P_0 = 760 \text{ [mmHg]}$$

$$t = 1800 \text{ [sec]} = 30 \text{ [min]}$$

$$V = 200 \text{ [cc]} \quad : \text{一定}$$

$$T_1 = 288.15 \text{ [K]} = 15.0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_2 = 287.15 \text{ [K]} = 14.0 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad : \text{温度変化} - 1 \text{ }^\circ\text{C} \text{ と仮定}$$

$p_1 = 460.00$  [mmHg] : 従来の試験の実績  
 $p_2 = 448.94$  [mmHg] :  $1 \times 10^{-3}$  [atm cc/s]の漏洩が生じた場合の圧力

②測定誤差

$\sigma(t) = 18$  [sec] :  $t \times 1\%$ と仮定  
 $\sigma(V) = 2$  [cc] :  $V \times 1\%$ と仮定  
 $\sigma(T_i) = 0.1$  [K]  
 $\sigma(p_i) = 0.02$  [mmHg]

(2) B社の計算条件

B社の漏洩測定に対する分解能の計算方法を添付資料2に示す。

分解能を計算する上での測定条件を以下に設定する。但し、(1)A社と同様に測定時間と容積についても測定誤差を有するものとして評価するが、大気圧の変化については除外する。

①漏洩試験の測定状態

$T_0 = 293.15$  [K] = 20 [°C]  
 $P_0 = 1.033$  [kg/cm<sup>2</sup>]  
 $t = 1800$  [sec] = 30 [min]  
 $V = 240$  [cc] : キャスクカードアバルブの最大容積  
 $T_1 = 288.15$  [K] = 15.0 [°C]  
 $T_2 = 287.15$  [K] = 14.0 [°C] : 温度変化-1°Cと仮定  
 $p_1 = 1.67000$  [kg/cm<sup>2</sup>] : 従来の試験の実績  
 $p_2 = 1.65662$  [kg/cm<sup>2</sup>] :  $1 \times 10^{-3}$  [atm cc/s]の漏洩が生じた場合の圧力

②測定誤差

$\sigma(t) = 18$  [sec] :  $t \times 1\%$ と仮定  
 $\sigma(V) = 2.4$  [cc] :  $V \times 1\%$ と仮定  
 $\sigma(T_i) = 0.1$  [K]  
 $\sigma(p_i) = 0.00001$  [kg/cm<sup>2</sup>]  
 $(\sigma(p_i) = 0.001$  [kg/cm<sup>2</sup>] : 動燃所有の圧力計の場合)

(3) 計算結果

A社及びB社の分解能の計算結果を下記に、詳細計算結果を表4.1-1に示す。

現状の漏洩試験の分解能 ( $2\sigma$ )

	A社測定条件	B社測定条件	
A社式	$1.77 \times 10^{-4}$	$3.43 \times 10^{-4}$	[atm cc/sec]
B社式	$0.73 \times 10^{-4}$	$2.17 \times 10^{-4}$	
B社式(動燃計器)	—	$4.31 \times 10^{-4}$	

B社測定条件では、測定圧力が大きいため分解能は大きくなる。各測定方法の比較では、圧力測定器の精度に比例して、動燃計器>A社>B社の順に分解能は小さくなる。

以上の結果から、いずれの計算式及び計算条件においても分解能は $1 \sim 4 \times 10^{-4}$ 程度であり、維持基準値が $1 \times 10^{-3}$  [atm cc/sec] の漏洩試験は実施可能であるが、それ以上の $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$  [atm cc/sec] の試験では、判定が困難である。

また、表 4.1 - 1 の詳細計算表のなかで、各測定項目毎の計算値の比較より、誤差の主要因となっているのは温度測定誤差であり、温度測定器の精度を向上させることにより、全体の精度を改善することが可能となる。

#### 4.2 大気圧変動の影響

3. 項の漏洩量算出式の検討にて記載したように、現在の漏洩測定式は大気圧変動による影響を受けないことが必要条件となっている。また、4.1 精度評価においても計算式の中に大気圧の項目がないため、大気圧変動を考慮できるものになっていない。

本項では、この大気圧の変化が漏洩測定に与える影響について検討する。

##### (1) 前提条件

実際の漏洩試験は、燃料出入機や燃料交換機等の場合は格納容器の中で、キャスクカーや燃料洗浄設備等の場合は原子炉附属建家の中で行っている。また、従来使用してきた圧力測定器であるゲッチングン型水銀マンオメータ及びデジタルマンオメータは、計器を設置している場所の雰囲気圧力との相対値を測定するゲージ圧測定器である。従って、測定圧力値は格納容器や附属建家の内圧変動により影響を受ける。

正確に漏洩試験の外圧変動の影響を検討するには、測定器が設置された場所の雰囲気圧力に基づき検討することが望ましいが、本検討では格納容器内圧は外気圧に対して+10 mmAq、附属建家内圧は外気圧に対して-10 mmAqに一定に制御されていることを前提条件として、単純に外気圧の測定値に対して評価を行う。

##### (2) 外気圧の変動

平成4年11月15日から平成5年2月3日まで(81日間)の外気圧測定値を図4.2-1に、データ表を表4.2-1に示す。

大気圧測定データから1時間当たりの変化率を求めたものを図4.2-2に、また変動率の頻度分布を図4.2-3に、また全データに対する統計値を下記に示す。

大気圧変動の統計結果

単 位	[mbar/h]	[mmHg/h]	[kgf/cm <sup>2</sup> .h]
絶対値の最大	1.864	1.398	0.00190
絶対値の平均	0.411	0.308	0.00042
標準偏差 (68%)	0.523	0.392	0.00053
標準偏差×2 (95%)	1.046	0.785	0.01067

大気圧変動に対する漏洩測定の精度評価は、上記の統計値の内、絶対値の平均、標準偏

差×2、絶対値の最大の3通りについて比較評価を行う。

### (3) 外気圧の変動による誤差評価

A社式及びB社式は、大気圧の影響を無視した計算式のため大気圧変動による誤差評価は、大気圧測定を含む理論式に基づいて実施する。この理論式による分解能の計算方法を付表3に示す。

計算条件としては、A社及びB社の両方の測定条件を計算する。計算結果を以下及び図4.2-4に、詳細結果を表4.2-2に示す。

大気圧変動に対する分解能 ( $2\sigma$ ) 単位: [atm cc/sec]

	$\sigma$ (Pi)	A社測定条件	B社測定条件
(a) 4.1項の計算結果		$1.77 \times 10^{-4}$	$2.17 \times 10^{-4}$
(b) 大気圧変動なし	0	$1.80 \times 10^{-4}$	$3.50 \times 10^{-4}$
(c) 平均値	0.411 [mmbar/h]	$1.92 \times 10^{-4}$	$3.58 \times 10^{-4}$
(d) $2\sigma$	1.046 [mmbar/h]	$2.45 \times 10^{-4}$	$4.02 \times 10^{-4}$
(e) 最大値	1.864 [mmbar/h]	$3.45 \times 10^{-4}$	$4.97 \times 10^{-4}$

詳細計算結果の表4.2-2の右端に、A社及びB社の計算を理論式によって再現性を確認したものを添付する。この再現性確認のための条件入力値から、B社では大気圧が0 [kg/cm<sup>2</sup>]でかつ大気圧誤差 $\sigma$  (Pi)も0 [kg/cm<sup>2</sup>]の条件であることが分かる。これは、3.2項で漏洩量計算式を検討した時の大気圧変化及び温度変化が小さいと仮定したことを計算上で表している。 $\sigma$  (Pi)=0の条件での理論式からの分解能(上記表の(b):  $3.50 \times 10^{-4}$ )と4.1項の分解能(上記表の(a):  $2.17 \times 10^{-4}$ )の値が異なるのは、この大気圧の項目を無視したために生じたものである。

また、A社式では、大気圧の項を省略していないことより、上記表の(a)と(b)の分解能の値はほぼ同程度であるが、測定温度の平均値で計算しているために若干の違いが現れている。

大気圧変動による漏洩測定の分解能への影響としては、上記表の(c)平均値程度ではそれほど大きなものとならないが、統計的に意味のある「標準偏差×2」の場合や気象変化の激しい時には無視できないことが分かる。

### 4.3 まとめ

本項では、漏洩試験方法の精度に関して、従来使用してきた計算式での分解能の評価と大気圧変動の分析及びその変動値に対する分解能の評価を行った。

従来の漏洩試験方法における分解能は、試験圧力が高いことに起因して燃料取扱用キャスクカーの測定方法が精度的に劣ることを明らかにした。

大気圧の変動による精度評価としては、大気圧変動の平均値(0.411 [mmbar/h])程度では問題はないが、 $2\sigma$ や最大値までの悪条件になると有意な差が見られることが計算結果から明らかにされた。

いずれにしても、A社及びB社のどちらの測定条件及び計算方法においても、 $1 \sim 4 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]程度の分解能であり、維持目標値である $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$  [atm cc/sec]を判定するのは困難であった。

これらの結果から、漏洩試験の測定精度（分解能）を向上させるには、温度計測器の精度の向上と大気圧の変動の影響を抑制することが必須の条件となった。

表 4.1-1 分解能詳細計算結果

燃取漏洩量測定 of 誤差評価

(燃料取扱用キャスクカー)  
(B社の式)

各測定計器の測定条件	B社 計器)	(動燃計器)	(A社 条件)
T0= [K]	293.15	293.15	293.15
P0= [kg/cm2]	1.033	1.033	1.033
t= [sec]	1800	1800	1800
V= [cc]	240	240	200
T1= [K]	288.15	288.15	288.15
T2= [K]	287.15	287.15	287.15
p1= [kg/cm2]	1.67000	1.67000	0.62524
p2= [kg/cm2]	1.65662	1.65662	0.61396
測定誤差			
$\sigma$ (t) [sec]	18	18	18
$\sigma$ (V) [cc]	2.4	2.4	2
$\sigma$ (T1) [K]	0.1	0.1	0.1
$\sigma$ (T2) [K]	0.1	0.1	0.1
$\sigma$ (P1) [kg/cm2]	0.00001	0.001	0.000027
$\sigma$ (P2) [kg/cm2]	0.00001	0.001	0.000027
計算値			
t:	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10
V:	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10
T1:	5.79E-09	5.79E-09	5.64E-10
T2:	5.78E-09	5.78E-09	5.51E-10
p1:	1.72E-12	1.72E-08	8.85E-12
p2:	1.74E-12	1.74E-08	8.91E-12
合計	1.18E-08	4.64E-08	1.33E-09
$\sigma$	1.09E-04	2.15E-04	3.65E-05
2 $\sigma$	2.17E-04	4.31E-04	7.30E-05

差圧計算

Q=	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03
@T=	-1	-1	-1
V <sub>T0</sub> /tP <sub>0</sub>	3.78E+01	3.78E+01	3.15E+01
p1/T1	0.005796	0.005796	0.00217
p2/T2	0.005769	0.005769	0.002138

燃取漏洩量測定 of 誤差評価

(燃料交換機、燃料出入機)  
(A社の式)

各測定計器の測定条件	(A社 測定)	(B社 条件)
T0= [K]		
P0= [mmHg]	760	760
t= [sec]	1800	1800
V= [cc]	200	240
T1= [K]	288.15	288.15
T2= [K]	287.15	287.15
p1= [mmHg]	460.00	1228.65
p2= [mmHg]	448.94	1216.06
測定誤差		
$\sigma$ (t) [sec]	18	18
$\sigma$ (V) [cc]	2	2.4
$\sigma$ (T1) [K]	0.1	0.1
$\sigma$ (T2) [K]	0.1	0.1
$\sigma$ (P1) [mmHg]	0.02	0.007356
$\sigma$ (P2) [mmHg]	0.02	0.007356
計算値		
t:	1.00E-10	1.00E-10
V:	1.00E-10	1.00E-10
T1:	3.80E-09	1.46E-08
T2:	3.82E-09	1.47E-08
p1:	8.52E-12	1.66E-12
p2:	8.58E-12	1.67E-12
合計	7.84E-09	2.94E-08
$\sigma$	8.85E-05	1.72E-04
2 $\sigma$	1.77E-04	3.43E-04

差圧計算

Q=	1.0E-03	1.0E-03
@T=	-1	-1
V/2t	5.56E-02	6.67E-02
T2/T1+1	1.99653	1.99653
T1/T2+1	2.003483	2.003483
P1/P0+1	1.605263	2.616651
P2/P0+1	1.590708	2.600083

表 4.2 - 1 大気圧測定データ

日付	時刻	地点	圧力		差	変化	単位
			実測	標準			
11/15	00:00	1026.315					
	01:00	1026.000	-0.315	-0.315	0.315		
	02:00	1026.000	0	0	0		
	03:00	1026.850	0.850	0.15	0.15		
	04:00	1025.375	-0.525	-0.525	0.525		
	05:00	1025.400	0.025	0.075	0.075		
	06:00	1025.700	0.300	0	0		
	07:00	1026.776	1.076	0.076	0.076		
	08:00	1026.035	-0.745	-0.745	0.745		
	09:00	1024.800	-1.515	-1.515	1.515		
	10:00	1024.800	-1.515	-1.515	1.515		
	11:00	1024.800	-1.515	-1.515	1.515		
	12:00	1022.475	-3.840	-3.840	3.840		
	13:00	1021.425	-4.890	-4.890	4.890		
	14:00	1020.975	-5.340	-5.340	5.340		
15:00	1020.225	-6.090	-6.090	6.090			
16:00	1019.475	-6.840	-6.840	6.840			
17:00	1018.725	-7.590	-7.590	7.590			
18:00	1018.000	-8.315	-8.315	8.315			
19:00	1017.275	-9.040	-9.040	9.040			
20:00	1016.525	-9.790	-9.790	9.790			
21:00	1015.775	-10.540	-10.540	10.540			
22:00	1015.025	-11.290	-11.290	11.290			
23:00	1014.275	-12.040	-12.040	12.040			
11/16	00:00	1013.500					
01:00	1012.750	-0.750	-0.750	0.750			
02:00	1012.000	-1.500	-1.500	1.500			
03:00	1011.250	-2.250	-2.250	2.250			
04:00	1010.500	-3.000	-3.000	3.000			
05:00	1009.750	-3.750	-3.750	3.750			
06:00	1009.000	-4.500	-4.500	4.500			
07:00	1008.250	-5.250	-5.250	5.250			
08:00	1007.500	-6.000	-6.000	6.000			
09:00	1006.750	-6.750	-6.750	6.750			
10:00	1006.000	-7.500	-7.500	7.500			
11:00	1005.250	-8.250	-8.250	8.250			
12:00	1004.500	-9.000	-9.000	9.000			
13:00	1003.750	-9.750	-9.750	9.750			
14:00	1003.000	-10.500	-10.500	10.500			
15:00	1002.250	-11.250	-11.250	11.250			
16:00	1001.500	-12.000	-12.000	12.000			
17:00	1000.750	-12.750	-12.750	12.750			
18:00	1000.000	-13.500	-13.500	13.500			
19:00	999.250	-14.250	-14.250	14.250			
20:00	998.500	-15.000	-15.000	15.000			
21:00	997.750	-15.750	-15.750	15.750			
22:00	997.000	-16.500	-16.500	16.500			
23:00	996.250	-17.250	-17.250	17.250			
11/17	00:00	1026.325					
01:00	1026.000	-0.325	-0.325	0.325			
02:00	1025.250	-1.075	-1.075	1.075			
03:00	1024.500	-1.825	-1.825	1.825			
04:00	1023.750	-2.575	-2.575	2.575			
05:00	1023.000	-3.325	-3.325	3.325			
06:00	1022.250	-4.075	-4.075	4.075			
07:00	1021.500	-4.825	-4.825	4.825			
08:00	1020.750	-5.575	-5.575	5.575			
09:00	1020.000	-6.325	-6.325	6.325			
10:00	1019.250	-7.075	-7.075	7.075			
11:00	1018.500	-7.825	-7.825	7.825			
12:00	1017.750	-8.575	-8.575	8.575			
13:00	1017.000	-9.325	-9.325	9.325			
14:00	1016.250	-10.075	-10.075	10.075			
15:00	1015.500	-10.825	-10.825	10.825			
16:00	1014.750	-11.575	-11.575	11.575			
17:00	1014.000	-12.325	-12.325	12.325			
18:00	1013.250	-13.075	-13.075	13.075			
19:00	1012.500	-13.825	-13.825	13.825			
20:00	1011.750	-14.575	-14.575	14.575			
21:00	1011.000	-15.325	-15.325	15.325			
22:00	1010.250	-16.075	-16.075	16.075			
23:00	1009.500	-16.825	-16.825	16.825			
11/18	00:00	1026.325					
01:00	1026.000	-0.325	-0.325	0.325			
02:00	1025.250	-1.075	-1.075	1.075			
03:00	1024.500	-1.825	-1.825	1.825			
04:00	1023.750	-2.575	-2.575	2.575			
05:00	1023.000	-3.325	-3.325	3.325			
06:00	1022.250	-4.075	-4.075	4.075			
07:00	1021.500	-4.825	-4.825	4.825			
08:00	1020.750	-5.575	-5.575	5.575			
09:00	1020.000	-6.325	-6.325	6.325			
10:00	1019.250	-7.075	-7.075	7.075			
11:00	1018.500	-7.825	-7.825	7.825			
12:00	1017.750	-8.575	-8.575	8.575			
13:00	1017.000	-9.325	-9.325	9.325			
14:00	1016.250	-10.075	-10.075	10.075			
15:00	1015.500	-10.825	-10.825	10.825			
16:00	1014.750	-11.575	-11.575	11.575			
17:00	1014.000	-12.325	-12.325	12.325			
18:00	1013.250	-13.075	-13.075	13.075			
19:00	1012.500	-13.825	-13.825	13.825			
20:00	1011.750	-14.575	-14.575	14.575			
21:00	1011.000	-15.325	-15.325	15.325			
22:00	1010.250	-16.075	-16.075	16.075			
23:00	1009.500	-16.825	-16.825	16.825			

日付	時刻	地点	圧力		差	変化	単位
			実測	標準			
12/20	00:00	1026.915					
	01:00	1026.050	-0.865	-0.865	0.865		
	02:00	1025.225	-1.690	-1.690	1.690		
	03:00	1024.425	-2.490	-2.490	2.490		
	04:00	1023.650	-3.265	-3.265	3.265		
	05:00	1022.900	-4.015	-4.015	4.015		
	06:00	1022.175	-4.740	-4.740	4.740		
	07:00	1021.475	-5.440	-5.440	5.440		
	08:00	1020.800	-6.115	-6.115	6.115		
	09:00	1020.150	-6.765	-6.765	6.765		
	10:00	1019.525	-7.395	-7.395	7.395		
	11:00	1018.925	-8.000	-8.000	8.000		
	12:00	1018.350	-8.575	-8.575	8.575		
	13:00	1017.800	-9.125	-9.125	9.125		
	14:00	1017.275	-9.650	-9.650	9.650		
15:00	1016.775	-10.150	-10.150	10.150			
16:00	1016.300	-10.625	-10.625	10.625			
17:00	1015.850	-11.075	-11.075	11.075			
18:00	1015.425	-11.500	-11.500	11.500			
19:00	1015.025	-11.895	-11.895	11.895			
20:00	1014.650	-12.265	-12.265	12.265			
21:00	1014.300	-12.600	-12.600	12.600			
22:00	1013.975	-12.900	-12.900	12.900			
23:00	1013.675	-13.175	-13.175	13.175			
12/21	00:00	1013.400					
01:00	1013.150	-0.250	-0.250	0.250			
02:00	1012.925	-0.475	-0.475	0.475			
03:00	1012.725	-0.675	-0.675	0.675			
04:00	1012.550	-0.850	-0.850	0.850			
05:00	1012.400	-1.000	-1.000	1.000			
06:00	1012.275	-1.125	-1.125	1.125			
07:00	1012.175	-1.225	-1.225	1.225			
08:00	1012.100	-1.300	-1.300	1.300			
09:00	1012.050	-1.350	-1.350	1.350			
10:00	1012.025	-1.375	-1.375	1.375			
11:00	1012.025	-1.375	-1.375	1.375			
12:00	1012.050	-1.350	-1.350	1.350			
13:00	1012.100	-1.300	-1.300	1.300			
14:00	1012.175	-1.225	-1.225	1.225			
15:00	1012.275	-1.125	-1.125	1.125			
16:00	1012.400	-1.000	-1.000	1.000			
17:00	1012.550	-0.850	-0.850	0.850			
18:00	1012.725	-0.675	-0.675	0.675			
19:00	1012.925	-0.475	-0.475	0.475			
20:00	1013.150	-0.250	-0.250	0.250			
21:00	1013.400	0	0	0			
22:00	1013.675	0.275	0.275	0.275			
23:00	1013.975	0.575	0.575	0.575			
12/22	00:00	1014.300					
01:00	1014.025	-0.275	-0.275	0.275			
02:00	1013.775	-0.525	-0.525	0.525			
03:00	1013.550	-0.750	-0.750	0.750			
04:00	1013.350	-0.950	-0.950	0.950			
05:00	1013.175	-1.125	-1.125	1.125			
06:00	1013.025	-1.275	-1.275	1.275			
07:00	1012.900	-1.400	-1.400	1.400			
08:00	1012.800	-1.500	-1.500	1.500			
09:00	1012.725	-1.575	-1.575	1.575			
10:00	1012.675	-1.625	-1.625	1.625			
11:00	1012.650	-1.650	-1.650	1.650			
12:00	1012.650	-1.650	-1.650	1.650			
13:00	1012.675	-1.625	-1.625	1.625			
14:00	1012.725	-1.575	-1.575	1.575			
15:00	1012.800	-1.500	-1.500	1.500			
16:00	1012.900	-1.400	-1.400	1.400			
17:00	1013.025	-1.275	-1.275	1.275			
18:00	1013.175	-1.125	-1.125	1.125			
19:00	1013.350	-0.950	-0.950	0.950			
20:00	1013.550	-0.750	-0.750	0.750			
21:00	1013.775	-0.525	-0.525	0.525			
22:00	1014.025	-0.275	-0.275	0.275			
23:00	1014.300	0	0	0			
12/23	00:00	1014.600					
01:00	1014.325	-0.275	-0.275	0.275			
02:00	1014.075	-0.525	-0.525	0			



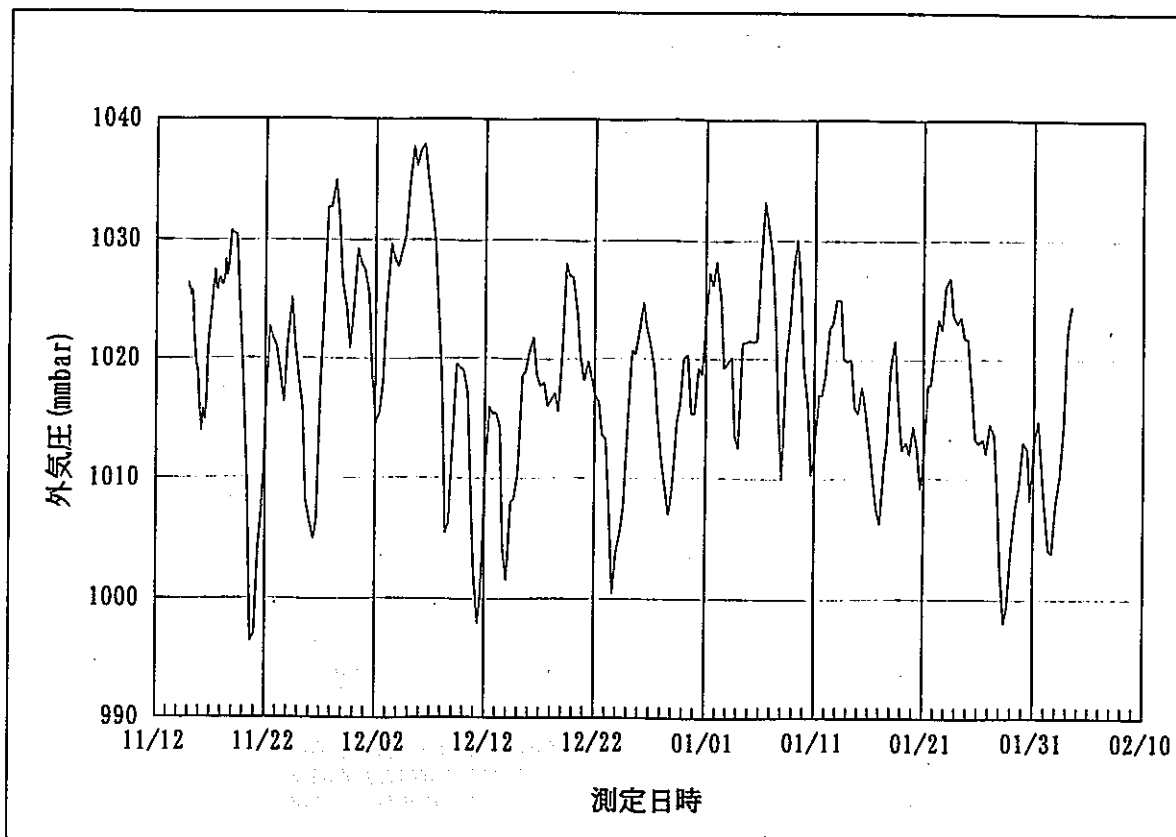


図 4. 2 - 1 大気圧測定グラフ

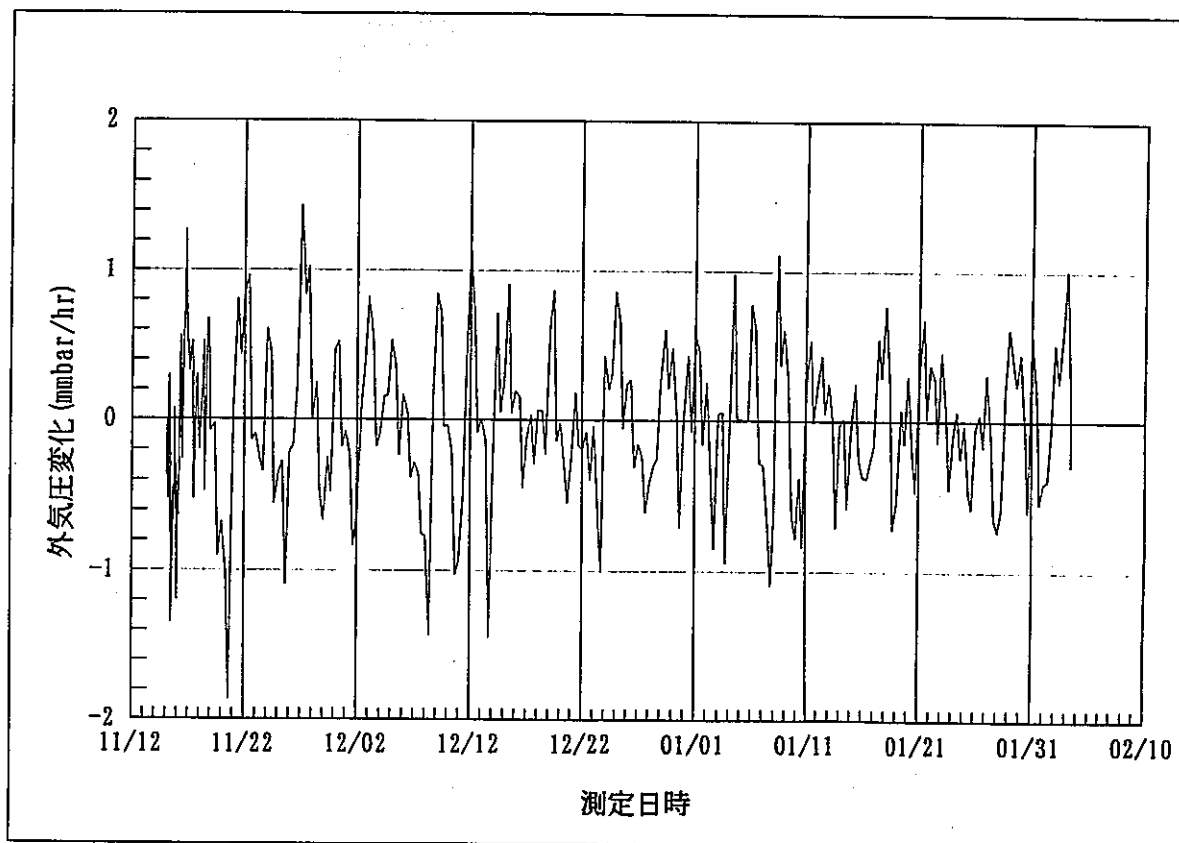


図 4. 2 - 2 大気圧変化グラフ

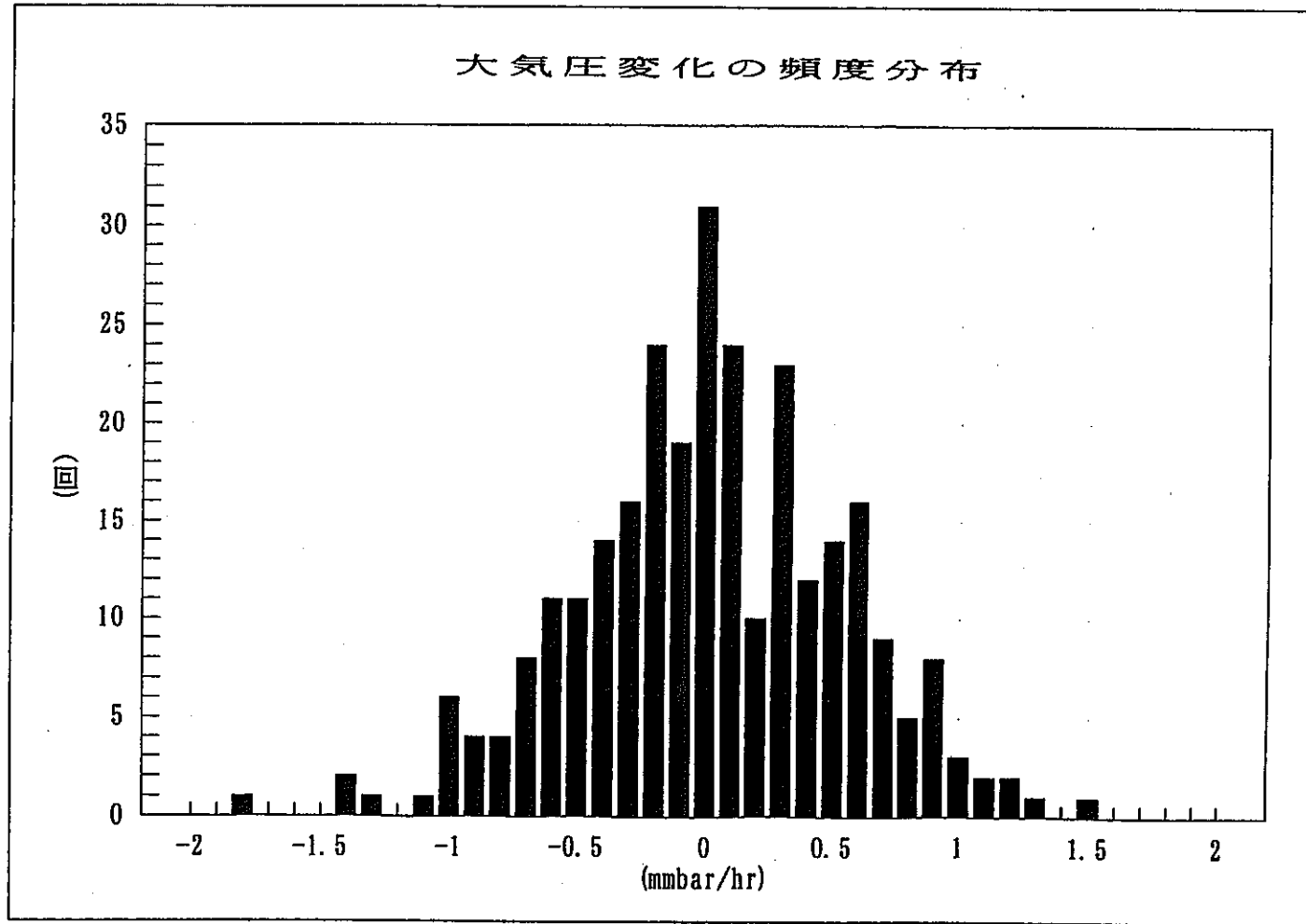


図4.2-3 変動率の頻度分布

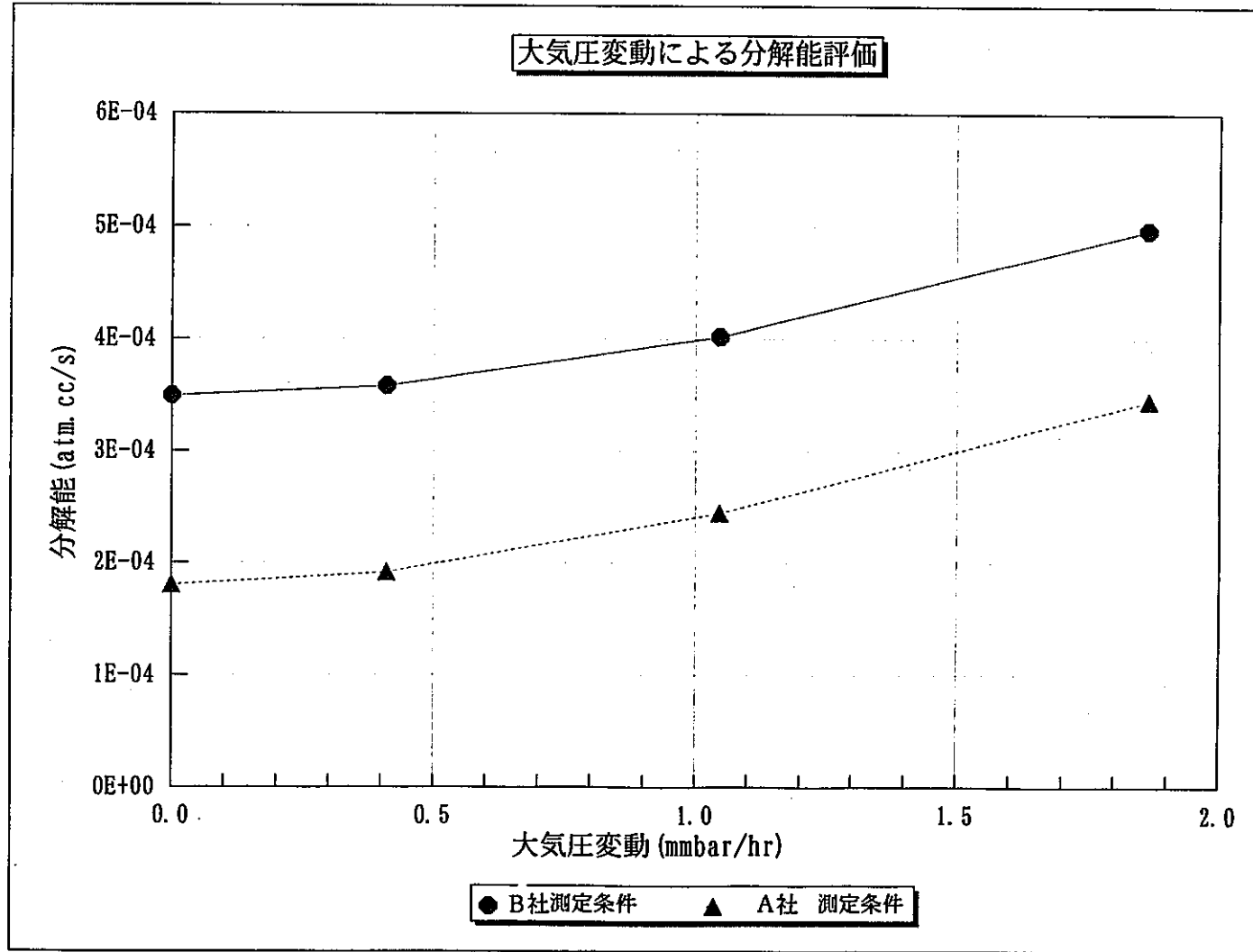


図 4.2 - 4 分解能計算結果 (大気圧)

表 4.2-2 分解能詳細計算結果 (大気圧)

燃取漏洩量測定の影響評価

(理論式 大気圧測定有り)

$Q=VT0/(P0*((p1+p1)/T1-(p2+p2)/T2))$

各測定計器の測定条件	大気圧変動の影響評価 (B社条件)			大気圧変動の影響評価 (A社条件)			各式の再現性確認		
	変動なし	平均値	最大値	変動なし	平均値	最大値	A社式	動燃計器	B社式
T0= [K]	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	287.65
P0= [kg/cm2]	1.03323	1.03323	1.03323	760.00	760.00	760.00	1.033	1.033	760
t= [sec]	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
V= [cc]	240	240	240	200	200	200	240	240	200
T1= [K]	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15
T2= [K]	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15
P1= [kg/cm2]	1.03323	1.03323	1.03323	760.00	760.00	760.00	760.00	760.00	760
P2= [kg/cm2]	1.03323	1.03302	1.03228	760.00	759.85	759.61	760.00	760.00	760
p1= [kg/cm2]	1.67000	1.67000	1.67000	460.00	460.00	460.00	1.67000	1.67000	460.00
p2= [kg/cm2]	1.65303	1.65324	1.65356	449.07	449.22	449.46	1.65662	1.65662	448.94
測定誤差									
$\sigma(t)$	18	18	18	18	18	18	18	18	18
$\sigma(V)$	2.4	2.4	2.4	2	2	2	2.4	2.4	2
$\sigma(T1)$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
$\sigma(T2)$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
$\sigma(P1)$	0	0.00021	0.00053	0	0.15	0.39	0.70	0	0
$\sigma(P2)$	0	0.00021	0.00053	0	0.15	0.39	0.70	0	0
$\sigma(p1)$	0.00001	0.00001	0.00001	0.02	0.02	0.02	0.00001	0.001	0.02
$\sigma(p2)$	0.00001	0.00001	0.00001	0.02	0.02	0.02	0.00001	0.001	0.02
計算値									
t:	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10
V:	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10	1.00E-10
T1:	1.52E-08	1.52E-08	1.52E-08	3.97E-09	3.97E-09	3.97E-09	5.79E-09	5.79E-09	3.82E-09
T2:	1.52E-08	1.52E-08	1.52E-08	3.95E-09	3.95E-09	3.95E-09	5.78E-09	5.78E-09	3.80E-09
P1:	0.00E+00	7.53E-10	4.90E-09	0.00E+00	5.25E-10	3.40E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
P2:	0.00E+00	7.58E-10	4.93E-09	0.00E+00	5.29E-10	3.43E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
p1:	1.72E-12	1.72E-12	1.72E-12	8.85E-12	8.85E-12	8.85E-12	1.72E-12	1.72E-12	8.52E-12
p2:	1.74E-12	1.74E-12	1.74E-12	8.91E-12	8.91E-12	8.91E-12	1.74E-12	1.74E-12	8.58E-12
合計	3.06E-08	3.21E-08	4.04E-08	8.13E-09	9.19E-09	1.50E-08	1.18E-08	4.64E-08	7.84E-09
$\sigma$	1.75E-04	1.79E-04	2.01E-04	9.02E-05	9.58E-05	1.22E-04	1.09E-04	2.15E-04	8.85E-05
2 $\sigma$	3.50E-04	3.58E-04	4.02E-04	1.80E-04	1.92E-04	2.45E-04	2.17E-04	4.31E-04	1.77E-04

差圧計算

Q=	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03
$\theta T=$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
VT0/IP0	3.78E+01	3.78E+01	3.78E+01	4.29E-02	4.29E-02	4.29E-02	3.78E+01	3.78E+01	4.21E-02
$(p1+p1)/T1$	0.009381	0.009381	0.009381	4.233906	4.233906	4.233906	0.005796	0.005796	4.233906
$(p2+p2)/T2$	0.009355	0.009355	0.009355	4.210573	4.210573	4.210573	0.005769	0.005769	4.210127

## 5. 漏洩試験方法の改善策の検討

4. 項では、これまで燃料取扱設備で実施してきた漏洩試験方法では、維持目標値である  $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$  [atm cc/sec] を判定することが困難であることを示した。

本項では、適切な漏洩試験を実施可能な方法について、調査検討を行った。

漏洩試験方法の改善には以下の観点から検討を行った。

- ①測定計器の性能向上を図り、測定精度を向上させる。
- ②試験方法の改善を図る。

### 5.1 測定計器の精度向上による改善（温度計、圧力計の精度を向上させる方法）

4. 3 項にて示したように、これまでの漏洩試験方法である加圧放置法での測定誤差の主要因は、温度測定器の精度と大気圧変動の影響が上げられる。

現在市販されている高精度な測定計器を使用した場合に得られる漏洩試験全体の分解能について評価を行う。

#### (a) 温度測定器

汎用性のある高精度な温度測定器には、白金測温抵抗体を使用した温度計があり、最小読取値は、0.01 [°C] である。

#### (b) 絶対圧力計

絶対圧力計により圧力を測定することによって大気圧の変動を無視することが可能となる。市販されている高精度絶対圧力計の最小読取値は、0.00001 [kg/cm<sup>2</sup>-abs] である。

上記の測温抵抗体及び絶対圧力計を使用した場合の分解能について計算を行う。計算方法は添付資料4に示す通りであり、絶対圧力を直接測定して理論式により計算を行う。評価条件としては、A社及びB社の両方について計算する。また、測定において  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] の漏洩が生じた場合を仮定して、漏洩後の圧力  $P_{a2}$  を逆算する。

計算結果を図5.1-1に、計算に用いた詳細値を表5.1-1に示す。

$1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] 以下の漏洩を判定するには、A社の測定条件で1時間以上、B社の測定条件では2時間以上の測定時間をとることにより、測定可能になる見通しがある。この測温抵抗体と絶対圧力計による測定においても、誤差の主要因は温度誤差であり、測定温度誤差を更に小さくする方法には、サーミスタット温度計による0.001°Cレベルの超高精度な温度計測が必要となる。しかし、試験現場の多様性や温度計測の安定性を考慮すると、測温抵抗体を用いることが現実的であり、このことは加圧放置法による漏洩試験の測定限界はこの性能により決定されることを示す。

## 5.2 減圧法による漏洩試験

JIS Z 2332「放置法による漏れ試験方法」には、従来まで実施してきた加圧方法の他に、減圧法と基準容器法により漏洩試験を行う方法が説明されている。この内、減圧法は、加圧法と同じ測定計器、計算式、測定要領により漏洩試験を実施することができる。加圧法では、被試験体内をアルゴンガス又は空気等により加圧して圧力降下を測定するのに対して、減圧法では、被試験体内を真空ポンプにより減圧し圧力上昇を測定することにより漏洩量を測定するものである。

5.1項で評価した測定計器を用いた減圧法による漏洩試験の分解能について計算を行う。計算方法は、加圧法（添付資料4）と同様であるが、測定圧力は試験開始圧力（ $P_{a1}$ ）＜試験後圧力（ $P_{a2}$ ）であるため漏洩量は負の値となる。

詳細計算結果を表5.2-1に、測定時間を30分として試験圧力を変えた場合の分解能を図5.2-1に、試験圧力を0.1 [kg/cm<sup>2</sup>-abs]として測定時間に変えた場合の分解能を図5.2-2に示す。

減圧法の場合、試験体内の圧力を小さくし真空状態に近づけることは、内部のガス濃度が小さくなることであり、温度が極端に上昇したとしても圧力を上昇させるガス成分がないために、圧力の変動は起こらない状態になる。また、気体の状態方程式： $P_{a0} = P_{a1} \times T_0 / T_1$ の $P_{a1}$ 自体が小さい数値であることにより、温度変化： $T_0 / T_1$ が変化しても比較的圧力の変動割合が小さくなる。これにより加圧放置法での主要な誤差であった温度誤差の要因を小さくすることが可能となり、漏洩試験全体の分解能が改善されることになる。

図5.2-1で明らかなように、試験圧力が0.7 [kg/cm<sup>2</sup>-abs]以下になると分解能は $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以下となる。また、図5.2-2に示したように試験圧力を0.1 [kg/cm<sup>2</sup>-abs]とした場合でも30分測定すれば、 $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以下を判定するに十分な分解能が得られることが分かる。

しかし、減圧法による漏洩試験の場合には、水分の蒸発や構造材からのガス放出等の新たな誤差要因を考慮しなければならず、実用性に関しては実測試験を行う必要がある。

## 5.3 基準容器法による漏洩試験

JIS Z 2332「放置法による漏れ試験方法」に記載されている基準容器法による漏洩試験とは、容積が既知の基準容器を被試験体の側に置くことで、大気圧の変動及び温度変化による影響が基準容器と被試験体とで同一であり、被測定部の測定値から外的要因により変化した基準容器の測定値を差し引くことによって、真の漏洩量を測定する方法である。

計算式は以下の通りであり、圧力はゲージ圧力計で測定する。

$$Q = \frac{|P_{x1} - P_{x2}| \cdot V_a - |P_{s1} - P_{s2}| \cdot V_s}{t}$$

{	Q	: 漏洩量 [atm cc/sec]	x	: 測定部
	P	: 圧力 [atm]	s	: 基準容器部
	V	: 容積 [cc]	1	: 測定開始時
	t	: 測定時間 [sec]	2	: 測定終了時

尚、測定部及び基準容器の温度をそれぞれ測定した場合には、以下の式に変形される。

$$Q = \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \left| \frac{P_{x1}}{T_{x1}} - \frac{P_{x2}}{T_{x2}} \right| \cdot V_a - \left| \frac{P_{s1}}{T_{s1}} - \frac{P_{s2}}{T_{s2}} \right| \cdot V_s \right\}$$

{	Q	: 漏洩量	[atm cc/sec]	x	: 測定部
	V	: 試験体容積	[cc]	s	: 基準容器部
	t	: 測定時間	[sec]	1	: 測定開始時
	T <sub>0</sub>	: 基準温度	[K] (293.15 K = 20 °C)	2	: 測定終了時
	T	: 測定温度	[K]		
	P	: 標準圧力	[1.0332 kg/cm <sup>2</sup> ]		
	P	: 測定圧力	[kg/cm <sup>2</sup> ]		

上記 2 式の分解能計算方法を添付資料 5 及び添付資料 6 に示す。

分解能の計算結果を図 5.3-1 に、計算に用いた詳細値を表 5.3-1 及び表 5.3-2 に示す。

基準容器法による分解能は加圧法とほぼ同程度であり、 $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] 以下を判定するには、A 社の測定条件では約 30 分以上、B 社の測定条件では 2 時間以上の測定時間とする必要がある。

この基準容器法の長所は、被試験体と同じ場所に基準容器を設置することで、温度変化及び大気圧の変化の外乱を相殺することにあるが、逆に同時に温度変化する条件で試験することが必要なこと並びに温度及び圧力測定点が増加することが課題となる。

この基準容器法による漏洩試験の実用性についても実際に試験を行い、その性能を確認する必要があるが、加圧法と同程度の分解能しか有していないことを考慮すると、基準容器法の優位性はない。

#### 5.4 ヘリウムリーク試験方法

ヘリウムリーク試験方法は、漏洩したヘリウムをヘリウムディテクタにより定量的に測定する高精度な漏洩試験方法であり、 $1 \times 10^{-5} \sim 10^{-10}$  [atm cc/sec] の漏洩試験が可能である。ヘリウムリーク試験方法には、以下の測定方法がある。

- ①真空法 : 吹き付け法  
外覆法、積分法
- ②加圧法 : 吸い込み法 (スニッファー法)  
加圧積分法  
吸盤法 (サクシオンカップ法)  
真空容器法 (ベルジャー法)  
浸せき法 (ボンピング法)

真空吹き付け法は、試験体内を真空状態にし、試験体の外側からヘリウムガスを吹き付け、漏れにより吸い込まれたヘリウムを試験体内からディテクタに導いて漏洩量を測定する方法である。この方法は、部分的にヘリウムを吹き付けるために、漏洩位置の検出には有効であるが、試験体全体の漏洩量の計測には不向きである。

真空外覆法及び積分法は、真空吹き付け法と同様な測定方法であるが、機器全体をビニ

ル等で覆い、試験体周囲にヘリウムガスを充填する。これにより、全体の漏洩量の測定が可能となる。外覆法と積分法の違いは、外覆法はヘリウムガスを充填すると同時に測定するが、積分法の場合はヘリウムを充填し一定時間を経過した後に測定するものである。しかし、燃料取扱設備の漏洩試験対象機器は、形状が複雑でかつ床や壁に設置されたものが多く、機器全体を覆うことが現実的に不可能である。

加圧吸い込み法は、真空法とは逆に試験体内にヘリウムガスを加圧して、漏れ出るヘリウムをプローブにより吸い込み、漏洩量を測定する方法である。これは、漏洩位置の検出には有効であるが試験体全体の漏洩量を定量性に測定することはできない。

加圧積分法は、真空外覆法とほぼ同様であり、試験体内に加圧し漏れ出たヘリウムガスを覆いにより捕獲する。そして、覆い内のヘリウムガスを測定することにより、漏洩を検出する。この方法も真空外覆法と同様に試験対象機器を覆うことが前提となる。

加圧吸盤法は、加圧吸い込み法と似ており、プローブの代わりにサクシオンカップを試験体表面に取付け、そのカップ内へ漏れ出るヘリウムを測定する。この方法では、加圧吸い込み法と同様に部分的な漏洩しか検出できない。

加圧真空容器法は、加圧積分法とほぼ同様であるが、覆いとして真空容器を使用しその容器内を真空にする方法である。燃料取扱機器では、測定対象の設備を覆う真空容器を製作することは不可能である。

加圧浸せき法は、加圧真空容器法とほぼ同じである。

以上のようにヘリウムリーク試験による漏洩試験では、定量性のある方法は全て試験体を覆うことが前提となるため、燃料取扱機器に対して実施するには問題が多い。また、真空を必要とする試験では、真空度により測定値の安定性がきまり、高真空状態でなければ安定した結果が得られず、この高真空にするのに長時間（容積の大きな場合には1昼夜）を要する。

よって、様々な形状を有し試験対象の数が多い燃料取扱機器に対して、ヘリウムリーク試験による漏洩試験の実施は現実的ではない。

## 5.5 その他の漏洩試験方法

NDIS 3411 「漏洩試験方法の種類と選択」（参考文献(4)）に幾つかの漏洩試験方法が記載されている。この中で、上記までに検討した以外の方法について簡単にまとめた。

### (1)発泡法

発泡法は、試験体内を加圧あるいは真空にし、試験体に発泡液（石鹼水等）を吹き付け漏洩による泡の発生により、漏洩の有無を確認する簡易な漏洩試験方法である。この方法では、液を吹き付けた位置でしか漏洩を確認できないこと、また漏洩量の定量化に劣り、 $5.0 \sim 5 \times 10^{-3}$  [atm cc/sec]程度しか検出感度を有していない。

### (2)ハロゲン法

ハロゲン法は、ヘリウムの代わりにハロゲンガスを使用するものであり、基本的にはヘリウム試験と同じである。



## (3)アンモニア法

加圧または真空状態でアンモニアの漏洩を検査剤の変色によって測定するものであり、定量性を有していない。

## 5.6 まとめ

本項では、漏洩試験の精度を向上する方法について検討を行い、以下のように測定計器の精度向上と測定時間の延長及び減圧法により、適正な漏洩試験が実施できる可能性を見いだした。

しかし、本項の検討はあくまでも理論的な計算でのことであり、様々な場所に設置された複雑な形状を有する燃料取扱機器においての実用性は、測定試験を行い確認することが必要である。

## (1)測定計器の精度向上（加圧放置法）

测温抵抗体による温度測定（0.01℃）と高精度絶対圧力計による圧力測定（ $1 \times 10^{-5}$  [kg/cm<sup>2</sup>-abs]）の組合せによる従来の加圧法による漏洩測定の精度について検討を行った。得られた計算結果では、30分の測定時間では  $3.5 \sim 1.8 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] となり、大気圧の影響を無視した従来の分解能（ $3.5 \sim 1.8 \times 10^{-4}$  [atm cc/s]）よりは、10倍の精度が向上される。また、維持目標値である  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] 以下を測定するには、約1～2時間以上の測定を行うことで判定可能である見通しが明らかとなった。

## (2)減圧法による漏洩試験

(1)と同じ計器精度の条件で減圧法による漏洩測定の精度評価を行った。得られた分解能としては、 $3.95 \times 10^{-6}$  [atm cc/sec]（試験圧力 0.1 [kg/cm<sup>2</sup>-abs]、測定時間 30分）であり、従来よりも46～88倍の精度の向上が図られる。また、 $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] 以下を測定するには、15分程度の短時間の測定で判別可能であり、今回検討した方法で最も有力な試験方法である。

## (3)基準容器法による漏洩試験

(1)と同じ計器精度・測定条件で基準容器法による漏洩測定の精度評価を行った。得られた分解能は、 $3.0 \sim 1.1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]（測定時間 30分）であり、(1)加圧法の場合と同程度の精度が期待される。

## (4)ヘリウムリーク試験

ヘリウムリーク試験方法について調査を行ったが、 $1 \times 10^{-5} \sim 10^{-10}$  [atm cc/sec] の高精度な漏洩測定が可能であるが、被試験体の全体漏洩量を測定するには機器全体を覆うことが前提条件となる。このため、機器形状が複雑で床や壁を貫通しているものが多い燃料取扱設備に対しては適用が困難であると考えられる。

## (5)その他の漏洩試験方法

発泡液を使用した発泡試験、ハロゲンガスを検出するハロゲン法、アンモニアの漏洩を確認するアンモニア法の3つを調査したが、全体漏洩量の定量化に問題があり、有効な手段とは言えない。

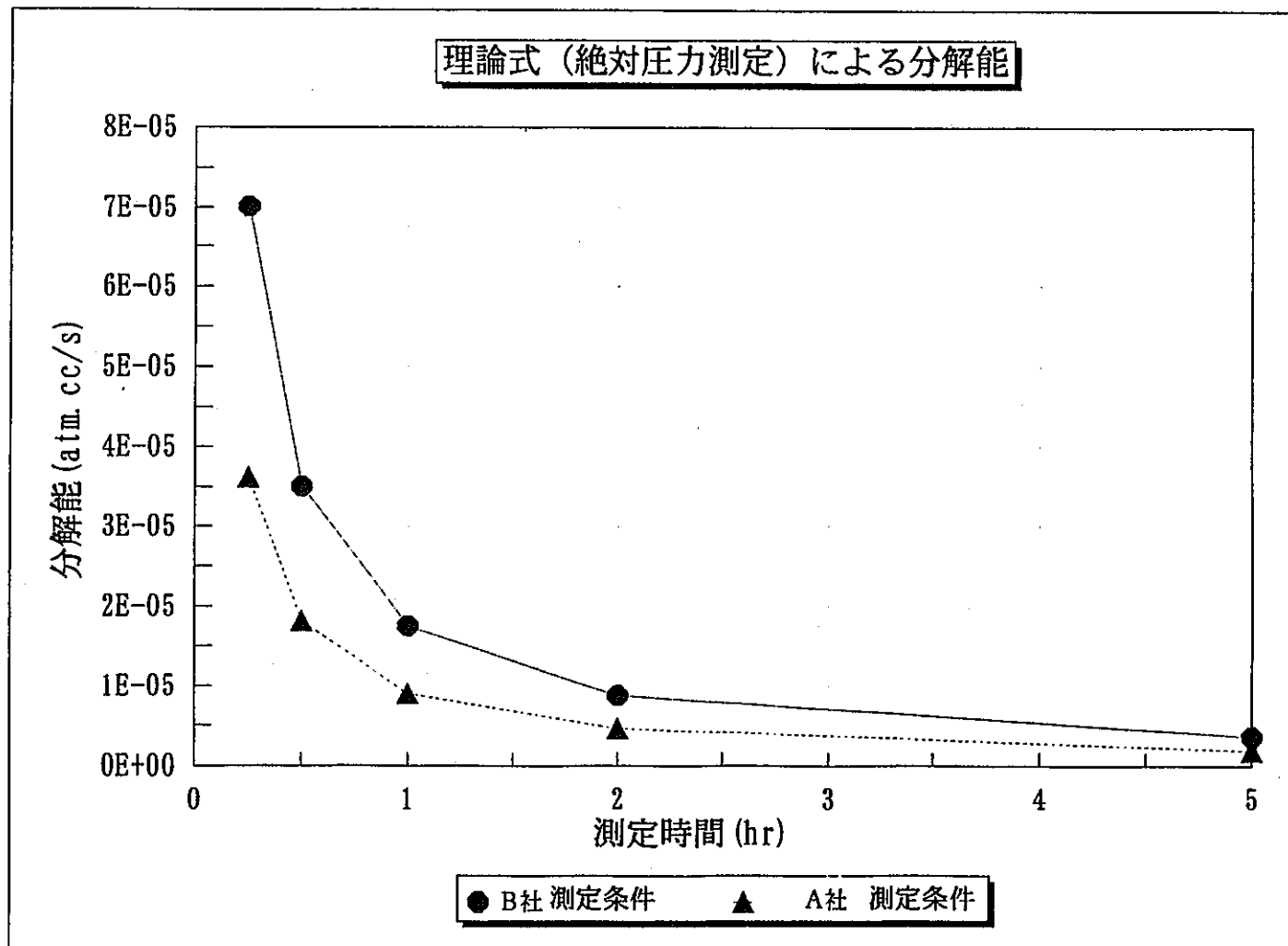


図 5. 1 - 1 分解能計算結果（絶対圧力測定）

表 5.1 - 1 分解能詳細計算結果 (絶対圧力測定)

燃取漏洩量測定 of 誤差評価

(理論式 絶対圧力測定)

$$Q = VT0 / (P0 * (Pa1 / T1 - Pa2 / T2))$$

( B社 条件)

( A社 測定条件)

各測定計器の測定条件	15分	30分	1時間	2時間	5時間		15分	30分	1時間	2時間	5時間				
T0= [K]	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15		293.15	293.15	293.15	293.15	293.15		293.15	293.15	293.15
P0= [kg/cm2abs]	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323		1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323		1.03323	1.03323	1.03323
t= [sec]	900	1800	3600	7200	18000		900	1800	3600	7200	18000		1800	1800	1800
V= [cc]	240	240	240	240	240		200	200	200	200	200		200	200	200
T1= [K]	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15		288.15	288.15	288.15	288.15	288.15		288.15	288.15	288.15
T2= [K]	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15		287.15	287.15	287.15	287.15	287.15		287.15	287.15	287.15
Pa1= [kg/cm2abs]	2.70323	2.70323	2.70323	2.70323	2.70323		1.65861	1.65861	1.65861	1.65861	1.65861		1.99000	1.99000	1.99000
Pa2= [kg/cm2abs]	2.69381	2.69377	2.69370	2.69355	2.69309		1.65280	1.65276	1.65267	1.65249	1.65194		1.98300	1.98300	1.98300
測定誤差															
$\sigma$ (t) [sec]	9	18	36	72	180		9	18	36	72	180		18	18	18
$\sigma$ (V) [cc]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4		2	2	2	2	2		2	2	2
$\sigma$ (T1) [K]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.1	1
$\sigma$ (T2) [K]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.1	1
$\sigma$ (Pa1) [kg/cm2abs]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001
$\sigma$ (Pa2) [kg/cm2abs]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001
計算値															
t:	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14		1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14		1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
V:	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14		1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14		1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
T1:	6.07E-10	1.52E-10	3.79E-11	9.48E-12	1.52E-12		1.59E-10	3.97E-11	9.91E-12	2.48E-12	3.97E-13		5.71E-11	5.71E-09	5.71E-07
T2:	6.11E-10	1.53E-10	3.82E-11	9.54E-12	1.53E-12		1.60E-10	3.99E-11	9.98E-12	2.49E-12	3.99E-13		5.75E-11	5.75E-09	5.75E-07
Pa1:	6.89E-12	1.72E-12	4.31E-13	1.08E-13	1.72E-14		4.79E-12	1.20E-12	2.99E-13	7.48E-14	1.20E-14		1.20E-12	1.20E-12	1.20E-12
Pa2:	6.94E-12	1.74E-12	4.34E-13	1.08E-13	1.74E-14		4.82E-12	1.21E-12	3.01E-13	7.53E-14	1.21E-14		1.21E-12	1.21E-12	1.21E-12
合計	1.23E-09	3.08E-10	7.70E-11	1.93E-11	3.10E-12		3.28E-10	8.20E-11	2.05E-11	5.14E-12	8.39E-13		1.17E-10	1.15E-08	1.15E-06
$\sigma$	3.51E-05	1.75E-05	8.77E-06	4.39E-06	1.76E-06		1.81E-05	9.06E-06	4.53E-06	2.27E-06	9.16E-07		1.08E-05	1.07E-04	1.07E-03
2 $\sigma$	7.02E-05	3.51E-05	1.75E-05	8.78E-06	3.52E-06		3.62E-05	1.81E-05	9.06E-06	4.54E-06	1.83E-06		2.16E-05	2.14E-04	2.14E-03

差圧計算

Q=	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05
@T=	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
VT0/PO	7.57E+01	3.78E+01	1.89E+01	9.46E+00	3.78E+00		6.30E+01	3.15E+01	1.58E+01	7.88E+00	3.15E+00		3.15E+01	3.15E+01	3.15E+01
p1/T1	0.00938	0.00938	0.00938	0.00938	0.00938		0.00576	0.00576	0.00576	0.00576	0.00576		0.00691	0.00691	0.00691
p2/T2	0.00938	0.00938	0.00938	0.00938	0.00938		0.00576	0.00576	0.00576	0.00575	0.00575		0.00691	0.00691	0.00691

表 5.2 - 1 分解能詳細計算結果 (減圧法)

燃取漏洩量測定 of 誤差評価  
(減圧法放置法)

(理論式 絶対圧力測定)

$$-Q=VT0/1P0*(Pa1/T1-Pa2/T2)$$

(測定時間による影響)

(検査圧力による影響)

各測定計器の測定条件	(測定時間による影響)						(検査圧力による影響)						
	10分	15分	30分	1時間	2時間	5時間	30分	30分	30分	30分	30分	30分	
T0= [K]	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15
P0= [kg/cm2abs]	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323
t= [sec]	600	900	1800	3600	7200	18000	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
V= [cc]	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
T1= [K]	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15
T2= [K]	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15	287.15
Pa1= [kg/cm2abs]	0.10000	0.10000	0.10000	0.10000	0.10000	0.10000	2.70323	1.65861	1.03323	0.50000	0.10000	0.01000	0.00100
Pa2= [kg/cm2abs]	0.09968	0.09969	0.09973	0.09980	0.09996	0.10041	2.69392	1.65293	1.02972	0.49834	0.09973	0.01004	0.00107
測定誤差													
$\sigma(t)$ [sec]	6	9	18	36	72	180	18	18	18	18	18	18	18
$\sigma(V)$ [cc]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
$\sigma(T1)$ [K]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\sigma(T2)$ [K]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\sigma(Pa1)$ [kg/cm2abs]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
$\sigma(Pa2)$ [kg/cm2abs]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
計算値													
t:	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
V:	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
T1:	1.87E-12	8.30E-13	2.08E-13	5.19E-14	1.30E-14	2.08E-15	1.52E-10	5.71E-11	2.22E-11	5.19E-12	2.08E-13	2.08E-15	2.08E-17
T2:	1.88E-12	8.37E-13	2.09E-13	5.24E-14	1.31E-14	2.12E-15	1.53E-10	5.75E-11	2.23E-11	5.23E-12	2.09E-13	2.12E-15	2.42E-17
Pa1:	1.55E-11	6.89E-12	1.72E-12	4.31E-13	1.08E-13	1.72E-14	1.72E-12	1.72E-12	1.72E-12	1.72E-12	1.72E-12	1.72E-12	1.72E-12
Pa2:	1.56E-11	6.94E-12	1.74E-12	4.34E-13	1.08E-13	1.74E-14	1.74E-12	1.74E-12	1.74E-12	1.74E-12	1.74E-12	1.74E-12	1.74E-12
合計	3.49E-11	1.55E-11	3.90E-12	9.89E-13	2.62E-13	5.88E-14	3.08E-10	1.18E-10	4.80E-11	1.39E-11	3.90E-12	3.48E-12	3.48E-12
$\sigma$	5.91E-06	3.94E-06	1.97E-06	9.95E-07	5.12E-07	2.42E-07	1.75E-05	1.09E-05	6.93E-06	3.73E-06	1.97E-06	1.87E-06	1.87E-06
2 $\sigma$	1.18E-05	7.88E-06	3.95E-06	1.99E-06	1.02E-06	4.85E-07	3.51E-05	2.17E-05	1.39E-05	7.46E-06	3.95E-06	3.73E-06	3.73E-06

差圧計算

Q=	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05	-1.0E-05
@T=	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
VT0/1P0	1.13E+02	7.57E+01	3.78E+01	1.89E+01	9.46E+00	3.78E+00	3.78E+01	3.78E+01	3.78E+01	3.78E+01	3.78E+01	3.78E+01	3.78E+01
p1/T1	0.000347	0.000347	0.000347	0.000347	0.000347	0.000347	0.009381	0.005756	0.003586	0.001735	0.000347	0.000035	3.5E-06
p2/T2	0.000347	0.000347	0.000347	0.000348	0.000348	0.00035	0.009382	0.005756	0.003586	0.001735	0.000347	0.000035	3.7E-06

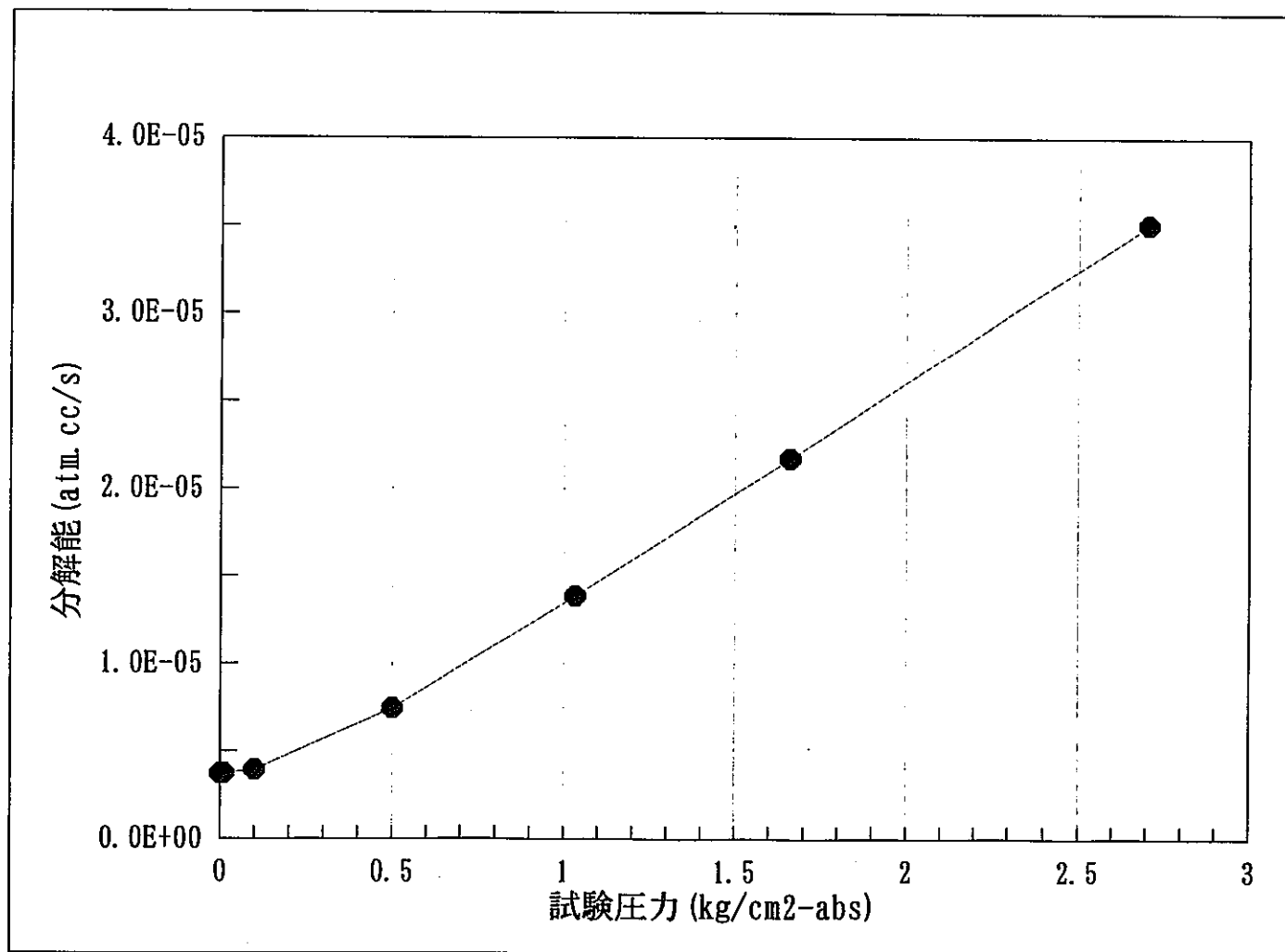


図 5. 2 - 1 減圧放置法による分解能(1)

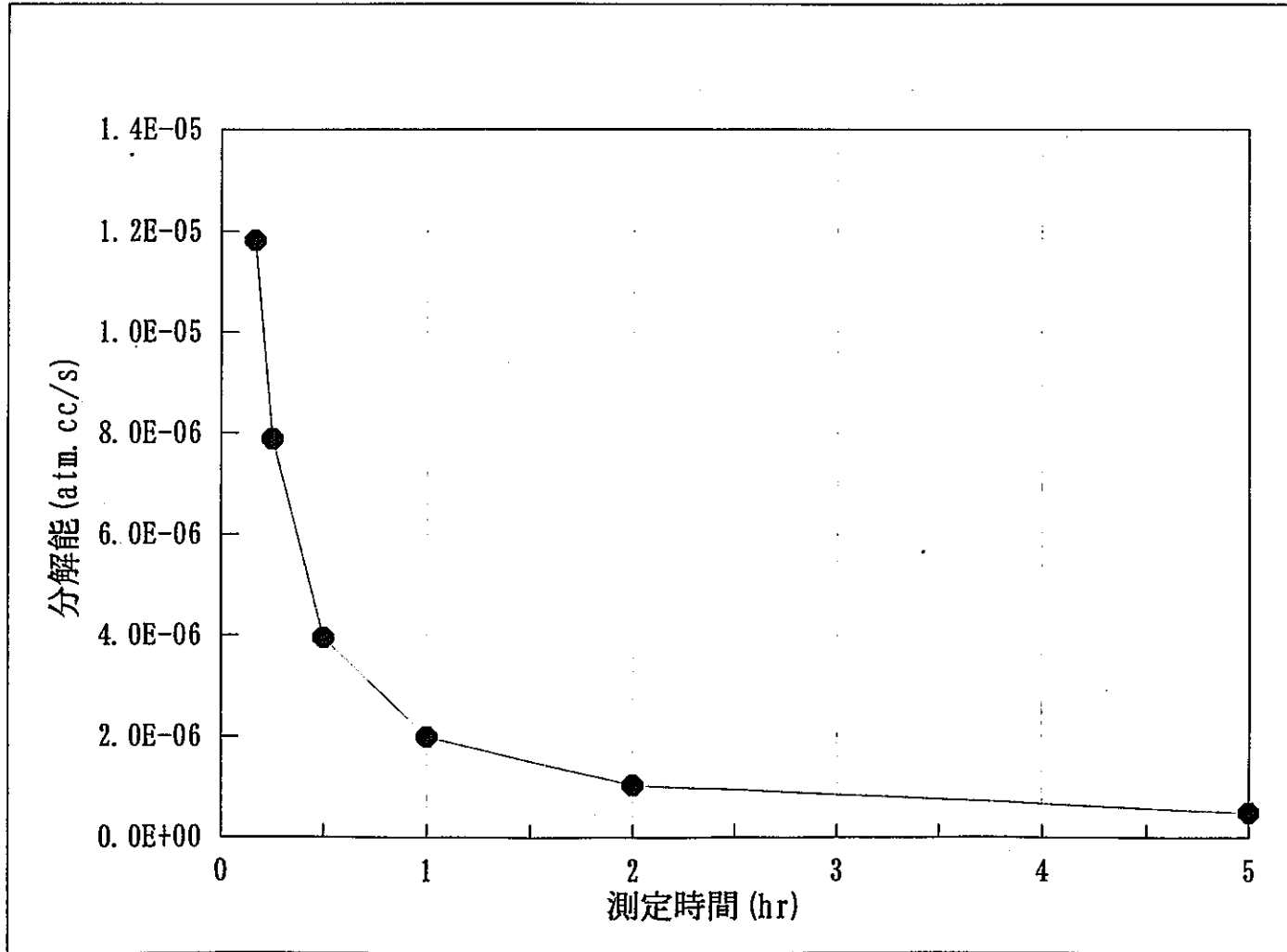


図 5. 2 - 2 減圧放置法による分解能(2)

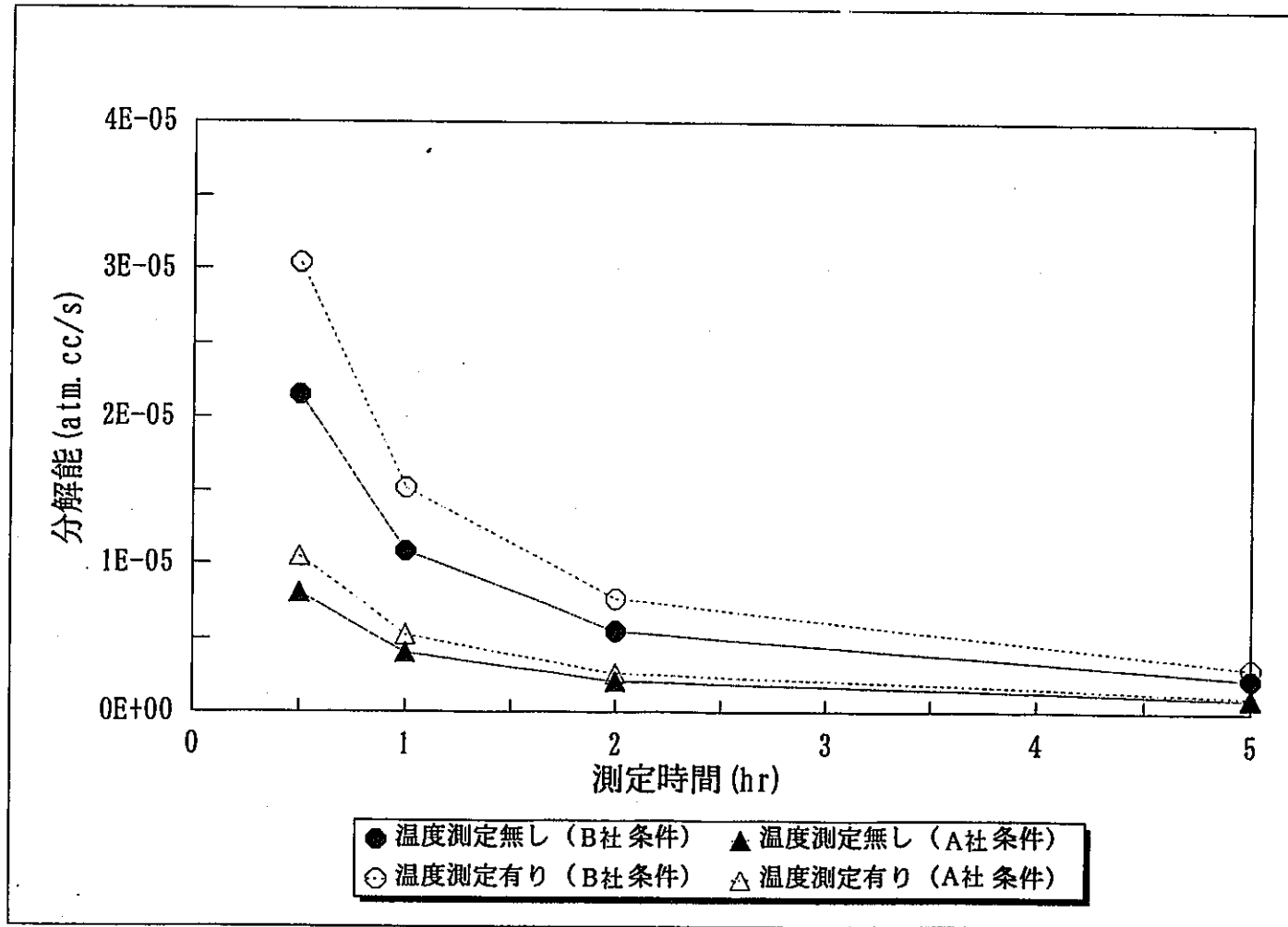


図 5. 3 - 1 分解能計算結果 (基準容器法)

表 5.3 - 1 分解能詳細計算結果 (基準容器法 1)

燃取漏洩量測定 of 誤差評価  
(基準容器法 / 温度測定無し)

(理論式 絶対圧力測定)

$$Q = 1/tP0 * ((Px1 - Px2) Vx - (Ps1 - Ps2) Vs)$$

(B社条件)

(A社測定)

(温度変化による影響)

各測定計器の測定条件	30分	1時間	2時間	5時間		30分	1時間	2時間	5時間
T0= [K]									
P0= [kg/cm2]	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323		1.03323	1.03323	1.03323	1.03323
t= [sec]	1800	3600	7200	18000		1800	3600	7200	18000
Vx= [cc]	240	240	240	240		200	200	200	200
Vs= [cc]	240	240	240	240		200	200	200	200
Px1= [kg/cm2]	1.64000	1.64000	1.64000	1.64000		0.62538	0.62538	0.62538	0.62538
Px2= [kg/cm2]	1.63431	1.63431	1.63431	1.63431		0.62321	0.62321	0.62321	0.62321
Ps1= [kg/cm2]	1.64000	1.64000	1.64000	1.64000		0.62538	0.62538	0.62538	0.62538
Ps2= [kg/cm2]	1.63423	1.63415	1.63400	1.63353		0.62311	0.62302	0.62283	0.62228
測定誤差									
σ (t) [sec]	18	36	72	180		18	36	72	180
σ (Vx) [cc]	2.4	2.4	2.4	2.4		2	2	2	2
σ (Vs) [cc]	2.4	2.4	2.4	2.4		2	2	2	2
σ (Px1) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
σ (Px2) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
σ (Ps1) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
σ (Ps2) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
計算値									
t:	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14		1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
Vx:	5.39E-11	1.35E-11	3.37E-12	5.39E-13		5.45E-12	1.36E-12	3.40E-13	5.45E-14
Vs:	5.54E-11	1.42E-11	3.75E-12	6.96E-13		5.92E-12	1.61E-12	4.67E-13	1.11E-13
Px1:	1.67E-12	4.16E-13	1.04E-13	1.67E-14		1.16E-12	2.89E-13	7.23E-14	1.16E-14
Px2:	1.67E-12	4.16E-13	1.04E-13	1.67E-14		1.16E-12	2.89E-13	7.23E-14	1.16E-14
Ps1:	1.67E-12	4.16E-13	1.04E-13	1.67E-14		1.16E-12	2.89E-13	7.23E-14	1.16E-14
Ps2:	1.67E-12	4.16E-13	1.04E-13	1.67E-14		1.16E-12	2.89E-13	7.23E-14	1.16E-14
合計	1.16E-10	2.94E-11	7.55E-12	1.31E-12		1.60E-11	4.13E-12	1.11E-12	2.22E-13
σ	1.08E-05	5.42E-06	2.75E-06	1.15E-06		4.00E-06	2.03E-06	1.05E-06	4.71E-07
2σ	2.15E-05	1.08E-05	5.49E-06	2.29E-06		8.00E-06	4.07E-06	2.10E-06	9.42E-07

30分	30分	30分
1.03323	1.03323	1.03323
1800	1800	1800
240	240	240
240	240	240
1.64000	1.64000	1.64000
1.63943	1.63431	1.61154
1.64000	1.64000	1.64000
1.63935	1.63423	1.61147
18	18	18
2.4	2.4	2.4
2.4	2.4	2.4
0.00001	0.00001	0.00001
0.00001	0.00001	0.00001
0.00001	0.00001	0.00001
0.00001	0.00001	0.00001
0.00001	0.00001	0.00001
1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
5.39E-13	5.39E-11	1.35E-09
6.96E-13	5.54E-11	1.36E-09
1.67E-12	1.67E-12	1.67E-12
1.67E-12	1.67E-12	1.67E-12
1.67E-12	1.67E-12	1.67E-12
1.67E-12	1.67E-12	1.67E-12
7.91E-12	1.16E-10	2.71E-09
2.81E-06	1.08E-05	5.21E-05
5.62E-06	2.15E-05	1.04E-04

差圧計算

Q=	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05
T1=	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15	288.15
θT=	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-5
1/tP0	5.38E-04	2.69E-04	1.34E-04	5.38E-05	5.38E-04	2.69E-04	1.34E-04	5.38E-05	5.38E-04	5.38E-04	5.38E-04
Px1-Px2	0.005691	0.005691	0.005691	0.005691	0.00217	0.00217	0.00217	0.00217	0.00569	0.005691	0.028457
Ps1-Ps2	0.005769	0.005846	0.006001	0.006466	0.002263	0.002356	0.002542	0.0031	0.000647	0.005769	0.028535



表 5.3 - 2 分解能詳細計算結果 (基準容器法 2)

燃取漏洩量測定 of 誤差評価  
(基準容器法/温度測定あり)

(理論式 絶対圧力測定)

$$Q = T0 / (P0 * ((Px1 / Tx1 - Px2 / Tx2) Vx - (Ps1 / Ts1 - Ps2 / Ts2) Vs))$$

(B社条件)

(A社測定)

各測定計器の測定条件	30分	1時間	2時間	5時間		30分	1時間	2時間	5時間
T0= [K]	293.15	293.15	293.15	293.15		293.15	293.15	293.15	293.15
P0= [kg/cm2]	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323		1.03323	1.03323	1.03323	1.03323
t= [sec]	1800	3600	7200	18000		1800	3600	7200	18000
Vx= [cc]	240	240	240	240		200	200	200	200
Vs= [cc]	240	240	240	240		200	200	200	200
Px1= [kg/cm2]	1.64000	1.64000	1.64000	1.64000		0.62538	0.62538	0.62538	0.62538
Px2= [kg/cm2]	1.63423	1.63416	1.63400	1.63355		0.62311	0.62302	0.62284	0.62229
Ps1= [kg/cm2]	1.64000	1.64000	1.64000	1.64000		0.62538	0.62538	0.62538	0.62538
Ps2= [kg/cm2]	1.63431	1.63431	1.63431	1.63431		0.62321	0.62321	0.62321	0.62321
Tx1= [K]	288.15	288.15	288.15	288.15		288.15	288.15	288.15	288.15
Tx2= [K]	287.15	287.15	287.15	287.15		287.15	287.15	287.15	287.15
Ts1= [K]	288.15	288.15	288.15	288.15		288.15	288.15	288.15	288.15
Ts2= [K]	287.15	287.15	287.15	287.15		287.15	287.15	287.15	287.15
測定誤差									
σ (t) [sec]	18	36	72	180		18	36	72	180
σ (Vx) [cc]	2.4	2.4	2.4	2.4		2	2	2	2
σ (Vs) [cc]	2.4	2.4	2.4	2.4		2	2	2	2
σ (Px1) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
σ (Px2) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
σ (Ps1) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
σ (Ps2) [kg/cm2]	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
σ (Tx1) [K]	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01
σ (Tx2) [K]	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01
σ (Ts1) [K]	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01
σ (Ts2) [K]	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01
計算値									
t:	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14		1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
Vx:	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14		1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14	1.00E-14
Vs:	2.57E-44	6.42E-45	1.60E-45	2.57E-46		4.46E-45	1.11E-45	2.79E-46	4.46E-47
Px1:	1.72E-12	4.31E-13	1.08E-13	1.72E-14		1.20E-12	2.99E-13	7.48E-14	1.20E-14
Px2:	1.74E-12	4.34E-13	1.08E-13	1.74E-14		1.21E-12	3.01E-13	7.53E-14	1.21E-14
Ps1:	1.72E-12	4.31E-13	1.08E-13	1.72E-14		1.20E-12	2.99E-13	7.48E-14	1.20E-14
Ps2:	1.74E-12	4.34E-13	1.08E-13	1.74E-14		1.21E-12	3.01E-13	7.53E-14	1.21E-14
Tx1:	5.58E-11	1.40E-11	3.49E-12	5.58E-13		5.64E-12	1.41E-12	3.52E-13	5.64E-14
Tx2:	5.62E-11	1.41E-11	3.51E-12	5.62E-13		5.68E-12	1.42E-12	3.54E-13	5.66E-14
Ts1:	5.58E-11	1.40E-11	3.49E-12	5.58E-13		5.64E-12	1.41E-12	3.52E-13	5.64E-14
Ts2:	5.62E-11	1.41E-11	3.51E-12	5.62E-13		5.68E-12	1.42E-12	3.55E-13	5.68E-14
合計	2.31E-10	5.78E-11	1.45E-11	2.33E-12		2.75E-11	6.88E-12	1.73E-12	2.94E-13
σ	1.52E-05	7.60E-06	3.80E-06	1.53E-06		5.24E-06	2.62E-06	1.32E-06	5.42E-07
2σ	3.04E-05	1.52E-05	7.60E-06	3.05E-06		1.05E-05	5.25E-06	2.63E-06	1.08E-06

差圧計算

Q=	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05		1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05
σT=	-1	-1	-1	-1		-1	-1	-1	-1
T0/tP0	1.58E-01	7.88E-02	3.94E-02	1.58E-02		1.58E-01	7.88E-02	3.94E-02	1.58E-02
Px/T-Px/T	2.6E-07	5.3E-07	1.1E-06	2.6E-06		3.2E-07	6.3E-07	1.3E-06	3.2E-06
Ps/T-Ps/T	4.2E-22	4.2E-22	4.2E-22	4.2E-22		2.1E-22	2.1E-22	2.1E-22	2.1E-22
						0.00217	0.00217	0.00217	0.00217

## 6. 加圧放置法による漏洩量測定試験

5.1項で検討した測温抵抗体による温度計測の精度向上と絶対圧力計により大気圧影響の改善及び測定時間の延長により、燃料取扱設備の維持目標値である $1 \times 10^{-5}$  [atmcc/s]以下の漏洩試験が実施可能であることを示した。

本項では、上記を反映して精度の向上を図った市販計器を組み合わせた測定装置（「微少漏洩量測定装置」）を製作し、その実用性を確認した試験の結果を述べる。

### 6.1 微少漏洩量測定装置の製作

#### (1) 装置構成

微少漏洩量測定装置を、以下の計器により構成した。図6.1-1に漏洩量測定時の装置配置図を、図6.1-2に微少漏洩量測定装置の概略図を、図6.1-3にノートブックパソコンの表示画面を示す。

#### ①高精度デジタル圧力計：2655-34、絶対圧力測定用（横河電機製）

- ・測定範囲：0 ~ 2 kg/cm<sup>2</sup>abs
- ・分解能：0.00001 kg/cm<sup>2</sup>abs (0.0074mmHg)
- ・確度：±0.05% of F.S. 零校正後 30日以内 (±0.001 kg/cm<sup>2</sup>abs)  
±0.15% of F.S. 零校正後180日以内 (±0.003 kg/cm<sup>2</sup>abs)
- ・ウォームアップ時間：30分

#### ②デジタルマルチ温度計：7563（横河電機製）

- ・機能：温度（測温抵抗体、熱電対）、直流電圧、抵抗が測定可能
- ・測定範囲：-200 ~ 650 °C（測温抵抗体 Pt100使用時）
- ・分解能：0.01°C（測温抵抗体 Pt100使用、積分時間100ms 以上時）
- ・確度：±(0.005% of rdg + 0.07°C)：24h, 23±1 °C, 積分時間200ms 以上時  
(50°C測定時で±0.0725°C以内)  
±(0.012% of rdg + 0.07°C)：1年, 23±5 °C, 積分時間200ms 以上時  
(50°C測定時で±0.076 °C以内)
- ・ウォームアップ時間：60分

#### ③測温抵抗体：（林電工製）

- 配管と機器表面：ER6-Pt100-S-1.0-100-316-EC-3000-A級 2本
- 内部ガス温度：ER7-Pt100-S-1.6-50-304-R1/4-EC-1500-A級 1本
- ・許容差：±(0.15+0.002 t) °C：( 0°C測定時±0.15°C)  
(100°C測定時±0.35°C)

#### ④プログラマブルスキャナ：7501（横河電機製）

3本の測温抵抗体の出力をGP-1B 制御で設定したスキャン間隔にて、デジタルマルチ温度計に入力する。

#### ⑤ノートブックパソコン

ノートブックパソコン用のI/O拡張ユニット。GP-1B(IEEE-488)を内蔵。

⑥ノートブックパソコン：PC9800NS-21

測定データの収集、漏洩量の計算、グラフ表示及びテキストファイルの保存を行う。  
尚、制御プログラムはN88BASICにて作成。

(2) 装置概要

本漏洩量測定装置の動作概要は以下の通りである。

計測点数は、以下の4点を30秒毎に計測し、その測定値をノートブックパソコンに入力する。

- ・圧力：1点
- ・温度：3点
  - 取付フランジ先端内部に設置したセンサーによる加圧ガス温度
  - シールチェック用配管部に取り付ける配管温度
  - 試験対象機器表面に取り付ける機器温度

(尚、配管または機器温度用のセンサを大気中に設置した場合は雰囲気温度を測定)  
ノートブックパソコン画面でのデータ表示は、以下の全6点の最新デジタル数値とトレンドグラフを表示する。

- ・測定圧力
- ・測定温度（3点）
- ・加重平均した補正温度
- ・30分間毎の漏洩量

各データのグラフ表示機能としては、時間軸を1, 2, 4, 8時間の選択表示が可能としている。

測定した全てのデータ及び30分間漏洩量は、テキストファイル形式にてハードディスク内に保存する。

(3) 制御プログラム

本漏洩量測定装置の制御は、N88BASICにて作成を行った。プログラム内部での漏洩量の計算方法は、ガス温度・配管部温度・機器温度の3点を計測し、各部の容積割合によって加重平均した平均温度を求める（格納容器の局部漏洩試験と同様）。その平均温度と測定圧力値により漏洩量を計算する。計算式を以下に示す。

①合計容積の入力

各部の容積を入力する（初期入力により設定）

Va : ガス容積 (0.000×10<sup>+0</sup> [cc])

Vb : 配管容積 (0.000×10<sup>+0</sup> [cc])

Vc : 機器容積 (0.000×10<sup>+0</sup> [cc])

合計容積：V = Va + Vb + Vc

②加重平均温度の算出

各部の温度を自動で測定する。

Ta : ガス温度 (00.00 [°C])

Tb : 配管温度 (00.00 [°C])

Tc : 機器温度 (00.00 [°C])

測定した温度と入力した容積により、加重平均温度：Tを算出する。

$$T_{aK} = T_a + 273.15 \quad [K]$$

$$T_{bK} = T_b + 273.15 \quad [K]$$

$$T_{cK} = T_c + 273.15 \quad [K]$$

$$\therefore T_K = \frac{V}{\left( \frac{V_a}{T_{aK}} + \frac{V_b}{T_{bK}} + \frac{V_c}{T_{cK}} \right)} \quad [K]$$

$$T = T_K - 273.15 \quad [^\circ C]$$

### ③漏洩量の算出（30分前後の漏洩量）

圧力を自動で測定する。

$$P : \text{ガス圧力 (0.00000 [kgf/cm}^2\text{-abs])}$$

測定圧力及び加重平均温度を用いて、次式により漏洩量：Qを算出する。

$$Q = \frac{V \cdot T_{20}}{t \cdot P_0} \left( \frac{P_1}{T_{K1}} - \frac{P_2}{T_{K2}} \right)$$

$$\text{但し、} T_{20} = 293.15 \quad [K]$$

$$P_0 = 1.0333 \quad [kgf/cm}^2\text{-abs])}$$

$$t = 1800 \quad [sec]$$

添字2は、現時刻の測定データ

添字1は、現時刻から30分前の測定データ

## 6.2 測定試験

本装置の測定試験としては、以下の6つの測定部に対して測定を行った。

(a)治具単体

(b)基準容器（容積測定用の基準容器）

(c)実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.11）

(d)実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.3, 5, 6）

以下に各試験毎に測定結果を記載する。試験結果を表6.2-1に示す。

尚、以降に提示する測定結果の図面では、測定圧力と補正圧力の比較を容易にするために、基準温度(293.15 K)の代わりに測定温度の平均値を使用してグラフ化した。漏洩量の算出には基準温度(293.15 K)を使用した。

### (a) 治具単体の試験結果

本装置及び治具は、製作過程においてヘリウムリーク試験を行い $0.7 \times 10^{-8}$  [atm cc/sec]以下の漏洩がないことを確認している。従って、この治具単体に対して測定試験を行うことにより、測定能力や精度、特性等が判別できるものと考えられる。

測定結果を図6.2(a)-1（ファイル名：ZIGUS10.PRN）と図6.2(a)-2（ZIGUS14.PRN）に示す。

図6.2(a)-1（ZIGUS10.PRN）では、測定圧力と各温度はともに全測定時間において減少傾向を示しているが、補正圧力は測定開始から約1時間程度で安定している。23時から5時半までの最小自乗法による平均漏洩量は、 $3.34 \times 10^{-9}$  [atm cc/sec]であり、目標

である  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] 以下の測定が可能であることが実証された。尚、測定開始時の雰囲気温度上昇の2つのピークは、装置動作を確認するために測定者が入室したことにより室内の温度が変化したためである。

図 6. 2 (a) - 2 (ZIGUS14. PRN) は、治具単体の測定を日中に行ったものである。雰囲気温度がピークを示しているのは、装置確認のために入室した際の温度変化であり、このピークと測定圧力の変動がほぼ一致している。本試験では温度変化を極力少なくするために、治具全体に毛布による保温対策を施しており、ガス及びフランジ部温度の変化が抑えられているが、測定圧力は変化している。このことから、毛布等の簡易な方法では外的な温度影響を抑えることができないことが分かる。全測定時間に対する平均漏洩量は、 $1.76 \times 10^{-6}$  [atm cc/sec] であったが、標準偏差（バラツキ）は一桁大きくなっている。

#### (b) 基準容器の測定試験結果

基準容器の容積は 322 [cc] であり、既設備の漏洩対象の容積よりも大きなものである。この基準容器に対して試験を行うことにより、容積増加による漏洩測定の特長や精度を確認した。

測定結果を図 6. 2 (b) - 1 (TANK-13. PRN) と図 6. 2 (b) - 2 (TANK-14. PRN) に示す。

図 6. 2 (b) - 1 (TANK-13. PRN) は夜間に測定した結果であり、21時～4時までの平均漏洩量は  $7.98 \times 10^{-6}$  [atm cc/sec] であった。尚、圧力を補正する温度として、ガス温度とタンク温度の2種類について計算を行ったが、タンク表面温度の方が漏洩量も標準偏差も小さくなったが有意な差には至らなかった。漏洩量のバラツキが治具単体時よりも大きくなったのは容積増加によるものであり、 $1 \times 10^{-6}$  以下を測定するには 400 [cc] 以上の測定容積では困難になることが予測される。

図 6. 2 (b) - 2 (TANK-14. PRN) は日中に測定した結果である。測定圧力の変動とタンク表面温度の変化がほぼ一致していることが分かる。図 6. 2 (b) - 2' (TANK-14. PRN) に各測定温度による圧力補正と 30 分間漏洩量のグラフを示す。ガス温度よりもタンク表面温度に対して圧力補正を行った方が圧力の安定性が良く、また漏洩量も 0 近傍に近くなっている傾向が示されている。しかし、雰囲気温度の変動に対して、ガス及びタンク温度のどちらもその追従性は遅く、このため圧力の変動を精度良く補正することができないものと考えられる。尚、測定初期の温度ピークはアルゴンガス加圧によるものである。

#### (c) 実機設備の測定試験結果（新燃料キャスクカー側ドアバルブ）

新燃料キャスクカー側ドアバルブは、直近の分解点検作業において Oリング交換を行った設備であり、漏洩はないと思われる固定シール部に対して測定試験を行った。

ドアバルブの内 No. 11（フランジシール部）の測定結果を図 6. 2 (c) - 1 (TENF11-R1. PRN) と図 6. 2 (c) - 2 (TENF11-S1. PRN) 及び図 6. 2 (c) - 3 (TENF11-T1. PRN) に示す。

図 6. 2 (c) - 1 は日中、図 6. 2 (c) - 2 は日中でドアバルブ全体と測定治具を毛布により保温したもの、図 6. 2 (c) - 3 は毛布で保温した状態で夜間に測定したものである。

図 6. 2 (c) - 1 の測定では、治具フランジを取り付けた直後に測定を開始したために作業員の体温によってフランジ部が温められた状態から、ガス温度（フランジ部近傍に設置）が急激に減少している。また作業員の入退出の時間帯に圧力及びガス温度のピークが見られて

いるが、これは試験を行った部屋に通じるドアが開閉されたためと思われる。ガス温度に比較して配管と機器表面温度が安定しているのは、各対象物の熱容量が大きいことによるものと考えられる。

図 6. 2 (c) - 2 の測定では、測定対象の温度影響を抑えるために機器と治具全体を毛布により保温した。これにより配管と機器温度の変動は抑えられたが、圧力の変動には効果が無かった。また、ガス温度が高めの測定値になったのは、フランジ取付け近傍にある電磁弁（常時通電）からの熱影響と思われる。1 時間に 1 回程度割合で温度のハンチングが生じているのは、試験を行った部屋の空調圧力変動の影響と思われ、この影響で圧力が変動した。

図 6. 2 (c) - 3 の測定では、毛布による保温状態で夜間に測定を行った。保温直後に測定を開始したため、電磁弁からの熱影響が安定するのに 4 時間程度を要した。ガス温度が高いのは図 6. 2 (c) - 2 と同様に電磁弁からの熱であると思われる。

同一箇所での 3 回の測定試験の結果は、

- ・  $2.12 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] : 図 6. 2 (c) - 1
- ・  $3.07 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] : 図 6. 2 (c) - 2
- ・  $2.22 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] : 図 6. 2 (c) - 3

とほぼ同程度の測定結果が得られ、本試験対象部の漏洩量は  $2 \sim 3 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] であった。

#### (d) 実機設備の測定試験結果（新燃料キャスクカー側ドアバルブその他）

新燃料キャスクカー側ドアバルブ No. 11（フランジシール部）以外に測定した結果を図 6. 2 (d) - 1 (NF3-ROUEI.PRN) と図 6. 2 (d) - 2 (NF5-ROUEI.PRN) 及び図 6. 2 (d) - 3 (NF6-ROUEI.PRN) に示す。この 3 つの測定状態は、すべて毛布保温なしで日中に測定したものである。

3 か所の測定すべてにおいて、温度影響を著しく受け測定圧力が変化している。図 6. 2 (d) - 3 にて配管温度のバラツキが大きいのは、温度センサーの取付けが不十分であったためと思われる。

測定された漏洩量の値は、

- ・  $4.64 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] : 図 6. 2 (d) - 1
- ・  $1.27 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] : 図 6. 2 (d) - 2
- ・  $5.46 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] : 図 6. 2 (d) - 3

であった。

### 6. 3 加圧試験結果の考察

治具単体、基準容器及び実機設備に対して、本装置による漏洩測定試験を実施し、治具単体と基準容器においては、維持目標値である  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] 以下の測定が可能であることを確認した。しかし、実機設備においては 4 ケ所の 2 重 O リング部全てで  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] より大きな結果が得られた。また、測定値の安定性からは、夜間等の無人状態で空調等の外的要因のない場合には安定した測定が可能であるが、日中や人の出入りが多い現場での測定では温度変化により測定圧力値が変動し、得られる漏洩量の安定

性も著しく劣ることが判明した。

このことから、夜間などの温度変化がゆるやかな条件では、本装置により漏洩試験が可能であるが、温度が急激に変化した場合には、被測定体内部において局部的に温度が変化し、その熱膨張により圧力は上昇するが、測温抵抗体を取り付けている場所は限られておりことから、局部的な温度変化が温度センサーまでに達するには時間的な遅れが生じ、これによって漏洩量のバラツキが生じるものと考えられる。つまり、外的要因により急激に温度が変化すると、測定温度よりも測定圧力は敏感に変動し、温度と圧力の差が生じて安定した漏洩量の測定が困難となると言える。

また 5.1 の精度評価方法で温度誤差による分解能を再計算すると、以下のようになる。

$$\sigma(T) = 0.01 \text{ [}^\circ\text{C]} \Rightarrow 2\sigma = 2.16 \times 10^{-5} \text{ [atm cc/sec]}$$

$$\sigma(T) = 0.1 \text{ [}^\circ\text{C]} \Rightarrow 2\sigma = 2.14 \times 10^{-4} \text{ [atm cc/sec]}$$

$$\sigma(T) = 1.0 \text{ [}^\circ\text{C]} \Rightarrow 2\sigma = 2.14 \times 10^{-3} \text{ [atm cc/sec]}$$

この評価においても加圧放置法による漏洩試験方法は極めて温度に影響されることが明らかであり、測定可能な最小漏洩量は温度誤差により決定される。

本装置及び加圧法の漏洩測定方法により安定した測定結果を得るには、以下の改善策が考えられた。

① 治具、配管、機器全体を完全に保温する。

急激な温度変化を抑えるために、試験対象部機器、測定治具、配管の全てを完全に保温するか、完全に覆った状態（恒温室）を作る。しかしこの方法では、建家からの温度影響は防ぐことができず、特に原子炉上部にある燃料交換機孔ドアバルブ等は、原子炉からの熱影響を防ぐことは困難である。

② 温度測定点を多くし、より正確な温度を測定する。

部分的な温度変化を検出するために、できるだけ多くの箇所に温度センサーを設置し、より正確な温度を測定する。しかし、この方法ではセンサー設置場所や試験試験の作業性の問題から限界があり、実用性は低い。

③ 漏洩試験を夜間のみ測定する。

夜間だけに漏洩試験を限定することは、限られた期間で多くの試験を実施する上でも、また勤務上の問題等があり、現実的な対策とは言えない。

④ 熱伝導率の大きいヘリウムガスにより加圧し、温度の応答性を良くする。

アルゴンガスの熱伝導率は $0.014[\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}]$ 、ヘリウムガスの熱伝導率は $0.124[\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}]$ と1桁大きな熱伝導能力を有している。この加圧ガスの変更により、測定温度の追従性を向上させ、安定した測定を行うことが可能となる。但し、その実用性については、測定試験を行う必要がある。

⑤ 減圧法による漏洩試験に変更し、漏洩測定に及ぼす温度影響を小さくする。

5.2 に記載したように、加圧ガスの圧力が低くなると温度変化に対する圧力変化は小さくなる。これにより、安定した測定を行うことが可能と考えられるが、実際に測定試験を行い実用性を確認する必要がある。

#### 6.4 ヘリウムガス加圧による漏洩試験

従来の測定方法は、アルゴンガスを使用した加圧法により漏洩試験を実施してきた。このアルゴンガスの代わりに熱伝導率の高いヘリウムガスを加圧することにより、測定治具内部の温度変化に対する測定温度の追従性を向上させ、漏洩量の安定性を改善する確認試験を行った。試験はアルゴンガスとヘリウムガスの両方を用い、測定対象としては、

(a) 治具単体

(b) 実機設備（トランスファロータ貯蔵設備側ドアバルブ）

の2ヶ所を実測した。測定結果を表6.4-1に示す。

##### (a) 治具単体のヘリウムガス加圧試験結果

治具単体にヘリウムガスを加圧した漏洩測定結果を図6.4(a)-1 (HEZIG-01.PRN)及び図6.4(a)-2 (HEZIG-02.PRN)に示す。この測定試験は、原子炉附属建屋内のキャスクカー移動エリアにおいて測定したため、図6.2(a)-1と図6.2(a)-2よりも温度条件的には厳しく、単純に比較することは出来ないが、「標準偏差×2」の比較では有意な差は見られなかった。測定された漏洩量は、ヘリウムガスの場合が10倍以上大きな結果となった。

##### (b) 実機設備のヘリウムガス加圧試験結果（トランスファロータ貯蔵設備側ドアバルブ）

アルゴンガスとヘリウムガスそれぞれについて加圧し、漏洩測定試験を行った。アルゴンガス加圧の測定結果を図6.4(b)-1 (AR-TR101.PRN)に、He加圧の測定結果を図6.4(b)-2 (HE-TR101.PRN)に示す。治具単体時と同じく、加圧ガスを変更することによる安定性の向上は見られず、またヘリウムガスの方が大きな漏洩量となった。

#### 6.5 ヘリウムガス加圧試験の考察

ヘリウムガスとアルゴンガスの加圧試験結果を比較すると、以下の傾向を示すことが明らかになった。

- ・漏洩量は、ヘリウムガス加圧の場合が大きい。
- ・標準偏差は、ほぼ同程度である。
- ・温度変化に対する漏洩量の安定性は、ほぼ同程度である。

アルゴンガスの代わりに熱伝導率の高いヘリウムガスを加圧することにより、測定温度の追従性を良くし漏洩量の安定性を向上させる目的で試験を行ったが、測定結果では明らかな違いは見られなかった。より正確に評価するには、全く同じ温度条件において漏洩量の安定性を比較することが理想的ではあるが、現状の設備環境では実現することは不可能である。また、ヘリウムガスを加圧した場合の方が漏洩量が多くなるのは、ヘリウムの気体分子がアルゴンの分子よりも小さいことに起因すると予測されるが、明確な根拠は不明である。

本試験の結果、ヘリウムガス加圧による漏洩量測定の安定性向上は図られず、またヘリウムガス加圧した場合の方が漏洩量が大きくなり、この加圧ガスの変更による改善は図られなかった。



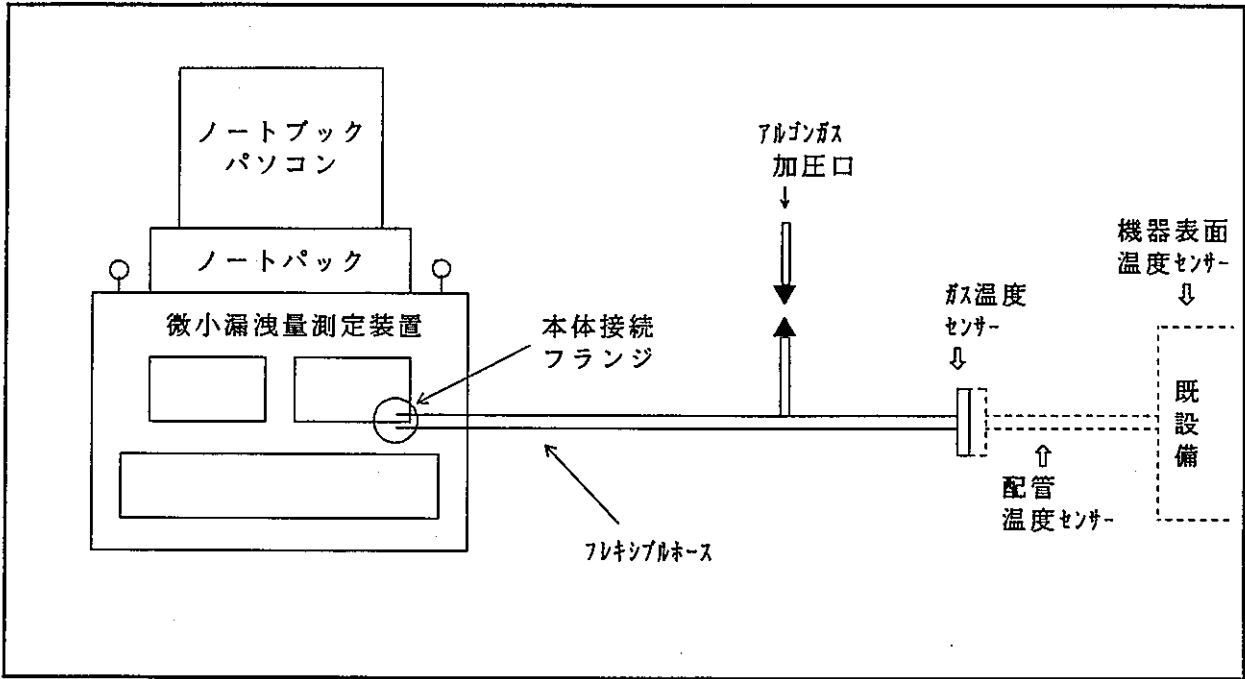


図 6.1 - 1 漏洩量測定時の装置配置図

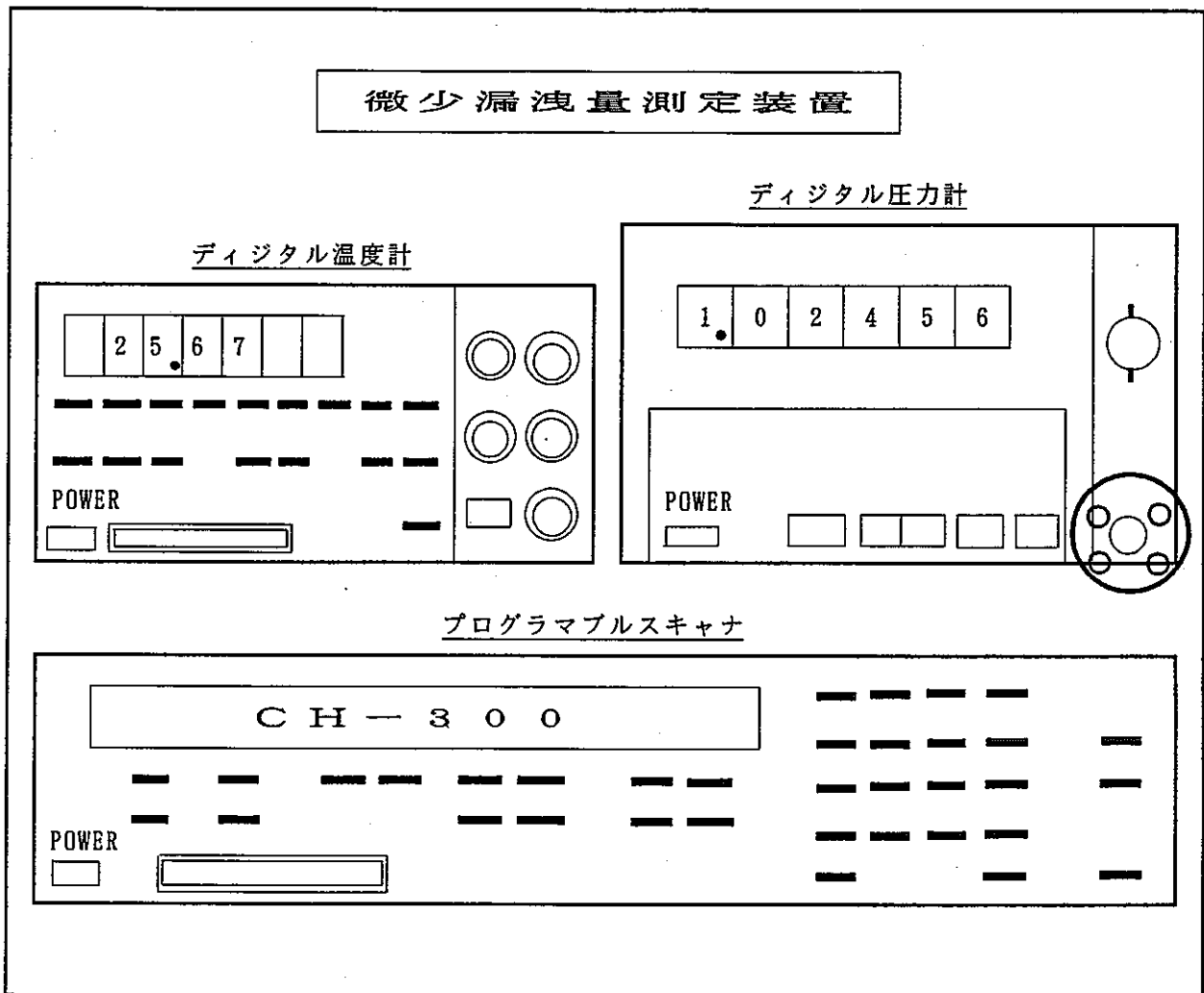


図 6.1 - 2 微小漏洩量測定装置 概要図

yy/mm/dd hh:mm:ss

漏洩量測定

ファイル名 : ○○○○. P R N

スケール 1 : ○○.○○~○○.○○℃

スケール 2 : ○.○○○○~○.○○○○kgf/cm<sup>2</sup>

スケール 3 L : 5.000×10E-1atmcc/s

スケール 3 U : 5.000×10E-1atmcc/s

INTVAR : 30sec

T. SPAN :

測定時刻 : ○○○○

ガス容積 : ○.○○○×10E0 (cc)

配管容積 : ○.○○○×10E0 (cc)

機器容積 : ○.○○○×10E0 (cc)

合計容積 : ○.○○○×10E0 (cc)

ガス圧力	kgf/cm <sup>2</sup>		
ガス温度	℃		
配管温度	℃		
機器温度	℃		
平均温度	℃		
漏洩量	×10E (atmcc/s)		

50.0	2.00	10 <sup>-2</sup>
0.0	0.00	0

開始時

測定										終了
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

---

測定中

	1	2	4	8	16	32	64	スケール	終了
--	---	---	---	---	----	----	----	------	----

---

スケール変更中

								設定完	終了
--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----

図 6.1 - 3 パソコン 表示画面 (開始~測定中)

表6.2-1 漏洩量測定装置の全試験結果(加圧放置法)

試験対象 (図番号)	漏洩量 [atmcc/s]	$2 \times \sigma$ 標準偏差 [atmcc/s]	回帰時間	試験容積 (合計) [cc]	試験日 時間	測定 時期	温度計測 位置	試験場所	保温 処置	測定状態	77例名 (. PRN)
治具単体 (図6.2(a)-1)	$3.34 \times 10^{-8}$	$3.38 \times 10^{-8}$	23~5	122 (122)	6/13 21~5	夜間	ガ, フ, 霧	シミュレーション室横会議室	無し	窓半開、空調・冷房なし	ZIGU-S10
治具単体 (図6.2(a)-2)	$1.76 \times 10^{-8}$	$2.45 \times 10^{-7}$	全測定値	122 (122)	6/16 9~17	日中	ガ, フ, 霧	シミュレーション室横会議室	あり	窓半開、空調・冷房なし	ZIGU-S14
比較用タンク (図6.2(b)-1)	$7.98 \times 10^{-8}$	$9.15 \times 10^{-8}$	22~4	322+122 (444)	6/14 20~4	夜間	ガ, タ, 霧	シミュレーション室横会議室	無し	窓閉、空調・冷房なし	TANK-13
比較用タンク (図6.2(b)-2)	$3.59 \times 10^{-8}$	$3.05 \times 10^{-7}$	10~17	322+122 (444)	6/17 8~16	日中	ガ, タ, 霧	シミュレーション室横会議室	あり	窓閉、空調・冷房なし	TANK-14
N/F フォルブ No.11 (図6.2(c)-1)	$2.12 \times 10^{-5}$	$4.27 \times 10^{-7}$	全測定値	45+122 (167)	6/27 9~17	日中	ガ, 配, 機	キャスカ移動エリア	無し	A-509 ドア閉	TENF11-R1
N/F フォルブ No.11 (図6.2(c)-2)	$3.07 \times 10^{-5}$	$7.56 \times 10^{-7}$	10~17	45+122 (167)	6/28 8~16	日中	ガ, 配, 機	キャスカ移動エリア	あり	A-509 ドア閉	TENF11-S1
N/F フォルブ No.11 (図6.2(c)-3)	$2.22 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-7}$	22~2	45+122 (167)	6/29 17~1	夜間	ガ, 配, 機	キャスカ移動エリア	あり	A-509, 518 ドア閉	TENF11-T1
N/F フォルブ No.3 (図6.2(d)-1)	$4.64 \times 10^{-5}$	$1.14 \times 10^{-7}$	12~19	97+122 (219)	6/21 11~19	日中	ガ, 配, 機	キャスカ移動エリア	無し	A-509 ドア閉	NF3-ROUEI
N/F フォルブ No.5 (図6.2(d)-2)	$1.27 \times 10^{-5}$	$4.72 \times 10^{-7}$	全測定値	80+122 (202)	6/22 11~19	日中	ガ, 配, 機	キャスカ移動エリア	無し	A-509 ドア閉	NF5-ROUEI
N/F フォルブ No.6 (図6.2(d)-3)	$5.46 \times 10^{-5}$	$4.45 \times 10^{-7}$	16~23	67+122 (189)	6/23 15~25	日中	ガ, 配, 機	キャスカ移動エリア	無し	A-509 ドア閉	NF6-ROUEI

備考) 温度計測位置の説明

下線は補正に使用した温度

ガ: 内部ガス温度  
 フ: 治具先端のフランジ  
 タ: 基準容器タンクの表面温度

霧: 雰囲気温度  
 配: 既設備の配管  
 機: ドアバルブケーシング表面温度

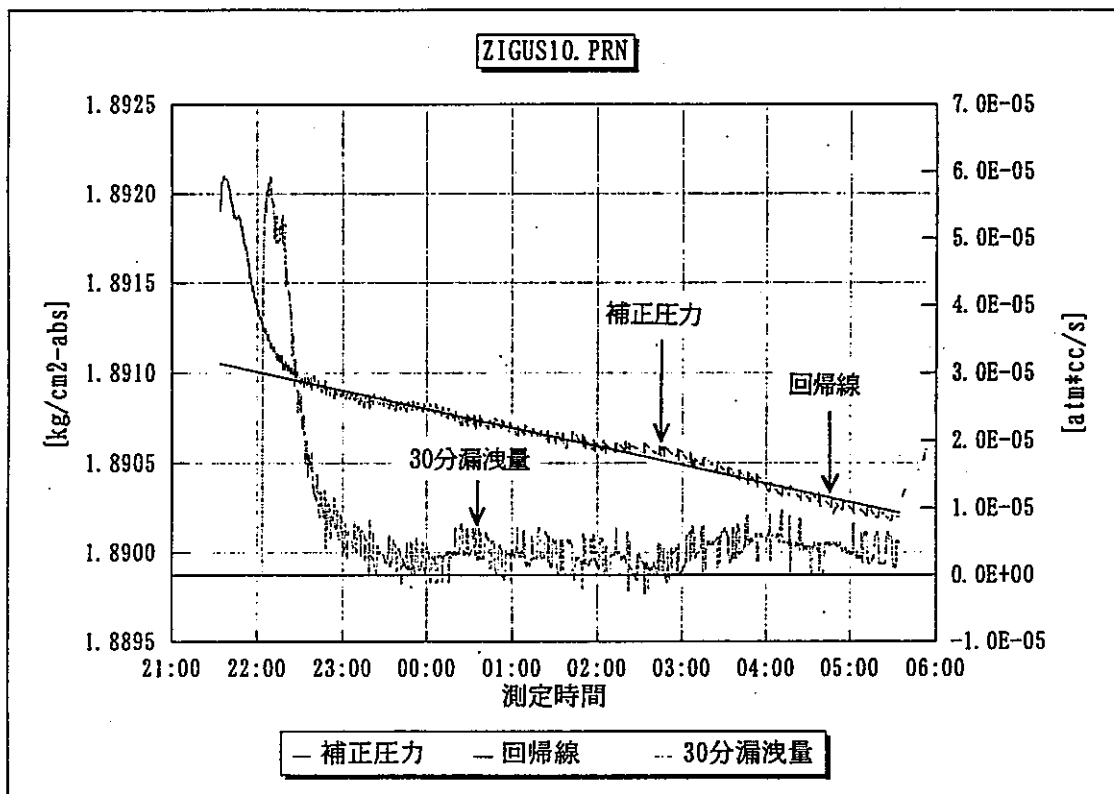
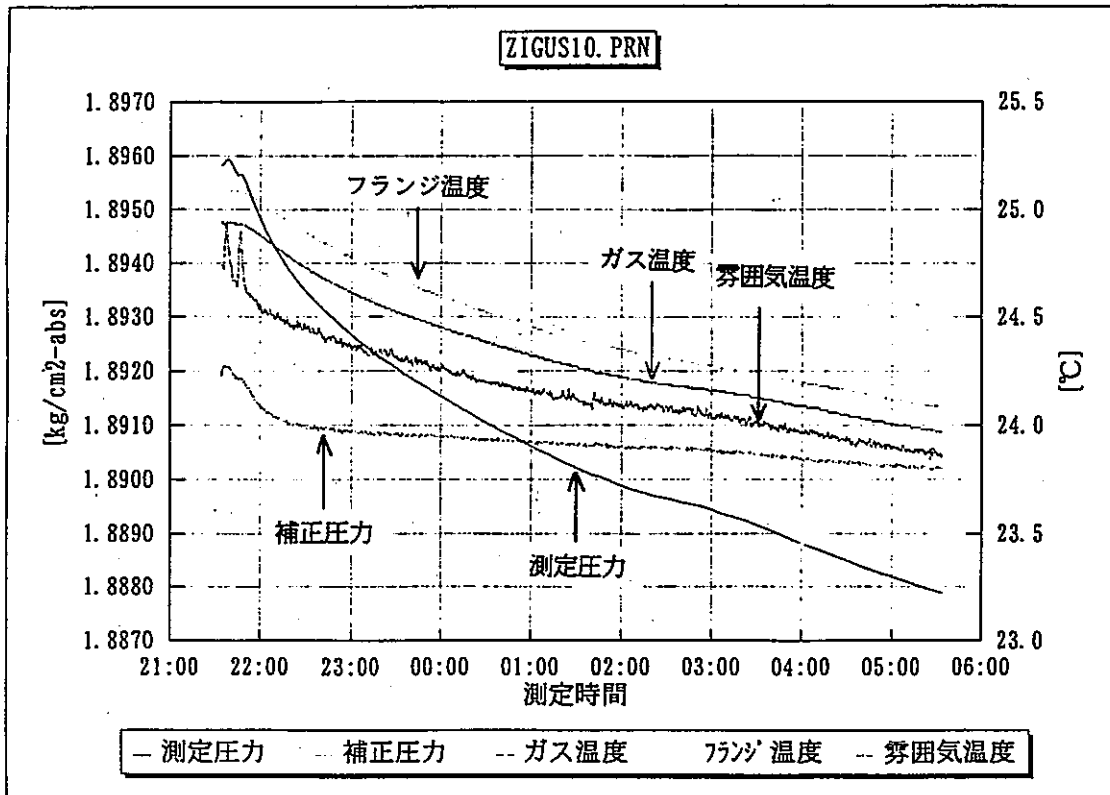


図 6. 2 (a) - 1 治具単体測定結果(1) (加圧放置法)

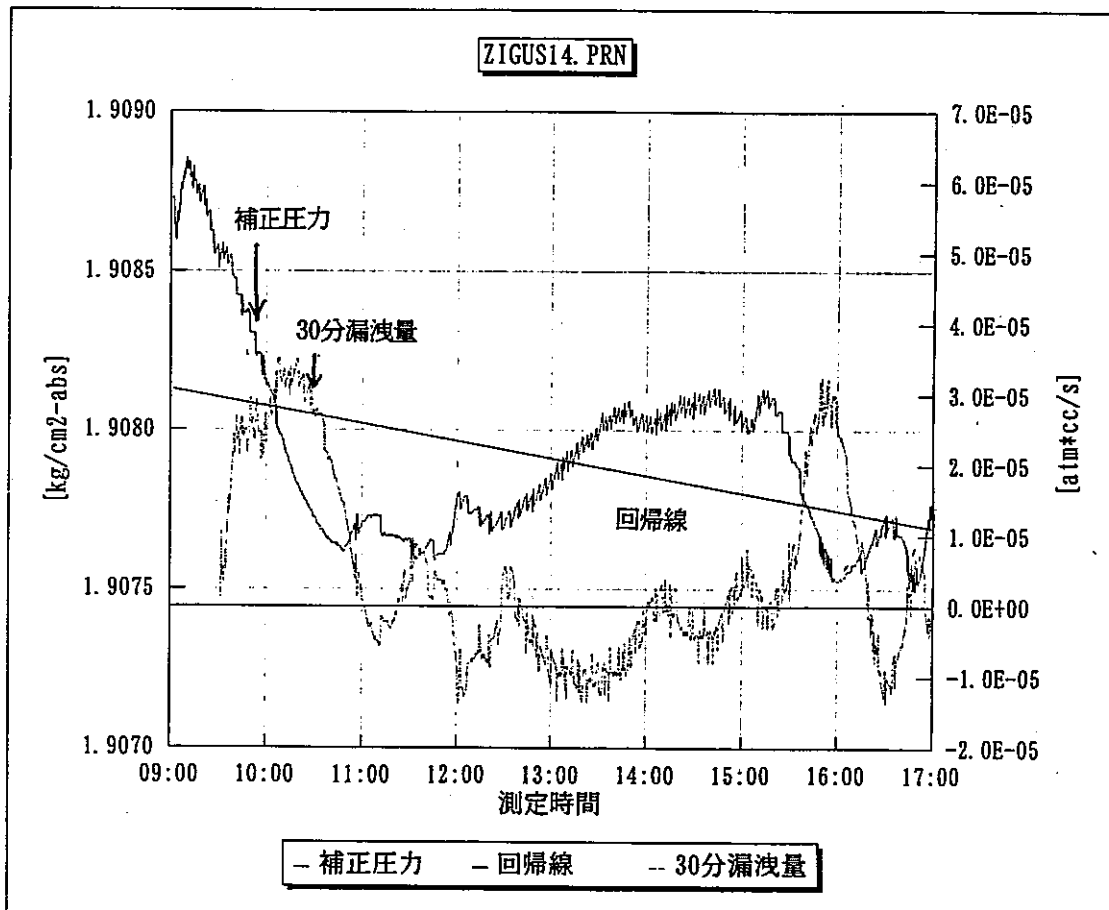
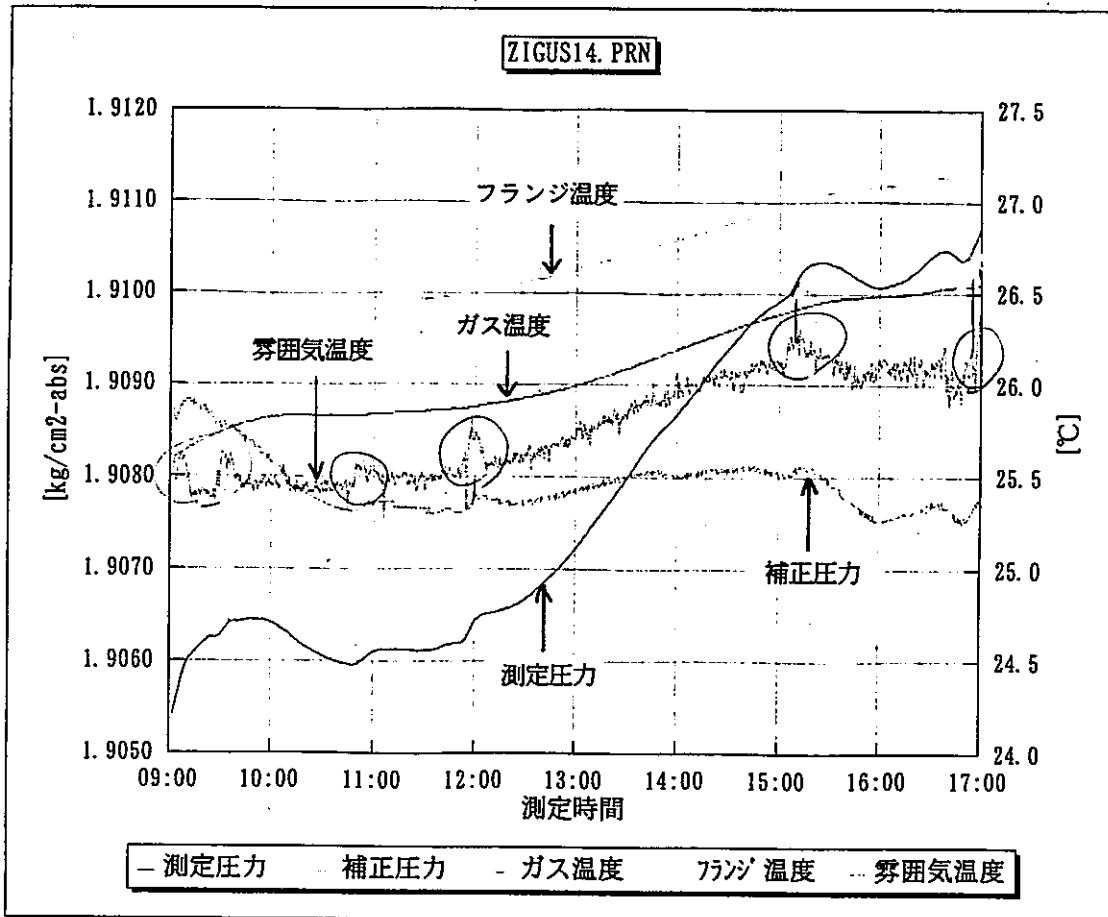


図 6. 2 (a) - 2 治具単体測定結果(2) (加圧放置法)

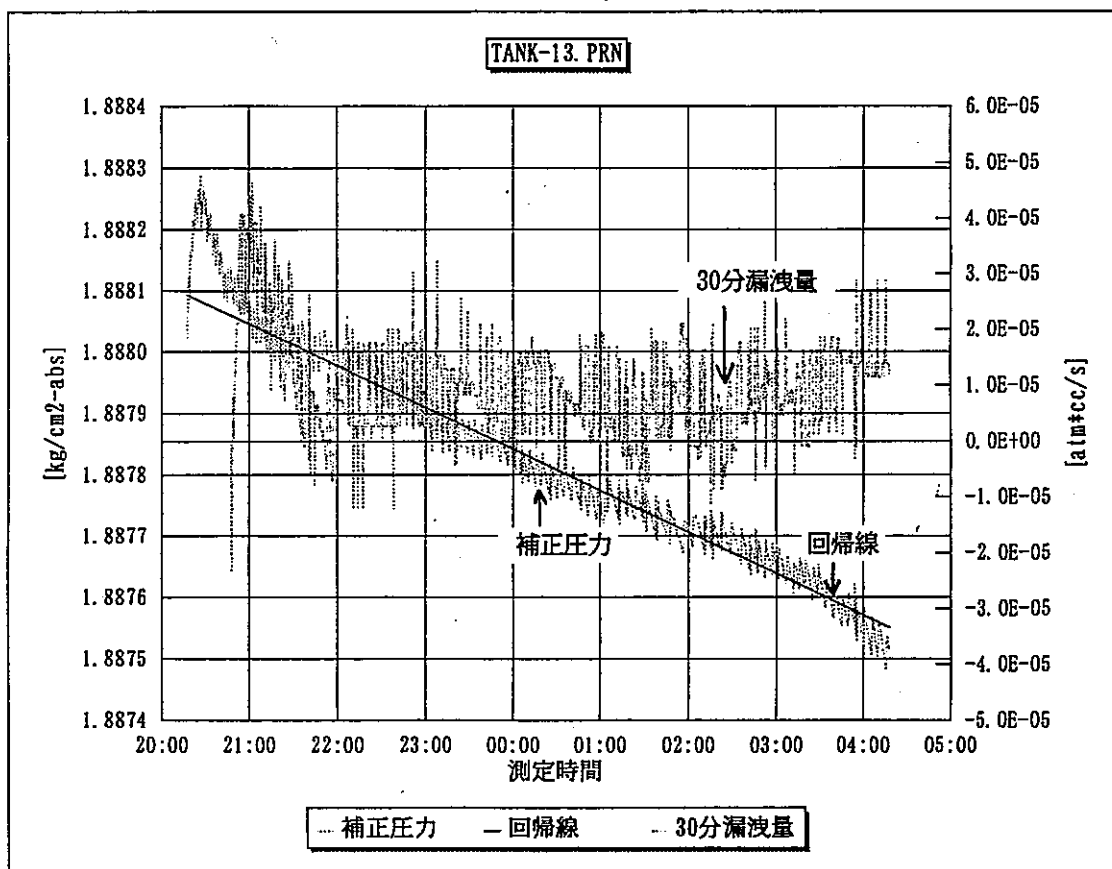
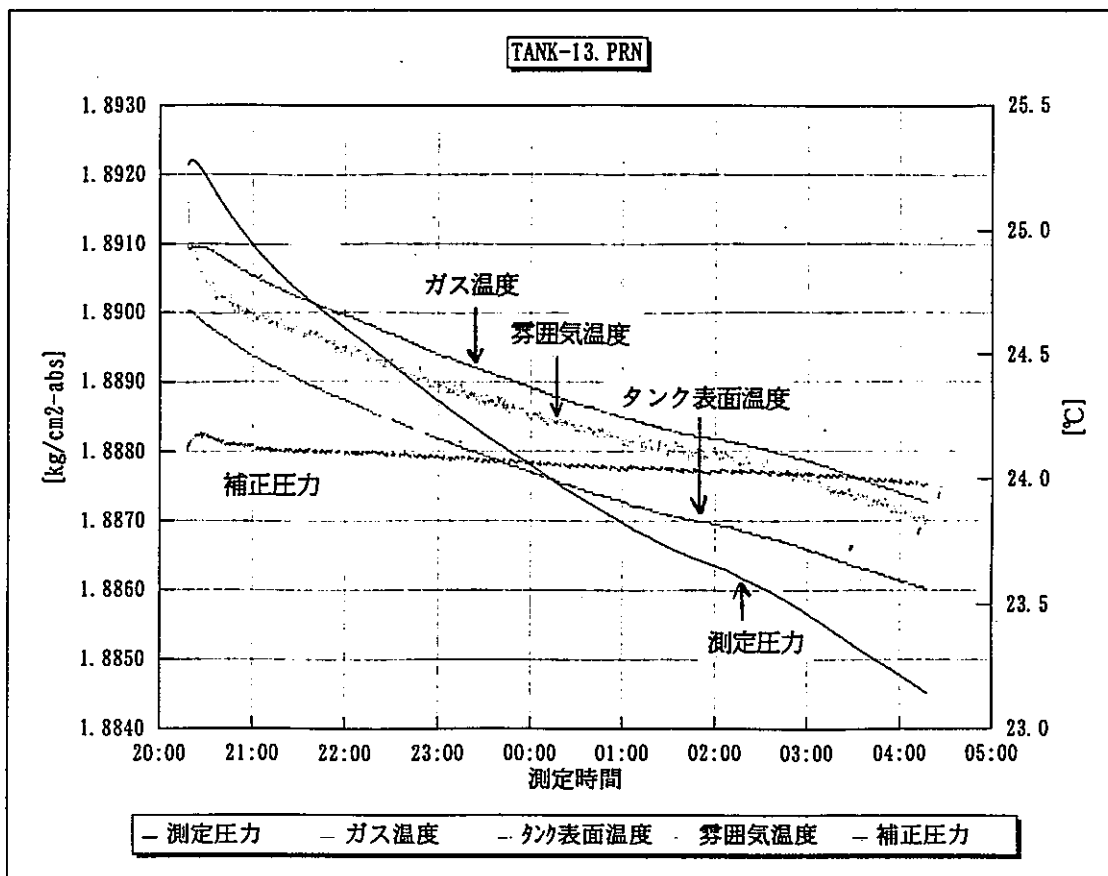


図 6. 2 (b) - 1 比較用タンク測定結果(1) (加圧放置法)

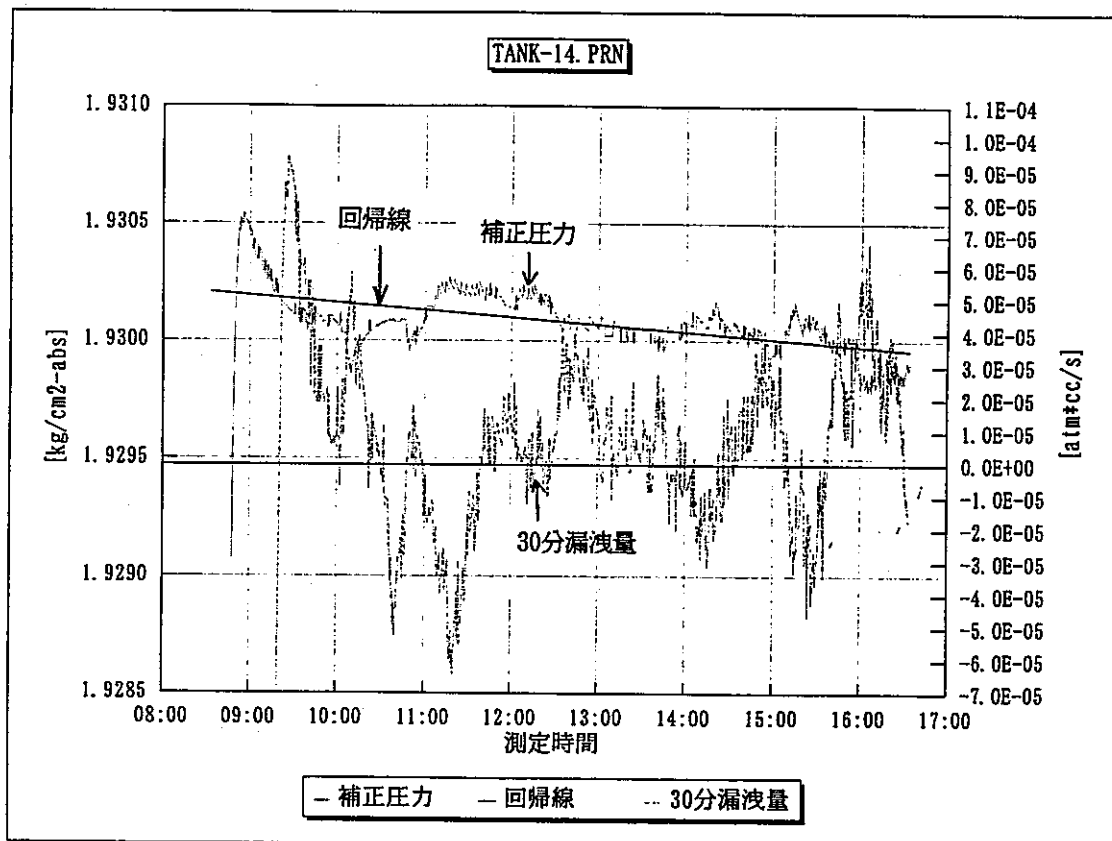
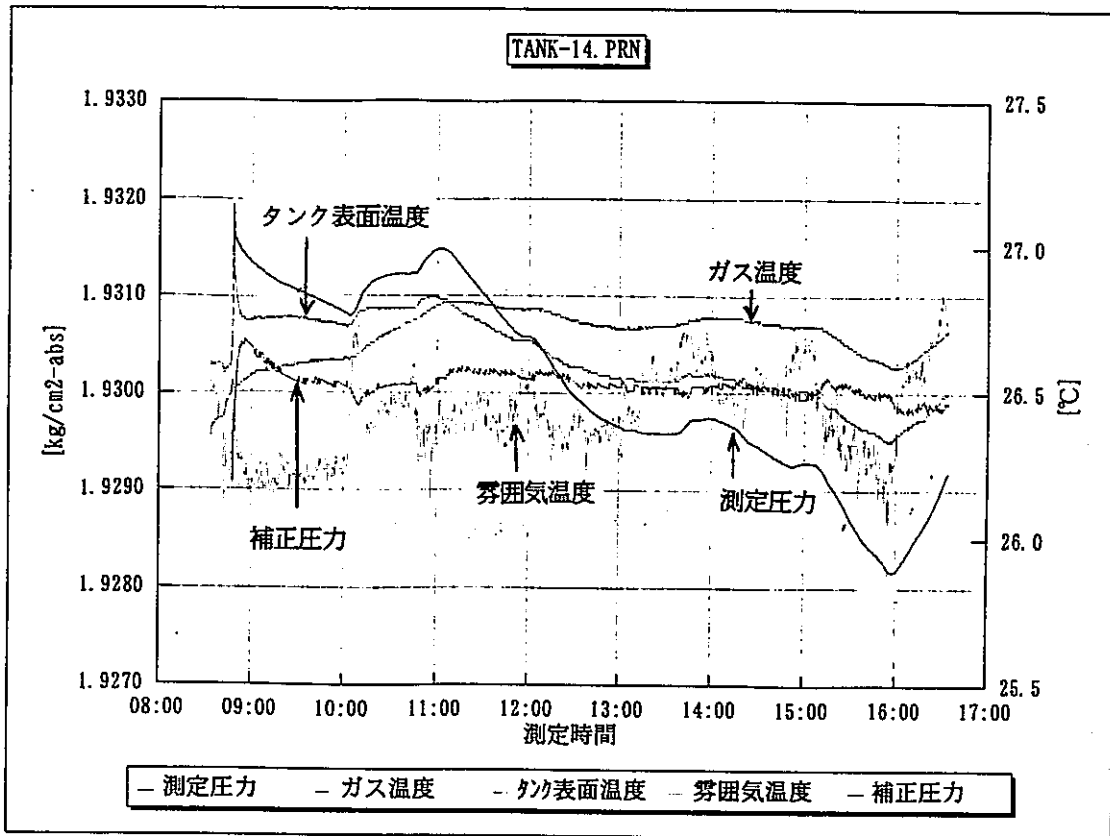


図 6. 2 (b) - 2 比較用タンク測定結果(2) (加圧放置法)

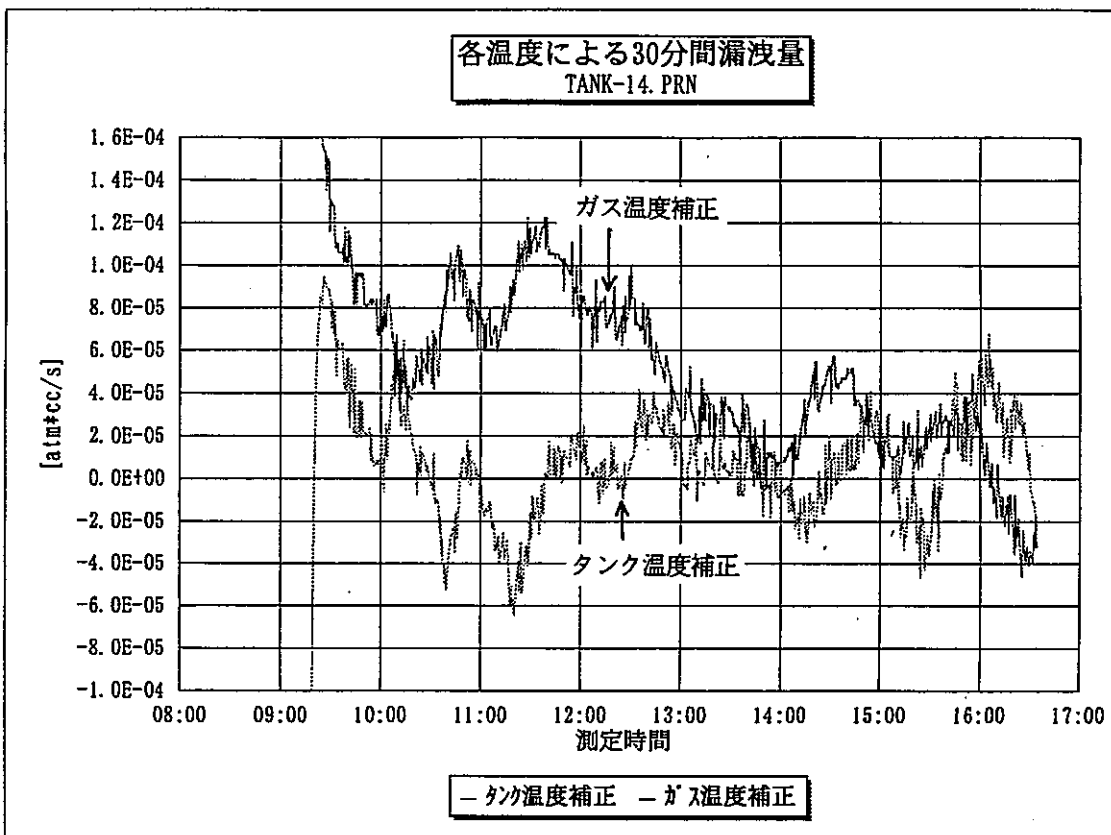
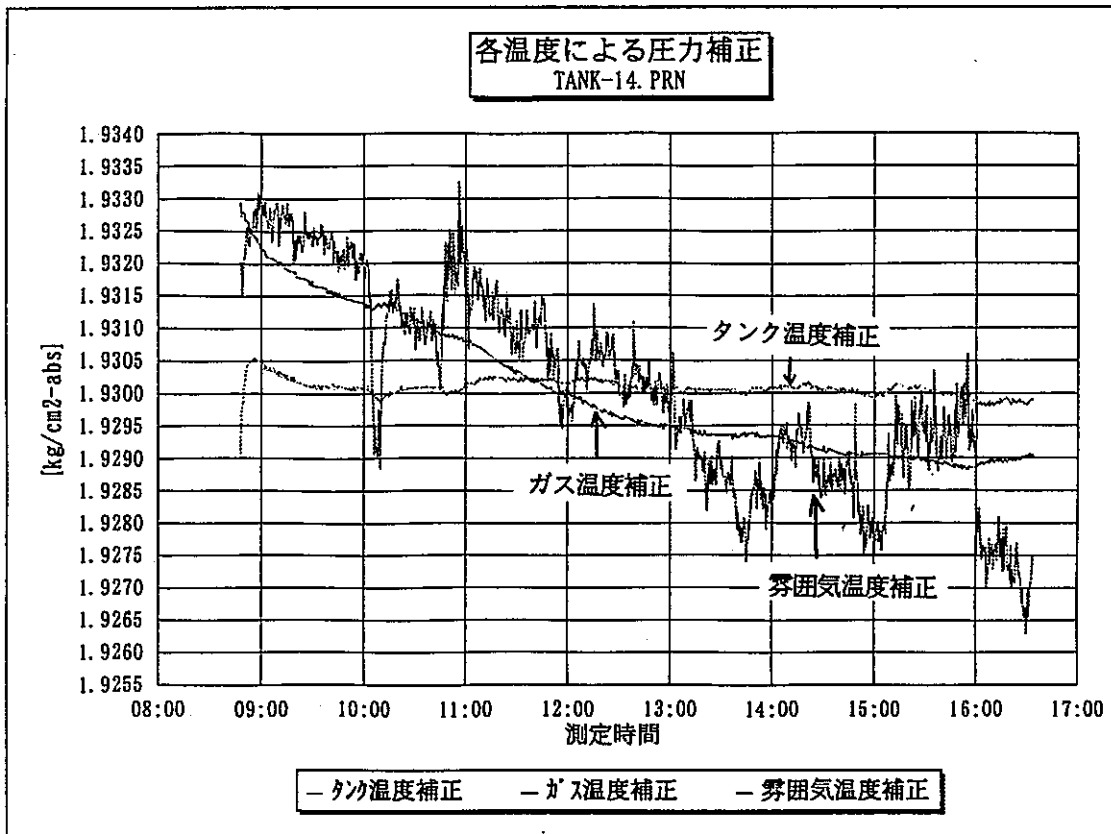


図 6. 2 (b) - 2' 比較用タンク測定結果(3) (加圧放置法)



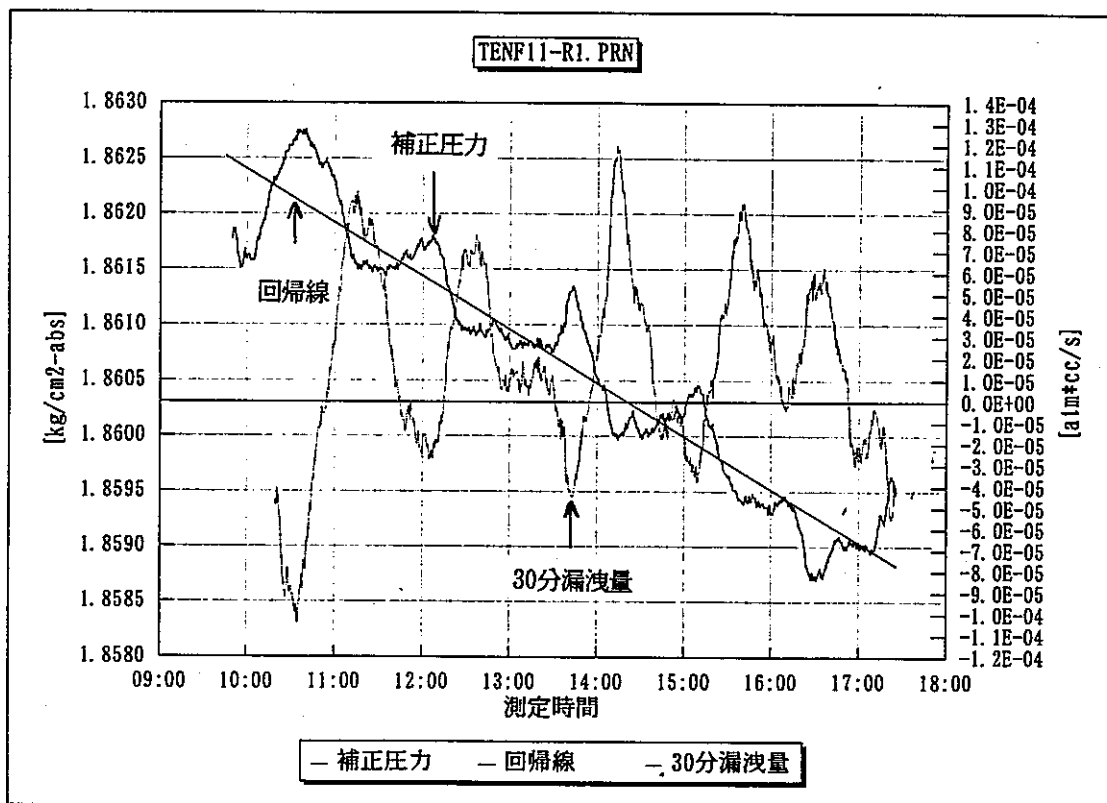
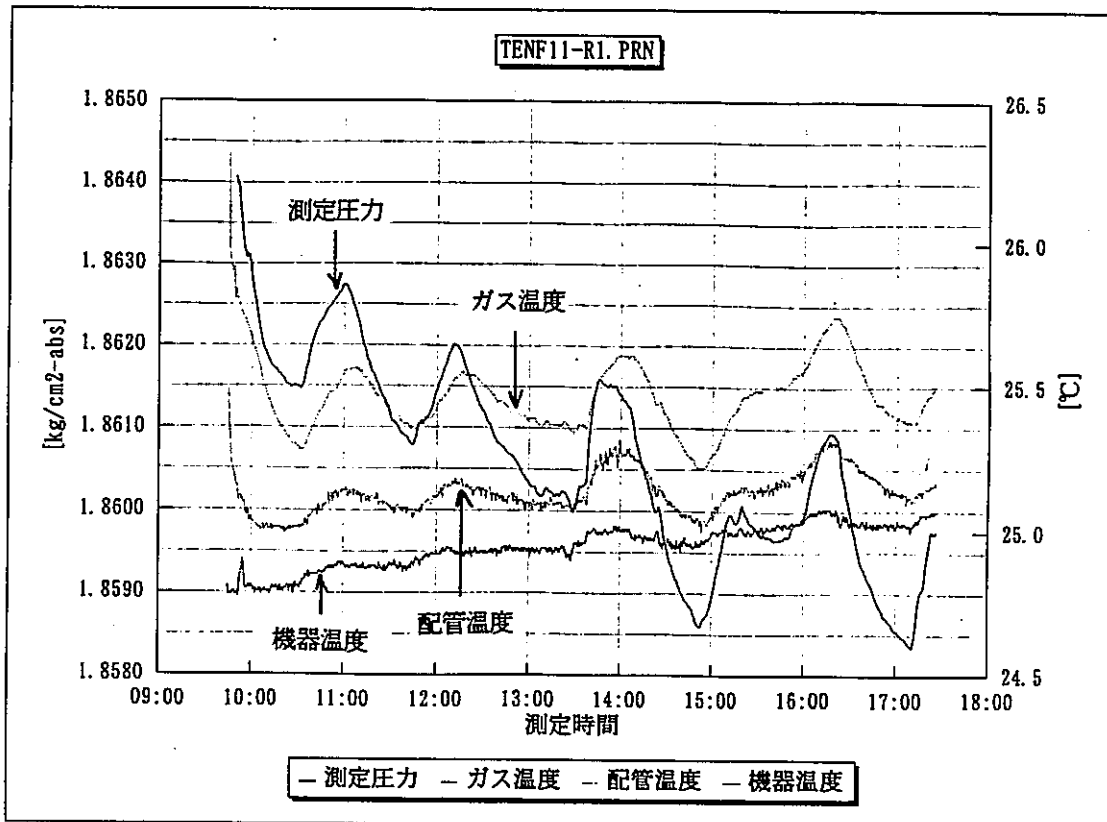


図 6. 2 (c) - 1 N/F ドアバルブ No. 11 測定結果(1) (加圧放置法)

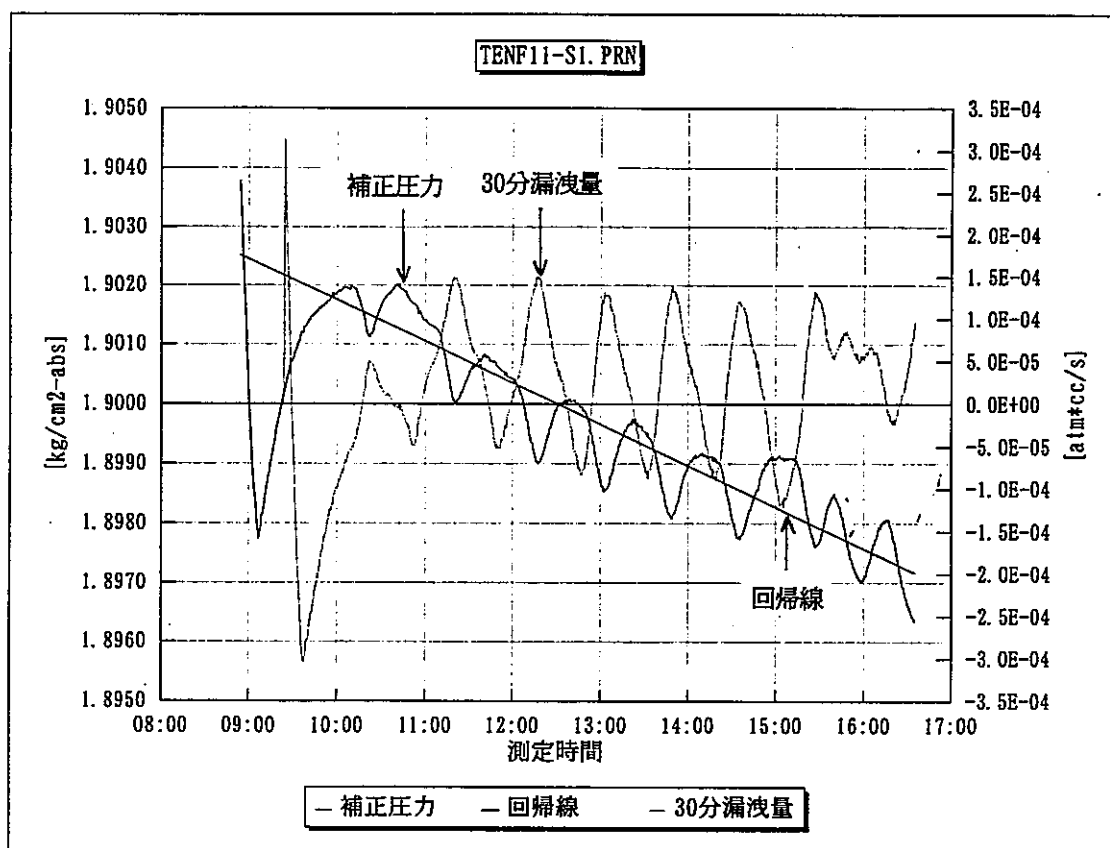
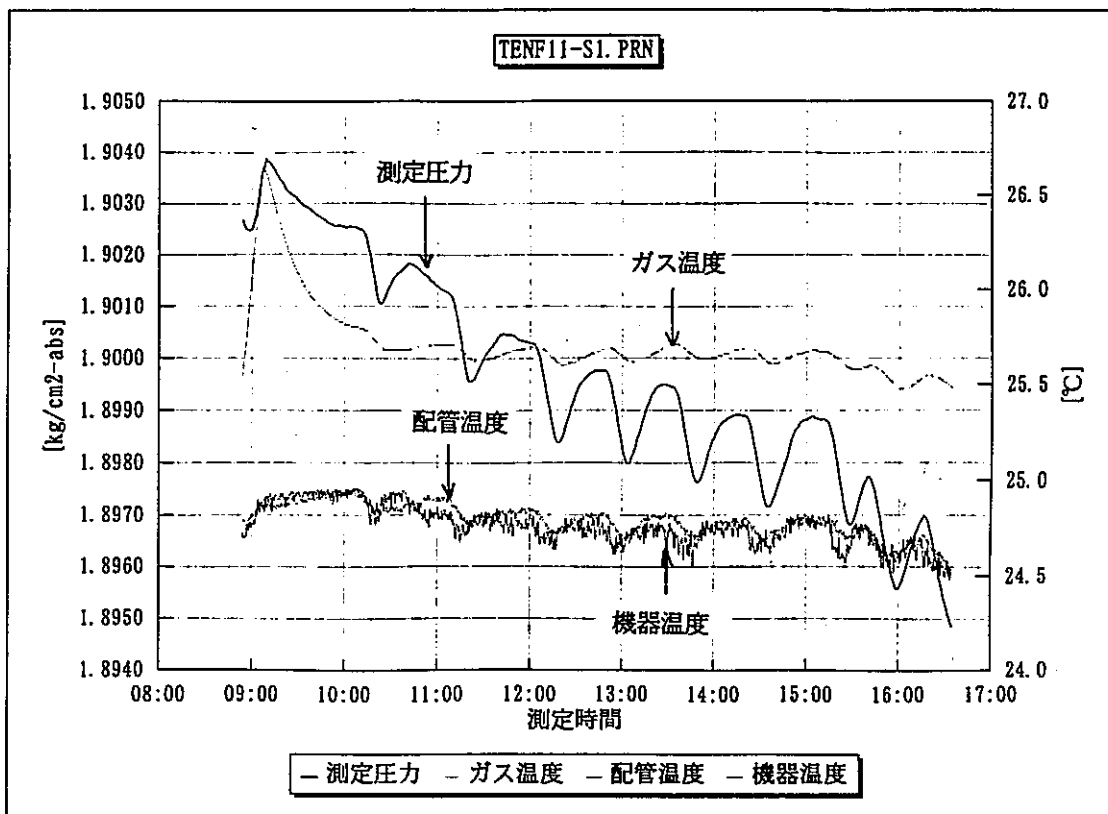


図 6. 2 (c) - 2 N/F ドアバルブ No. 11 測定結果(2) (加圧放置法)

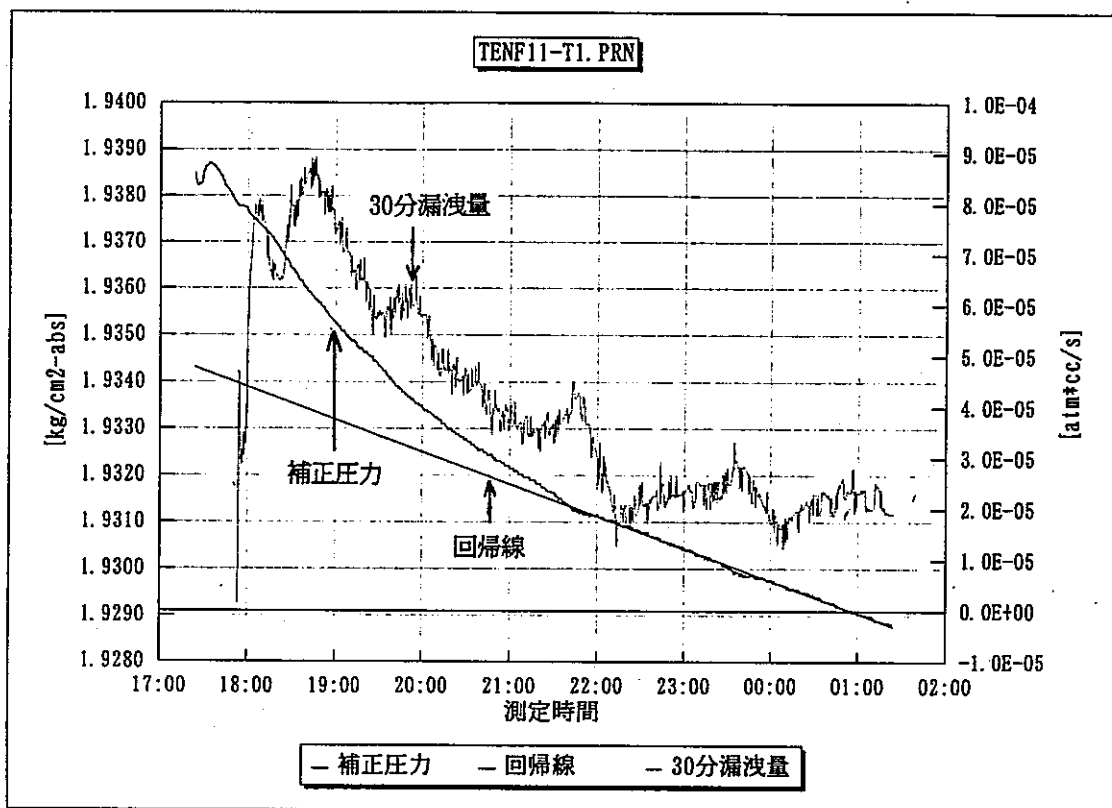
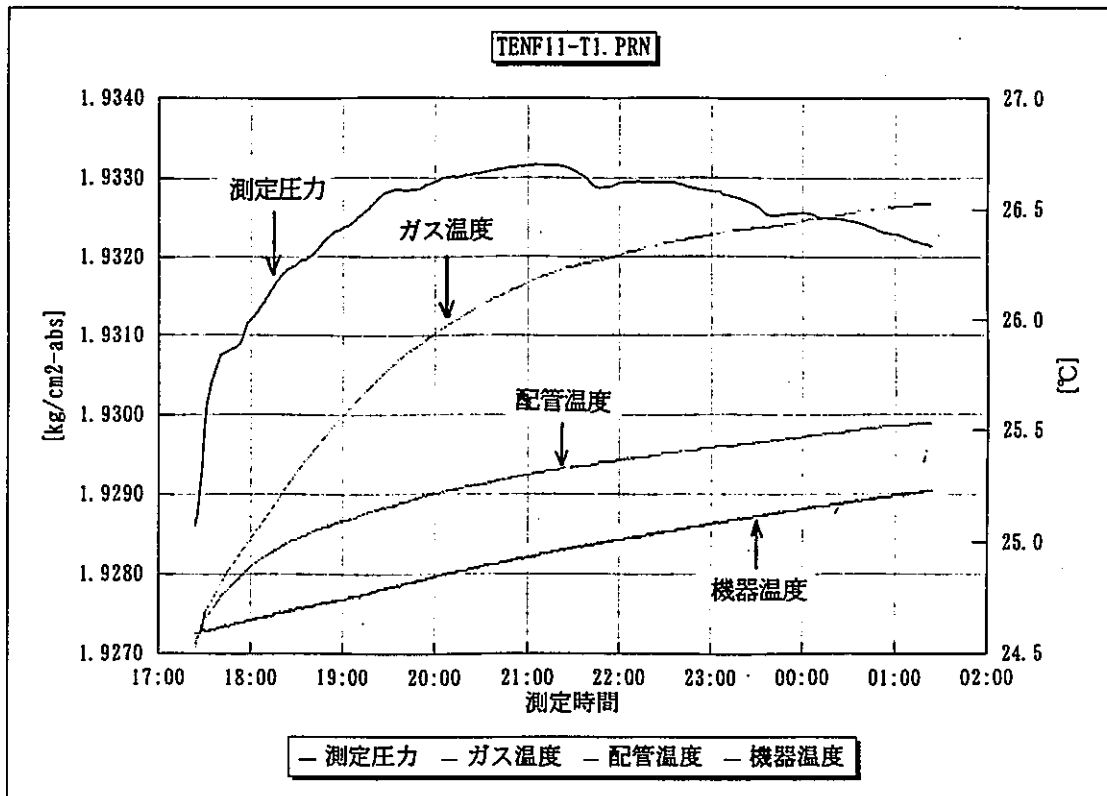


図 6. 2 (c) - 3 N/F ドアバルブ No. 11 測定結果(3) (加圧放置法)

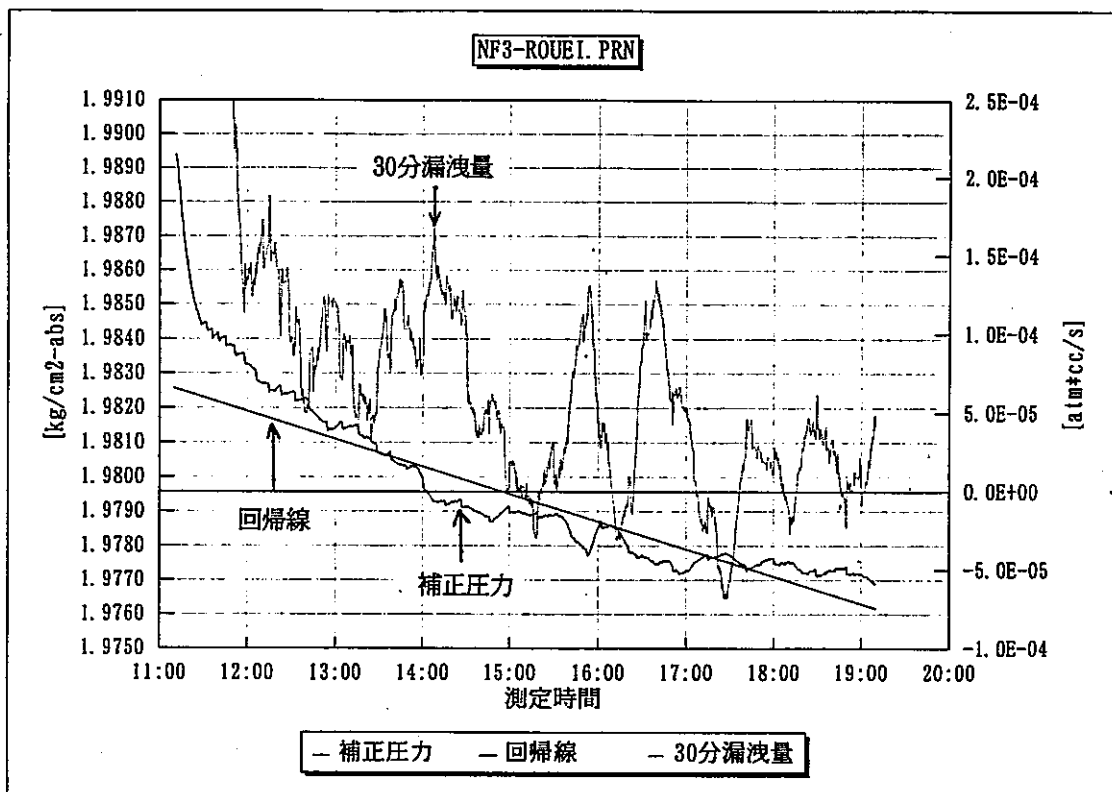
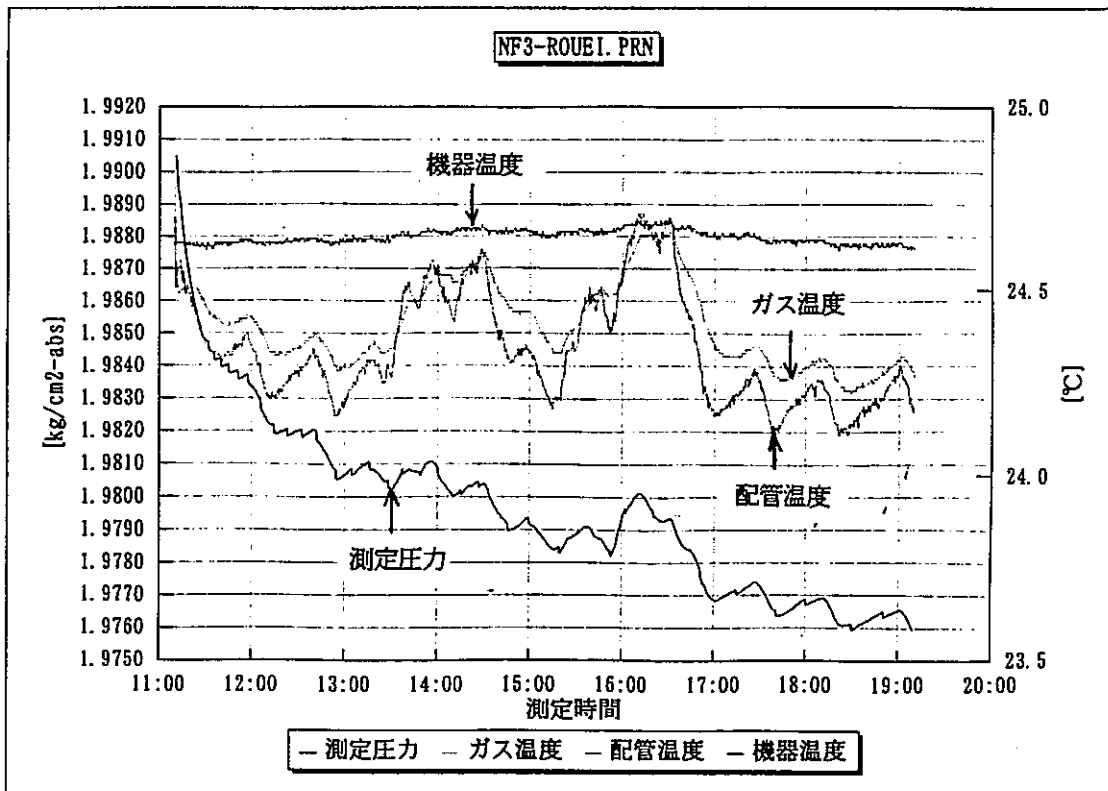


図 6.2 (d) - 1 N / F ドアバルブ No. 3 測定結果 (加圧放置法)

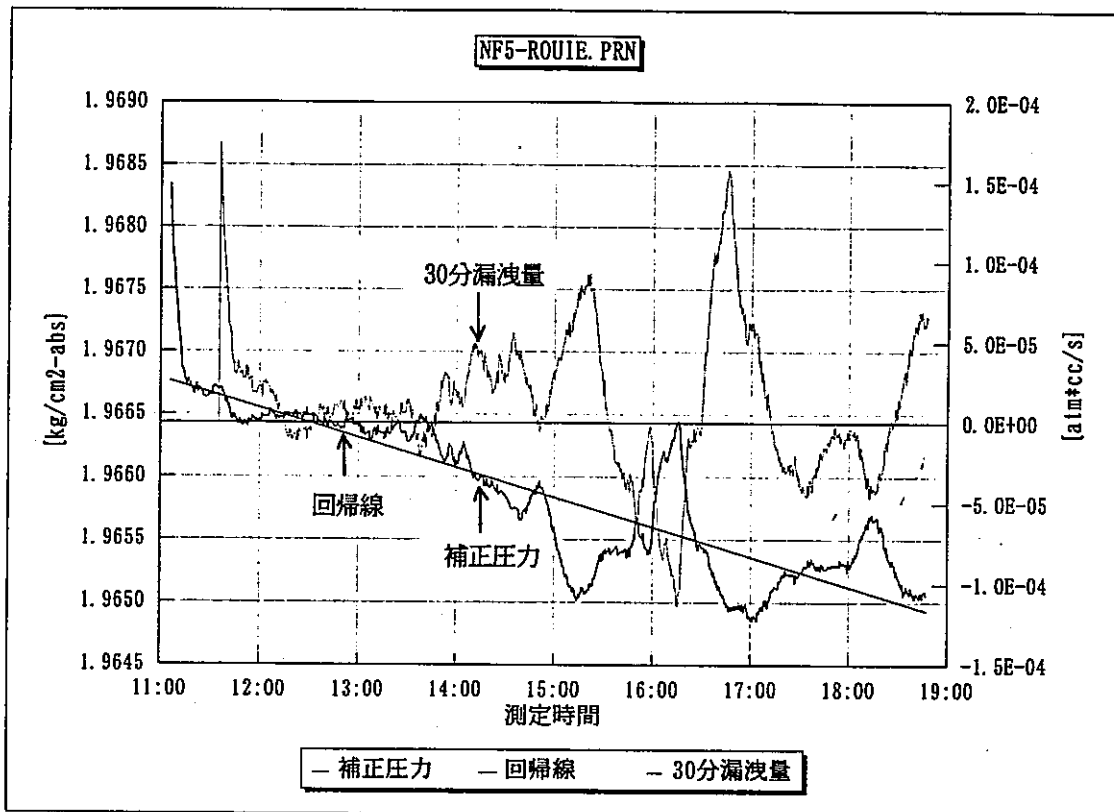
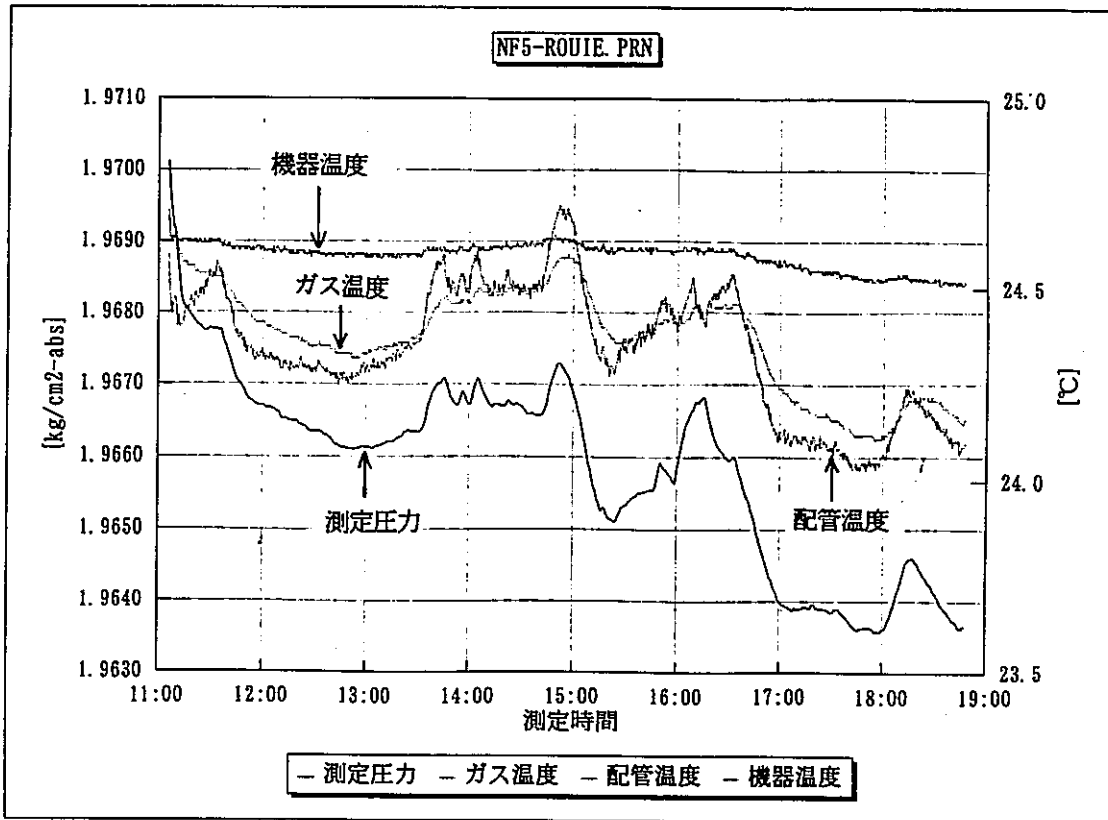


図 6.2 (d) - 2 N / F ドアバルブ No.5 測定結果 (加圧放置法)

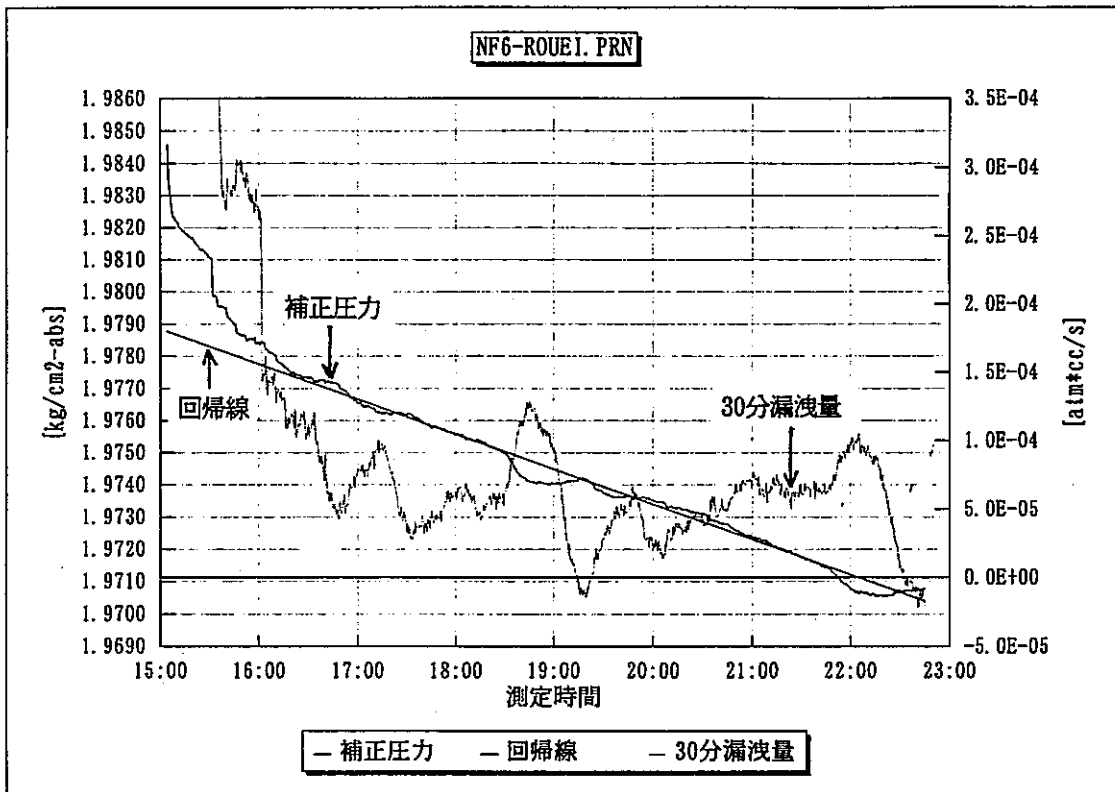
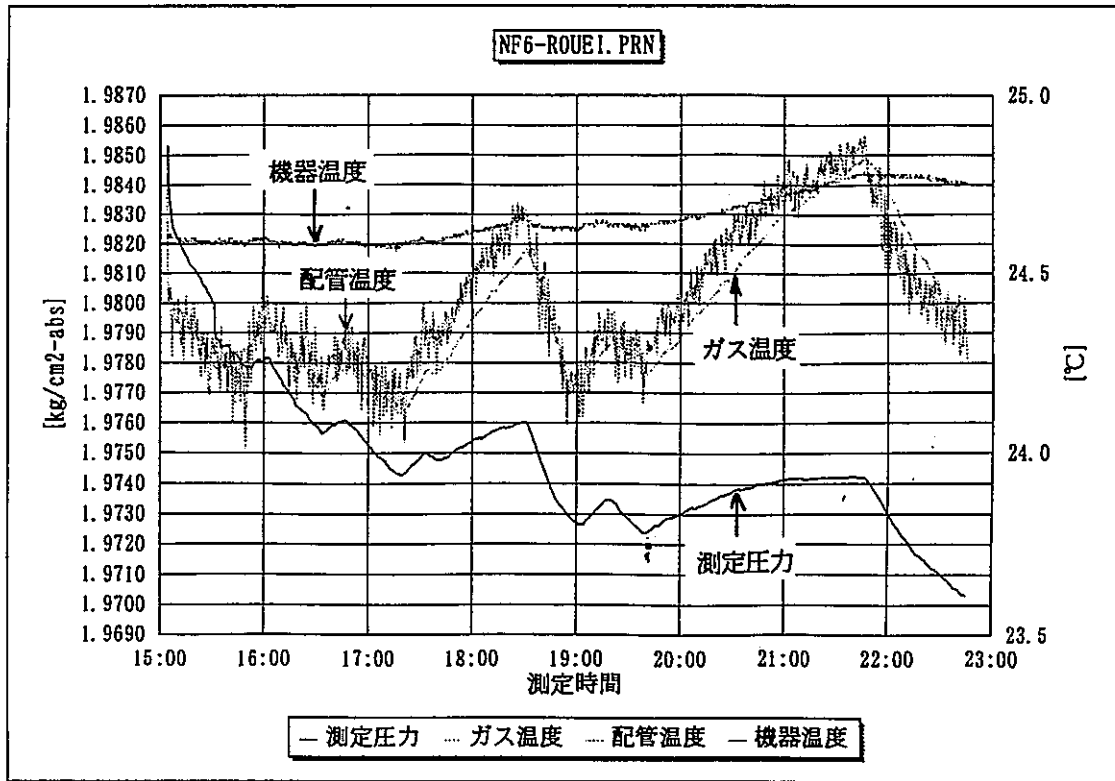


図 6.2 (d) - 3 N / F ドアバルブ No. 6 測定結果 (加圧放置法)

表 6.4-1 ヘリウム加圧法による漏洩測定結果

試験対象	加圧ガス	漏洩量 [atmcc/s]	$2 \times \sigma$ 標準偏差 [atmcc/s]	回帰時間	試験容積 (合計) [cc]	試験日時	温度計測 位置	7711名 (.PRN)	図番号
治具単体	A r	$3.34 \times 10^{-6}$	$3.38 \times 10^{-8}$	23~ 5	122	6/13 21~ 5	<u>ガ</u> , フ, 雰	ZIGU-S10	図 6.2 (a) - 1
治具単体	A r	$1.76 \times 10^{-6}$	$2.45 \times 10^{-7}$	全測定値	122	6/16 9~17	<u>ガ</u> , フ, 雰	ZIGU-S13	図 6.2 (a) - 2
治具単体	H e	$4.87 \times 10^{-6}$	$2.28 \times 10^{-7}$	11~ 9	122	8/31 9~ 9	<u>ガ</u> , フ, 雰	HE-ZIG01	図 6.4 (a) - 1
治具単体	H e	$4.87 \times 10^{-6}$	$2.03 \times 10^{-7}$	18~ 9	122	9/ 6 9~ 9	<u>ガ</u> , フ, 雰	HE-ZIG02	図 6.4 (a) - 2
T/R フバルブ No.1	A r	$2.63 \times 10^{-6}$	$6.68 \times 10^{-8}$	11~ 5	187	8/30 9~ 9	<u>ガ</u> , 配, 雰	AR-TR101	図 6.4 (b) - 1
T/R フバルブ No.1	H e	$9.31 \times 10^{-6}$	$1.25 \times 10^{-7}$	9~ 9	187	8/29 9~ 9	<u>ガ</u> , 配, 雰	HE-TR101	図 6.4 (b) - 2

備考) 温度計測位置の説明

下線は補正に使用した温度

ガ: 内部ガス温度

フ: 治具先端のフランジ

タ: 基準容器タンクの表面温度

雰: 雰囲気温度

配: 既設備の配管

機: ドアバルブケーシング表面温度

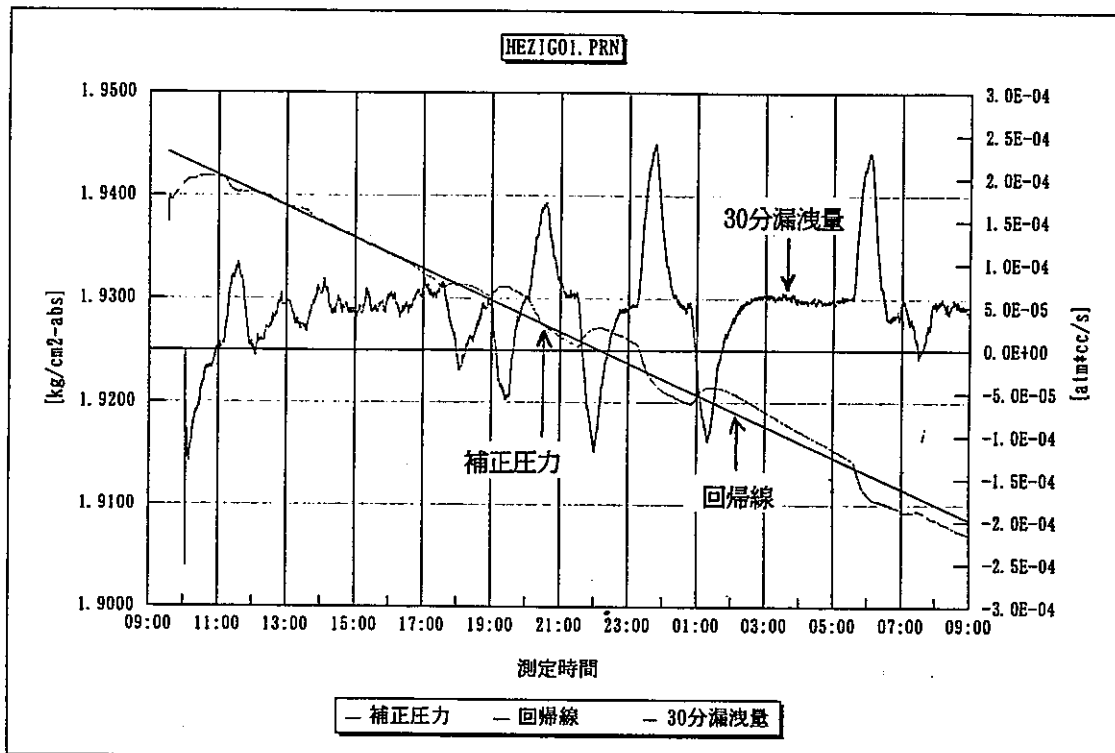
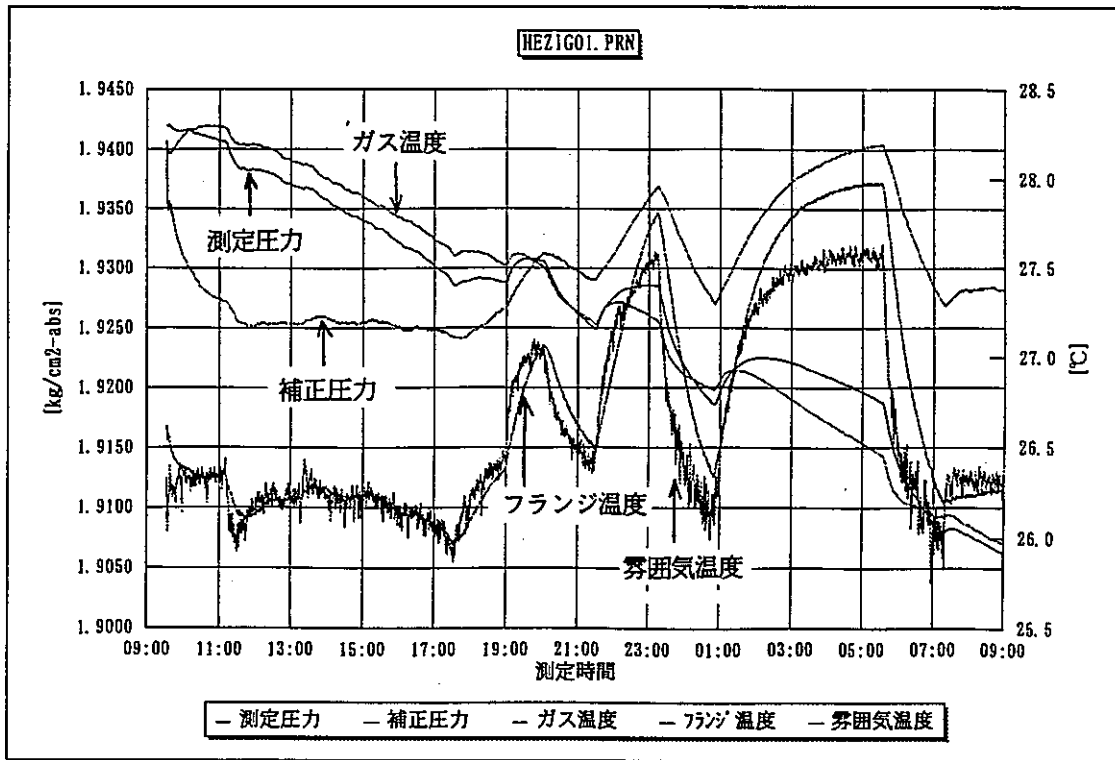


図 6. 4 (a) - 1 治具単体測定結果(1) (ヘリウム加圧法)



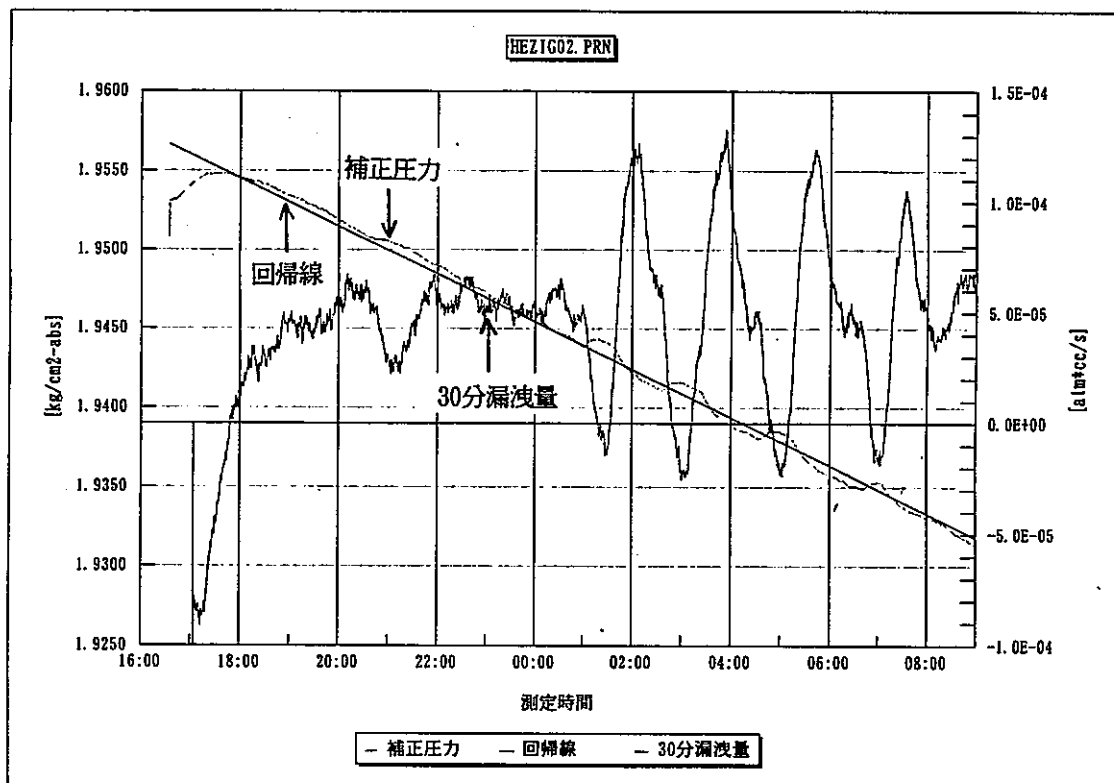
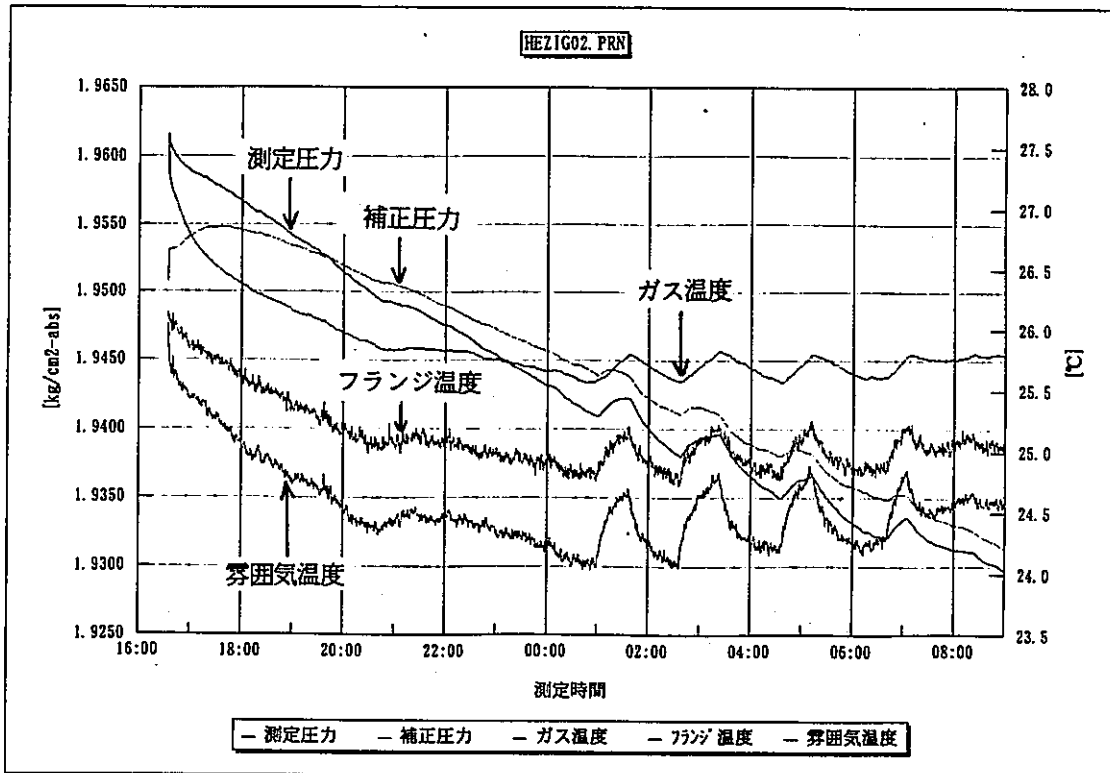


図 6. 4 (a) - 2 治具単体測定結果(2) (ヘリウム加圧法)

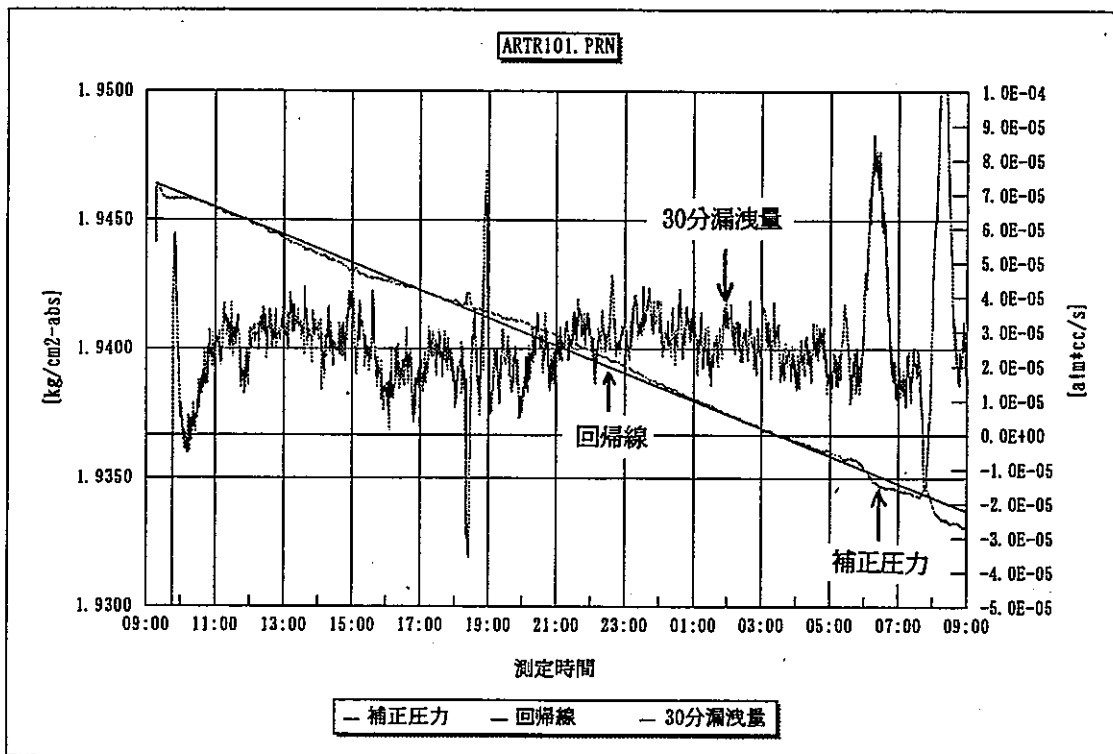
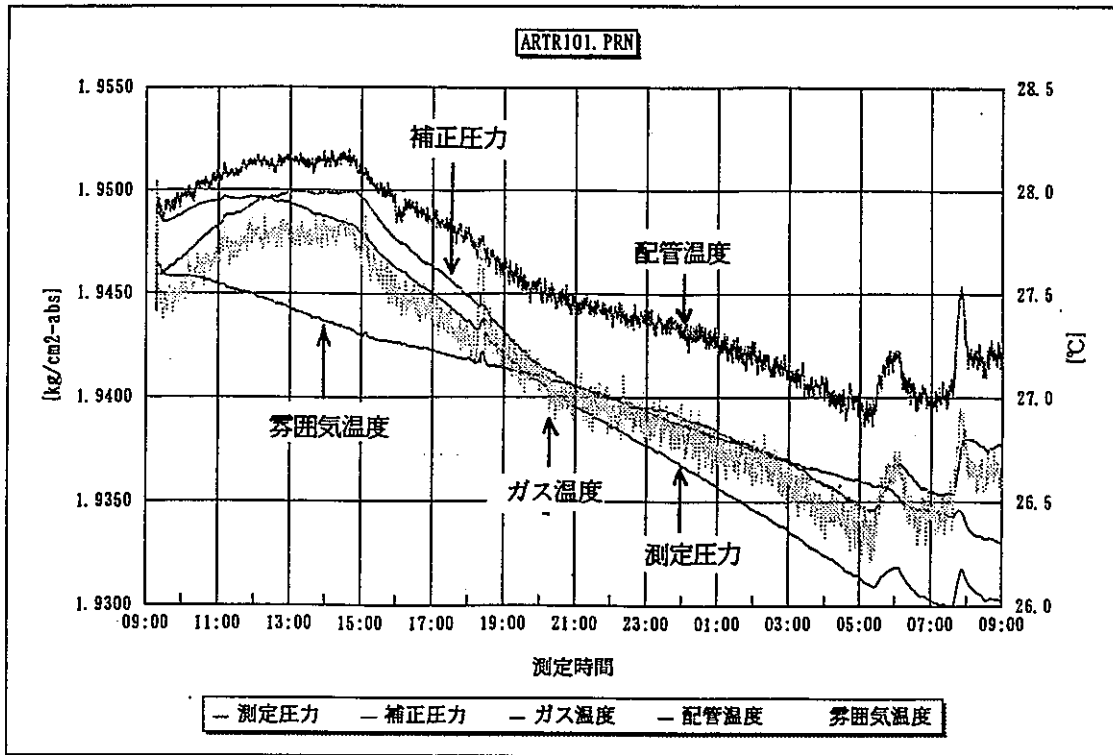


図6.4(b) - 1 T/RドアバルブNo.1測定結果 (アルゴン加圧法)

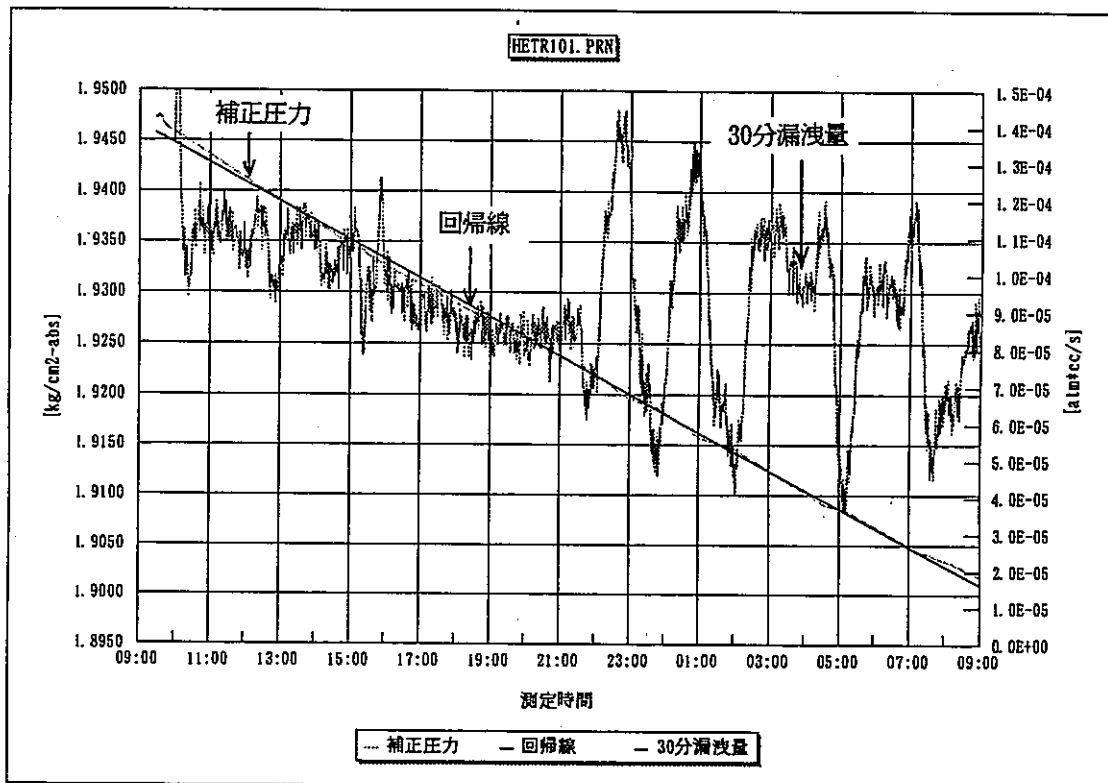
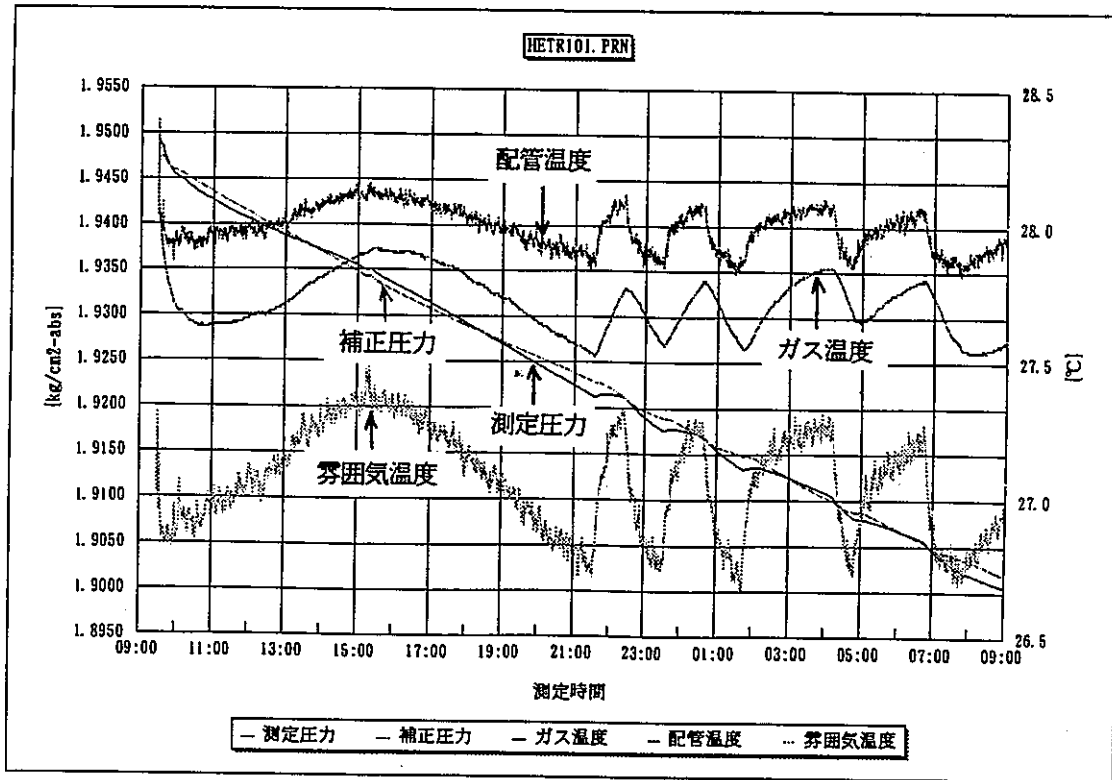


図6.4(b) - 2 T/RドアバルブNo.1測定結果 (ヘリウム加圧法)

## 7. 減圧法による漏洩測定試験

5. 2 項の精度評価において減圧法による漏洩試験は、加圧法よりも著しい精度向上が図られる可能性を有していることが明らかとなっている。本項では、「微小漏洩量測定装置」を用いて、減圧法による漏洩試験の実用性を確認するために測定試験を実施した。

尚、減圧法による漏洩試験の場合には、加圧法とは逆に測定圧力の上昇により漏洩量を求めるため、本装置の計算式では得られる漏洩量の値はマイナス値となる。

### 7.1 測定試験

減圧法による漏洩測定試験は、以下の 3 つに対して測定を行った。

- (a) 治具単体
- (b) 実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.11）
- (c) 実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.3）

測定条件及び測定結果を表 7.1-1 に加圧法と比較して示す。

#### (a) 治具単体の減圧法の測定試験結果

治具単体の減圧法測定結果を図 7.1 (a)-1 (ZIGU-V10.PRN) に示す。本試験時には温度センサー 2 本が破損したため温度測定はガス温度 1 点のみで実施した。測定開始時にガス温度が急激に低下したのは、治具フランジを取り付けた直後に測定を開始したために生じたものである。

測定開始約 1 時間後から圧力上昇が安定し、30 分漏洩量は  $1.6 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] でほぼ一定になった。また、測定初期の著しい温度低下が生じているにも関わらず、測定圧力と補正圧力の補正幅は小さく、減圧法による漏洩測定が温度影響を受けない測定方法であることが確認された。

尚、最小自乗法による平均漏洩量は  $1.63 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] であり、加圧法の結果よりも大きく、維持目標値  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] を上回る結果となった。

#### (b) 実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.11）

新燃料キャスクカー側ドアバルブの No.11（フランジシール部）の測定結果を図 7.1 (b)-1 (TENF11-V1.PRN) に示す。この試験では、加圧法と同様に毛布保温処置を行ったことにより、ガス > 配管 > 機器温度の順に温度勾配が見られた。

測定開始から約 2 時間程度で圧力上昇が安定し、平均漏洩量は  $2.18 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec] であり、加圧法の漏洩量とほぼ一致した。

#### (c) 実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.3）

新燃料キャスクカー側ドアバルブの No.3（上プレートシール部）の測定結果を図 7.1 (c)-1 (TENF3-V1.PRN) に示す。この試験時には、温度センサーが 1 本破損したため、ガス温度及び配管温度の 2 点のみを測定した。

この試験において測定圧力に突発的な上昇が見られた。この原因は不明であるが、シリ

コン等のシール剤から気泡が発生したため、あるいはOリングが移動したことによる内部容積の変動が考えられる。この圧力変動により、安定した漏洩量が得られるのに約4時間近く測定時間を要した。得られた平均漏洩量は、 $2.03 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]であった。

## 7.2 減圧法試験結果の考察

3ヵ所に対する減圧法による漏洩試験から以下の結果が得られた。

- ・ 治具単体では、平均漏洩量は  $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以上であった。
- ・ 実機設備では、加圧試験とほぼ同程度の平均漏洩量が得られた。
- ・ 3ヵ所の漏洩量は、容積の増加分を考慮するとほぼ同程度の値である。

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.63 \times (167/122) = 2.23 \approx 2.18 \\ 1.63 \times (219/122) = 2.93 \approx 2.04 \end{array} \right\}$$

減圧法による圧力測定では、測定対象物である配管や治具、機器の内部に付着した水分やグリース等の蒸発、また構造材からのガス放出等が生じるために測定圧力は上昇する。このため、本来の測定目的であるOリングからの漏洩による圧力上昇の他に、これらの要因による圧力上昇が含まれることになり、得られる漏洩量は大きくなる。図7.2-1に構造材料の室温における真空中のガス放出速度を示す。18-8ステンレス鋼（電解研磨）の真空放置1時間における放出ガス速度は、

$$1.00 \times 10^{-5} \text{ [Pa m}^3\text{/sec m}^2\text{]} = 9.87 \times 10^{-5} \text{ [atm cc/sec m}^2\text{]}$$

となり、被測定部の内表面積が  $0.2 \text{ [m}^2\text{]}$ 程度であれば今回の測定結果の同じ値となる。

以上のことより、今回の実施した減圧法による漏洩試験では、 $1 \sim 2 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]程度が測定限界であると考えられる。

この減圧法による測定精度を更に向上させる方策として以下の方法が考えられた。

### ① コールドトラップを取付け、発生するガス成分を凝縮させる。

本方法は、測定部と圧力計の間にコールドトラップを設置し、冷却材として液化窒素を使用して、測定配管を冷却する。これにより、発生するガス成分（水蒸気等）を凝縮させることにより測定圧力の信頼性を向上させるものである。

### ② ターボ真空ポンプで長時間、真空引きを行った後に測定を行う。

ヘリウムリーク検査では、高真空状態を形成するのに1昼夜近くターボ真空ポンプで減圧を行うことがある。減圧法の測定においても、同様に長時間の真空引きを行えば、ガス放出や蒸発成分がなくなり、真の漏洩測定が可能になると考えられる。

しかし、燃料取扱設備の漏洩試験対象は100箇所以上あるため、限られた工程の中で実施するには問題がある。

### ③ ベーキングを行い、測定内部のガスを放出させる。

ベーキングとは予熱することであり、被試験対象を漏洩検査前に予熱することにより、構造材からのガス放出や蒸発分を除去するものである。

しかし、燃料取扱機器は様々な機器形状を有し、設置場所等の制約から全ての試験対象部をヒータなど仮設して予熱処理を行うことは不可能である。

### 7.3 コールドトラップ冷却による減圧法の測定試験

7.2で示した液体窒素冷却によるコールドトラップを測定部に設置し、蒸発成分を凝縮させ、漏洩量の精度向上を図る実証試験を行った。

試験方法としては、測定治具の一部にU字型配管を接続し、そのU字配管を液体窒素に浸漬し、被測定部内で発生する水分をこのU字型配管にて凝縮させた。

測定対象としては、以下の4ヵ所とした。

(a)治具単体

(b)実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.11）

(c)実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.3）

(d)実機設備（トランスファロータ貯蔵設備側ドアバルブ：No.1）

測定条件及び測定結果を表7.3-1に、7.1項の減圧法測定結果と共に示す。

#### (a) 治具単体のコールドトラップ冷却減圧法の測定結果

治具単体に対する液体窒素冷却による測定結果を図7.3(a)-1(CT-S01.PRN)と、図7.3(a)-2(CT-S02.PRN)に示す。図7.3(a)-2の試験では、測定開始時は単純な減圧法の試験を行い、5時間程度経過後から液体窒素を注入して冷却減圧法試験を連続して測定した。

(尚、図7.3(b)-1、図7.3(c)-1、図7.3(d)-1も同様に連続測定した。)

この場合、冷却減圧法の測定圧力が安定するのに、約4時間を要した。

得られた平均漏洩量は、 $2.21 \times 10^{-5}$ 、 $1.47 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]であり、単純減圧法の場合と比較して大きな差はなく、また $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以下にはならなかった。

#### (b) 実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.11）の測定結果

測定結果を図7.3(b)-1(CT-NF1101.PRN)に示す。冷却減圧法の圧力が安定するのに、約7時間程度を要した。

得られた平均漏洩量は、 $1.35 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]であり、治具単体と同様に単純減圧法との有意な差はなかった。

#### (c) 実機設備（新燃料キャスクカー側ドアバルブ：No.3）の測定結果

測定結果を図7.3(c)-1(CT-NF301.PRN)に示す。本測定では、7.1項での減圧法試験(図7.1(c)-1)と同様に突発的な圧力上昇する現象が見られた。この圧力上昇を1 atm、20℃換算すると約0.6 [cc]程度のガス容積が侵入したことになる。

突発的な圧力上昇が発生していない測定時間における平均漏洩量は、 $1.46 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]であり、単純減圧法と大きな差はなかった。

#### (d) 実機設備（トランスファロータ貯蔵設備側ドアバルブ：No.1）の測定結果

測定結果を図7.3(d)-1(CT-TR101.PRN)に示す。本測定では、単純な減圧法の平均漏洩量は1桁大きな値となり、冷却減圧法により精度向上が図られた結果となったが、6.4(b)のArガス加圧法の漏洩結果を考慮すると、 $2 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]程度が適正な漏洩値と考えられる。

#### 7.4 コールドトラップ冷却減圧法の考察

液体窒素冷却による上記の4つの測定結果より、以下の傾向が得られた。

- ・単純減圧法及び冷却減圧法ともに、平均漏洩量は $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以上である。
- ・単純減圧法及び冷却減圧法による平均漏洩量は、ほぼ同程度である。
- ・単純減圧法から冷却減圧法を連続して測定した場合には、圧力が安定するのに3～7時間程度が必要である。

単純な減圧法の漏洩量と液体窒素（約-200℃）により冷却を行った冷却減圧法の漏洩量に差が見られなかったことから、減圧法による漏洩測定での圧力上昇の原因は、水分やシール剤等の蒸発成分ではなく、構造材からのガス放出（水素などの軽量成分）によるものか、実際にOリング等からの漏洩によるものであることが推論される。

本試験は、液体窒素冷却による減圧法の精度向上の実証を目的として試験を行ったが、期待する効果は得られなかった。

また、これまで測定した減圧法による試験結果を、試験実施順に整理したものを表7.4-1に示す。この表から、測定を実施する度に圧力降下及び漏洩量が減少していく傾向が見られる。これは、試験を繰り返し実施することにより、測定治具内に含まれているガス成分の放出が徐々に減少することによるものと考えられる。

単純減圧法から冷却減圧法を連続測定した場合、圧力変動が安定するのに約3～7時間程度の時間を要した。液体窒素を入れた直後の圧力降下は、配管が冷却し内部ガスの体積収縮によるものであるが、その後の比較的变化速度の遅い圧力降下及び上昇のように状態が変化するには、2つの過程の状態移行がなければ説明できない。

消滅過程は、水蒸気等の揮発成分が液体窒素冷却により凝縮するものと予測され、生成過程は、構造材からの水素等のガス放出及びOリングからの漏洩ガスによるものと予測できる。つまり、液体窒素注入からの数時間は、揮発成分の凝縮速度あるいは配管内部での拡散速度が支配的となり、圧力が降下するものである。その後、配管内部の揮発成分がほぼ凝縮されて濃度が少なくなるころから、ガス放出・外部ガス漏洩が支配的となり、圧力の上昇が始まるものと推論できる。この推論を証明するには、凝縮・拡散・漏洩・ガス放出のそれぞれについてモデルを作り、速度論的解析を行うことで実証可能と考えられる。

しかし、本試験ではこれらの影響を含めた測定値結果は保守的な評価となるため、これ以上の検討は実施しなかった。

表 7.1-1 減圧法による漏洩量測定装置の試験結果

試験対象 (図番号)	測定 方法	漏洩量 [atmcc/s]	$2 \times \sigma$ 標準偏差 [atmcc/s]	回 帰 時 間	試験容積 (合計) [cc]	試験日 時 間	測定 時期	温度計測 位 置	保温 処置	測定状態	7744名 (.PRN)	図 番 号
① 治具単体	加圧法	$3.34 \times 10^{-6}$	$3.38 \times 10^{-8}$	23~5	122 (122)	6/13 21~5	夜間	ガ, フ, 霧	無し	窓半開、空調・冷房なし	ZIGU-S10	図6.2(a)-1
④ 治具単体	加圧法	$1.76 \times 10^{-6}$	$2.45 \times 10^{-7}$	全測定値	122 (122)	6/16 9~17	日中	ガ, フ, 霧	あり	窓半開、空調・冷房なし	ZIGU-S14	図6.2(a)-2
(V1)治具単体	減圧法	$1.63 \times 10^{-5}$	$3.21 \times 10^{-8}$	18~1	122 (122)	7/4 17~1	夜間	ガ	無し	A-509 ドア閉 A-518 ドア開	ZIGU-V10	図7.1(a)-1
⑧ N/F 77447 No.11	加圧法	$2.12 \times 10^{-5}$	$4.27 \times 10^{-7}$	全測定値	45+122 (167)	6/27 9~17	日中	ガ, 配, 機	無し	A-509 ドア閉	TENF11-R1	図6.2(c)-1
⑨ N/F 77447 No.11	加圧法	$3.07 \times 10^{-5}$	$7.56 \times 10^{-7}$	10~17	45+122 (167)	6/28 8~16	日中	ガ, 配, 機	あり	A-509 ドア閉	TENF11-S1	図6.2(c)-2
③ N/F 77447 No.11	加圧法	$2.22 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-7}$	22~2	45+122 (167)	6/29 17~1	夜間	ガ, 配, 機	あり	A-509, 518 ドア閉	TENF11-T1	図6.2(c)-3
(V2)N/F 77447 No.11	減圧法	$2.18 \times 10^{-5}$	$9.57 \times 10^{-8}$	10~17	45+122 (167)	6/30 9~17	日中	ガ, 配, 機	あり	A-509, 518 ドア閉	TENF11-V1	図7.1(b)-1
⑥ N/F 77447 No.3	加圧法	$4.64 \times 10^{-5}$	$1.14 \times 10^{-7}$	12~19	97+122 (219)	6/21 11~19	日中	ガ, 配, 機	無し	A-509 ドア閉	NF3-ROUE1	図6.2(d)-1
(V3)N/F 77447 No.3	減圧法	$2.03 \times 10^{-5}$	$3.87 \times 10^{-8}$	22~1	97+122 (219)	7/1 17~1	夜間	ガ, 配	無し	A-509 ドア閉 A-518 ドア開	TENF3-V1	図7.1(c)-1

備考) 温度計測位置の説明

下線は補正に使用した温度

ガ: 内部ガス温度  
 フ: 治具先端のフランジ  
 タ: 基準容器タンクの表面温度

霧: 雰囲気温度  
 配: 既設備の配管  
 機: ドアバルブケーシング表面温度



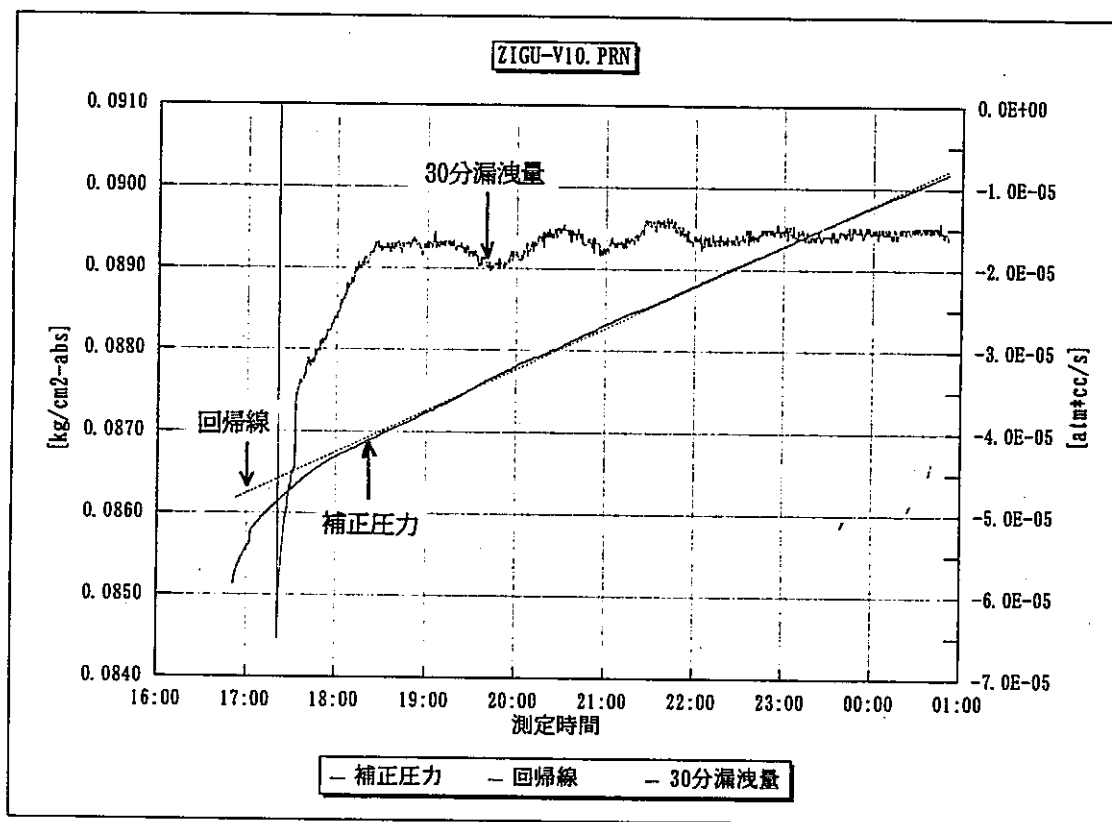
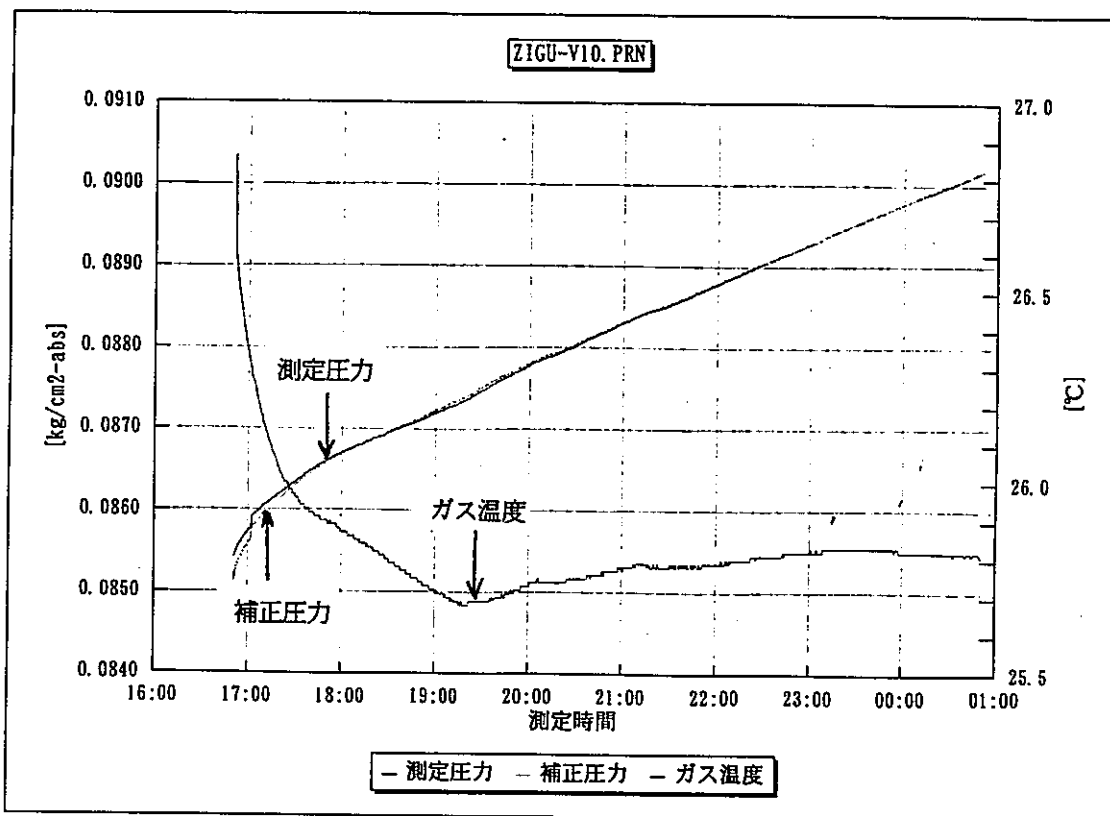


図7.1(a) - 1 治具単体測定結果 (減圧法)

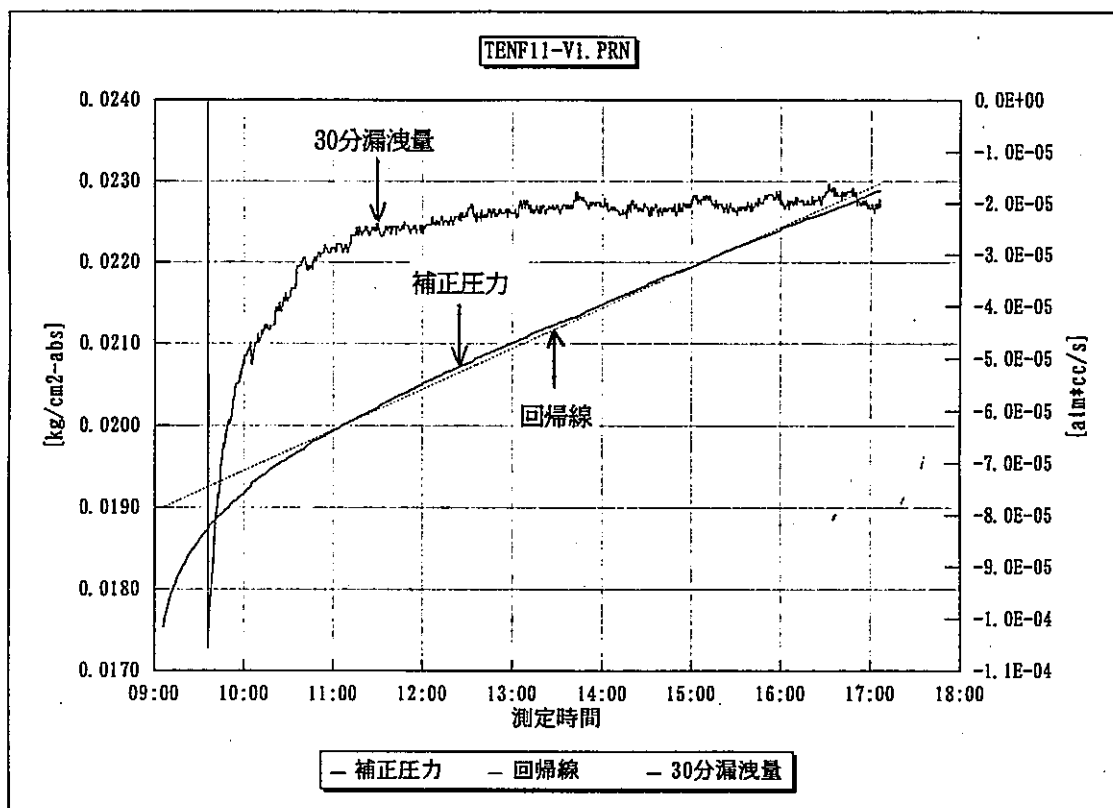
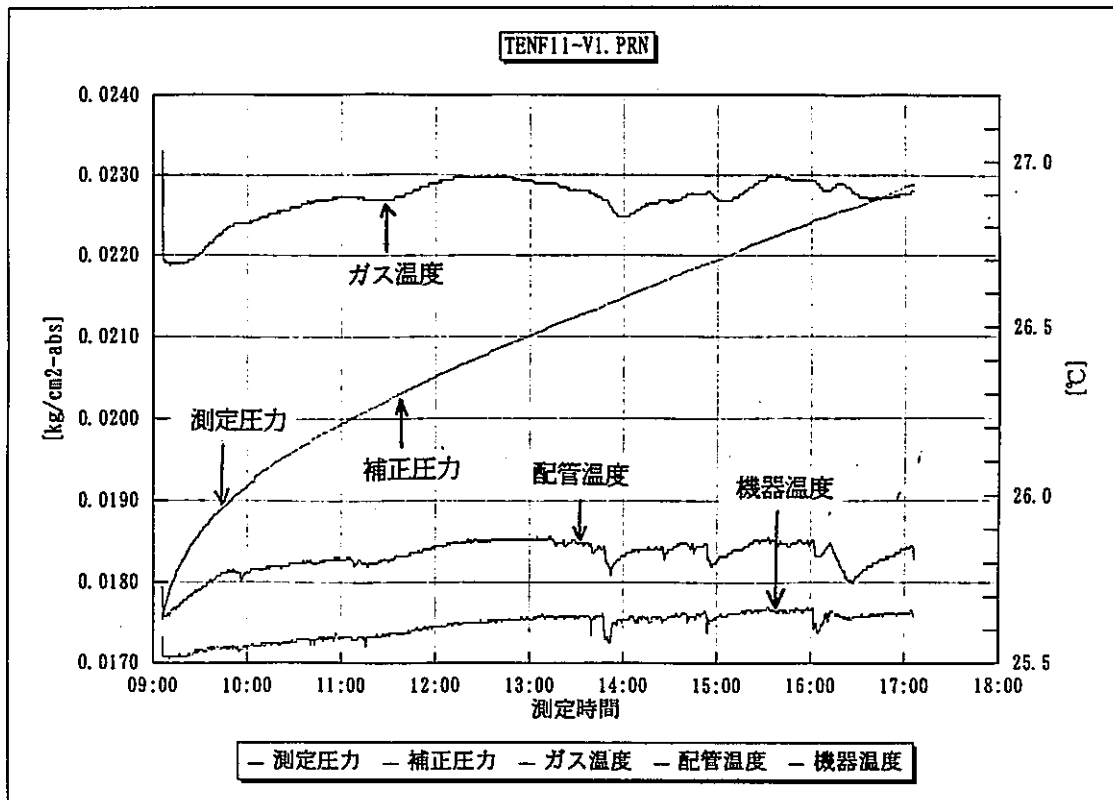


図7.1(b) -1 N/FドアバルブNo11. 測定結果 (減圧法)

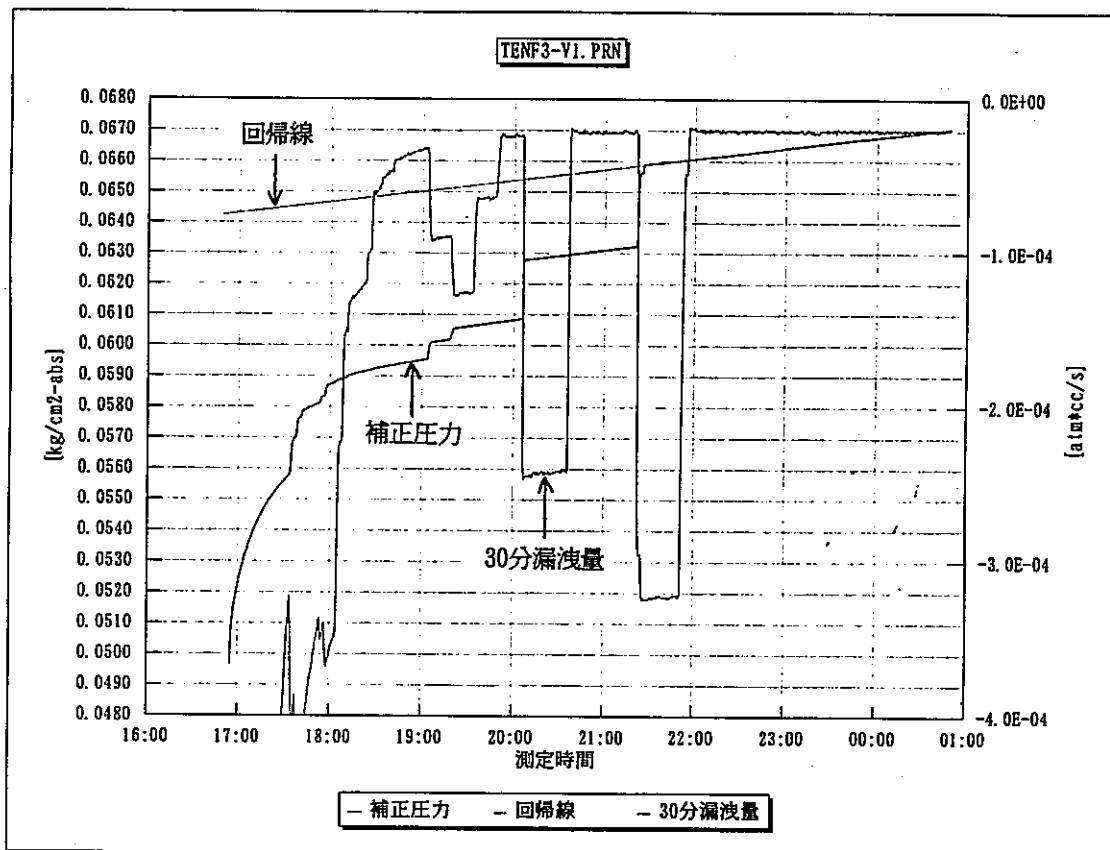
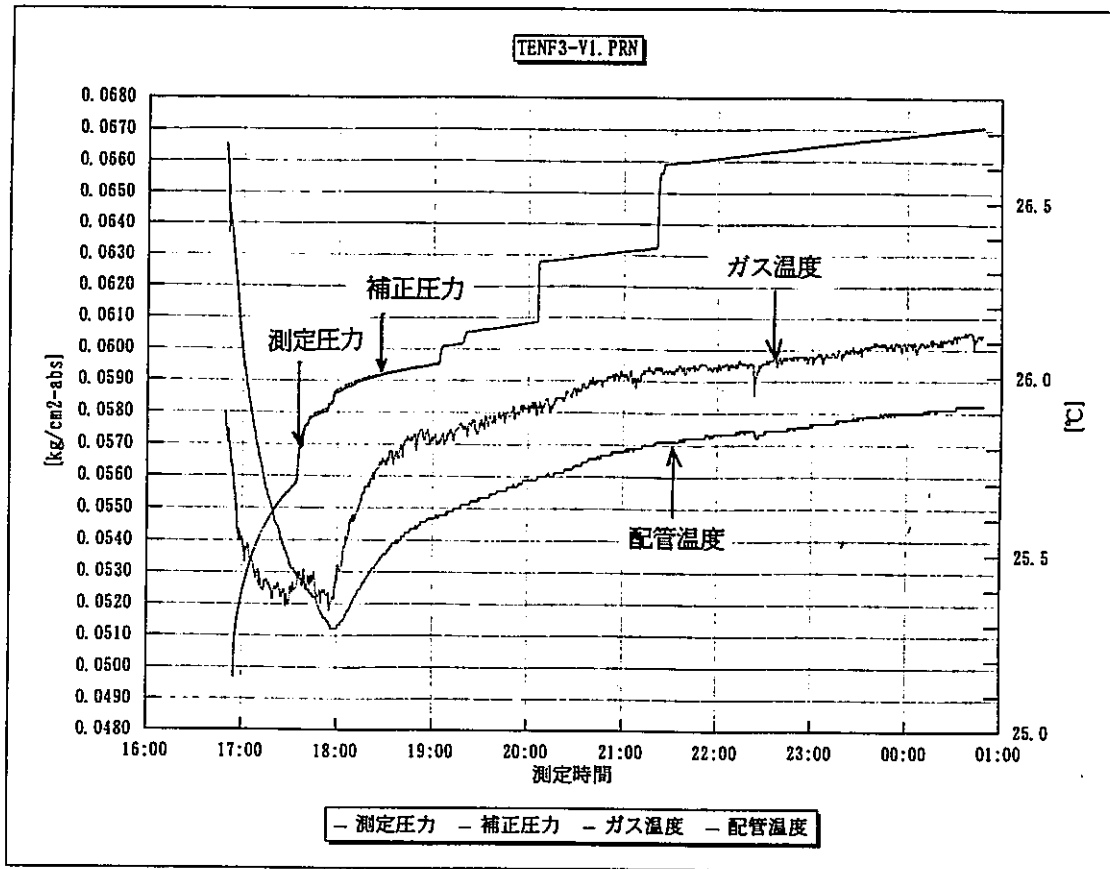


図 7.1 (c) - 1 N/F ドアバルブ No.3 測定結果 (減圧法)

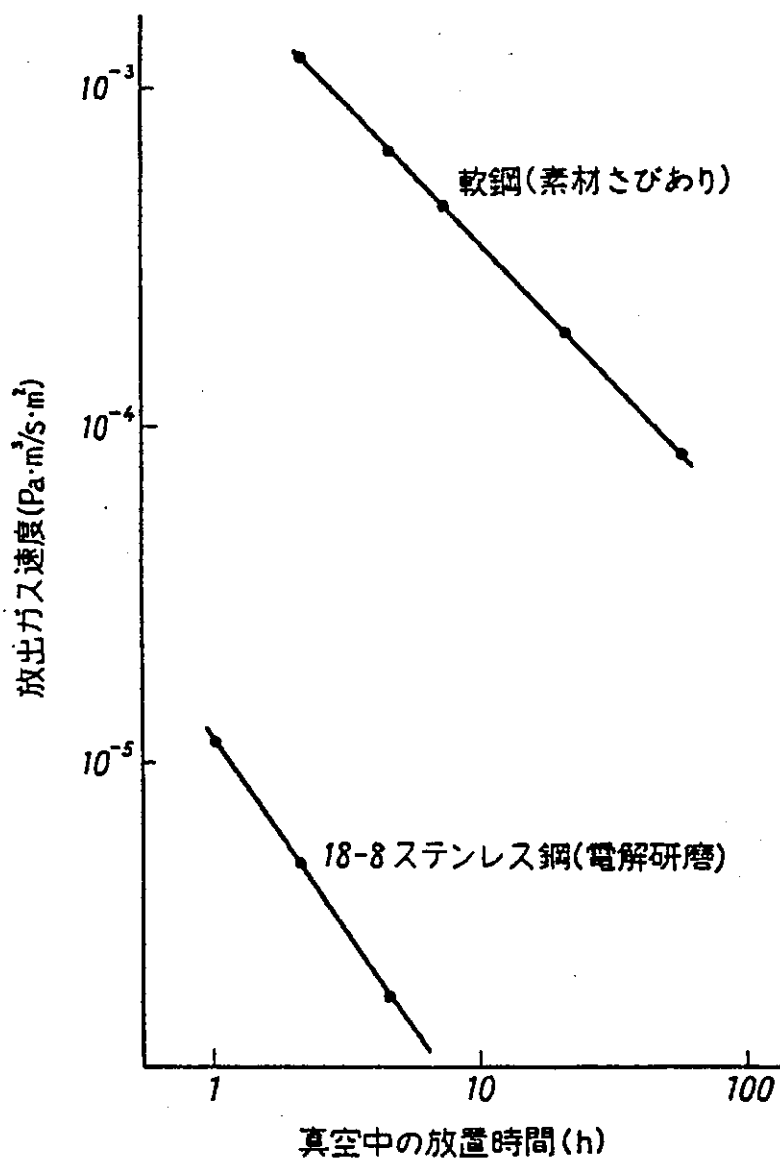
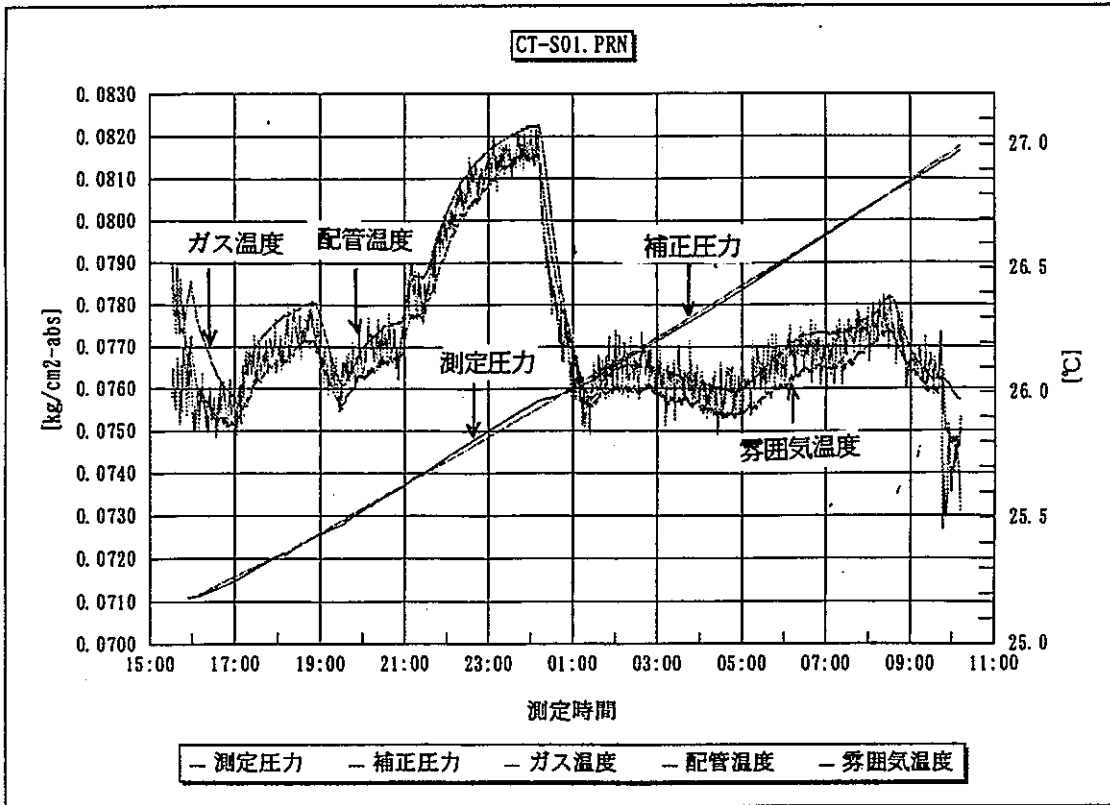


図 7.2 - 1 構造材料の室温における真空中のガス放出速度

表 7.3-1 コールドトラップ冷却による減圧法の漏洩試験測定結果

試験対象	コールド トラップ	漏洩量 [atmcc/s]	$2 \times \sigma$ 標準偏差 [atmcc/s]	回 帰 時 間	試験容積 (合計) [cc]	試験日時	温度計測 位 置	77ℓ名 (. PRN)	図番号
治具単体	—	$1.63 \times 10^{-5}$	$3.21 \times 10^{-8}$	18~1	122	7/4 17~1	ガ	ZIGU-V10	図 7.1(a)-1
治具単体	有り	$2.21 \times 10^{-5}$	$3.09 \times 10^{-8}$	17~10	143	8/22 15~10	ガ, 配, 霧	CT-S01	図 7.3(a)-1
治具単体	—	$1.32 \times 10^{-5}$	$1.61 \times 10^{-7}$	11~15	143	8/25 10~9	ガ, 配, 霧	CT-S02	図 7.3(a)-2
	有り	$1.47 \times 10^{-5}$	$2.64 \times 10^{-8}$	21~9					
N/F F7バルブ No.11	—	$2.18 \times 10^{-5}$	$9.57 \times 10^{-8}$	10~17	167	6/30 9~17	ガ, 配, 機	TENF11-V1	図 7.1(b)-1
N/F F7バルブ No.11	—	$1.51 \times 10^{-5}$	$8.19 \times 10^{-8}$	11~15	188	9/5 10~11	ガ, 配, 霧	CT-NF1101	図 7.3(b)-1
	有り	$1.35 \times 10^{-5}$	$6.09 \times 10^{-8}$	0~10					
N/F F7バルブ No.3	—	$2.03 \times 10^{-5}$	$3.87 \times 10^{-8}$	22~1	219	7/1 17~1	ガ, 配	TENF3-V1	図 7.1(c)-1
N/F F7バルブ No.3	—	$1.89 \times 10^{-5}$	$8.16 \times 10^{-8}$	13~16	240	9/2 10~10	ガ, 配, 霧	CT-NF301	図 7.3(c)-1
	有り	$1.46 \times 10^{-5}$	$9.56 \times 10^{-8}$	21~9					
T/R F7バルブ No.1	—	$2.01 \times 10^{-4}$	$1.73 \times 10^{-6}$	11~14	208	8/24 9~9	ガ, 配, 霧	CT-TR101	図 7.3(d)-1
	有り	$2.25 \times 10^{-5}$	$2.28 \times 10^{-8}$	20~9					

備考) コールドトラップ用のU字型配管部の容積は、2 l [cc]である。



全測定結果

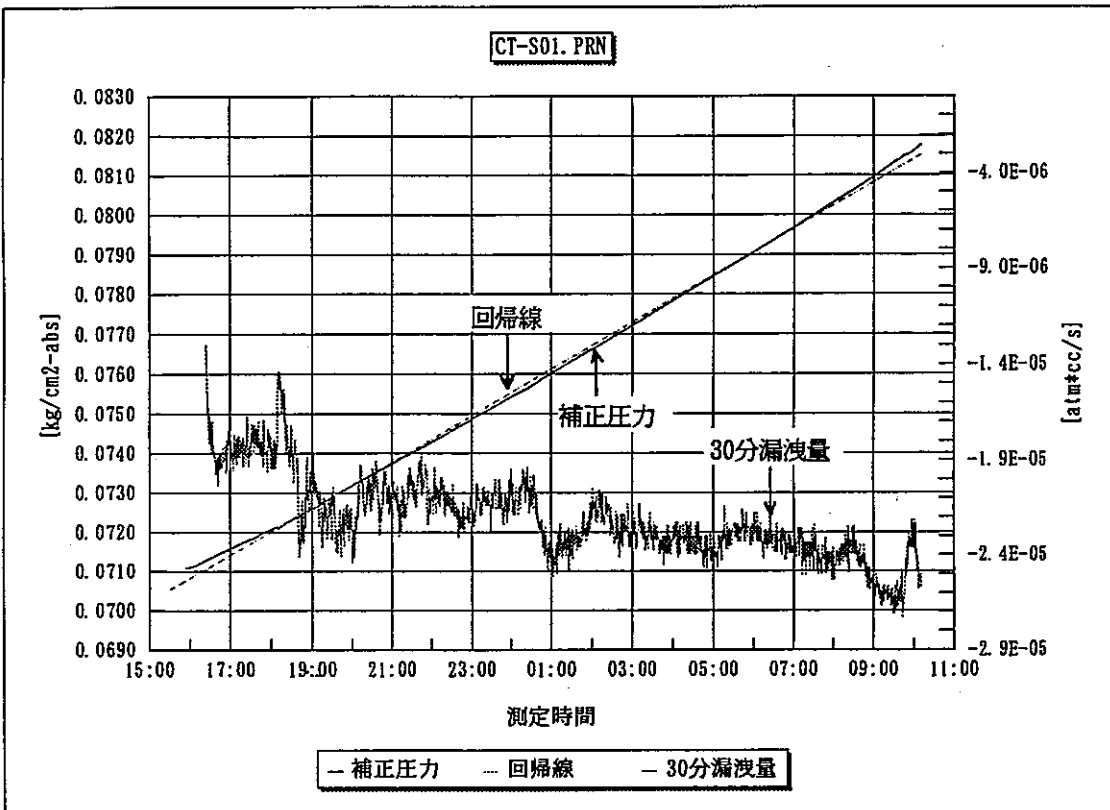
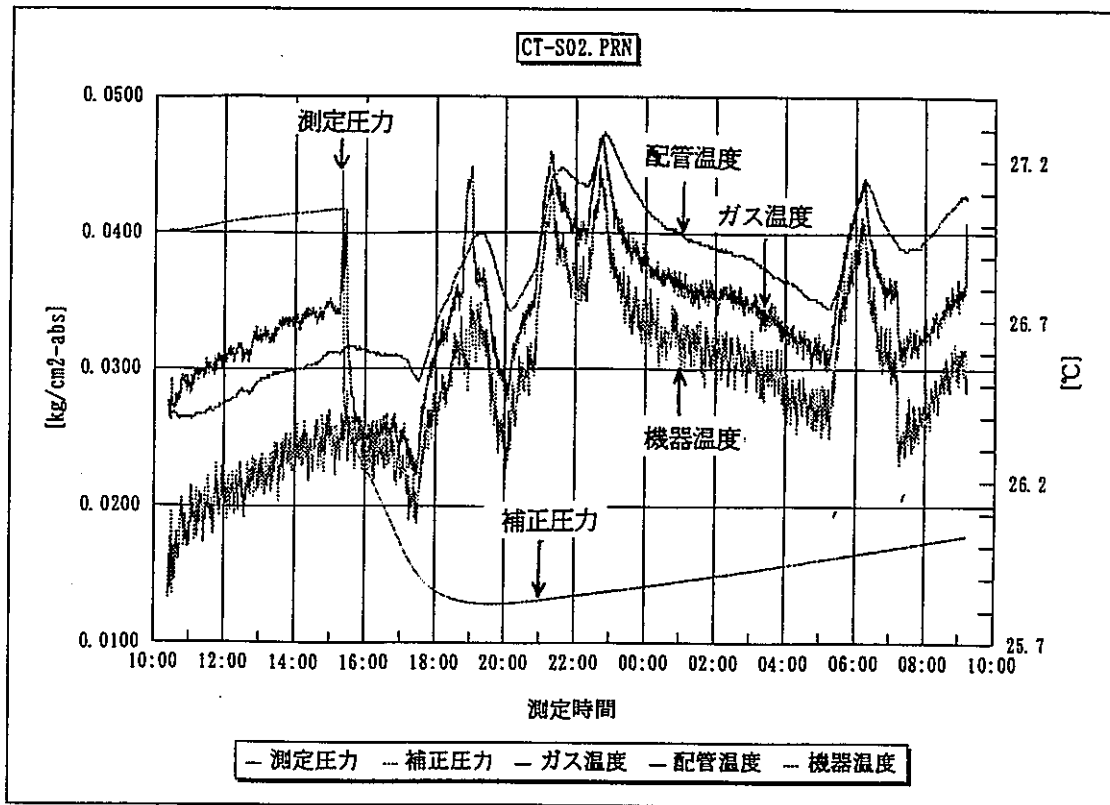


図7.3(a) - 1 治具単体測定結果 (減圧法, コールドトラップ有)



全測定結果

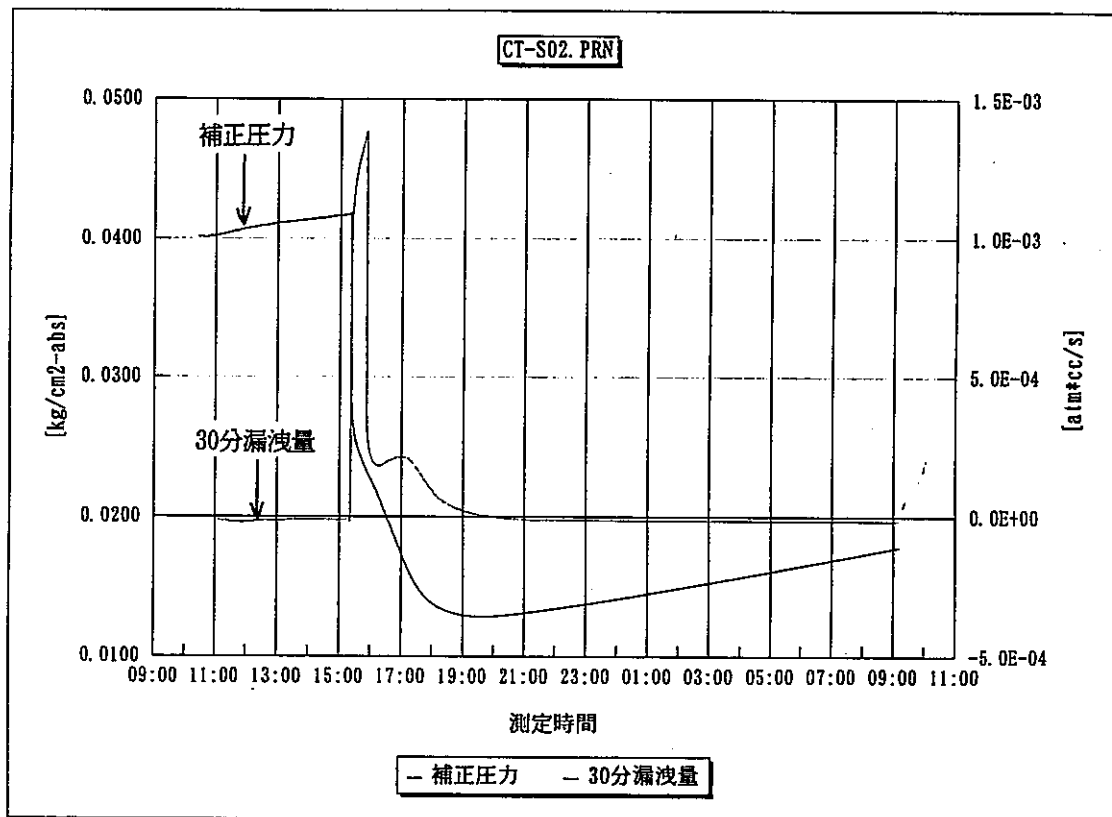
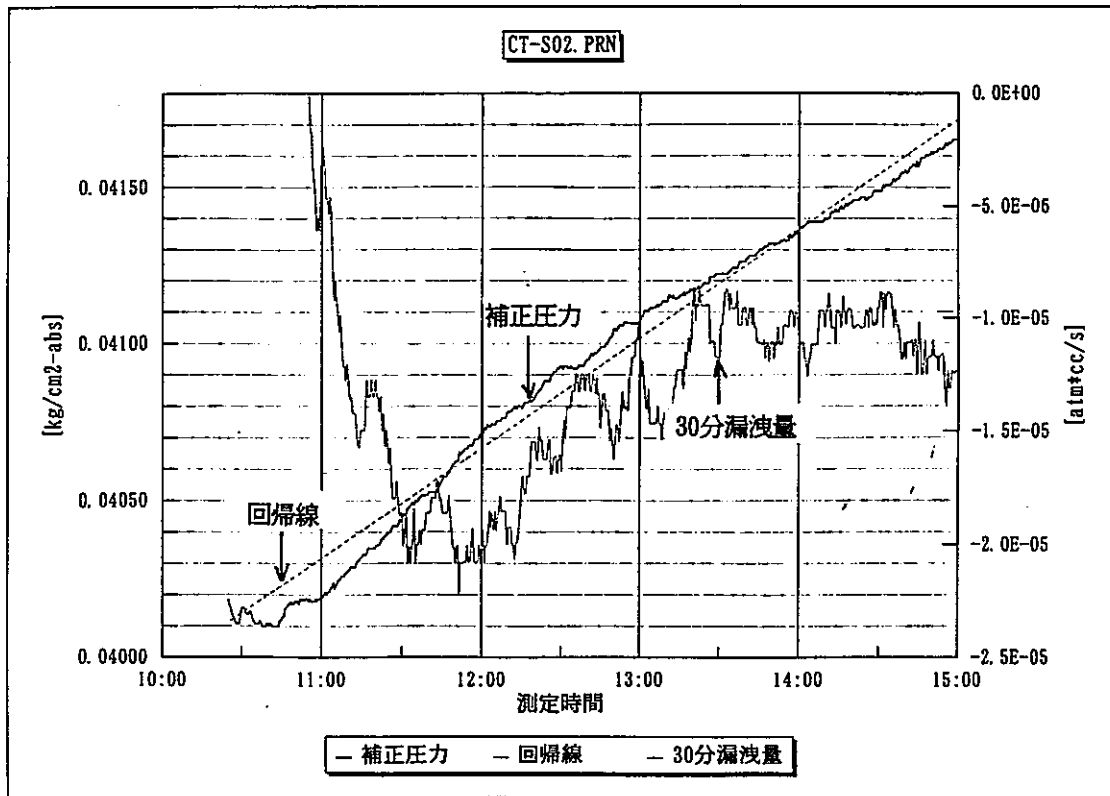


図 7.3 (a) - 2 (1 / 2) 治具単体測定結果  
(減圧法, コールドトラップ有)



冷却減圧法部

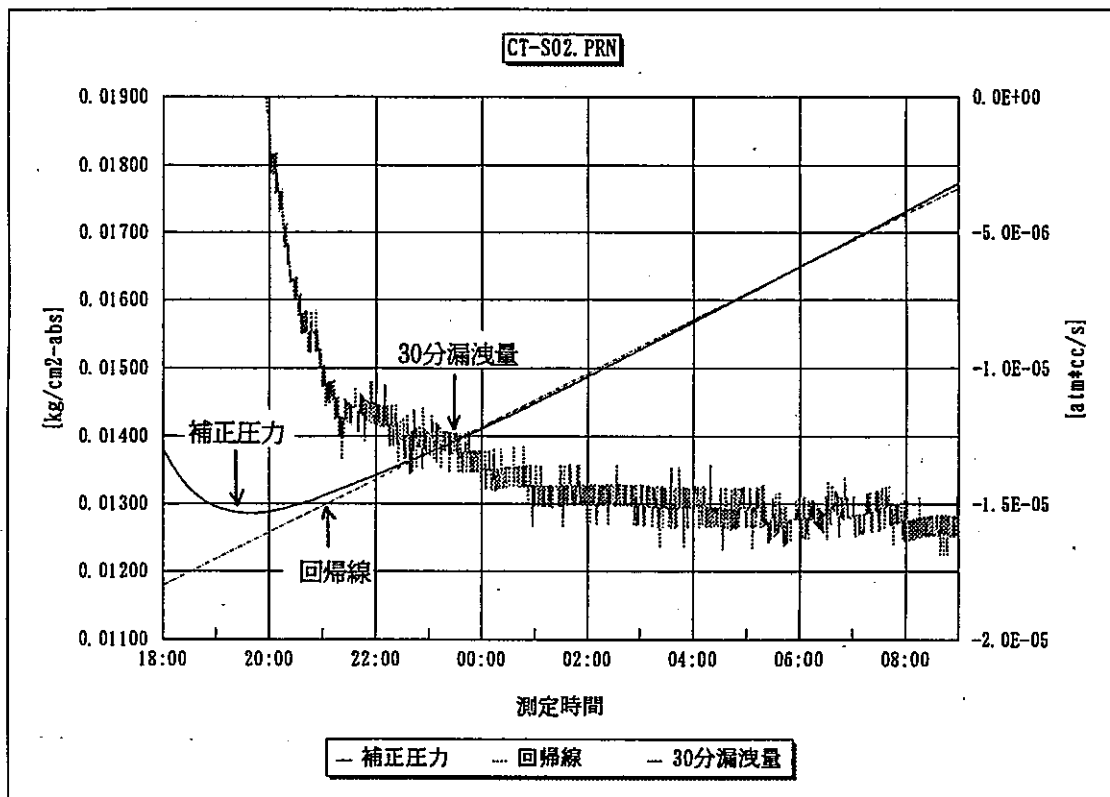
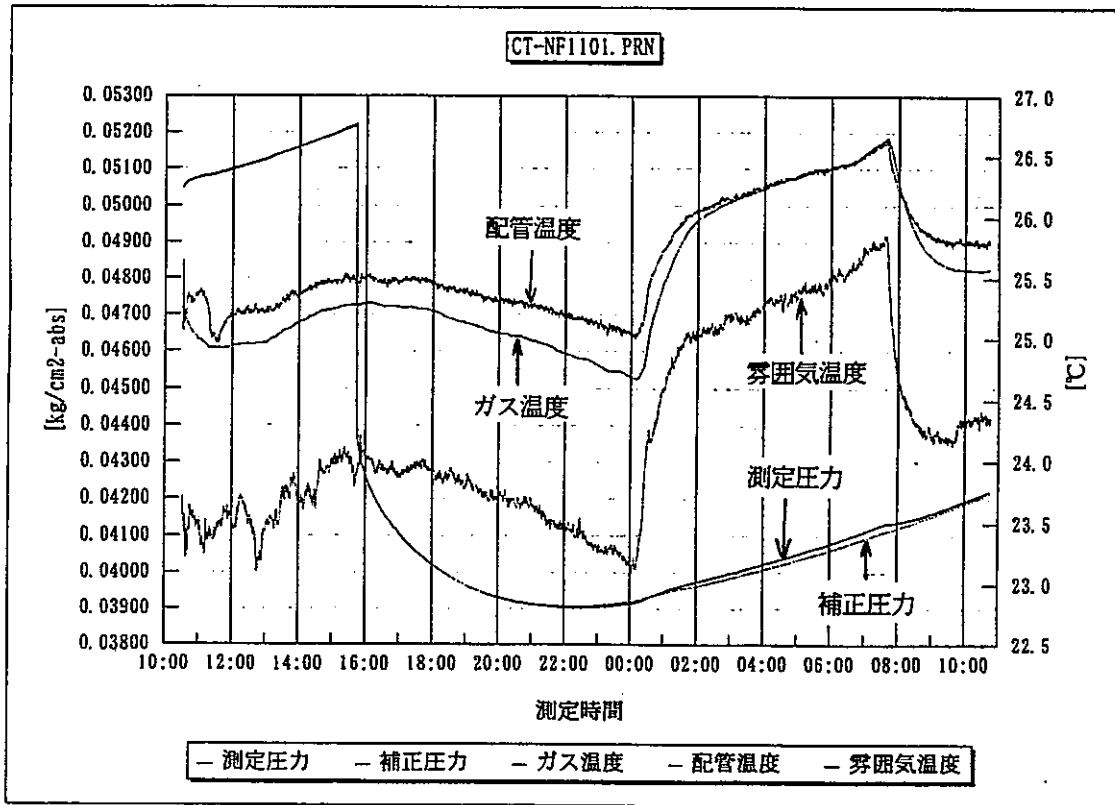


図 7.3 (a) - 2 (2/2) 治具単体測定結果 (減圧法, コールドトラップ有)





全測定結果

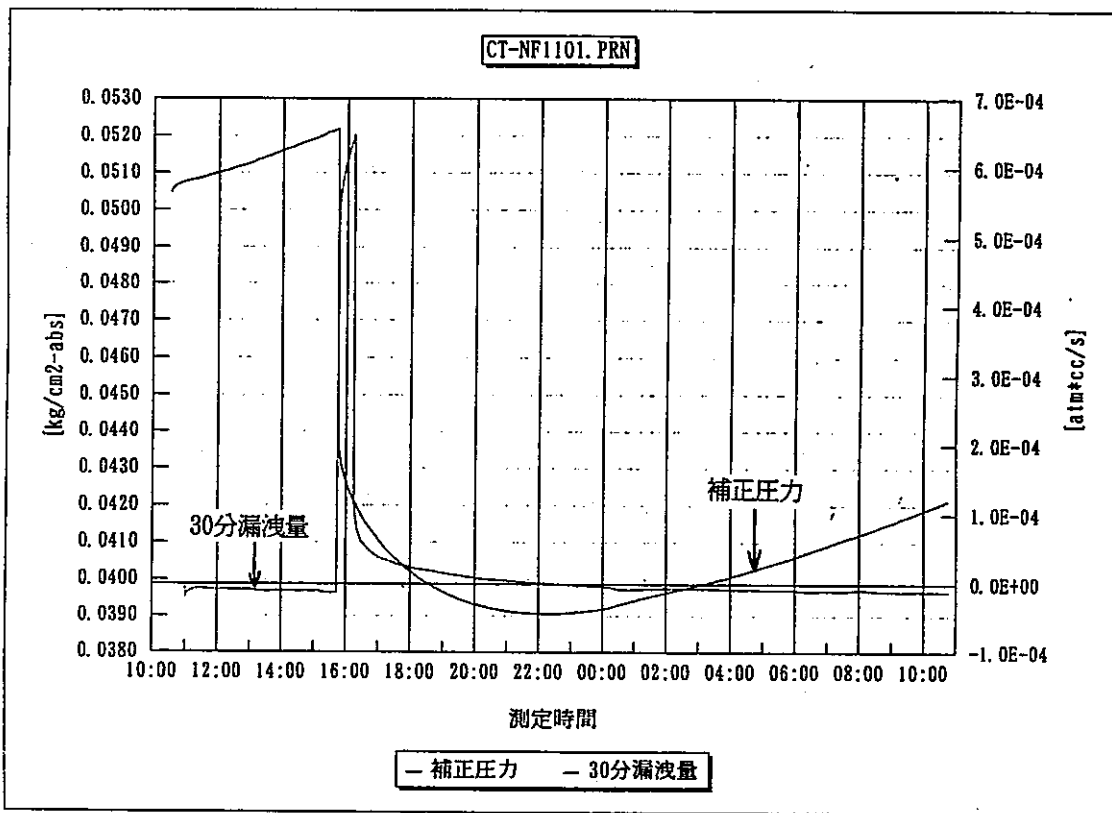
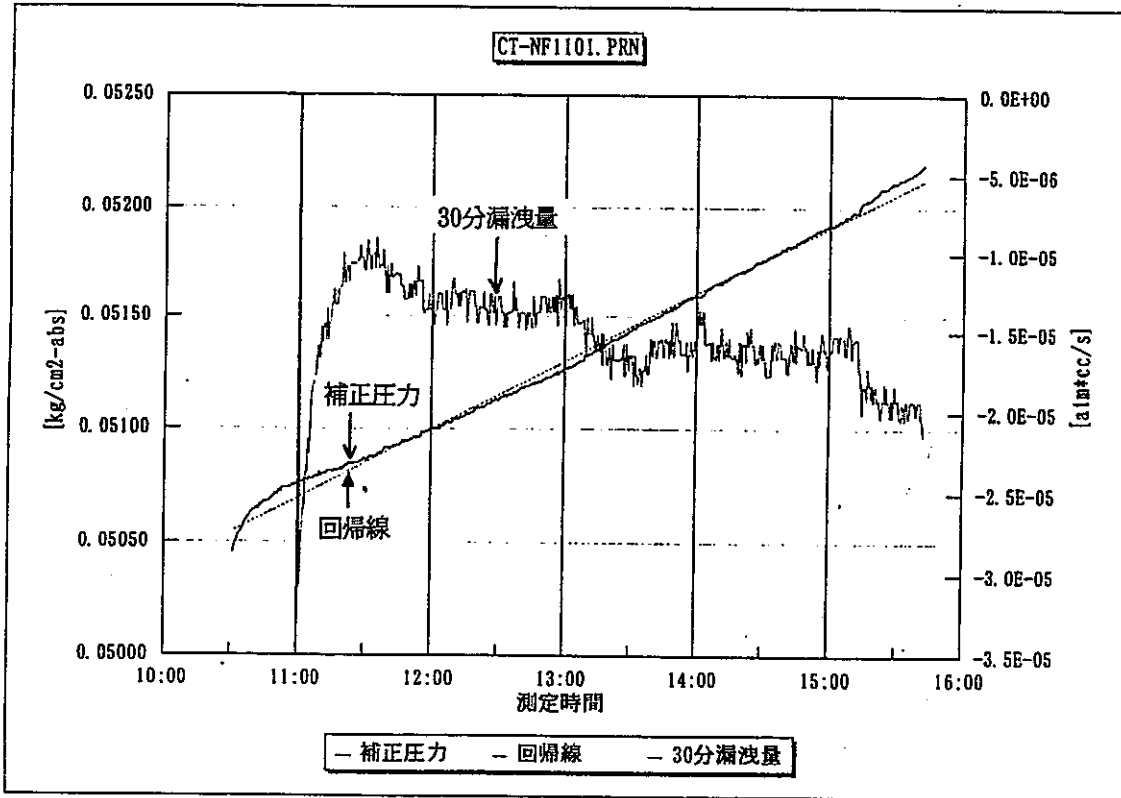
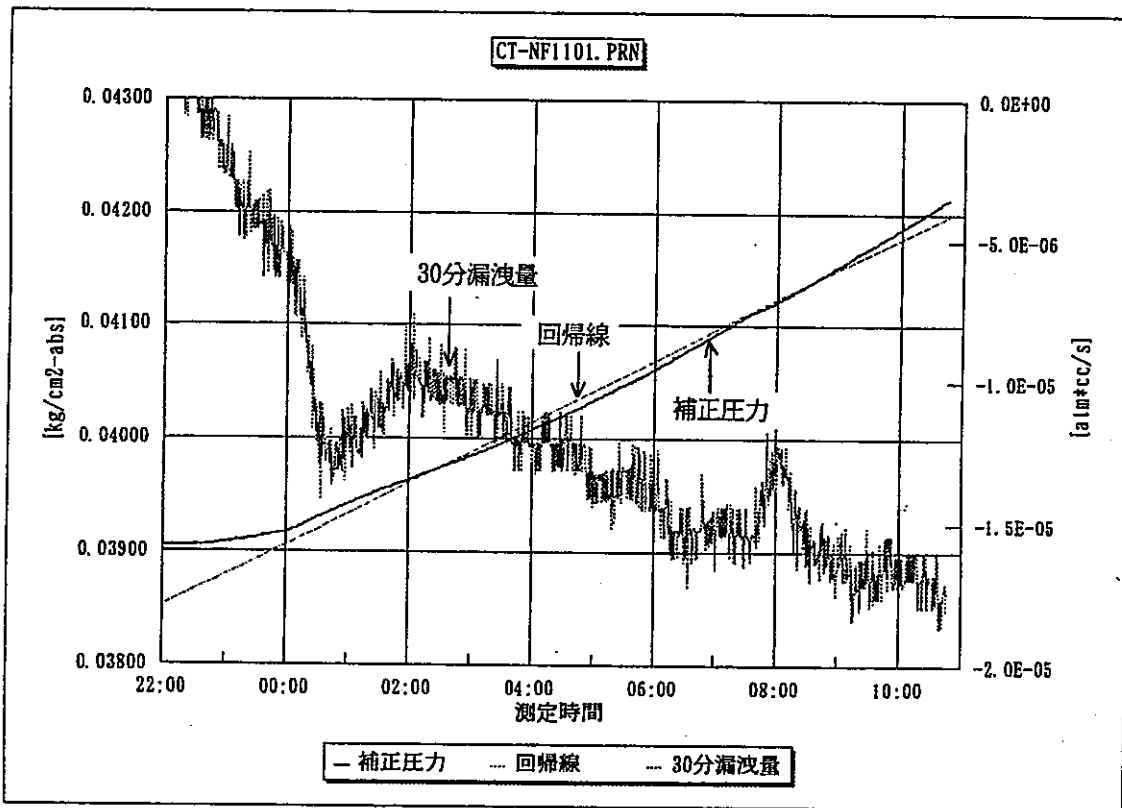


図 7.3 (b) - 1 (1 / 2) N / F ドアバルブ No.11 測定結果  
 (減圧法, コールドトラップ有)

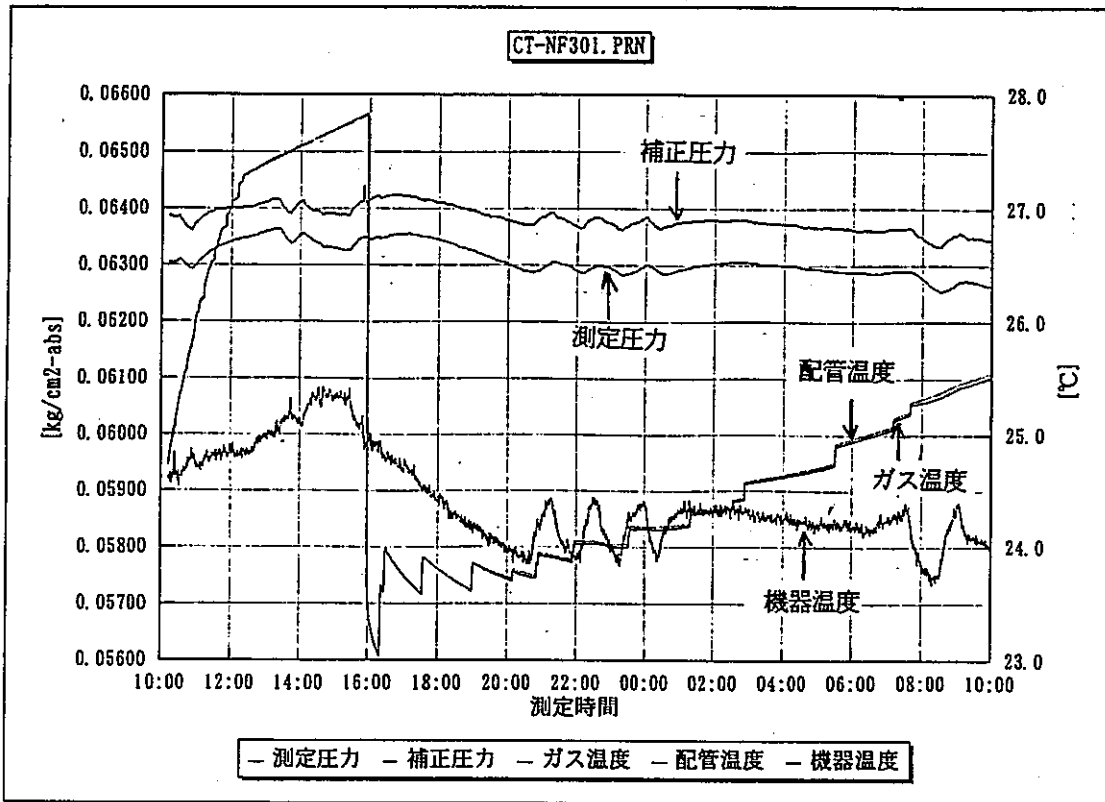


単純減圧法部



冷却減圧法部

図 7.3 (b) - 1 ( 2 / 2 ) N / F ドアバルブ No.11 測定結果  
(減圧法, コールドトラップ有)



全測定結果

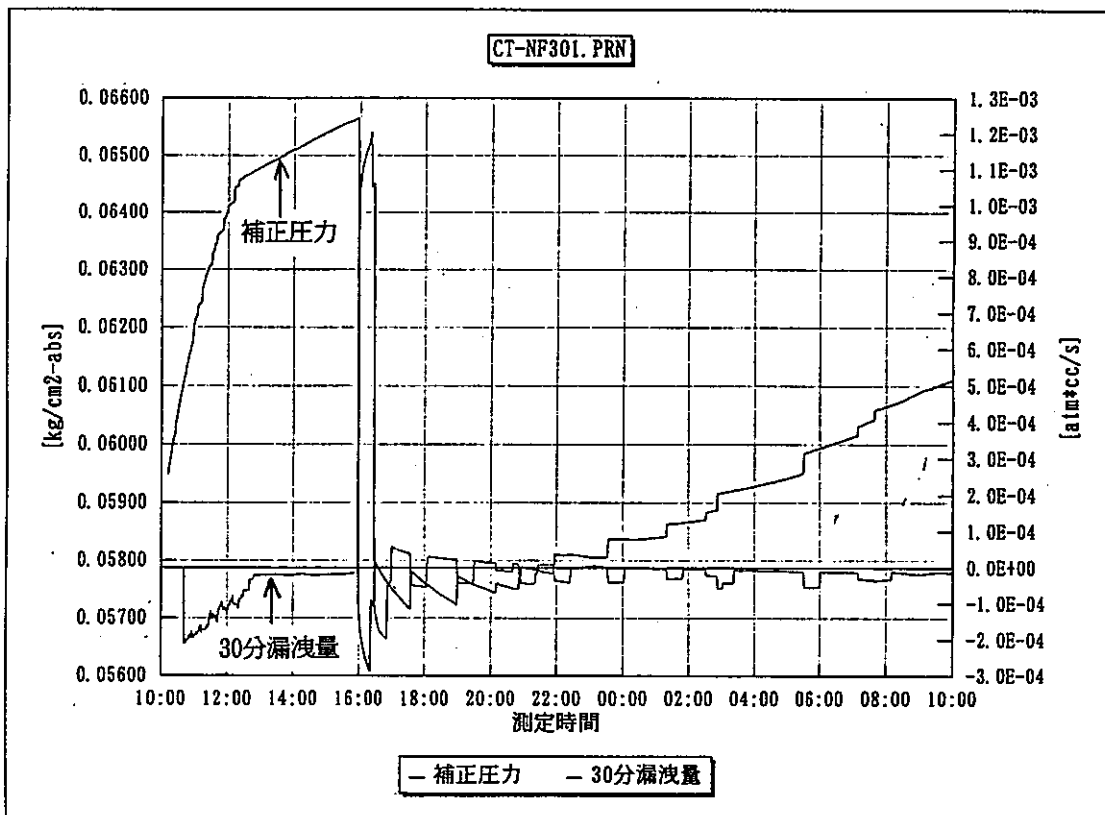
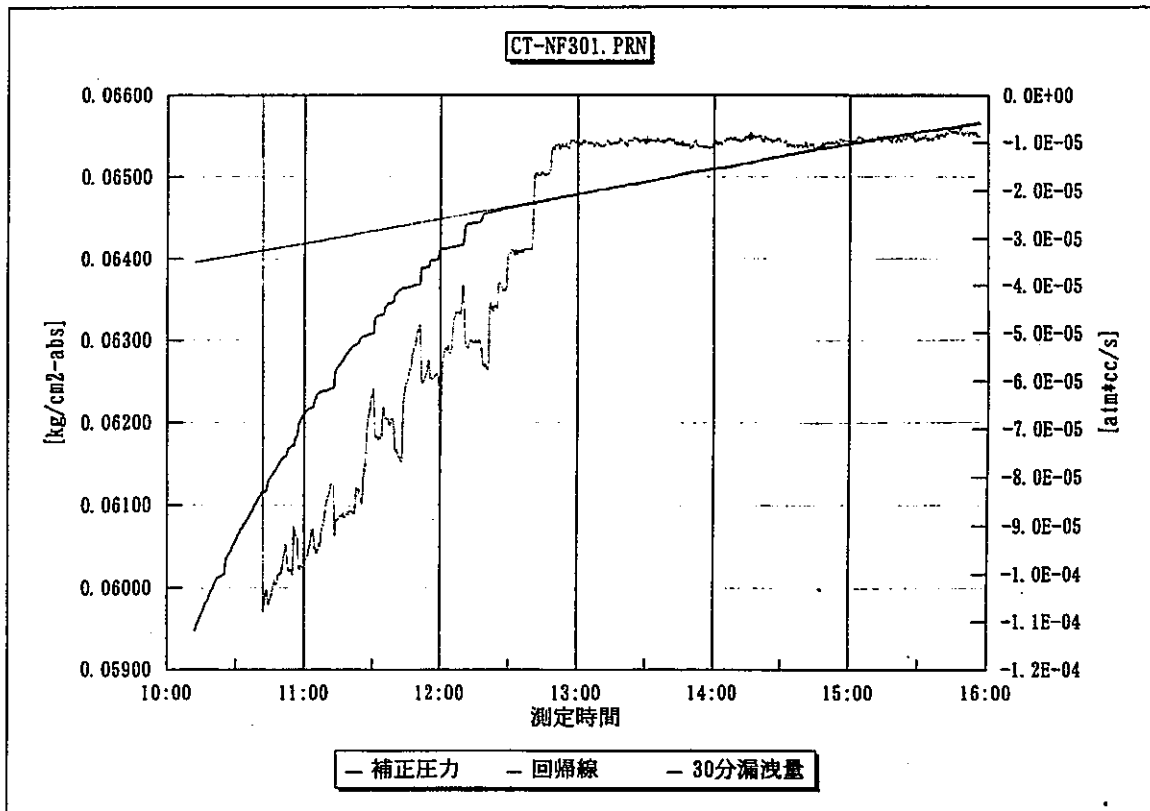
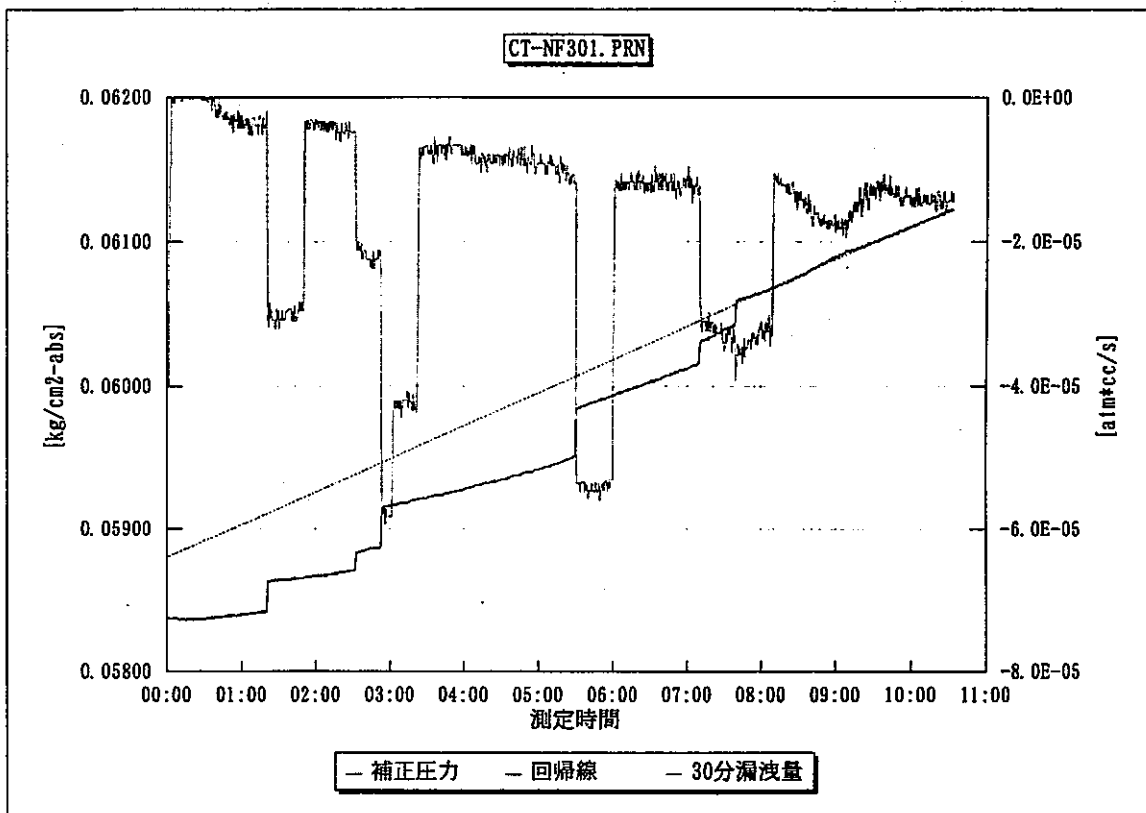


図 7.3 (c) - 1 (1 / 2) N / F ドアバルブ No. 3 測定結果  
(減圧法, コールドトラップ有)

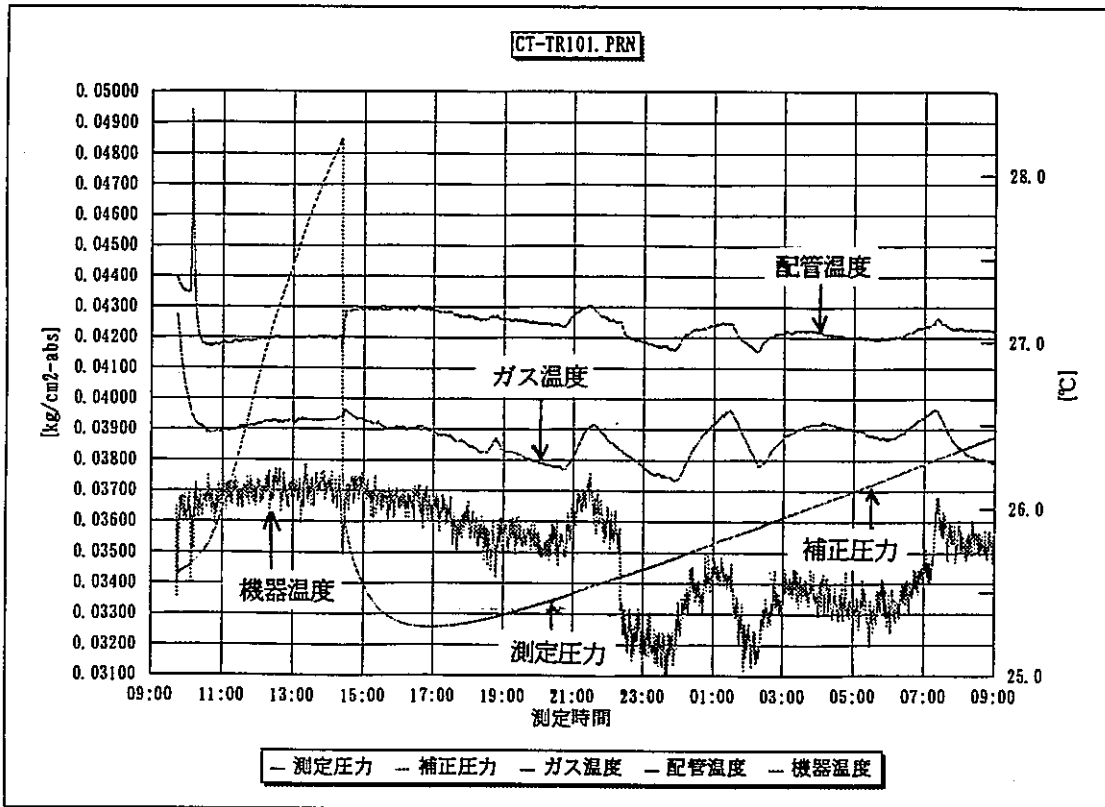


単純減圧法部



冷却減圧法部

図 7.3 (c) - 1 ( 2 / 2 ) N / F ドアバルブ No. 3 測定結果  
(減圧法, コールドトラップ有)



全測定結果

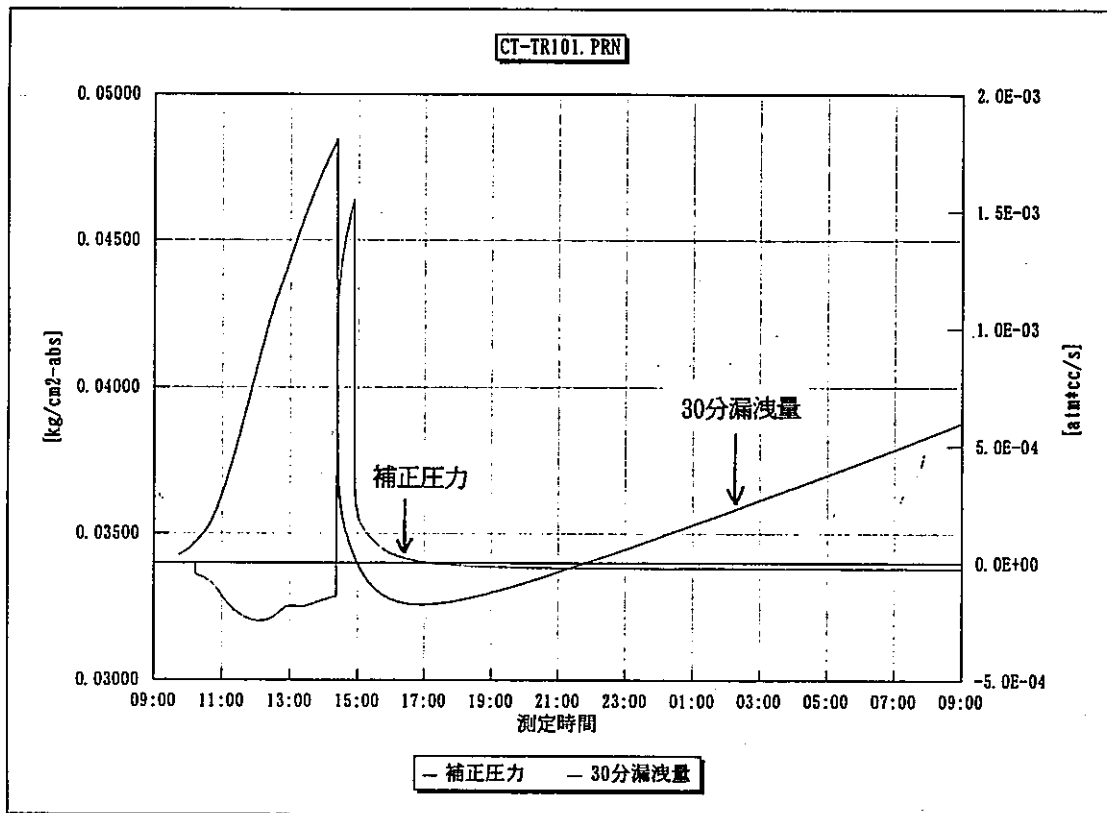
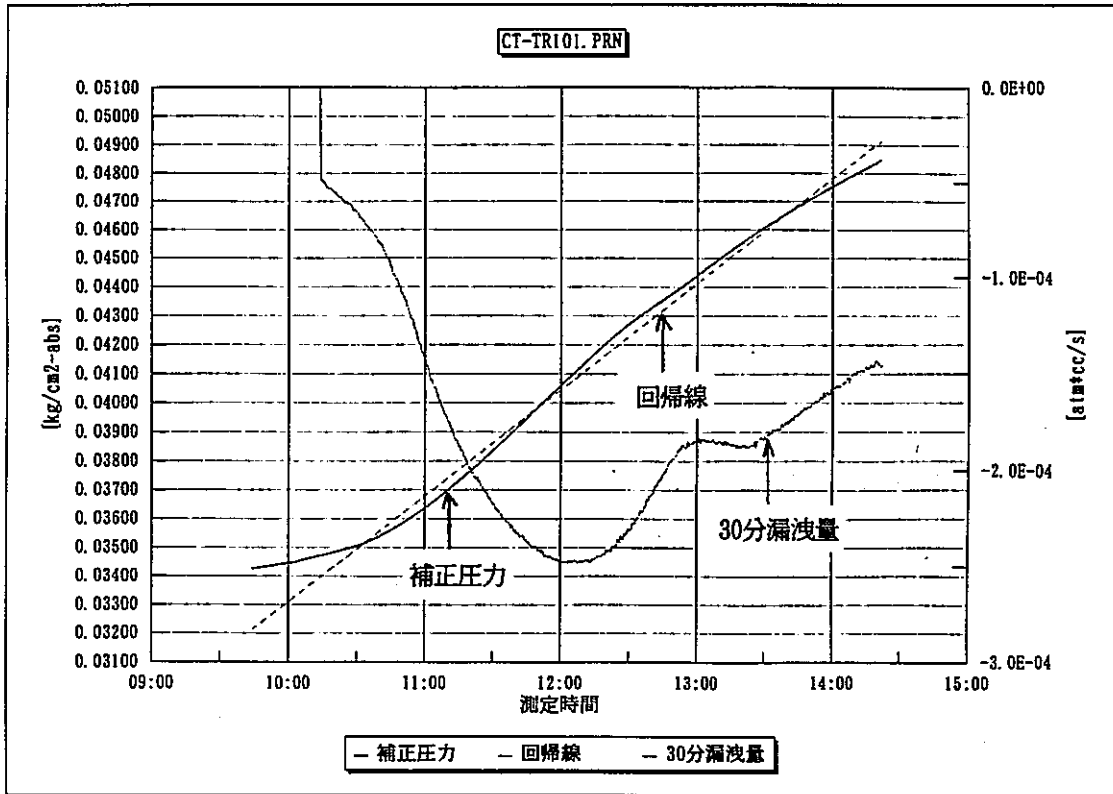
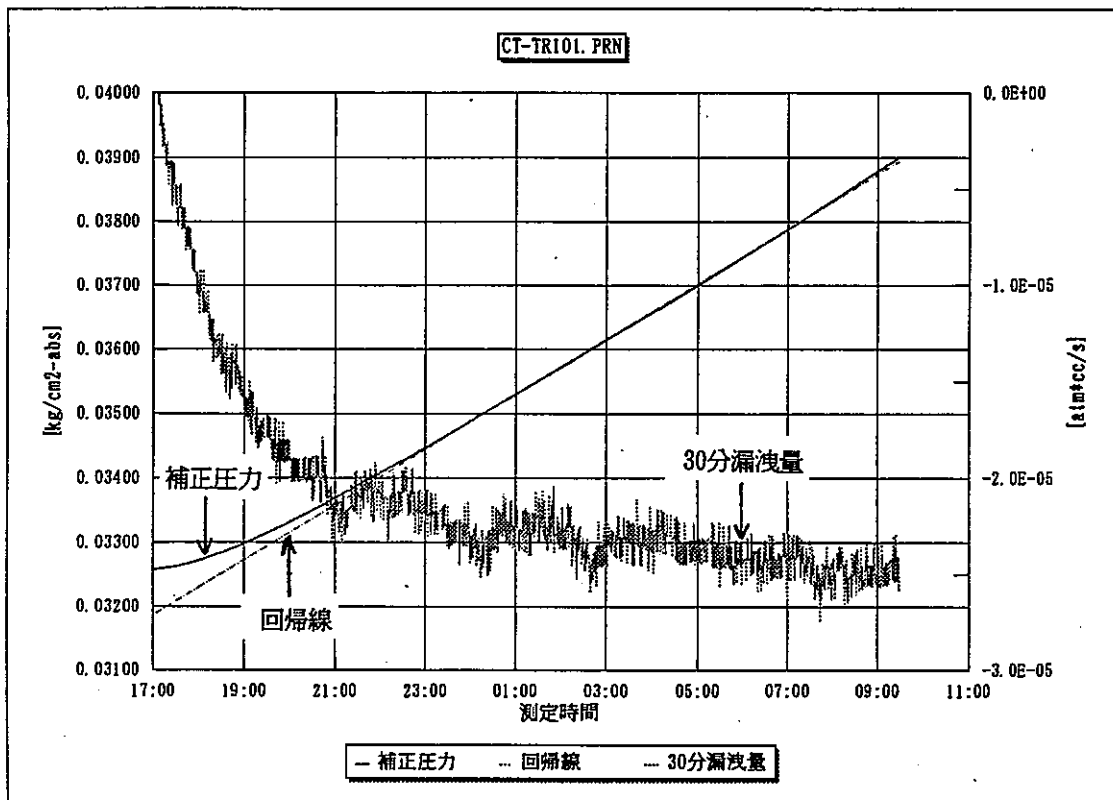


図 7.3 (d) - 1 (1 / 2) T/RドアバルブNo. 1 測定結果  
(減圧法, コールドトラップ有)



単純減圧法部



冷却減圧法部

図 7. 3 (d) - 1 ( 2 / 2 ) T / R ドアバルブ No. 1 測定結果  
(減圧法, コールドトラップ有)

表 7.4 - 1 減圧法の漏洩試験結果 (試験実施順)

試験対象	圧力降下 [kg/cm <sup>2</sup> min]	漏洩量 [atmcc/s]	2×σ 標準偏差 [atmcc/s]	回 帰 時 間	試験容積 (合計) [cc]	試験日時	771#名 (.PRN)	図番号
N/F F7バルブ No.11	$8.28 \times 10^{-6}$	$2.18 \times 10^{-5}$	$9.57 \times 10^{-8}$	10~17	167	6/30 9~17	TENF11-V1	図 7.1 (b) - 1
N/F F7バルブ No.3	$5.86 \times 10^{-6}$	$2.03 \times 10^{-5}$	$3.87 \times 10^{-8}$	22~1	219	7/1 17~1	TENF3-V1	図 7.1 (c) - 1
治具単体	$8.45 \times 10^{-6}$	$1.63 \times 10^{-5}$	$3.21 \times 10^{-8}$	18~1	122	7/4 17~1	ZIGU-V10	図 7.1 (a) - 1
治具単体	$9.81 \times 10^{-6}$	$2.21 \times 10^{-5}$	$3.09 \times 10^{-8}$	17~10	143	8/22 15~10	CT-S01	図 7.3 (a) - 1
T/R F7バルブ No.1	$7.16 \times 10^{-6}$	$2.25 \times 10^{-5}$	$2.28 \times 10^{-8}$	20~9	208	8/24 9~9	CT-TR101	図 7.3 (d) - 1
治具単体	$6.52 \times 10^{-6}$	$1.47 \times 10^{-5}$	$2.64 \times 10^{-8}$	21~9	143	8/25 10~9	CT-S02	図 7.3 (a) - 2
N/F F7バルブ No.3	$3.85 \times 10^{-6}$	$1.46 \times 10^{-5}$	$9.56 \times 10^{-8}$	21~9	240	9/2 10~10	CT-NF301	図 7.3 (c) - 1
N/F F7バルブ No.11	$4.53 \times 10^{-6}$	$1.35 \times 10^{-5}$	$6.09 \times 10^{-8}$	0~10	188	9/5 10~11	CT-NF1101	図 7.3 (b) - 1

備考) コールドトラップ冷却による減圧法では、冷却した時の測定結果

## 8. 加圧法及び減圧法の比較試験

6.項の加圧法による測定試験と7.項の減圧法による測定試験は、微少漏洩量測定装置による最小の測定値を検証するのが目的であり、治具単体や実機設備内でも密封性が良いと考えられる固定シール部に対して試験を行った。

しかし、実機設備の被測定対象部には、駆動軸のシール部やドアバルブ弁体のシール部などの可動性を有したリングシール部があり、この可動シール部は機器の動作によるリングの摩耗や、燃料等からの滴下ナトリウムにより、その密封性能が劣化していることが予測される。

よって、これらの可動シール部に対して、Arガス加圧法と減圧法（冷却なし）による漏洩試験を実施し、その漏洩測定に要する時間や測定された漏洩量等を実際に確認し、今後の運用上での問題点の摘出並びに加圧法、減圧法の比較検討を行った。

### 8.1 測定試験

可動シール部に対する漏洩測定試験を、以下の4つに対して行った。

- (a)燃料洗浄設備床ドアバルブ：No.9（弁体シール部）
- (b)燃料洗浄設備床ドアバルブ：No.2（連絡管シール部）
- (c)トランスファロータ貯蔵設備側ドアバルブ：No.3（駆動軸シール部）
- (d)トランスファロータ貯蔵設備側ドアバルブ：No.2（弁体シール部）

測定結果を表8.1-1及び図8.1(a)-1から図8.1(d)-2に示す。

表8.1-1より、(d)トランスファロータドアバルブNo.2を除き、ほぼ同程度の漏洩量及び標準偏差となった。

加圧法による測定では、温度変化により漏洩量変動する傾向が明らかであり、特に温度が下降（約0.2℃程度）するとマイナスの漏洩量となる。このため安定した漏洩量を得るには温度変化が安定するまで待たなければならず、必要な測定時間は外的要因である雰囲気温度に起因することとなる。

減圧法による測定では、約1～3時間程度経過する頃から圧力上昇は安定し、妥当な漏洩量が得られた。また、測定開始後の時間が経過するほど、見かけの漏洩量が少なくなることが明らかとなった。

(d)トランスファロータドアバルブNo.2では、明らかに漏洩が確認された。トランスファロータタンクの運転内圧は、0.3 [kg/cm<sup>2</sup>] (1.33 [kg/cm<sup>2</sup>-abs]) に設定されており、加圧法及び減圧法ともに1.3 [kg/cm<sup>2</sup>-abs]前後で圧力が安定したことより、この可動シール部がトランスファロータタンクと通気していると判断できる。

(但し、この駆動シール部は清浄Arガスにより常時加圧する構造となっていることから、タンク内のガス放出は生じない。)

また、この測定部での減圧法測定による圧力上昇変化には、2段階に圧力上昇する現象が測定されたが、その理由は不明である。



## 8.2 考察

加圧法及び減圧法の両方においてほぼ同程度の漏洩量が測定できたことは、何方の試験も十分に信頼性のあるものと評価できる。

このうち、加圧法では温度の影響を受けるために、定量的な測定時間を設定できず、測定部の温度が安定するまで長時間の測定が必要となる。

これと比較し、減圧法の場合は4時間程度測定すればほぼ圧力変動が安定する。また短時間で測定を終了させても見かけ上の漏洩量は多くなる結果となり、安全側の評価となることから十分に適用可能であると判断できる。また、5.精度評価で示したように、減圧法の方が計算上での精度も高く、公的に測定精度を担保する上では減圧法の方が優位である。

## 8.3 運用上での問題点

これまで「微少漏洩量測定装置」を用いて多くの漏洩測定試験を実施した。しかし、燃料取扱設備の漏洩試験は、数百を越える測定対象部を定期的に試験する必要がある、またその漏洩試験を実施するメーカーも数社に渡る。このような現状において、効率的に漏洩試験を実施していくには、本微少漏洩量測定装置では以下の課題を有していた。

### (1)測定装置の小型化、軽量化

本測定装置は、高い精度の漏洩試験方法を確立し検証することを目的としたものであり、製作費用を少なくするために市販の圧力計・温度計を組み合わせるため、装置の大型化、重量化を招いた。

重量が重いことは、複数人またはクレーンを使用し運搬することで対応できるが、装置が大きいことは、キャスクカー巻上機構や燃料出入機グリッパ駆動機構などの限られた作業場所においては、致命的欠点であった。

従って、装置の可搬性・取扱性を確保するためには、市販の圧力計や温度計のケーシングの取外しや計器表示部を削除して、パソコンによる一括表示を行う等の改善が必要であった。

### (2)ソフト機能の強化

本装置のソフト機能は、測定計器の制御とデータサンプリング及びトレンド表示のみに限定したものである。取得したデータの解析は、別途、汎用ソフト等を使用して計算を行うことにより対応している。これは、ソフト製作費を制約し、試作体としての機能のみに限定したためと、解析方法が確立していなかったことによるものである。

このソフト機能のまま実際に使用するには、2段階の作業が必要となり、測定中には漏洩試験の可否の判定ができないことになる。

また、格納容器の局部漏洩率試験と同等の解析手法を用いた試験方法により、測定データの信頼性を改善していくには、これらのソフトでは対応できなかった。

これらを解決するには、ソフト機能を拡張し、現場測定作業においてデータ取得、表示、解析及び出力までが一連でできる装置に改善する必要があった。

### (3)測定時間の短縮化

この漏洩試験の検討では、従来までの漏洩試験のように短い時間での測定値による漏洩量の算出によらず、全測定値に対して最小自乗法による回帰分析を行い平均漏洩量を算出して評価を行った。また、加圧法並びに減圧法のどちらの測定方法においても、安定した漏洩量を得るには、これまでより長時間の測定を行う必要があることを明らかにした。

このことは、限られた期間において、数多くの漏洩試験をするには不適切であると共に、メーカーが実施した場合には必要人工数を増加させることとなり、費用を増加させる要因となる。

この対策としては、測定箇所が多くかつ測定箇所が密集している固定シール部の漏洩試験に対して、複数箇所（5箇所程度）を一括して測定する治具の設置が有効である。これにより、必要時間が1/5程度に短縮が可能であり、また自動測定が可能になったことによりこれまで使用されていなかった夜間に測定することが可能となり、総合的には作業期間の短縮、更には費用の低減が見込まれた。

表 8.1-1 加圧法及び減圧法の比較測定結果 (可動シール部)

試験対象	測定方法	漏洩量 [atmcc/s]	$2 \times \sigma$ 標準偏差 [atmcc/s]	回帰時間	試験容積 (合計) [cc]	試験日時	ファイル名 (.PRN)	図番号
C/P フォバルブ No. 9 (弁体シール部)	加圧法	$1.94 \times 10^{-5}$	$8.37 \times 10^{-8}$	18~15	203	9/14 16~15	PR-CP901P	図 8.1 (a) - 1
	減圧法	$3.07 \times 10^{-5}$	$9.79 \times 10^{-8}$	22~11		9/16 16~11	PR-CP901V	図 8.1 (a) - 2
C/P フォバルブ No. 2 (連絡管シール部)	加圧法	$3.73 \times 10^{-5}$	$1.99 \times 10^{-7}$	18~10	192	9/21 16~10	PR-CP201P	図 8.1 (b) - 1
	減圧法	$2.50 \times 10^{-5}$	$7.22 \times 10^{-8}$	20~10		9/20 16~9	PR-CP201V	図 8.1 (b) - 2
T/R フォバルブ No. 3 (駆動軸シール部)	加圧法	$1.85 \times 10^{-5}$	$4.22 \times 10^{-8}$	18~10	174	9/12 16~9	PR-TR301P	図 8.1 (c) - 1
	減圧法	$1.80 \times 10^{-5}$	$2.45 \times 10^{-8}$	17~9		9/13 15~9	PR-TR301V	図 8.1 (c) - 2
T/R フォバルブ No. 2 (弁体シール部)	加圧法	$1.08 \times 10^{-1}$	$7.41 \times 10^{-3}$	20:15 ~ 20:25	200	9/ 8 20~9	PR-TR201P	図 8.1 (d) - 1
	減圧法	$2.51 \times 10^{-2}$ $6.55 \times 10^{-2}$	$1.44 \times 10^{-4}$ $4.06 \times 10^{-4}$	11:30 ~ 12:00 12:20 ~ 12:40		9/ 3 11~16	PR-TR301V	図 8.1 (d) - 2

備考) T/R フォバルブ No. 2 の試験容積は 200 [cc] と仮定する。

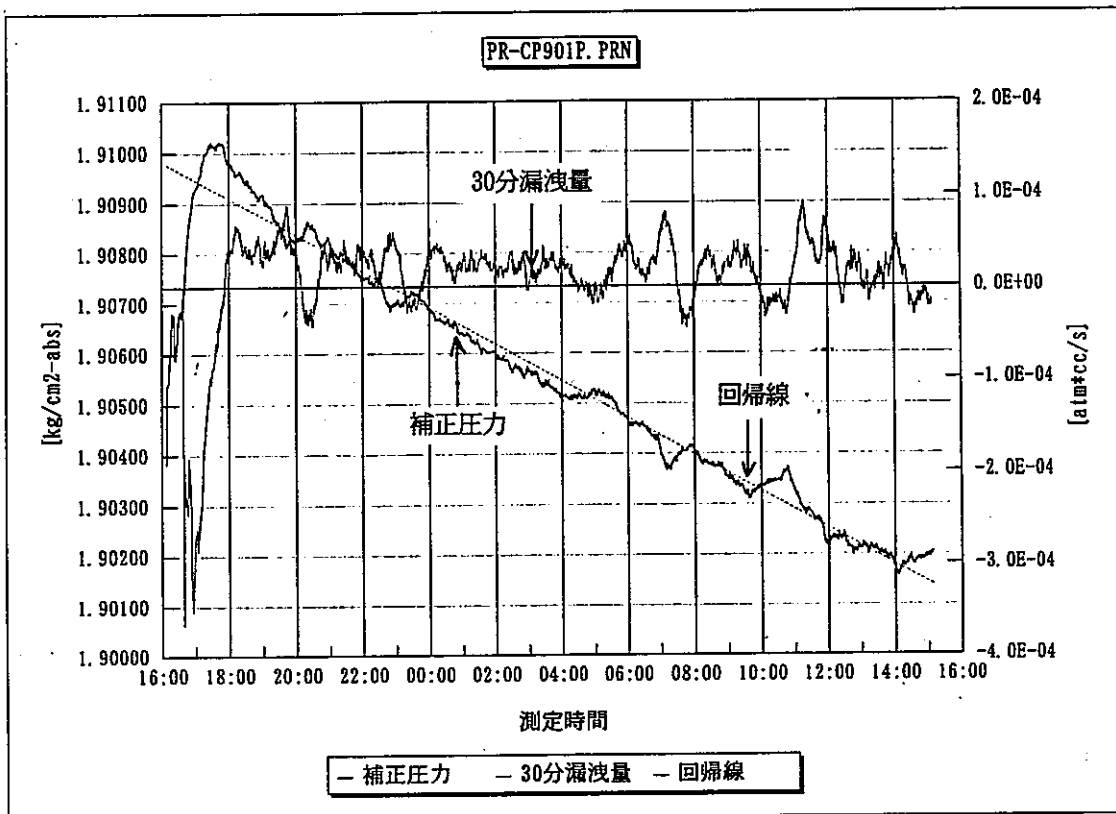
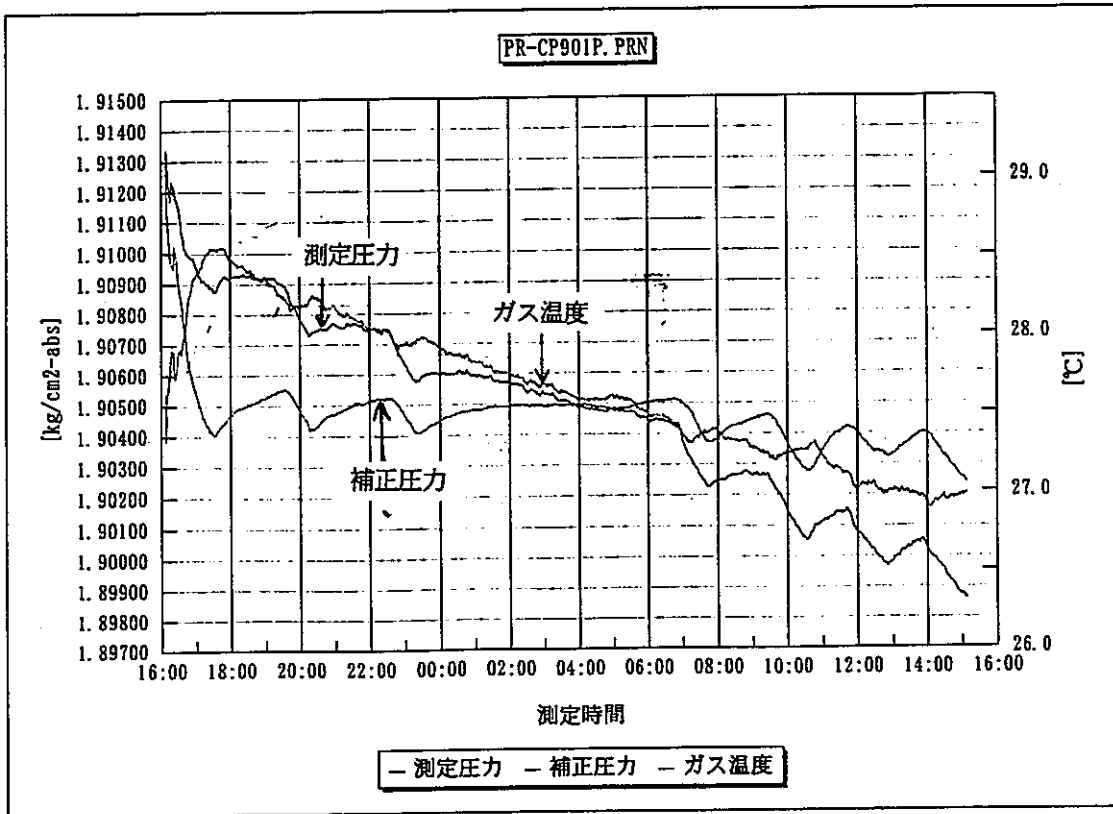


図8.1(a) - 1 C/PドアバルブNo.9測定結果(加圧法, 可動シール部)

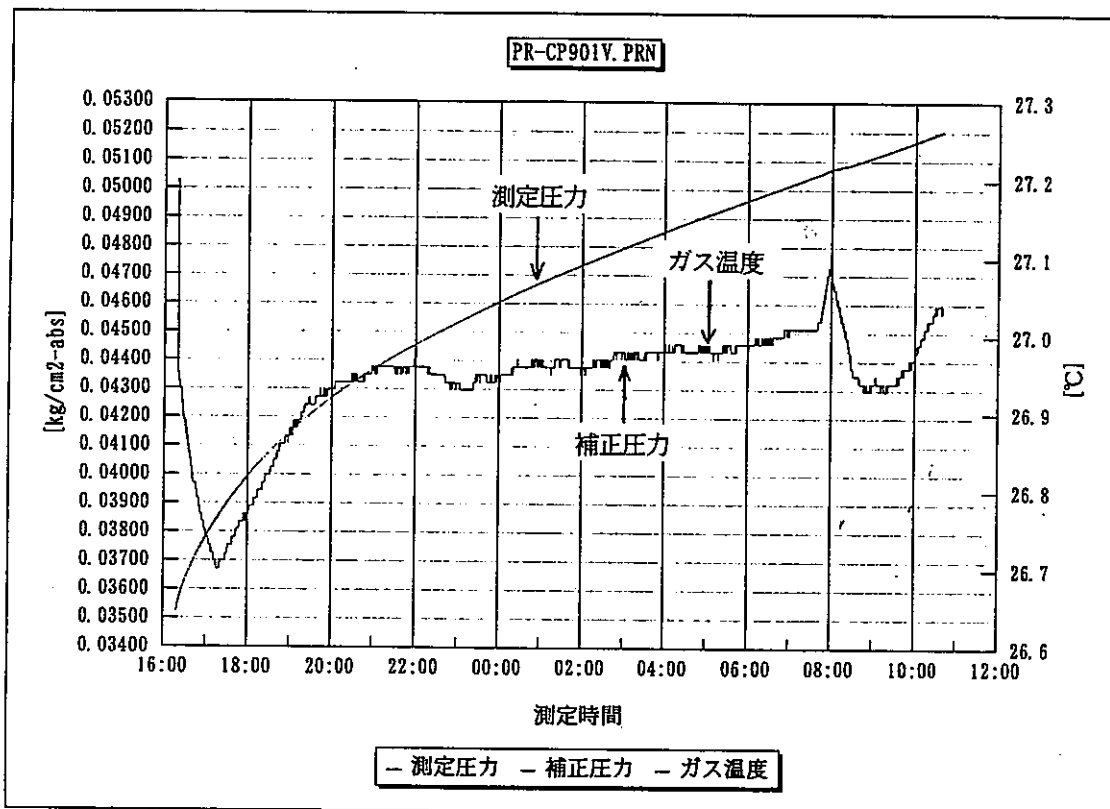
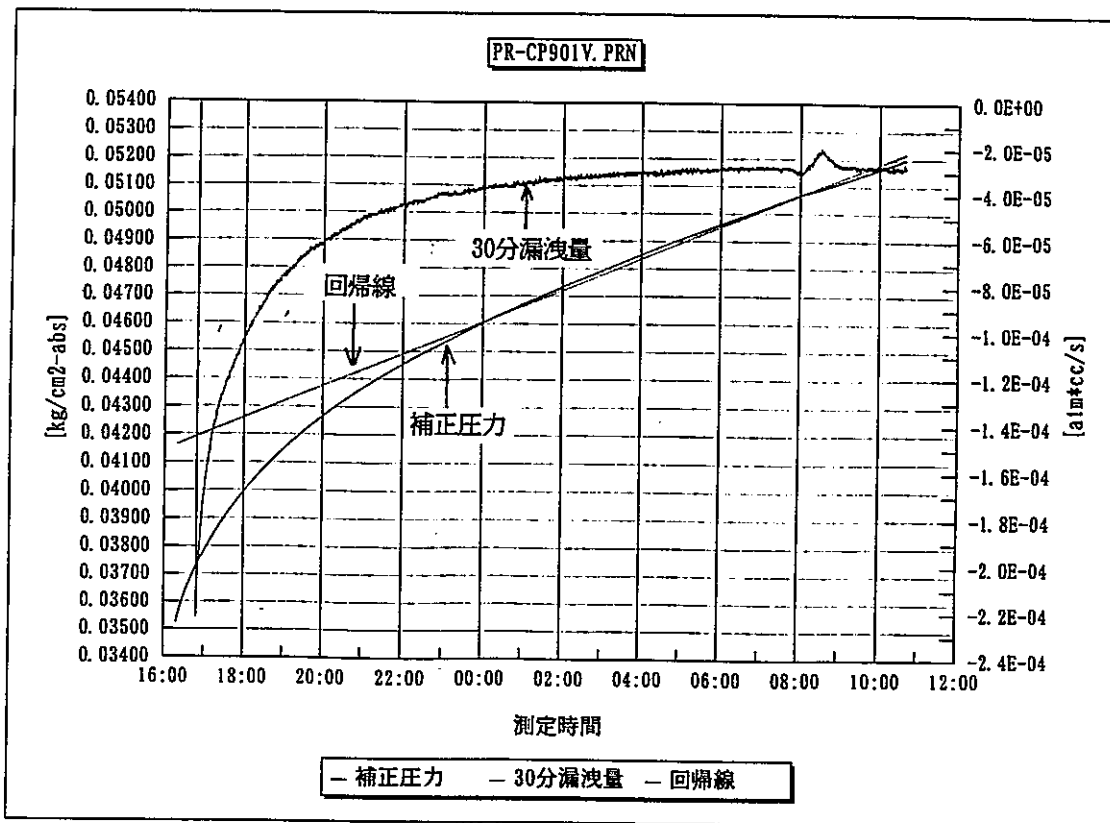


図8.1(a) - 2 C/PドアバルブNo.9測定結果(減圧法, 可動シール部)

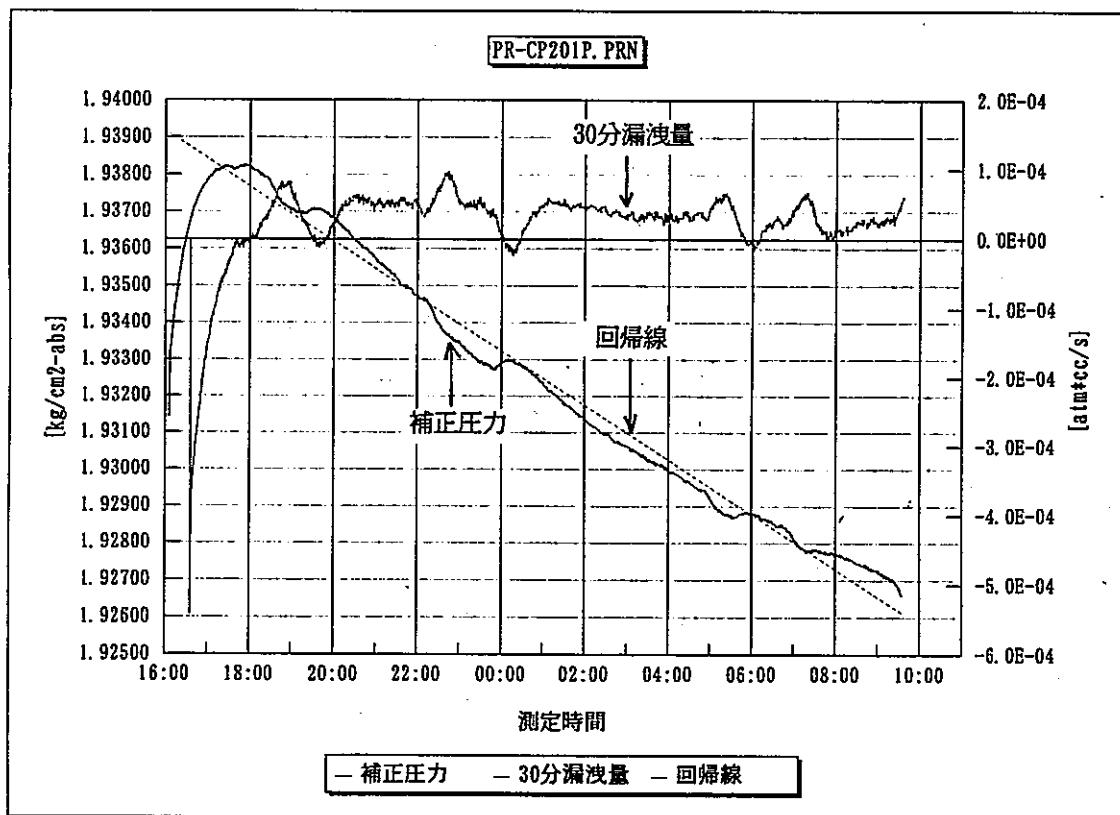
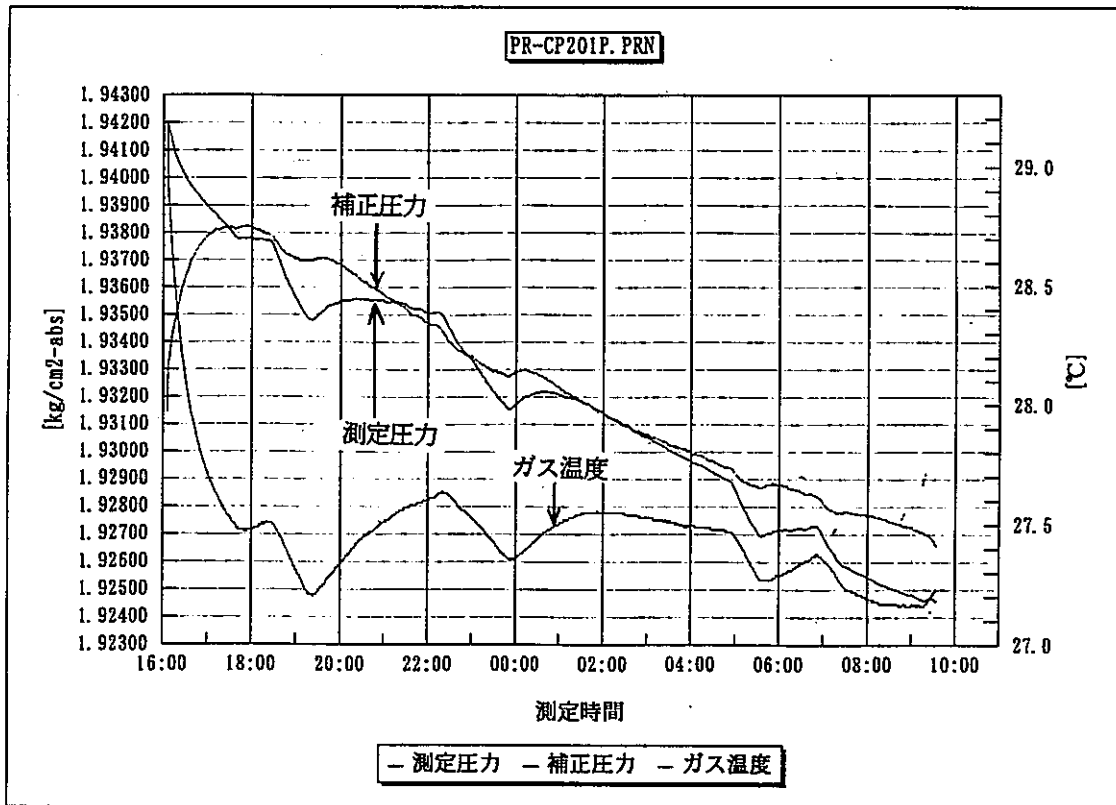


図 8.1 (b) - 1 C/P ドアバルブ No.2 測定結果 (加圧法, 可動シール部)

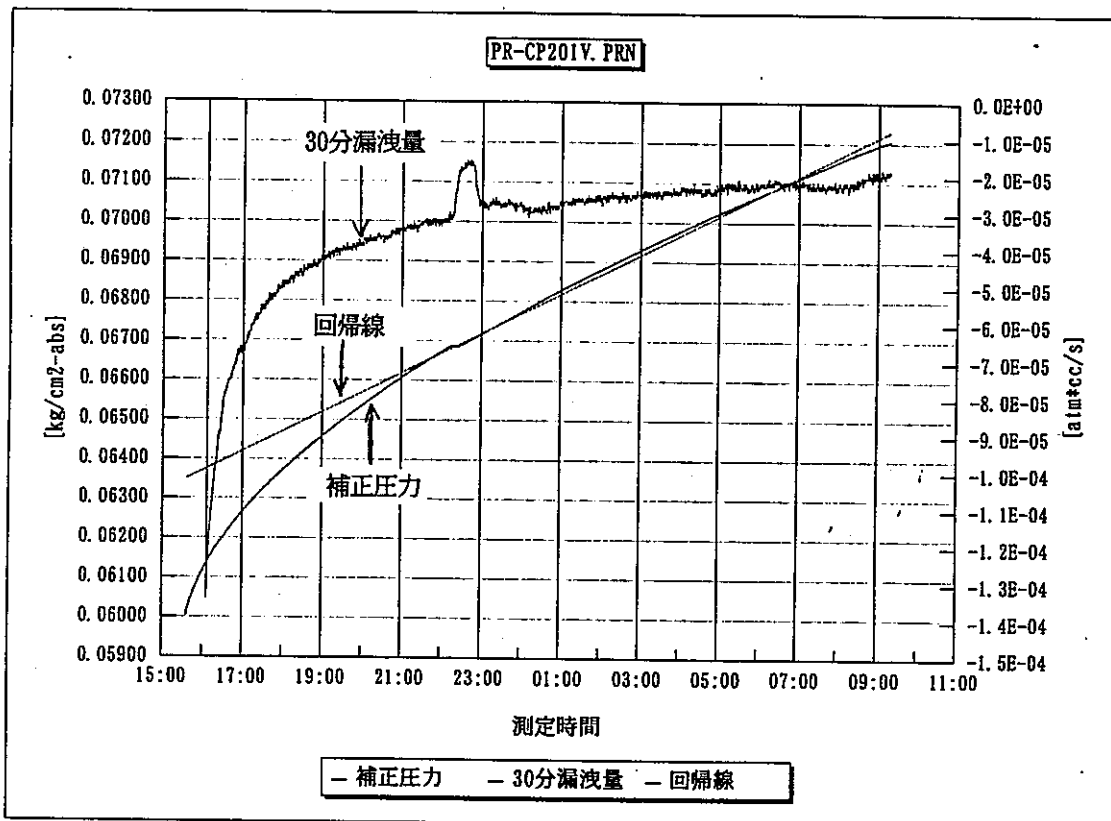
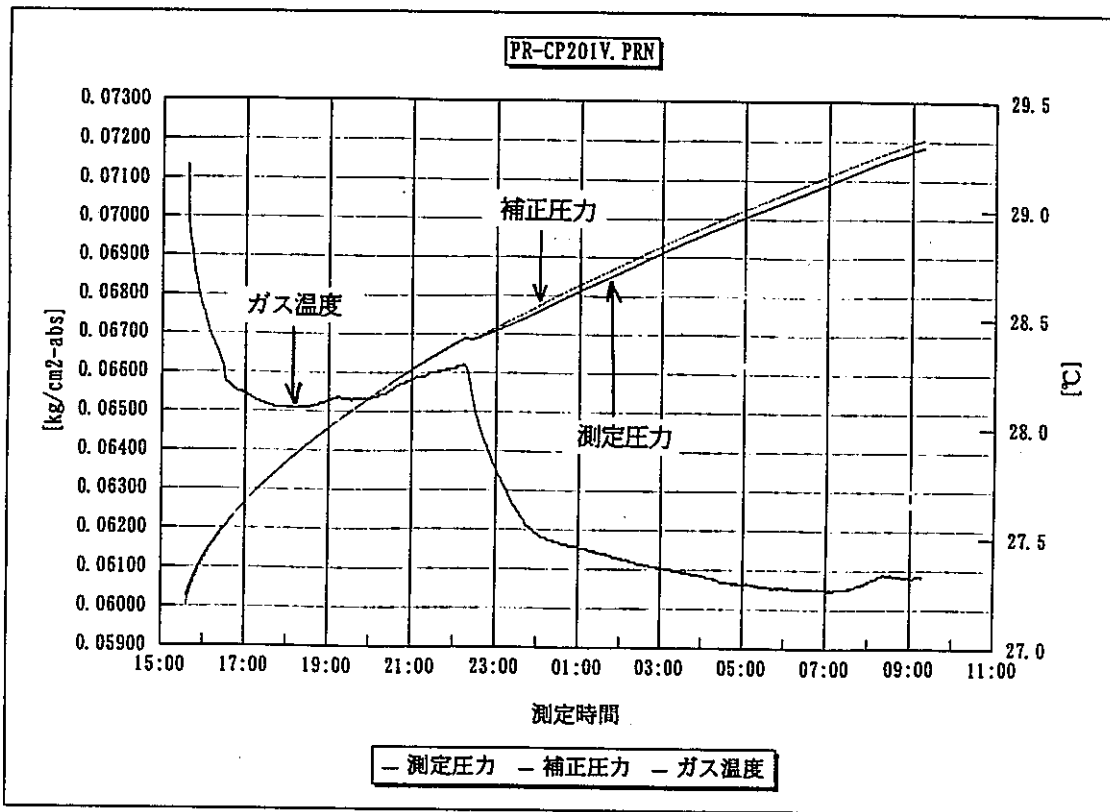


図8.1(b) - 2 C/PドアバルブNo.2測定結果 (減圧法, 可動シール部)

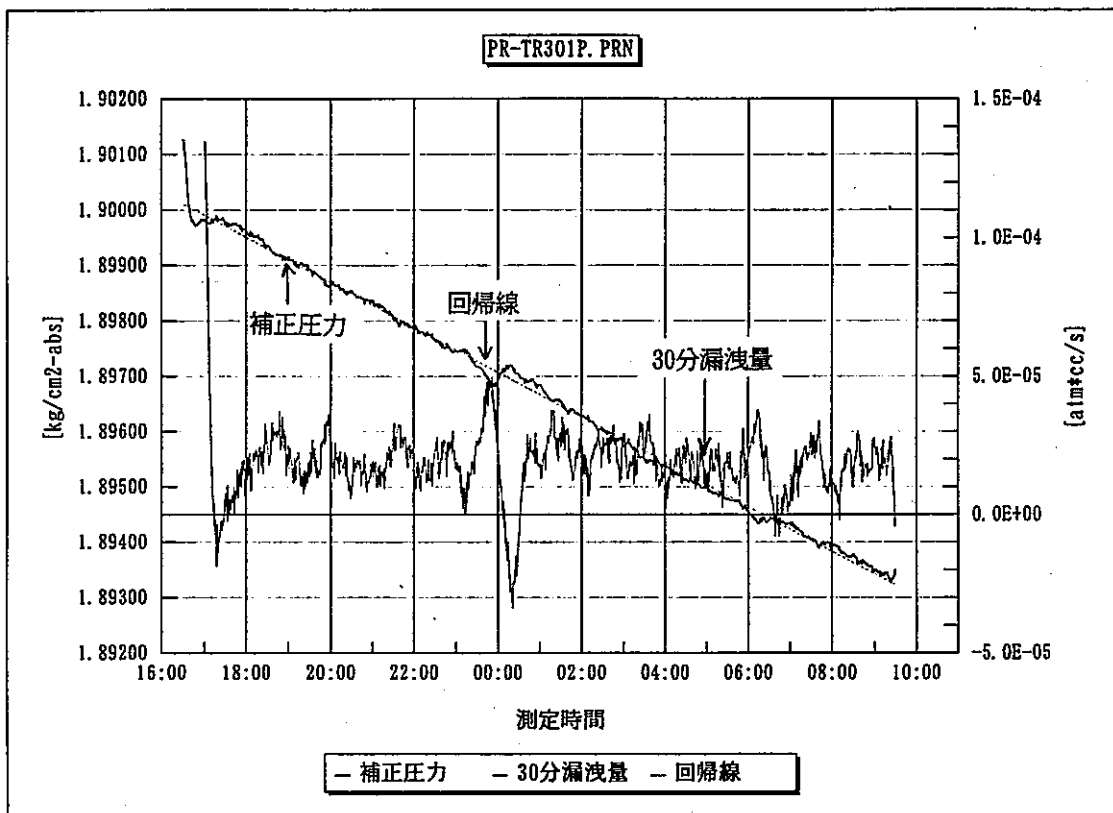
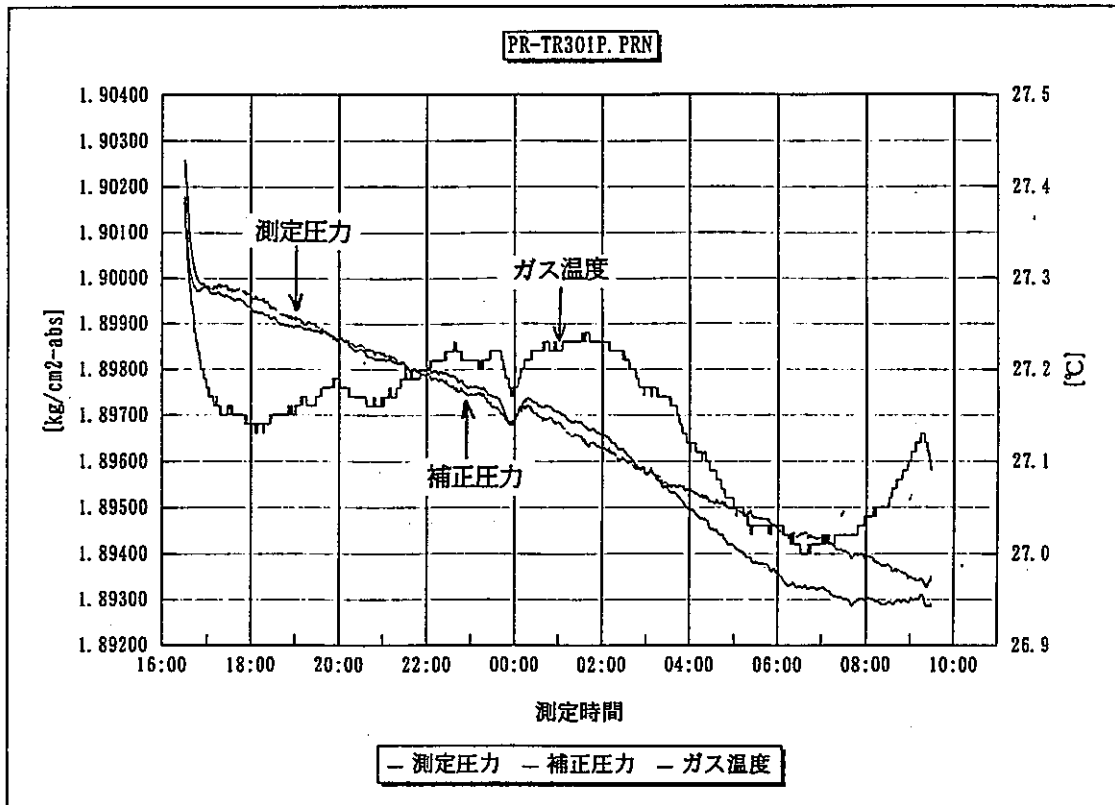


図8.1(c) - 1 T/RドアバルブNo.3測定結果 (加圧法, 可動シール部)



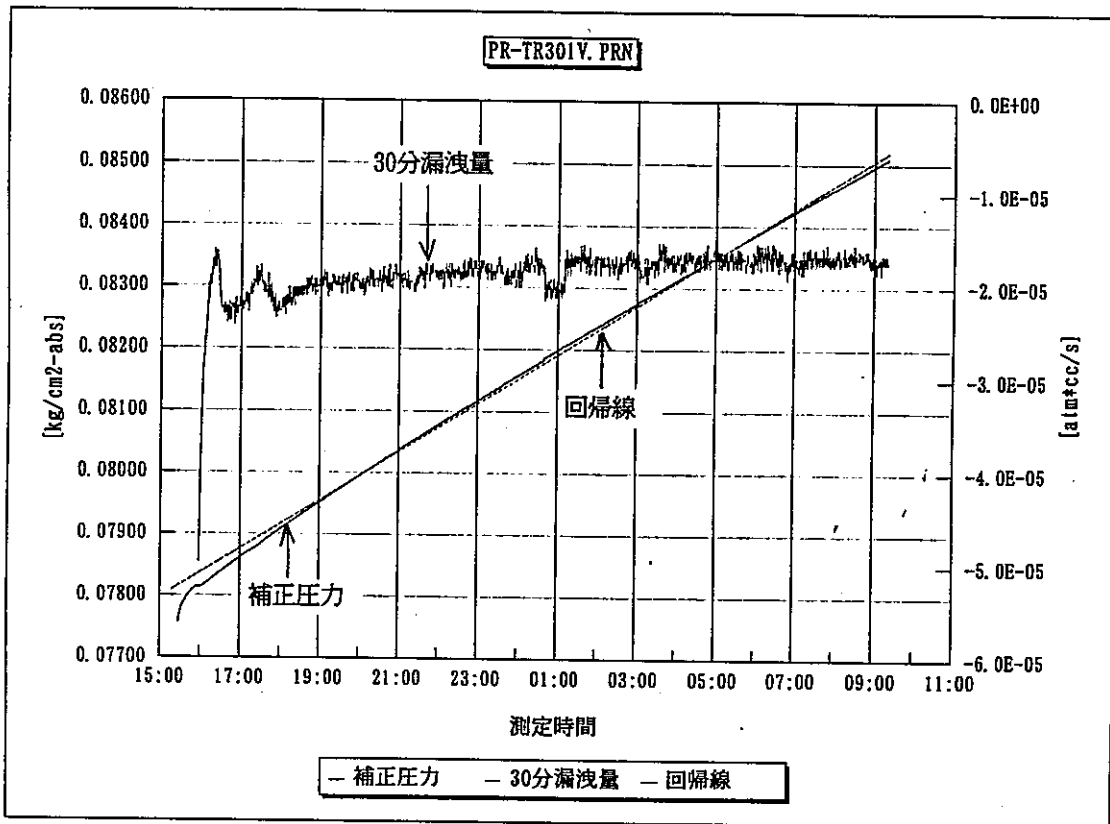
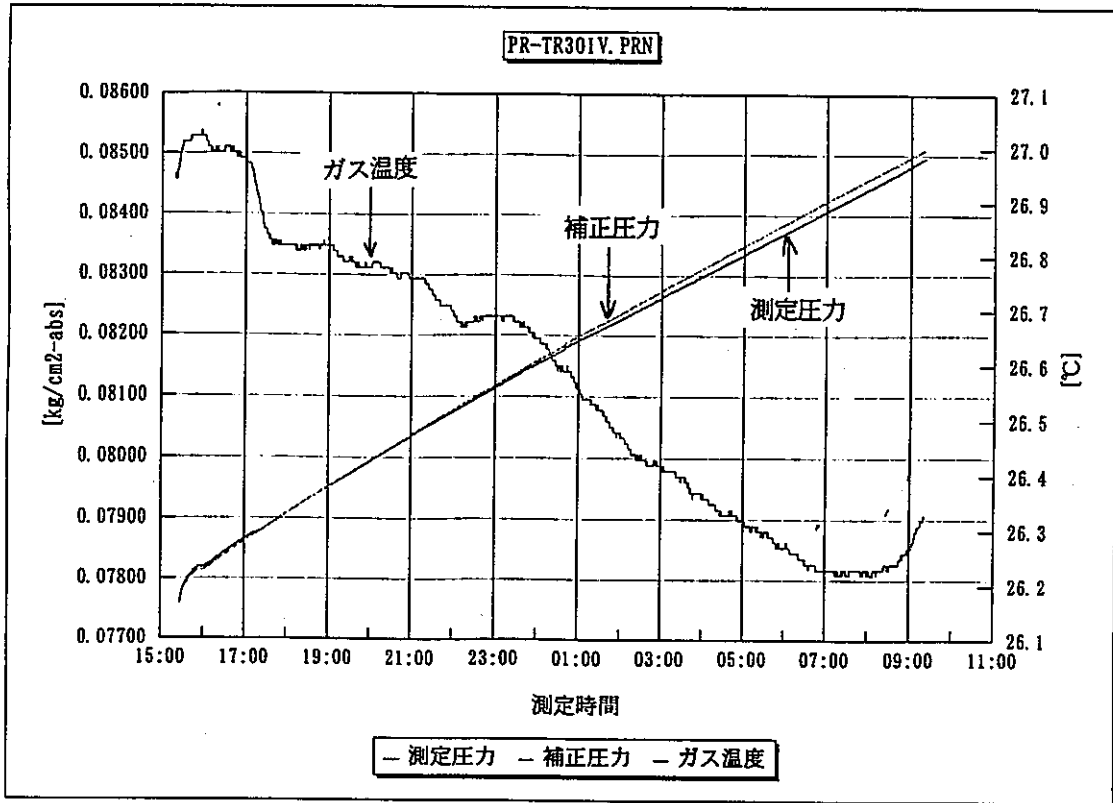


図8.1(c) - 2 T/RドアバルブNo.3測定結果(減圧法, 可動シール部)

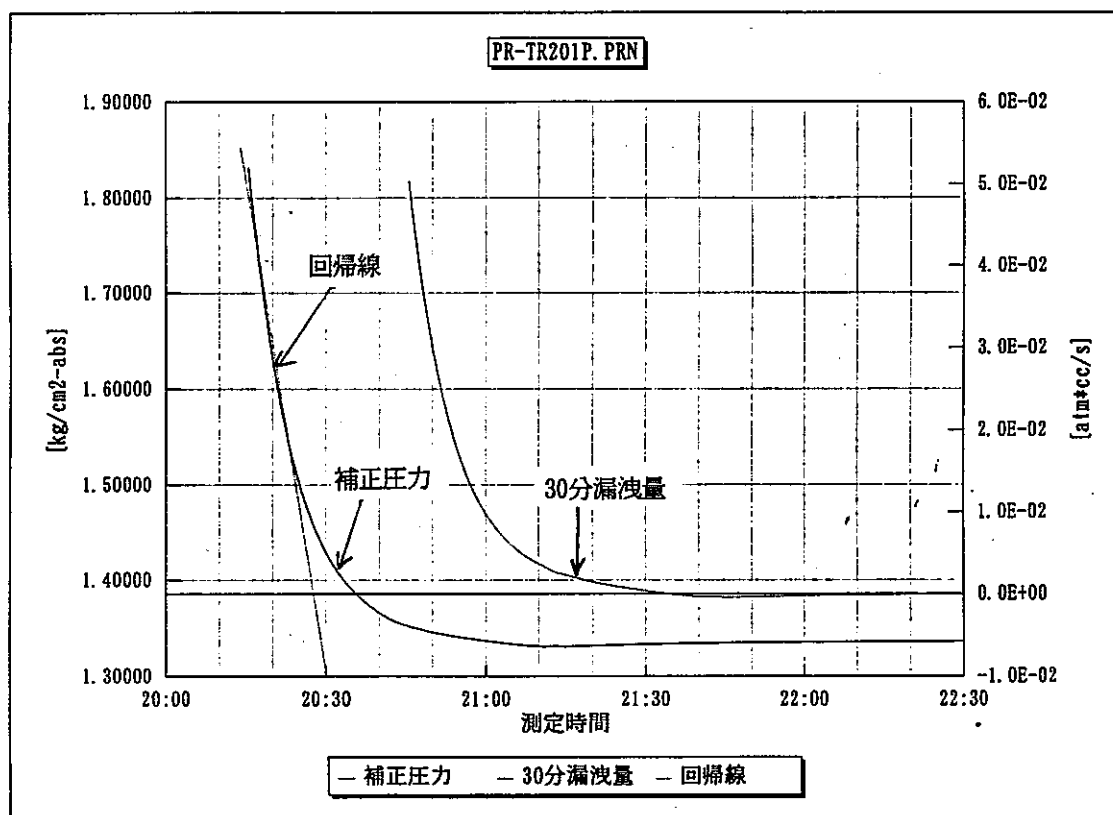
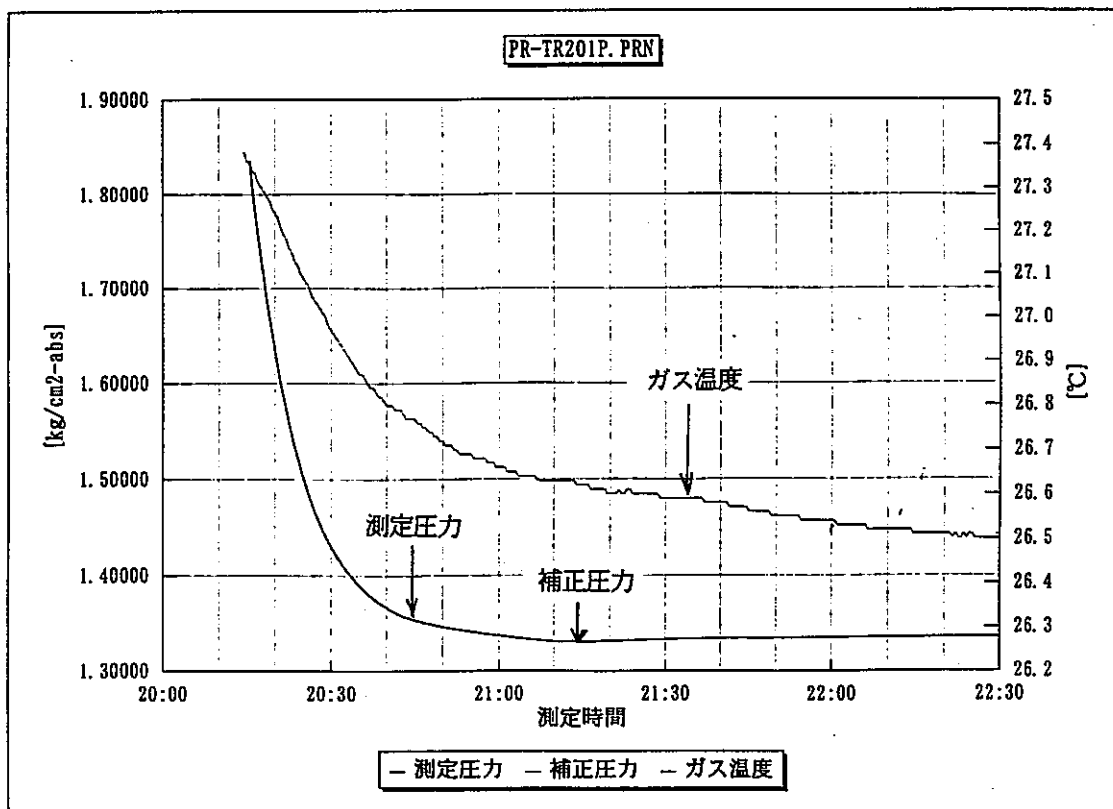


図 8.1 (d) - 1 T/R ドアバルブ No. 2 測定結果 (加圧法, 可動シール部)

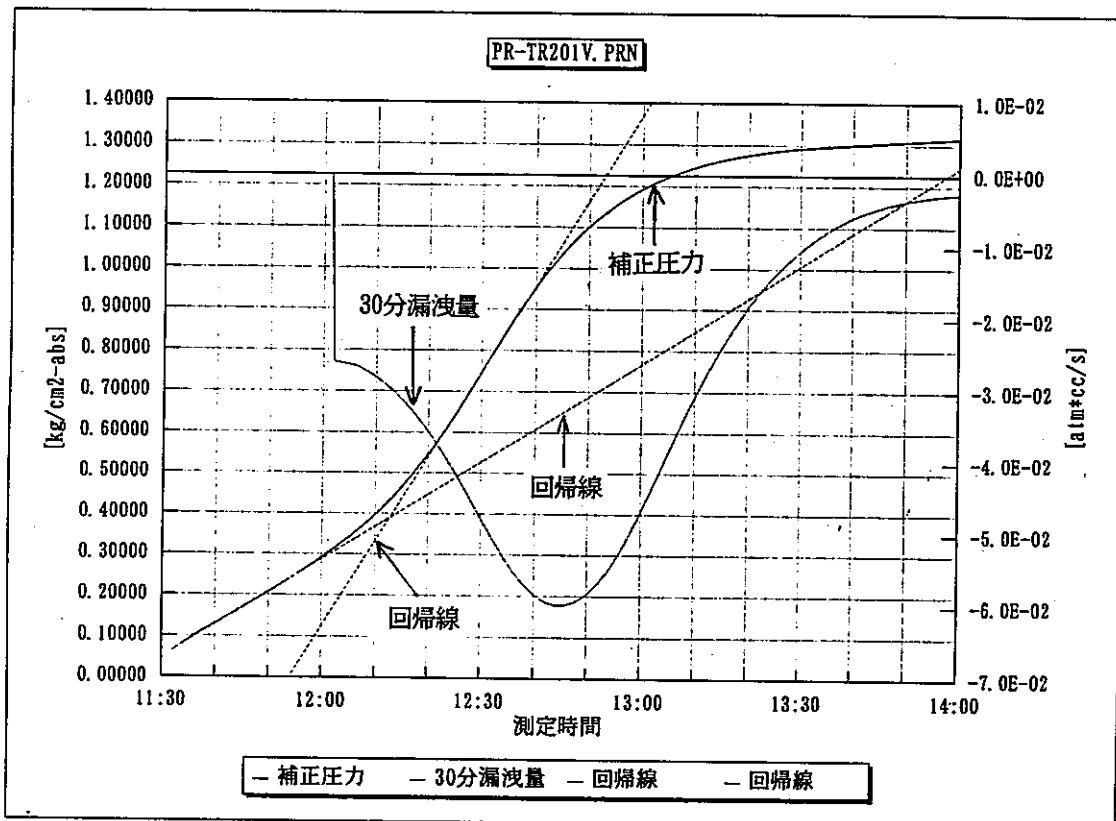
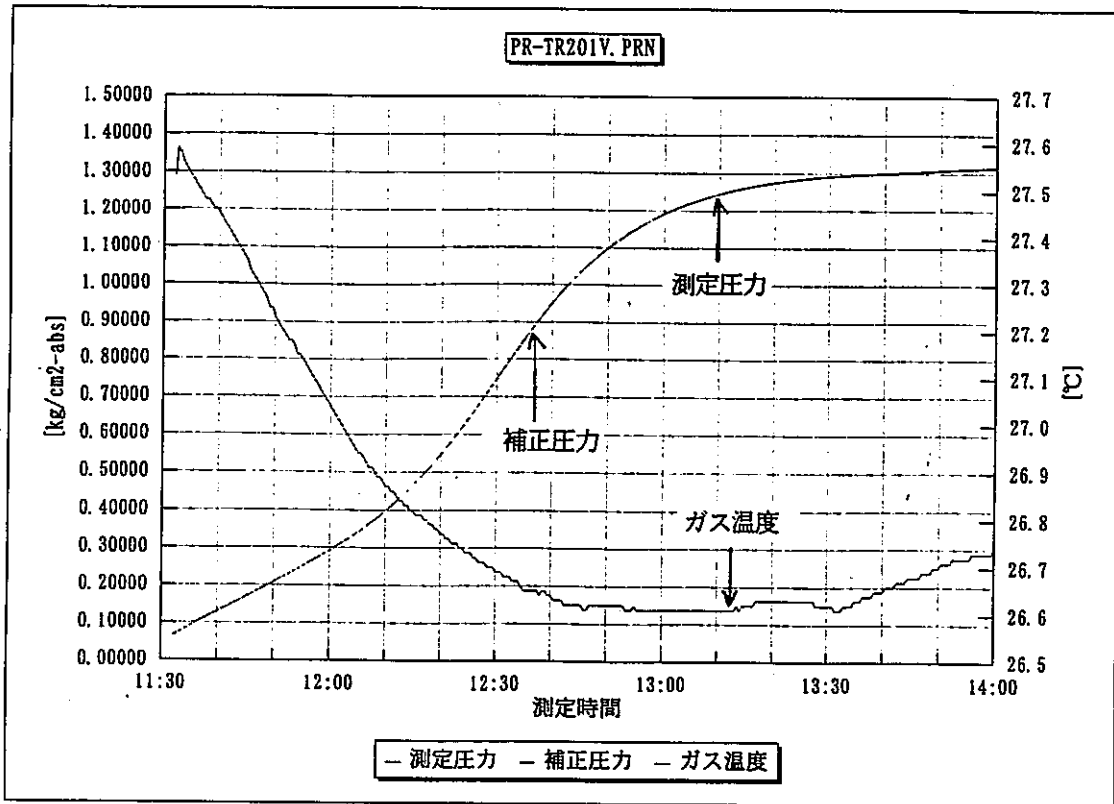


図8.1(d) - 2 T/RドアバルブNo.2測定結果 (減圧法, 可動シール部)

## 9. 漏洩量測定装置の製作

8. 3 項にて記載した問題点を改良した、漏洩試験装置（「漏洩量測定装置」）の製作を行った。

漏洩量測定装置は、これまで測定員を測定箇所へ常時配置し、水銀柱マンオメータと水銀温度計によって圧力と温度を直読測定し、かつ電卓等を使って漏洩量の算出及び判定を行っていた方法を、汎用パソコンの制御によって無人で測定し、かつ漏洩量の計算、解析、判定、印刷までの一連の漏洩試験作業を現場で一括して実施可能とした可搬性を有する小型測定装置とした。

その装置の仕様を以下に記載する。

### 9. 1 装置構成

漏洩量測定装置は、以下の計器により構成されている。図 9. 1 - 1 に装置全体図を、図 9. 1 - 2 にシステム図を示す。

① デジタル圧力計：1 台……………【図 9. 1 - 3 参照】

型式：横河電機 MT-2655 34/RS232C

測定範囲：0 ~ 2 kgf/cm<sup>2</sup>-abs

表示分解能：0. 0 0 0 0 1 kgf/cm<sup>2</sup>-abs

測定精度：±0. 0 3 % of F. S. 以下（特注品）（±0. 0006 kg/cm<sup>2</sup>abs）

リーク量：1 × 1 0<sup>-6</sup> atm cc/sec 以下（特注品）

② デジタル温度計（シグナルコンディショナ）：1 台（入力 3 点）

測定範囲：0 ~ 5 0 °C

表示分解能：0. 0 1 °C

測定精度：±0. 0 0 6 % of rdg + 0. 0 7 °C 以下（50 °C 測定時で ±0. 073 °C）

③ ノートパソコン用 I / O 拡張ユニット：1 台

型式：コンテック製 NOTE-PAC(98)H-2B

④ データ処理表示：1 台

型式：NEC 98NOTE PC-9821Np/340W

表示方式：TFT カラー液晶ディスプレイ 9. 5 型

C P U : intel DX4 75MHz

メモリ : 9. 6 MB + HD 340MB

⑤ 測定治具 1 : 1 組……………【図 9. 1 - 4 参照】

1 ヶ所測定用、測温センサを治具先端部に内蔵

⑥ 測定治具 2 : 1 組……………【図 9. 1 - 5 参照】

5 ヶ所測定用、測温センサを治具中間のヘッダ部の内蔵

⑦ 測温抗体センサ：3 種類……………【図 9. 1 - 6 ~ 8 参照】

(1) 治具取付温度センサ：2 種類（測定治具 1 用、測定治具 2 用）

(2) 雰囲気測定用温度センサ：1 種類

測定範囲：0 ~ 5 0 °C

- 測定確度 : A級 [± (0.15 + 0.002 T) °C] (50 °C測定時±0.25°C)
- ⑧真空ポンプ : 1台……………【図9.1-9参照】
- 型式 : 真空機工 G-50S-B型
- 電源 : AC100V, 50/60Hz
- 到達圧力 :  $7 \times 10^{-2}$  torr
- 排気流量 : 50 l/min
- ⑨プリンタ : 1台……………【図9.1-10参照】
- 型式 : 横河・ヒューレットパッカード HP DeskJet 560J
- インターフェースケーブル : PC-CA202

上記機器の内、①デジタル圧力計と②デジタル温度計は1つのケース（ポータブルケース）に収納されており、③拡張ユニットはケース上面に取付けされている。

⑤測定治具1と⑥測定治具2には、それぞれ⑦測温抵抗体センサを装着し、治具内部のガス温度を直接測定する構造となっている。（但し、測定治具1と2では、測温抵抗体の長さが異なる。）

## 9.2 漏洩量の計算方法

「漏洩量測定装置」プログラムの計算方法について記載する。

漏洩量の計算方法は、以下の基準を参考として製作を行った。

- ・漏洩量の基本式…………「JIS Z 2332 放置法による漏れ試験方法」
- ・計算、解析方法…………「JEAC 4203 原子炉格納容器の漏えい試験」

### 9.2.1 記号説明

本計算にて使用する記号及び用語を以下のように定義する。

- |   |                 |   |
|---|-----------------|---|
| { | Q               | : 漏洩量 [atm cc/sec]                                  |
|   | Q <sub>av</sub> | : 回帰分析より求めた漏洩量[atm cc/sec]<br>「平均漏洩量」               |
| { | q               | : 基準時刻の測定値からの圧力変化により求める漏洩値[atm cc]<br>「漏洩値」         |
|   | V               | : 被測定部と測定用治具を含む内容積[cc]<br>「測定部容積」                   |
| { | t               | : 測定時間 [sec]  |
|   | t <sub>st</sub> | : 任意に設定する基準時刻[sec]<br>「基準時刻」                        |
|   | Δt              | : 回帰分析する時間 [sec]<br>「回帰時間」                          |
| { | p <sub>1</sub>  | : 測定開始時の絶対圧力 [kgf/cm <sup>2</sup> abs]              |
|   | p <sub>2</sub>  | : 測定終了時の絶対圧力 [kgf/cm <sup>2</sup> abs]              |
|   | p <sub>i</sub>  | : 各測定時刻における絶対圧力 [kgf/cm <sup>2</sup> abs]<br>「測定圧力」 |

- p st : 基準時刻における測定圧力 [kgf/cm<sup>2</sup>abs]
- P 0 : 標準圧力 [1.0332 kgf/cm<sup>2</sup>]
- P i : 各測定時刻における標準温度に補正した絶対圧力 [kgf/cm<sup>2</sup>abs]  
「補正圧力」
- P st : 基準時刻における補正圧力 [kgf/cm<sup>2</sup>abs]
- T 0 : 標準温度 [293.15 K = 20℃]
- T 1 : 測定開始時の絶対温度 [K]
- T 2 : 測定終了時の絶対温度 [K]
- T i : 各測定時刻における絶対温度 [K]  
「測定温度」
- T st : 基準時刻における測定温度 [K]
- $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  : 単位時間当たりの補正圧力の変化量 [kgf/cm<sup>2</sup>abs /sec]
- $\frac{\Delta q}{\Delta t}$  : 単位時間当たりの漏洩値の変化量 [atm cc/sec]
- b : 補正圧力に対して最小自乗法により求める回帰線の傾き [kgf/cm<sup>2</sup>abs /sec]
- a : 補正圧力に対して最小自乗法により求める回帰線の切片 [kgf/cm<sup>2</sup>abs]
- b' : 漏洩値に対して最小自乗法により求める回帰線の傾き [atm cc/sec]
- a' : 漏洩値に対して最小自乗法により求める回帰線の切片 [atm cc]
- n : 回帰時間内における測定回数  
「測定回数」
- F : 測定開始からの経過時間と補正圧力、又は基準時刻からの経過時間と漏洩値から計算により求める F 値  
「F 値」
- F' <sub>0.05</sub> (0.05) : F 分布表より得られる F 分布値。尚、危険率を 0.05 とする。  
「F 分布値」
- σ : 測定開始からの経過時間と補正圧力の回帰分析により求める標準偏差
- σ' : 基準時刻からの経過時間と漏洩値の回帰分析により求める標準偏差
- t (n-2, 0.05) : t 分布表より得られる t 値。尚、危険率を 0.05 とする。  
「t 値」
- 95% 信頼性限界値 : σ' × t 値により求められる誤差 95% の値
- 合計漏洩量 : 平均漏洩量 + 95% 信頼性限界値の値であり、誤差を見込んだ安全側の漏洩量

### 9.2.2 漏洩量計算の概要

本装置の漏洩量の計算には、圧力と温度の測定中に実施する「測定画面中の計算」と、データ測定が終了し基準時刻を設定した後に行う「集計画面中の計算」の 2 通りの計算方法を採用し、同じ測定データに対しては同一の漏洩量が計算される。

「測定画面中の計算」は、測定時間を限定せずに早期に試験を終了させるため最新データをもとに漏洩量を計算させ、維持目標値以下の漏洩が確認されたならば測定を終了させ

る。「集計画面中の計算」は、格納容器漏洩試験と同様な試験方法であり、測定開始の基準時刻を設定し、そこから所定の測定時間が経過した後に試験を終了する方法である。

従って、実際の試験方法としては、「集計画面」にて測定を行い、維持目標値以下の漏洩量が測定されたならば、その終了時間から逆算した基準時刻を設定して、一連の試験を終了させるようなソフト制御とした。

【測定画面中の計算概要】

- ① 圧力、温度を測定周期毎に測定する。
- ② 測定圧力を測定温度より、標準状態（20℃）の圧力に補正換算する。……………式(a)
- ③ 回帰時間が経過後、補正圧力に対して最小自乗法による回帰分析を行う。……………式(b)
  - ・ 回帰分析の傾きより、平均漏洩量を計算、表示する。……………式(c)
  - ・ 回帰分析から標準偏差を計算、表示する。
- ④ 補正圧力に対して直線性の検討を行う。
  - ・ 補正圧力と経過時間よりF値を計算する。
  - ・ 測定回数とF分布表よりF分布値を求める。
  - ・ F値とF分布値を比較して、有意差の判定を行う。

【集計画面中の計算概要】

- ⑤ 基準時刻を設定し基準時刻の測定圧力と測定温度を基準として漏洩値を求める。…式(d)
- ⑥ 基準からの漏洩値に対して最小自乗法による回帰分析を行う。……………式(f)
  - ・ 回帰分析の傾きより、平均漏洩量を表示する。……………式(g)
  - ・ 回帰分析から標準偏差を計算する。
- ⑦ 基準からの漏洩値に対して直線性の検討を行う。
  - ・ 漏洩値と経過時間よりF値を計算する。
  - ・ 測定回数とF分布表よりF分布値を求める。
  - ・ F値とF分布値を比較して、有意差の判定を行う。
- ⑧ 標準偏差にt値を掛けて、95%信頼性限界値を計算、表示する。
- ⑨ 平均漏洩量に95%信頼性限界値を加えて、合計漏洩量を計算表示する。

9.2.3 漏洩量計算の基本式及び計算式の概要

本漏洩量測定装置において漏洩量を計算する基本式は、以下を用いた。

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right\} \quad [\text{atm cc/sec}]$$

{	Q	: 漏洩量	[atm cc/sec]	p1	: 測定開始時の圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> abs]
	t	: 測定時間	[sec]	p2	: 測定終了時の圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> abs]
	V	: 測定部の内容積	[cc]	T1	: 測定開始時の温度	[K]
	P0	: 標準圧力	[1.0332 kgf/cm <sup>2</sup> ]	T2	: 測定終了時の温度	[K]
	T0	: 標準温度	[293.15 K = 20°C]			

尚、本装置における漏洩量の計算方法では、上記基本式を分割して評価している。

【測定画面での計算式】

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{補正圧力} : P_i = T_0 \times \frac{p_i}{T_i} \quad [\text{kgf/cm}^2\text{abs}] \dots\dots\dots \text{式(a)} \\ \text{回帰分析による傾き} : b \approx \frac{\Delta P}{\Delta t} \approx \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad [\text{kgf/cm}^2\text{abs/sec}] \dots\dots \text{式(b)} \\ \text{平均漏洩量} : Q_{av} = \frac{V}{P_0} \times b \quad [\text{atm cc/sec}] \dots\dots\dots \text{式(c)} \end{array} \right.$$

【集計画面での計算式】

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{補正圧力} : P_i = T_0 \times \frac{p_i}{T_i} \quad [\text{kgf/cm}^2\text{abs}] \dots\dots\dots \text{式(d)} \\ \text{漏洩値} : q_i = \frac{V}{P_0} \times (P_i - P_{st}) \quad [\text{atm cc}] \dots\dots\dots \text{式(e)} \\ \text{回帰分析による傾き} : b' \approx \frac{\Delta q}{\Delta t} \approx \frac{q_2 - q_{st}}{t_2 - t_{st}} \quad [\text{atm cc/sec}] \dots\dots \text{式(f)} \\ \text{平均漏洩量} : Q_{av} = b' \quad [\text{atm cc/sec}] \dots\dots\dots \text{式(g)} \end{array} \right.$$

従って、減圧法の場合には、平均漏洩量は「正の値」

加圧法の場合には、平均漏洩量は「負の値」に表示される。

9.2.4 測定項目

・加圧法または減圧法による漏洩量測定には、圧力と温度の各1点の測定で計算可能である。本装置は、圧力1点と温度3点を自動的に測定、表示する機能を有している。

尚、漏洩量の計算には、温度3点のいずれか1点を使用して計算を行う。

圧力：1点……………測定圧力：p [kgf/cm<sup>2</sup>-abs]

温度：3点……………ガス温度、雰囲気温度、予備温度：T [K]

漏洩量計算用温度：1点……………初期設定はガス温度

9.2.5 表示画面での計算方法

(1) 補正圧力の算出

測定圧力は測定時の温度によりその値が変動するため、漏洩量を計算するために一定温度（基準状態：20℃=293.15K）に補正する必要がある。

（計算式の展開は、ボイル・シャルルの法則による）

$$\text{補正圧力} : P_i = p_i \times \frac{T_0}{T_i} \quad [\text{kgf/cm}^2\text{-abs}]$$

(2) 回帰分析

測定開始から回帰時間が経過後に、回帰分析を開始する。

回帰方法は、以下に記載する最小自乗法により算出する。



(例) 測定周期：10秒、回帰時間：30分とした場合を以下の表に示す。

測定時間	経過時間 [sec]	測定圧力 [kgf/cm <sup>2</sup> -abs]	測定温度 [K]	補正圧力 [kgf/cm <sup>2</sup> -abs]
00:00:00	0	p 0	T 0	P 0
00:00:10	10	p 1	T 1	P 1
00:00:20	20	p 2	T 2	P 2
↓	↓	↓	↓	↓
00:29:50	1790	p 179	T 179	P 179
00:30:00	1800	p 180	T 180	P 180
記号	X <sub>i</sub>			Y <sub>i</sub>

経過時間 t と補正圧力 P との関係を一変式とし、切片 a 及び傾き b を求める。  
尚、以下の計算式では、時間を X、補正圧力を Y として記述する。

$$Y = a + b \cdot X$$

$$\text{傾き} : b = \frac{n \cdot \sum (X_i \cdot Y_i) - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{n \cdot (\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \quad [\text{kgf/cm}^2/\text{sec}]$$

$$\text{切片} : a = \frac{(\sum Y_i) \cdot (\sum X_i^2) - (\sum X_i) \cdot \sum (X_i \cdot Y_i)}{n \cdot (\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \quad [\text{kgf/cm}^2]$$

- X<sub>i</sub> : 各経過時間 [sec]
- Y<sub>i</sub> : 各測定時間における補正圧力 [kgf/cm<sup>2</sup>-abs]
- n : 測定回数

求められた b より、平均漏洩量を計算する。

$$\text{平均漏洩量 } Q = b \times \frac{V}{P_0} \quad [\text{atm cc/sec}]$$

(3) 標準偏差の算出

標準偏差を以下の式より求める。

$$\sigma = \sqrt{\frac{V_{yx}}{S(x,x)}} = \sqrt{\frac{S(x,y) \cdot S(y,y) - \{S(x,y)\}^2}{(n-2) \cdot \{S(x,x)\}^2}} \quad [\text{kgf/cm}^2/\text{sec}]$$

求められた σ より、容積単位の標準偏差を計算する。

$$\text{標準偏差} = \sigma \times \frac{V}{P_0} \quad [\text{atm cc/sec}]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{平方和} : S(x,x) = \sum (X_i^2) - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \\ \text{平方和} : S(y,y) = \sum (Y_i^2) - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \\ \text{共変動} : S(x,y) = \sum (X_i \cdot Y_i) - \frac{(\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{n} \\ \text{回帰の平方和} : S_r = \frac{\{S(x,y)\}^2}{S(x,x)} \\ \text{残差の平方和} : S_{yx} = S(y,y) - S_r \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{回帰の不偏分散: } V_r = \frac{S_r}{\phi_r} = \frac{S_r}{1} \\ \text{残差の不偏分散: } V_{yx} = \frac{S_{yx}}{\phi_{yx}} = \frac{S_{yx}}{n-2} \end{array} \right.$$

(4) 直線性の検討

直線性の検討では、測定された値について有意差検定を行い、有意差がなければ得られた結果は漏洩とは無関係でばらつきの範囲内であるとし、漏洩量は0と判断する。  
有意差検定は、先ず仮説「b = 0である」をたて、F分布関数を求める。

$$F \text{ 値: } F = \frac{V_r}{V_{yx}} = \frac{n-2}{\frac{S(x,x) \cdot S(y,y)}{\{S(x,y)\}^2} - 1}$$

次に、以下の条件におけるF(φ<sub>r</sub>, φ<sub>yx</sub>, α)分布値を、F分布表から求める。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{回帰の自由度: } \phi_r = 1 \\ \text{残差の自由度: } \phi_{yx} = n - 2 \\ \text{危険率: } \alpha = 0.05 \\ \text{測定回数: } n \end{array} \right\} \Rightarrow F^{1, n-2} (0.05)$$

求められたF値とF分布値: F<sup>1, n-2</sup> (0.05)とを比較し、有意差の検定する。

- F ≥ F<sup>1, n-2</sup> (0.05) であれば、有意差があると判定される。
- F < F<sup>1, n-2</sup> (0.05) であれば、有意差がないとし漏洩量は0である。言い換えると、測定された平均漏洩量はバラツキ(誤差)範囲内である。

9.2.6 集計画面での計算方法

基本的には測定画面の場合と同様であるが、基準時刻を設定し、その時刻における測定圧力と温度を基準として漏洩値を計算、その漏洩値に対して回帰分析を行う。また95%信頼性限界値を求め、その合計値を安全側の測定結果(合計漏洩量)として計算を行う。

(例) 測定周期: 10秒、回帰時間: 30分にて測定し、基準時刻を測定開始から10分後とした場合を以下に示す。

	測定時間	経過時間 [sec]	測定 圧力	測定 温度	補正 圧力	基準時刻 からの時間	漏洩値 [atm cc]
	00:00:00 00:00:10 00:00:20 ↓	0 10 20 ↓	p0 p1 p2 ↓	T0 T1 T2 ↓	P0 P1 P2 ↓		
基準: t st	00:10:00 00:10:10 ↓ 00:29:50 00:30:00 ↓ 00:39:50 00:40:00	600 610 ↓ 1790 1800 ↓ 2390 2400	p60 p61 ↓ p179 p180 ↓ p239 p240	T60 T61 ↓ T179 T180 ↓ T239 T240	P60 P61 ↓ P179 P180 ↓ P239 P240	0 10 ↓ 1190 1200 ↓ 1790 1800	q0 q1 ↓ q119 q120 ↓ q179 q180
				記号		Xi	Yi

## (1) 補正圧力の計算

$$\text{補正圧力: } P_i = p_i \times \frac{293.15}{T_i} \quad [\text{kgf/cm}^2\text{-abs}]$$

## (2) 漏洩値の計算

$$\text{漏洩値: } q_i = (P_i - P_{st}) \times \frac{V}{P_0} \quad [\text{atm cc}]$$

$$\begin{cases} P_{st} : \text{基準時刻の補正圧力} \\ P_i : \text{各測定時の補正圧力} \end{cases}$$

## (3) 回帰分析

基準時刻からの各漏洩値に対して、最小自乗法による回帰分析を行う。

基準時間からの経過時間と漏洩値との関係を一次式とし、切片： $a'$  及び傾き： $b'$  を求める。尚、以下の計算式では、時間： $t$  を  $X$ 、漏洩値： $q$  を  $Y$  として、記載する。

$$Y = a' + b' \cdot X$$

$$\text{傾き: } b' = \frac{n \cdot \sum (X_i \cdot Y_i) - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{n \cdot (\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \quad [\text{atm cc/sec}]$$

$$\text{切片: } a' = \frac{(\sum Y_i) \cdot (\sum X_i^2) - (\sum X_i) \cdot \sum (X_i \cdot Y_i)}{n \cdot (\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \quad [\text{atm cc}]$$

$$\begin{cases} X_i : \text{各経過時間} \quad [\text{sec}] \\ Y_i : \text{各測定時間における漏洩値} \quad [\text{atm cc/sec}] \\ n : \text{測定回数} \end{cases}$$

求められた  $b'$  が、平均漏洩量となる。

$$\text{平均漏洩量: } Q_{av} = b' \quad [\text{atm cc/sec}]$$

## (4) 標準偏差の算出

9.2.5(3)と同様に標準偏差を算出する。

$$[\text{atm cc/sec}] \quad \sigma = \sqrt{\frac{V_{yx}}{S(x,x)}} = \sqrt{\frac{S(x,x) \cdot S(y,y) - \{S(x,y)\}^2}{(n-2) \cdot \{S(x,x)\}^2}}$$

## (5) 直線性の検討

9.2.5(4)と同様に直線性の検討（ $F$  値と分布値の算出と比較）を行う。

$$F \text{ 値: } F = \frac{V_r}{V_{yx}} = \frac{n-2}{\frac{S(x,x) \cdot S(y,y)}{\{S(x,y)\}^2} - 1}$$

$$F \text{ 分布値: } F^{1, n-2} (0.05)$$

・  $F \geq F^{1, n-2} (0.05)$  であれば、有意差があると判定される。

・  $F < F^{1, n-2} (0.05)$  であれば、有意差がないとし漏洩量は 0 である。言い換えると、測定された平均漏洩量はバラツキ（誤差）範囲内である。

## (6) 95%信頼性限界値の算出

測定値の回帰線に対するばらつきを評価するために、95%以内に入るばらつき度合いを求める。算出方法は、標準偏差に以下の条件の  $t$  値： $t(\phi, \alpha)$  を  $t$  分布表から求め

て、95%信頼性限界値を算出する。

$$t \text{ 値} : t(\phi, \alpha) = t(n-2, 0.05)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{自由度} : \phi = n - 2 \\ \text{危険率} : \alpha = 0.05 \\ \text{測定回数} : n \end{array} \right.$$

$$95\% \text{ 信頼性限界値} = t(n-2, 0.05) \times \sigma \quad [\text{atm cc/sec}]$$

(7) 合計漏洩量の算出

$$\text{合計漏洩量} = \text{平均漏洩量} + 95\% \text{ 信頼性限界値} \quad [\text{atm cc/sec}]$$

### 9.3 治具単体の漏洩試験結果

今回新たに製作した測定治具単体に対する漏洩測定結果及び本装置の出力を図9.3-1～4に示す。

本装置の測定結果の出力としては、次の4種類が印刷される。

①図9.3-1：全測定時間のグラフ

全測定時間に対する測定圧力、初期設定した計算用温度（通常はガス温度）、最小自乗法により計算した平均漏洩量の3つのグラフが印刷される。尚、グラフ中の枠は、集計画面において設定した基準時刻からの回帰時間を示すものである。

②図9.3-2：回帰時間範囲のグラフ

基準時刻から回帰時間分の測定圧力、計算用温度、平均漏洩量の3つのグラフを印刷する。

③図9.3-3：回帰時間範囲の集計結果グラフ

基準時刻の圧力と温度を基準として、回帰時間内の漏洩値を計算し、その最小自乗法により求めた回帰線をプロットしたもの。この出力③が最終的な試験結果である。

④表9.3-1：回帰時間範囲のデータ表

回帰時間分の測定値、計算値及び設定条件等をデータ表形式にて印刷する。

また、本装置を用いて治具単体に対して予備試験を実施し、2日間連続して測定した。減圧法による測定結果を図9.3-4に、加圧法により測定した結果を図9.3-5に示す。

減圧法の場合には、測定開始から3～4時間経過すると圧力上昇及び漏洩量は安定し、 $2.5 \times 10^{-6}$  [atm cc/sec]以下の結果が得られた。その後の連続測定では、昼夜を問わずほぼ $-1.0 \times 10^{-6}$ から $+3.0 \times 10^{-6}$  [atm cc/sec]の範囲で安定した測定結果が得られた。

減圧法による漏洩測定の場合には、測定圧力は常に上昇し続ける。これは、構造材（ステンレス鋼）からのガス放出や水素ガスのステンレス鋼材の透過、または付着水分等の蒸発など、実際の漏洩以外の要因によるものと思われる。しかし、測定圧力の上昇は、始めの1～2時間が比較的大きく、その後は徐々に減少する傾向が見られ、漏洩量も安定する。

従って、測定時間を長くするほど得られる漏洩量は小さくなり、逆に言えば短時間で測定を終了した場合には、漏洩試験としては安全側に評価したことになる。

尚、7～8項における「微量漏洩量測定装置」の減圧法の予備試験では、設計目標であった $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以下の測定結果が得られなかったが、本装置では測定可能とな

った。この原因については不明であるが、フレキシブルホースの変更によるものか、測定値の分解能の向上（ソフト計算上では、各計器の測定を1秒毎に行い、その平均値を測定値として表示している。）によるものと考えられる。

加圧法による漏洩測定では、外気の温度変化により得られる漏洩量が大きくばらつく傾向がこれまでと同様に示されている。温度変化が比較的安定している場合（一定に温度が上昇または下降している場合）には、 $\pm 1.0 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]程度の測定が可能であるが、温度が変化する場合には $\pm 3.0 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]と3倍近くのハンチングが生じている。特に温度が上昇する場合にその傾向が顕著である。（正確には、雰囲気温度が上昇した時に、治具内部の測定圧力は上昇するが、治具内部のガス温度が追従しきれていない場合に、漏洩量のハンチングが生じる。）

本装置の予備試験結果からも、加圧法よりも減圧法による漏洩測定の方が、より安定しかつより小さい漏洩量が測定できることが明らかとなった。また、本装置の製作によって、最終目標であった $1 \times 10^{-5}$  [atm cc/sec]以下の漏洩測定が実現された。

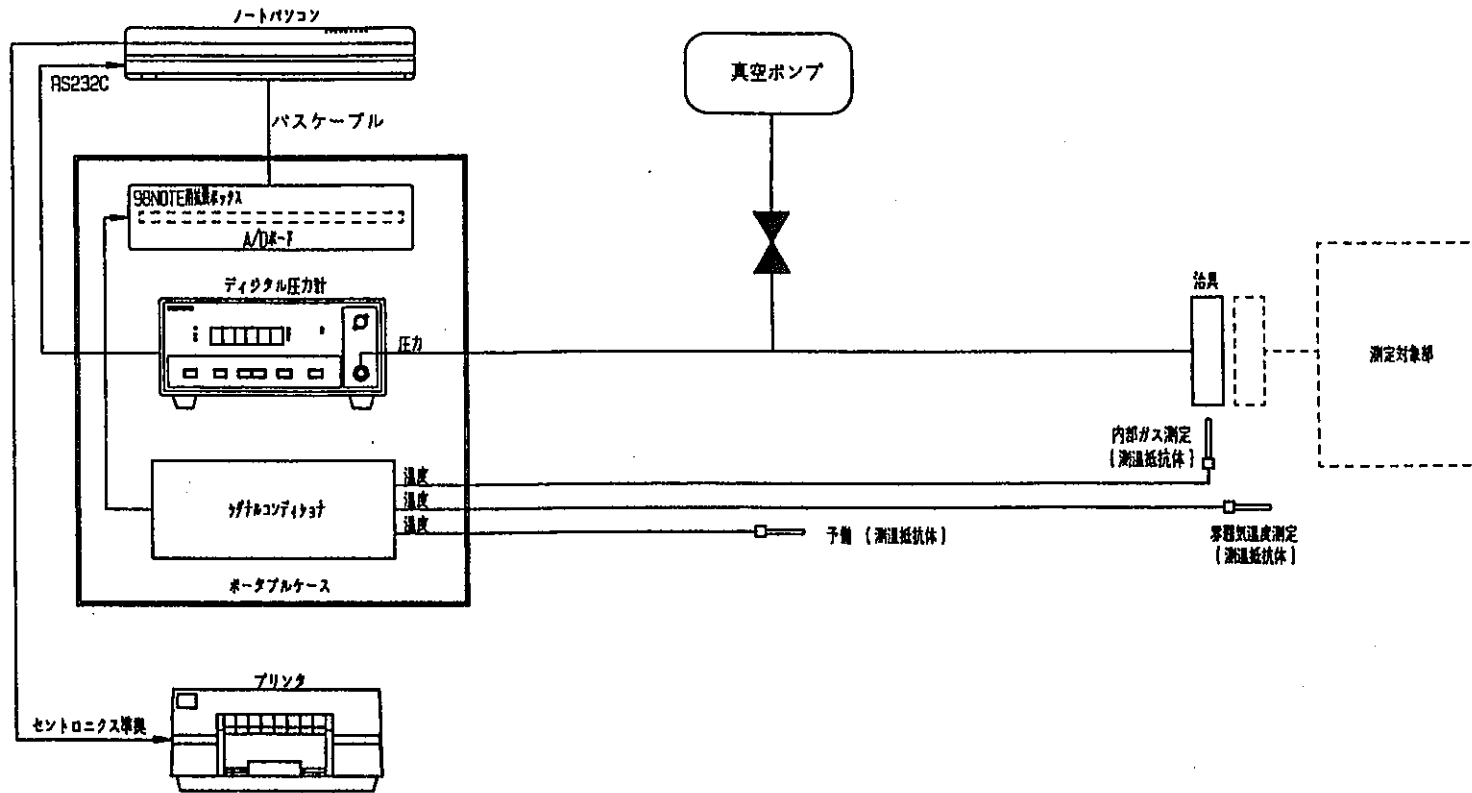


図 9.1 - 1 漏洩量測定装置の全体図

★ 98NOTE  
 型 式: PC-9821Nd/340W  
 メーカー: NEC  
 マイクロプロセッサ: IntelDX4 75MHz  
 メインメモリ: 標準5.6MB+増設4MB合計9.6MB  
 表示方式: TFTカラー液晶ディスプレイ 9.5型  
 補助記憶装置: FDD3.5型(3E-F対応)X1F517内蔵  
 補助記憶装置: HDD340MB  
 電 源: AC100V±10% 50/60Hz(ACアダプター-駆動)  
 本体重量: 約3.9Kg

★ パソコン (プリンタポート付)  
 HP DeskJet 560J  
 型 式: C2626A/ABJ  
 メーカー: 横河・ヒューレット・パッカー  
 用紙サイズ: A4(210X297mm)・B5(182X257mm)  
 インタフェース: セットロ・スリット  
 電 源: AC100V 50/60Hz  
 本体重量: 約6.6Kg

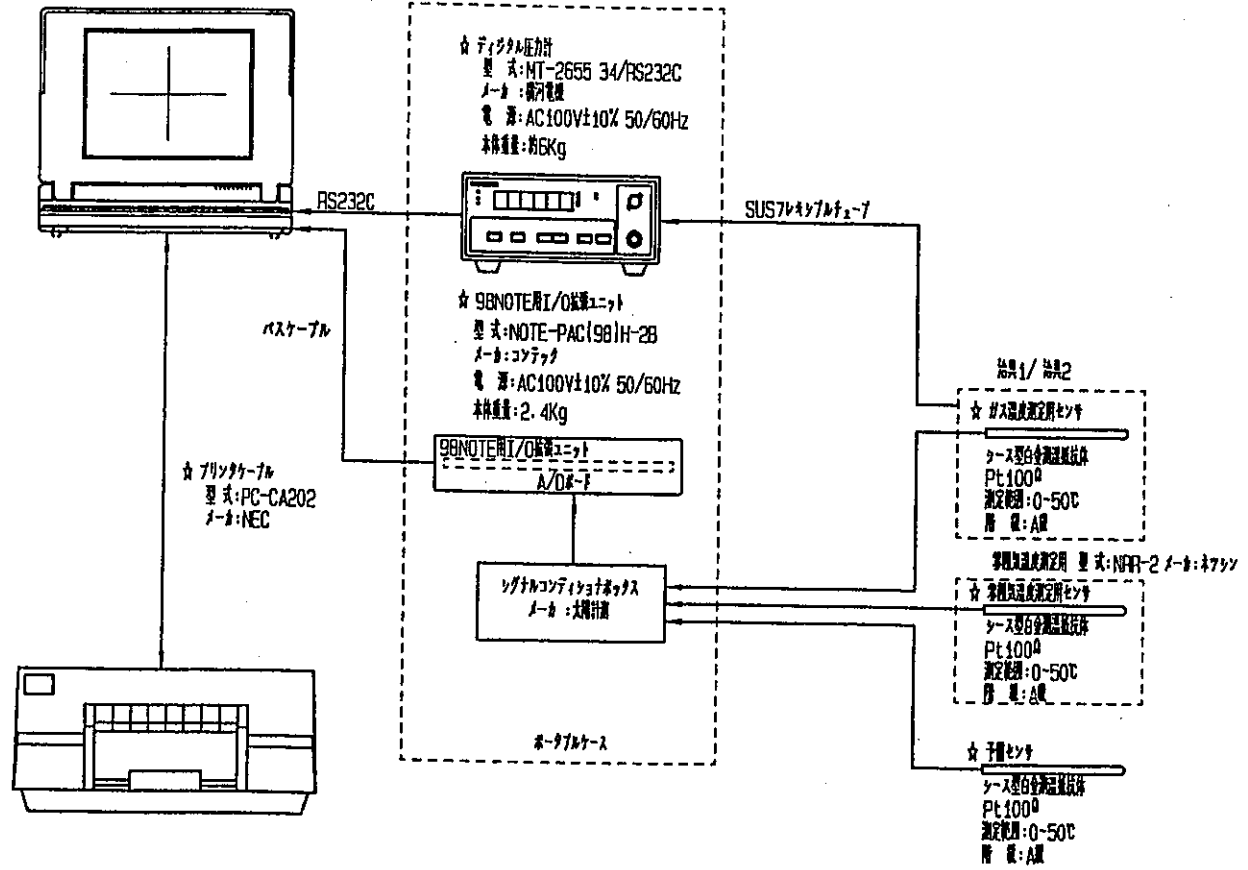


図 9. 1 - 2 漏洩量測定装置のシステム図

センサ名称  
 NP-1: ガス温度  
 NP-2: 雰囲気温度  
 NP-3: 予備Ch  
 ※名称銘板は貼り銘板とします

番号	名称	個数	型式	メーカ	備考
1	デジタル圧力計	1	MT-2655 34/RS232C	横河電機	重量: 約6Kg
2	ソフトコンディショナーボックス	1	材質: アルミ=2 塗装: マンセルN-3.0レーザー	太陽計測	重量: 約2Kg
3	ノートパソコン	1	PC9821Np/340w	NEC	重量: 約3.9Kg
4	I/O拡張ユニット	1	NOTE-PAC(98)H-2B	コンテック	重量: 約2.4Kg

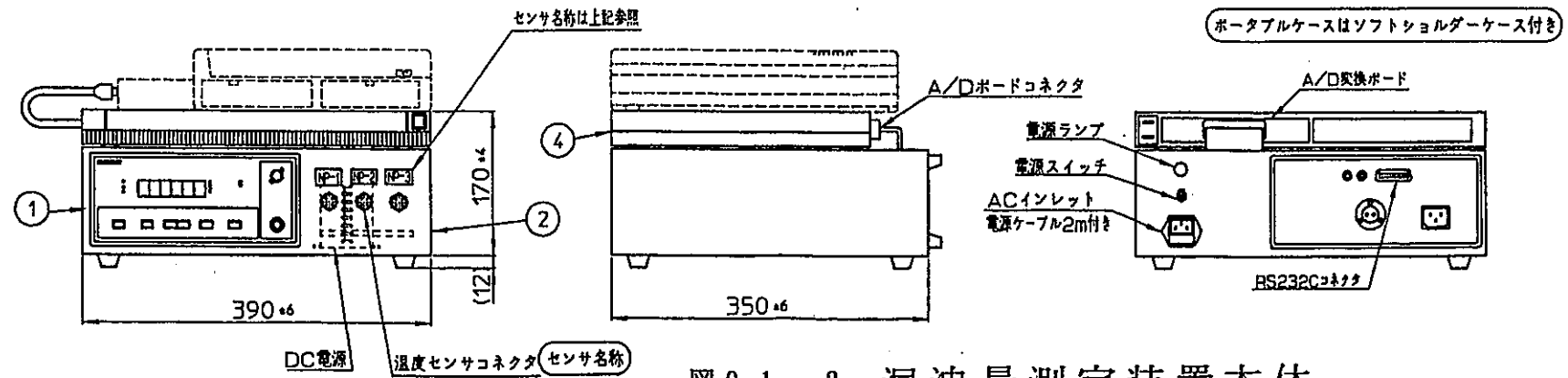
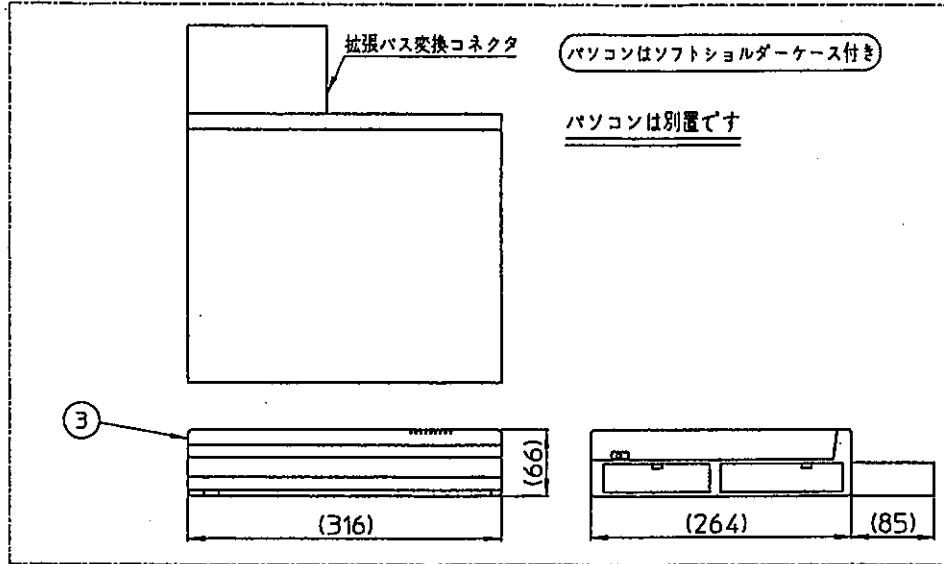
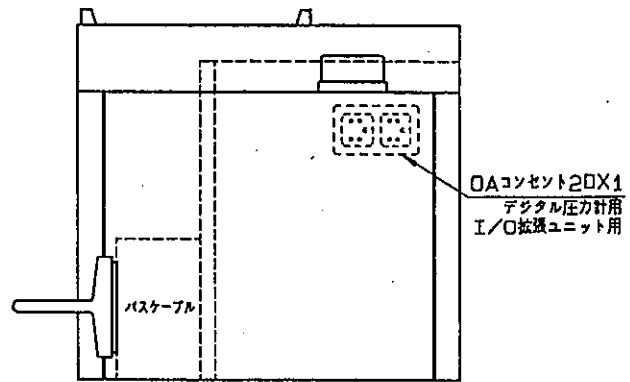
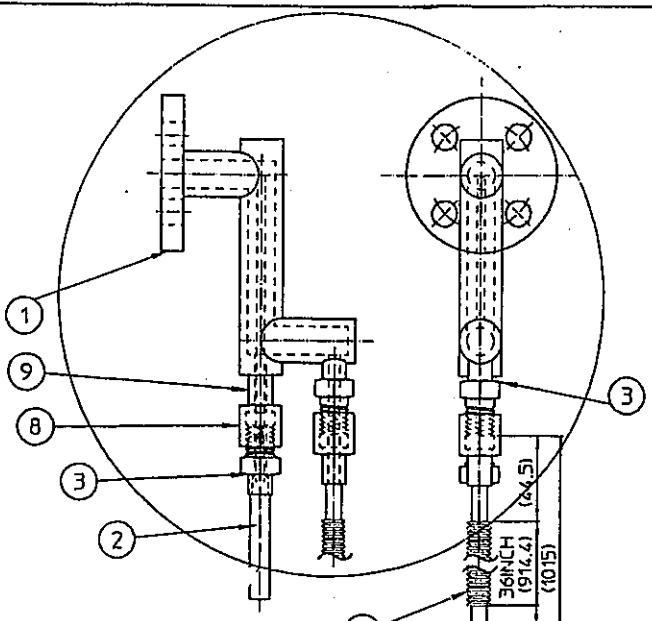


図 9.1 - 3 漏洩量測定装置本体

(圧力計、温度計、拡張ユニット、パソコン)



番号	名称	型式	個数	材質	備考
1	フランジ	(A100)	1	SUS304	
2	測温抵抗体		1	SUS304	ケーブル長: 2m
3	差し込み溶接コネクタ	SS-4-VCO-1 (CAJON)	2	SUS316	
4	SUSフレキシブルチューブ	321-4-X-36 (CAJON)	5	SUS316	
5	ティー	SS-4-TSW-3 (CAJON)	1	SUS316	
6	オナコネクタ	SS-4-VCO-1-4 (CAJON)	2	SUS316	
7	ベローズバルブ	SS-BNVC04 (NUPRO)	1	SUS316	
8	めすナット	SS-4-VCO-4 (CAJON)	1	SUS316	
9	差し込み溶接グラウンド	SS-4-VCO-3 (CAJON)	1	SUS316	



\* 測温抵抗体の予備は2本とします。

フランジ、バルブ以外は保温をします。

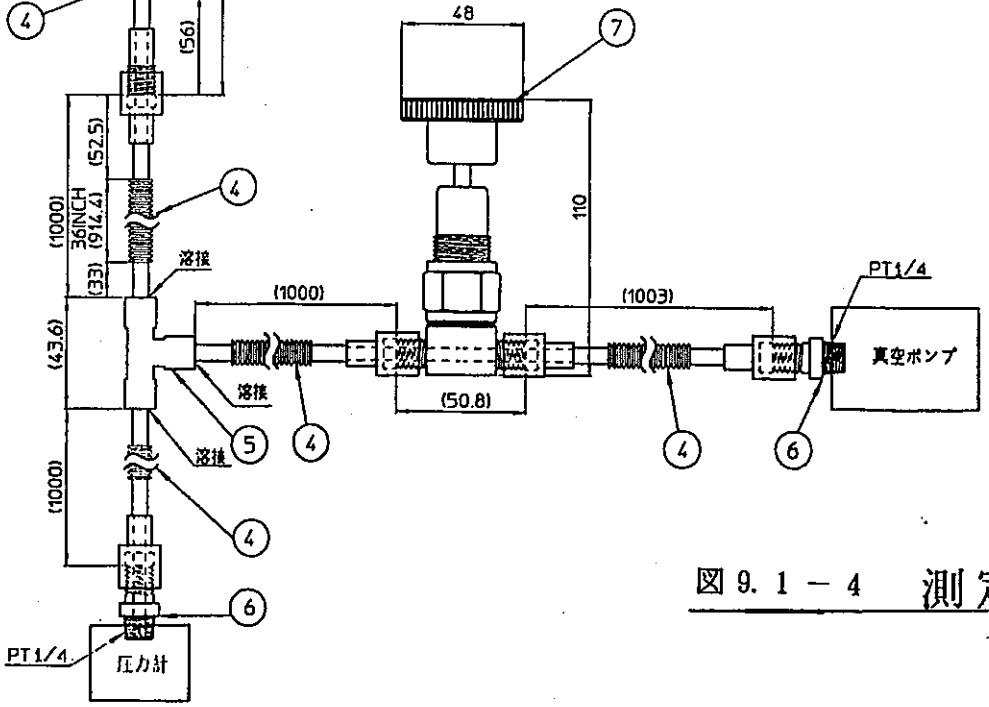


図 9. 1 - 4 測定器具 1



番号	名称	個数	材質	仕上・処理	備考
1	治具1测温抵抗体	3	SUS304		

— 仕様 —

抵抗素子 Pt100Ω  
 階級 JISA級  
 規定電流 1mA  
 導線数 4線式  
 測定温度範囲 0-50℃  
 リード線長さ 2000mm

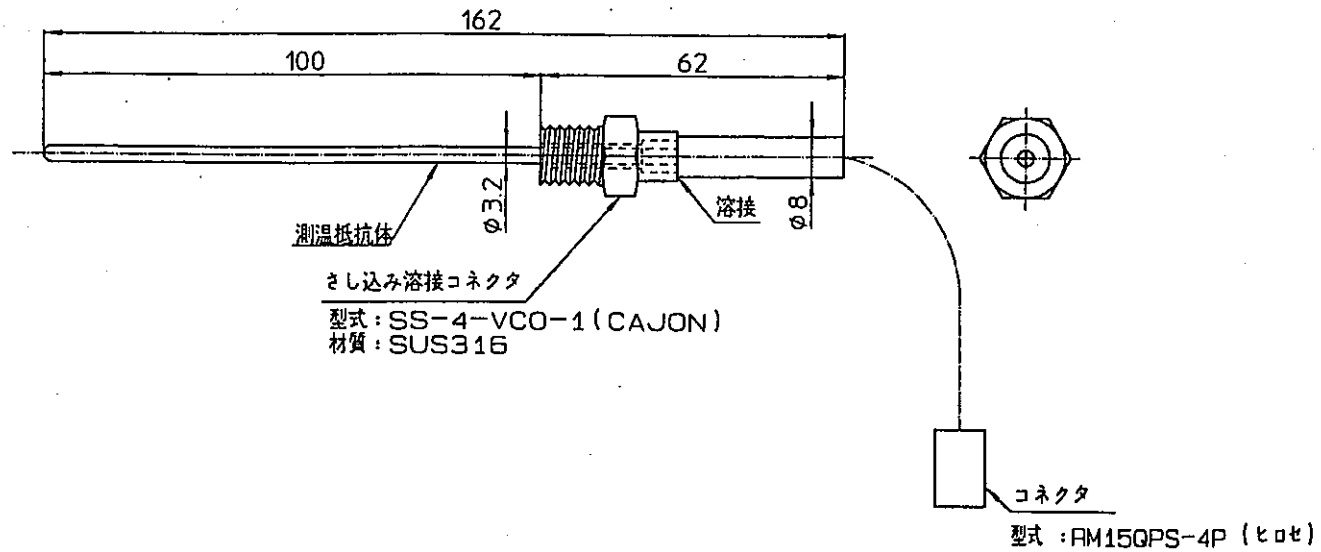


図 9.1 - 6 测温抵抗体センサ (治具 1 用)

番号	名称	個数	材質	仕上・処理	備考
1	治具2测温抵抗体	3	SUS304		

— 仕様 —

抵抗素子 Pt100Ω  
 階級 JISA級  
 規定電流 1mA  
 導線数 4線式  
 測定温度範囲 0~50℃  
 リード線長さ 2000mm

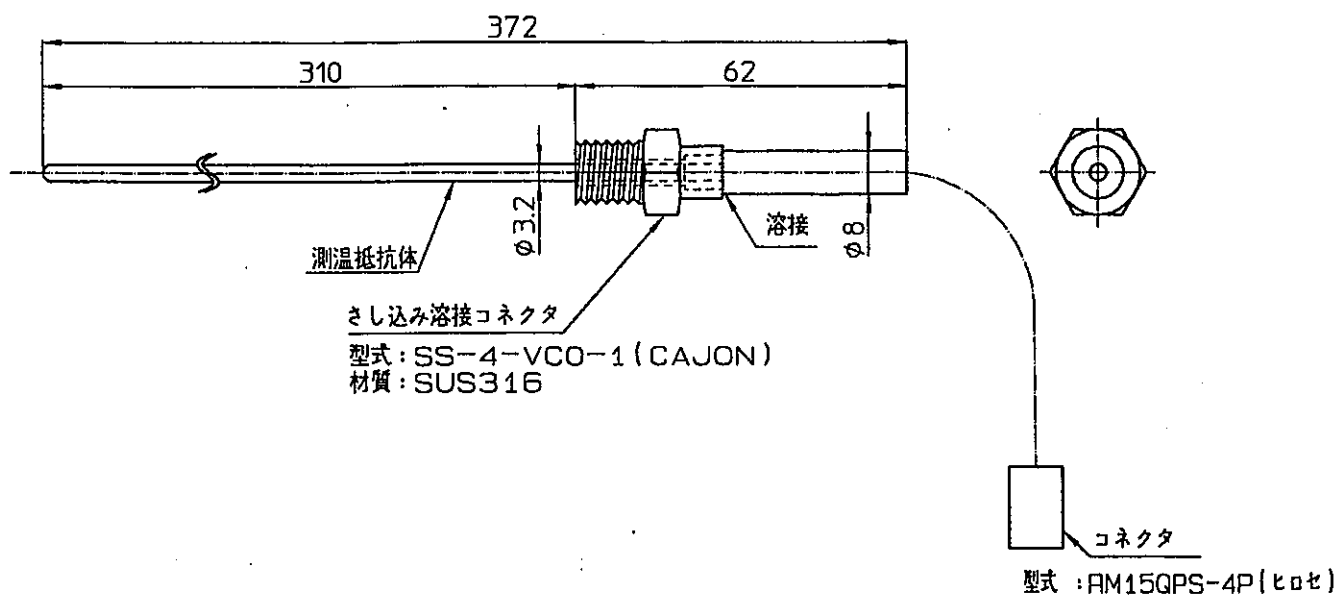


図 9.1 - 7 测温抵抗体センサ (治具 2 用)

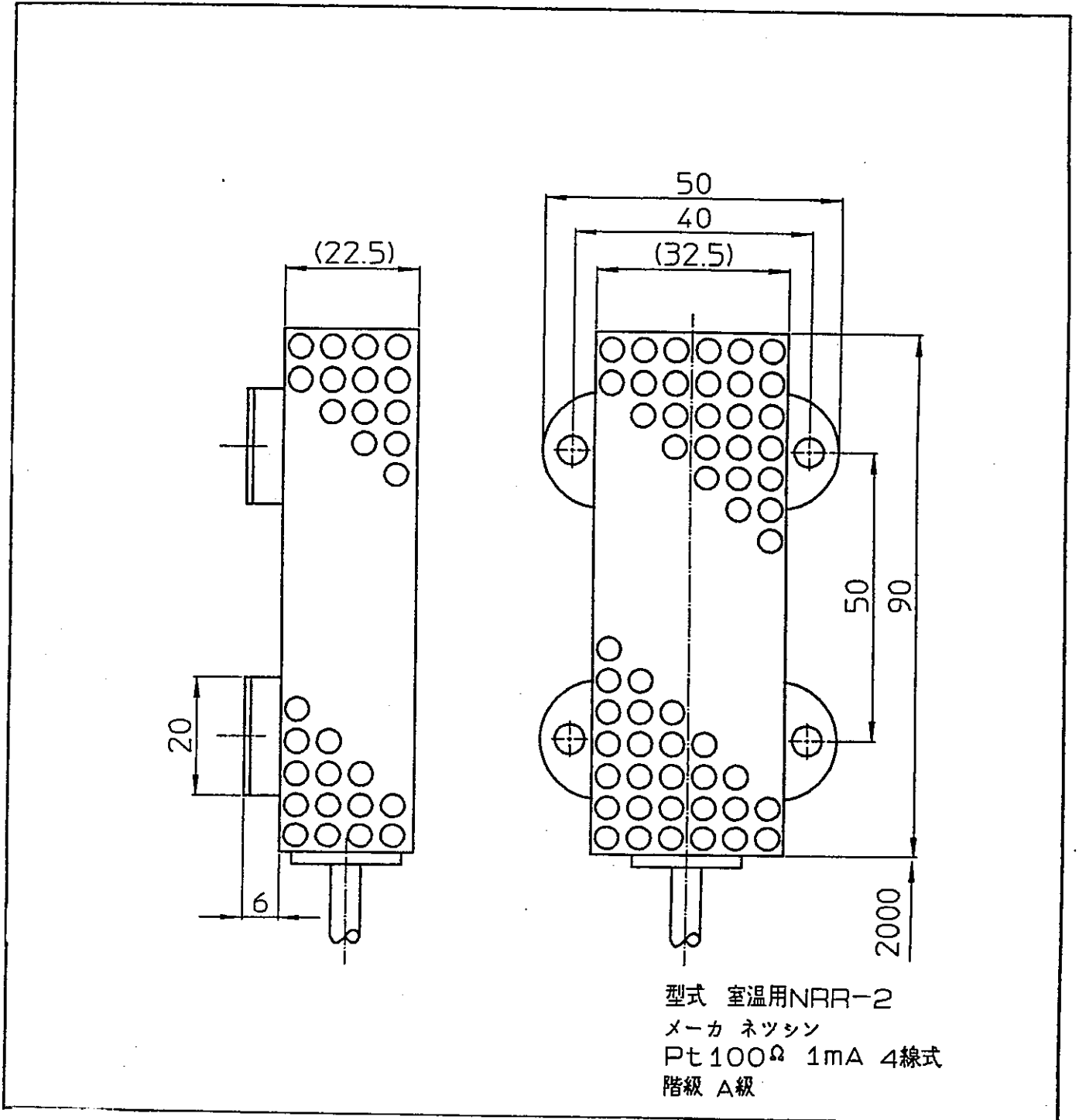


図 9. 1 - 8 測温抵抗体センサ (雾囲気測定用)

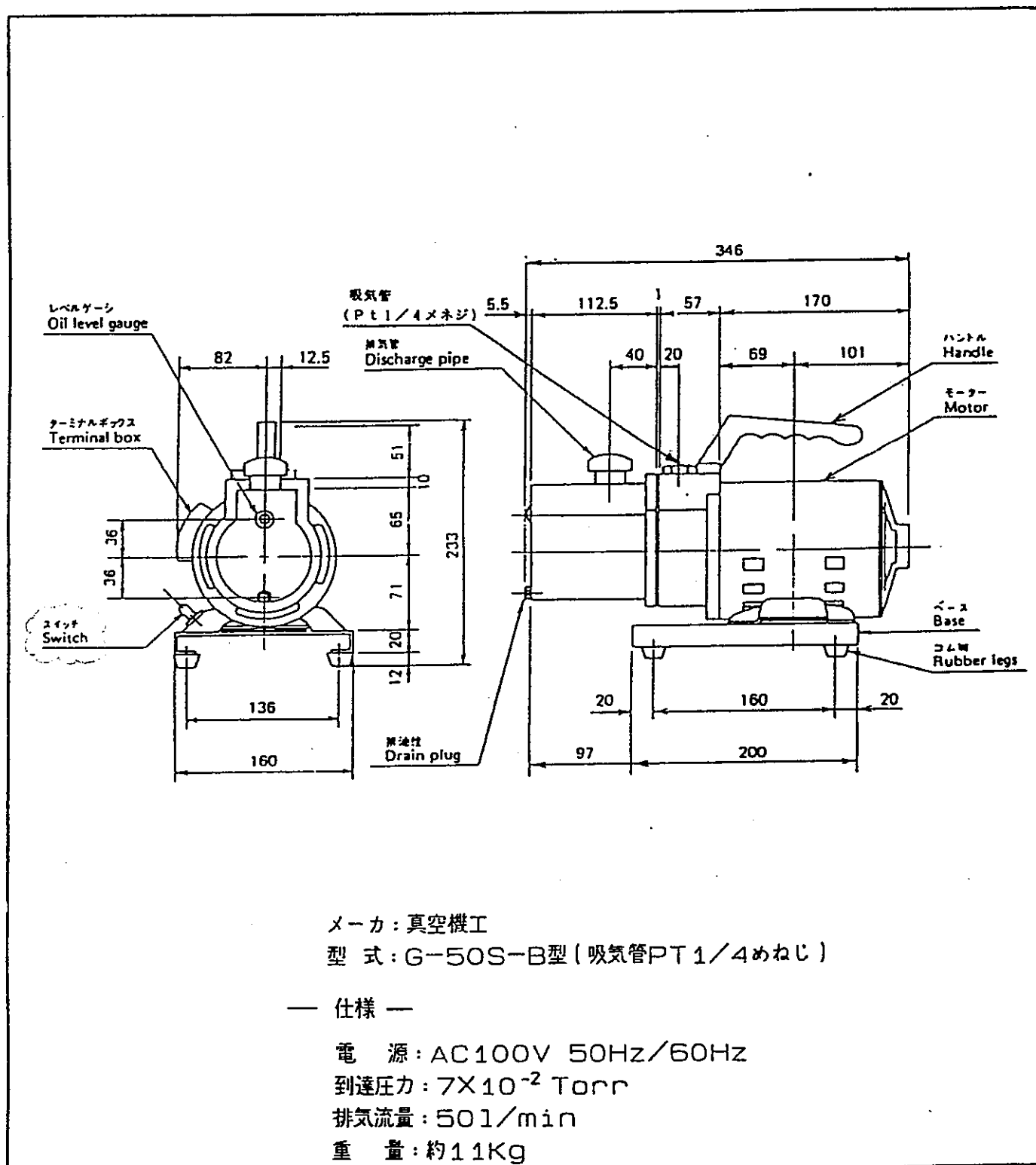
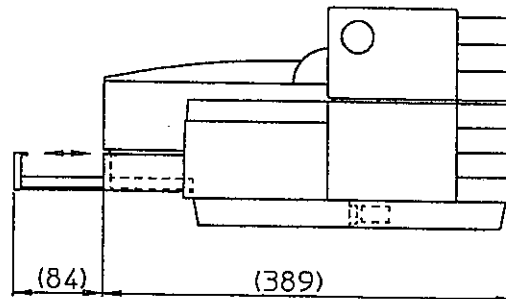
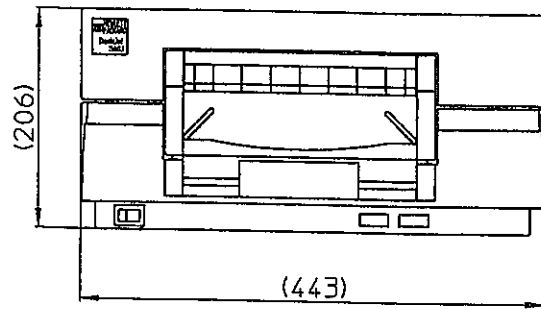
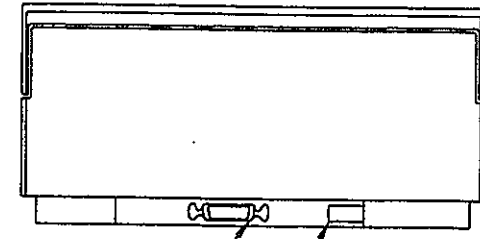
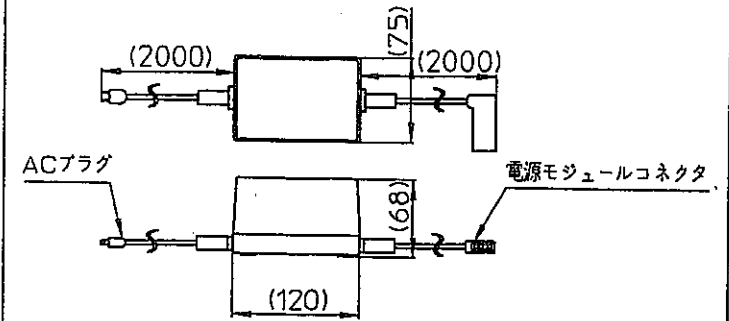


図 9. 1 - 9 真空ポンプ



電源モジュール(付属品)



インターフェースケーブル  
PC-CA202(NEC)1.6m付き

電源モジュール用

図 9.1-10 プリンタ

メーカー: 横河・ヒューレット・パッカード  
 型式: HP DeskJet560J C2626A#ABJ  
 電源: AC100V±10% 50/60Hz  
 重量: 約6.6Kg

漏洩量測定装置 sok11lv.img

95/05/29 11:19:39

測定部容積 2.170E+002 cc  
 判定基準 1.000E-005 atm\*cc/s  
 回帰時間 30 分  
 測定周期 10 秒

基準時刻 05/29 10:41:00

F 値 9.07E+003  
 F 分布値 3.915

平均漏洩量 2.70E-005 atm\*cc/s  
 95%信頼限界 ±5.61E-007 atm\*cc/s  
 合計漏洩量 2.76E-005 atm\*cc/s

有意差判定  合格  不合格

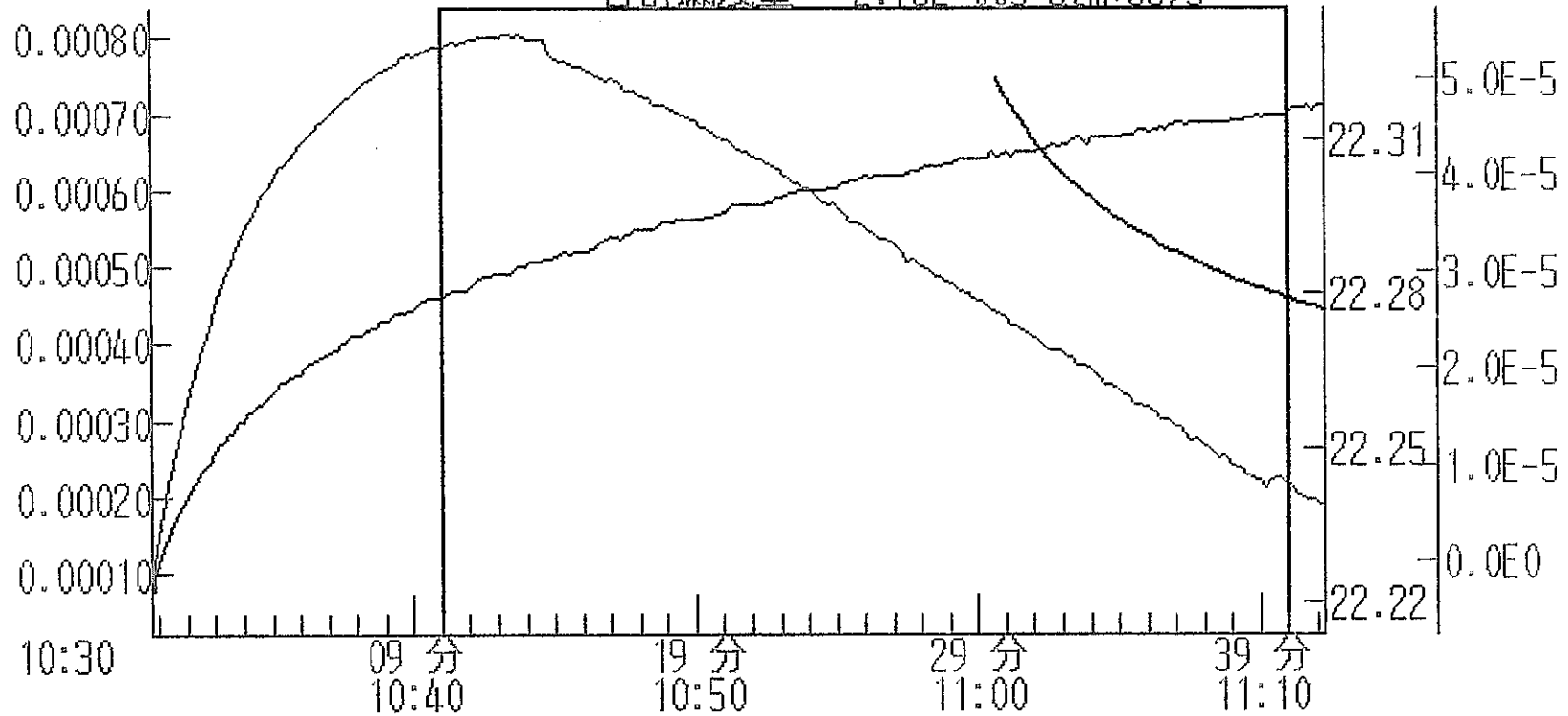


図9.3-1 治具1単体の試験結果  
 (全測定時間の測定値グラフ)



漏洩量測定装置 sok111v.img

測定部容積 2.170E+002 cc  
判定基準 1.000E-005 atm\*cc/s  
回帰時間 30 分  
測定周期 10 秒

測定圧力 0.00070 kaf/cm2  
補正圧力 0.00070 kaf/cm2  
室温 295.39 K 22.24 °C  
雰囲気温度 295.37 K 22.22 °C  
平均漏洩量 2.70E-005 atm\*cc/s  
標準偏差 2.84E-007 atm\*cc/s

95/05/29 11:19:44  
F 値 9.07E+003  
F 分布値 3.915

有意差判定  合格

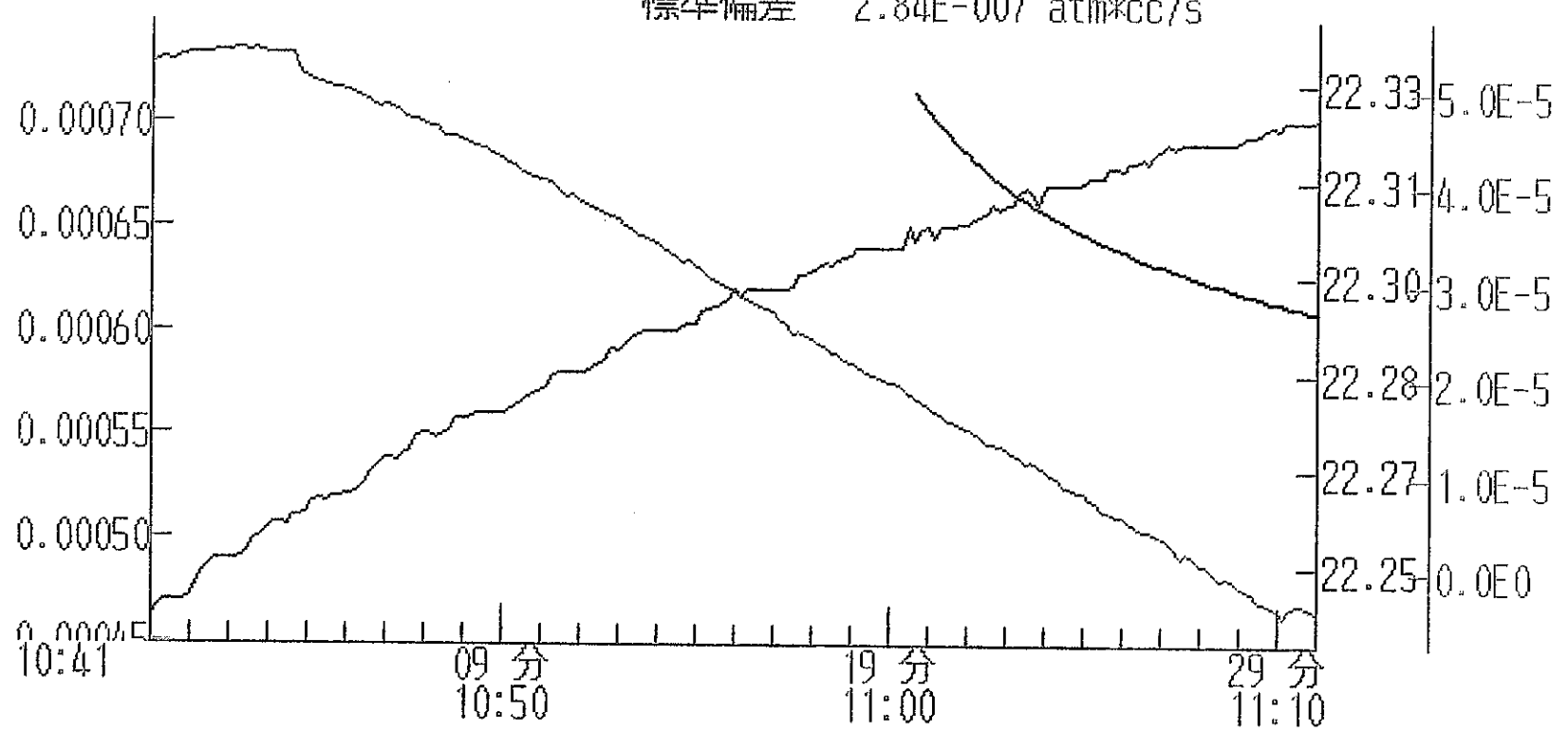


図9.3-2 治具1単体の試験結果  
(回帰時間の測定値グラフ)

漏洩量測定装置 sok11lv.img  
 治具1 + 旧装置 (減圧法の単体試験)

95/05/29 11:19:48

測定部容積 2.170E+002 cc

基準時刻 05/29 10:41:00

F値 9.07E+003

判定基準 1.000E-005 atm\*cc/s

F分布値 3.915

回帰時間 30分

平均漏洩量 2.70E-005 atm\*cc/s

有意差判定  合格  不合格

測定周期 10秒

95%信頼限界 ±5.61E-007 atm\*cc/s

合計漏洩量 2.76E-005 atm\*cc/s

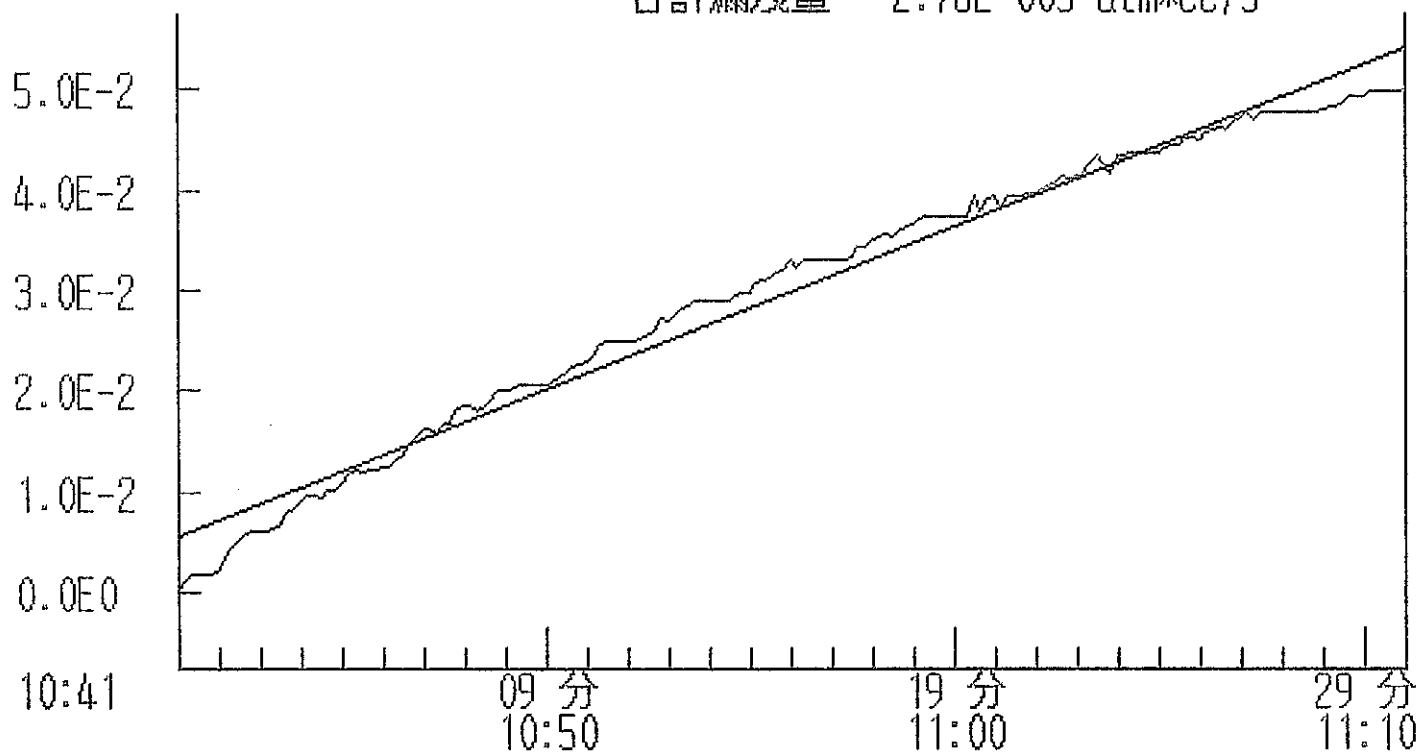


図9.3-3 治具1単体の試験結果

(回帰時間の漏洩量グラフ)

表 9.3 - 1 ( 1 / 3 ) 治具 1 単体の試験結果

( 回帰時間の測定データ )

測定時刻	開始経過	測定圧力	補正圧力	ガス温度	雰囲気Ch	予備Ch	基準経過	漏洩量	平均漏洩量
10:41:00:00	10:20	0.000461	0.000457	295.482	295.574	295.498	00:00:00	0.00E+000	
10:41:10:00	10:30	0.000466	0.000462	295.482	295.573	295.499	00:00:10	1.04E-003	
10:41:20:00	10:40	0.000470	0.000466	295.482	295.572	295.498	00:00:20	1.88E-003	
10:41:30:00	10:50	0.000470	0.000466	295.482	295.571	295.498	00:00:30	1.88E-003	
10:41:40:00	11:00	0.000470	0.000466	295.483	295.570	295.497	00:00:40	1.87E-003	
10:41:50:00	11:10	0.000470	0.000466	295.483	295.569	295.497	00:00:50	1.87E-003	
10:42:00:00	11:20	0.000472	0.000468	295.483	295.568	295.496	00:01:00	2.29E-003	
10:42:10:00	11:30	0.000478	0.000474	295.483	295.567	295.496	00:01:10	3.54E-003	
10:42:20:00	11:40	0.000483	0.000479	295.483	295.566	295.496	00:01:20	4.58E-003	
10:42:30:00	11:50	0.000487	0.000483	295.483	295.565	295.496	00:01:30	5.42E-003	
10:42:40:00	12:00	0.000489	0.000485	295.484	295.563	295.495	00:01:40	5.83E-003	
10:42:50:00	12:10	0.000490	0.000486	295.484	295.562	295.495	00:01:50	6.04E-003	
10:43:00:00	12:20	0.000490	0.000486	295.484	295.560	295.495	00:02:00	6.04E-003	
10:43:10:00	12:30	0.000490	0.000486	295.484	295.559	295.494	00:02:10	6.04E-003	
10:43:20:00	12:40	0.000491	0.000487	295.484	295.558	295.494	00:02:20	6.25E-003	
10:43:30:00	12:50	0.000494	0.000490	295.484	295.557	295.494	00:02:30	6.88E-003	
10:43:40:00	13:00	0.000499	0.000495	295.484	295.555	295.493	00:02:40	7.92E-003	
10:43:50:00	13:10	0.000501	0.000497	295.484	295.553	295.492	00:02:50	8.33E-003	
10:44:00:00	13:20	0.000505	0.000501	295.483	295.551	295.492	00:03:00	9.17E-003	
10:44:10:00	13:30	0.000507	0.000503	295.483	295.550	295.492	00:03:10	9.58E-003	
10:44:20:00	13:40	0.000507	0.000503	295.483	295.548	295.492	00:03:20	9.58E-003	
10:44:30:00	13:50	0.000506	0.000502	295.483	295.547	295.491	00:03:30	9.38E-003	
10:44:40:00	14:00	0.000510	0.000506	295.483	295.545	295.490	00:03:40	1.02E-002	
10:44:50:00	14:10	0.000510	0.000506	295.480	295.542	295.488	00:03:50	1.02E-002	
10:45:00:00	14:20	0.000513	0.000509	295.479	295.541	295.487	00:04:00	1.08E-002	
10:45:10:00	14:30	0.000517	0.000513	295.479	295.539	295.487	00:04:10	1.17E-002	
10:45:20:00	14:40	0.000519	0.000515	295.479	295.538	295.486	00:04:20	1.21E-002	
10:45:30:00	14:50	0.000518	0.000514	295.478	295.536	295.486	00:04:30	1.19E-002	
10:45:40:00	15:00	0.000520	0.000516	295.478	295.533	295.486	00:04:40	1.23E-002	
10:45:50:00	15:10	0.000520	0.000516	295.478	295.531	295.486	00:04:50	1.23E-002	
10:46:00:00	15:20	0.000521	0.000517	295.477	295.530	295.485	00:05:00	1.25E-002	
10:46:10:00	15:30	0.000521	0.000517	295.477	295.528	295.485	00:05:10	1.25E-002	
10:46:20:00	15:40	0.000524	0.000520	295.477	295.526	295.484	00:05:20	1.31E-002	
10:46:30:00	15:50	0.000527	0.000523	295.476	295.524	295.483	00:05:30	1.38E-002	
10:46:40:00	16:00	0.000532	0.000528	295.475	295.522	295.483	00:05:40	1.48E-002	
10:46:50:00	16:10	0.000535	0.000531	295.475	295.519	295.482	00:05:50	1.54E-002	
10:47:00:00	16:20	0.000539	0.000535	295.475	295.518	295.482	00:06:00	1.63E-002	
10:47:10:00	16:30	0.000539	0.000535	295.474	295.516	295.482	00:06:10	1.63E-002	
10:47:20:00	16:40	0.000537	0.000533	295.474	295.514	295.481	00:06:20	1.58E-002	
10:47:30:00	16:50	0.000541	0.000537	295.473	295.512	295.480	00:06:30	1.67E-002	
10:47:40:00	17:00	0.000542	0.000538	295.473	295.511	295.480	00:06:40	1.69E-002	
10:47:50:00	17:10	0.000549	0.000545	295.473	295.509	295.480	00:06:50	1.83E-002	
10:48:00:00	17:20	0.000550	0.000546	295.472	295.508	295.479	00:07:00	1.85E-002	
10:48:10:00	17:30	0.000550	0.000546	295.471	295.506	295.479	00:07:10	1.85E-002	
10:48:20:00	17:40	0.000548	0.000544	295.471	295.505	295.479	00:07:20	1.81E-002	
10:48:30:00	17:50	0.000550	0.000546	295.470	295.503	295.478	00:07:30	1.85E-002	
10:48:40:00	18:00	0.000552	0.000548	295.470	295.501	295.478	00:07:40	1.90E-002	
10:48:50:00	18:10	0.000557	0.000553	295.470	295.500	295.477	00:07:50	2.00E-002	
10:49:00:00	18:20	0.000557	0.000553	295.469	295.498	295.476	00:08:00	2.00E-002	
10:49:10:00	18:30	0.000557	0.000553	295.469	295.497	295.476	00:08:10	2.00E-002	
10:49:20:00	18:40	0.000560	0.000556	295.468	295.496	295.476	00:08:20	2.06E-002	
10:49:30:00	18:50	0.000560	0.000556	295.468	295.493	295.475	00:08:30	2.06E-002	
10:49:40:00	19:00	0.000560	0.000556	295.467	295.492	295.474	00:08:40	2.06E-002	
10:49:50:00	19:10	0.000560	0.000556	295.467	295.490	295.474	00:08:50	2.06E-002	
10:50:00:00	19:20	0.000560	0.000556	295.466	295.489	295.474	00:09:00	2.06E-002	
10:50:10:00	19:30	0.000561	0.000557	295.465	295.488	295.473	00:09:10	2.08E-002	
10:50:20:00	19:40	0.000563	0.000559	295.465	295.487	295.472	00:09:20	2.13E-002	
10:50:30:00	19:50	0.000566	0.000562	295.464	295.486	295.472	00:09:30	2.19E-002	
10:50:40:00	20:00	0.000568	0.000564	295.464	295.484	295.471	00:09:40	2.23E-002	
10:50:50:00	20:10	0.000569	0.000565	295.463	295.483	295.471	00:09:50	2.25E-002	
10:51:00:00	20:20	0.000571	0.000567	295.463	295.483	295.471	00:10:00	2.29E-002	
10:51:10:00	20:30	0.000573	0.000569	295.463	295.482	295.470	00:10:10	2.33E-002	
10:51:20:00	20:40	0.000579	0.000574	295.462	295.481	295.470	00:10:20	2.46E-002	
10:51:30:00	20:50	0.000580	0.000575	295.461	295.480	295.469	00:10:30	2.48E-002	
10:51:40:00	21:00	0.000580	0.000575	295.460	295.478	295.469	00:10:40	2.48E-002	
10:51:50:00	21:10	0.000580	0.000575	295.460	295.476	295.468	00:10:50	2.48E-002	
10:52:00:00	21:20	0.000580	0.000575	295.459	295.474	295.467	00:11:00	2.48E-002	
10:52:10:00	21:30	0.000580	0.000575	295.459	295.473	295.467	00:11:10	2.48E-002	
10:52:20:00	21:40	0.000582	0.000577	295.459	295.471	295.466	00:11:20	2.52E-002	

表 9.3 - 1 ( 2 / 3 ) 治具 1 単体の試験結果 ( 回帰時間の測定データ )

10:52:3000:21:50	0.000584	0.000579	295.458	295.470	295.465	00:11:30	2.56E-002
10:52:4000:22:00	0.000585	0.000580	295.457	295.469	295.465	00:11:40	2.58E-002
10:52:5000:22:10	0.000591	0.000586	295.457	295.468	295.465	00:11:50	2.71E-002
10:53:0000:22:20	0.000590	0.000585	295.456	295.467	295.464	00:12:00	2.69E-002
10:53:1000:22:30	0.000593	0.000588	295.455	295.465	295.464	00:12:10	2.75E-002
10:53:2000:22:40	0.000596	0.000591	295.455	295.463	295.463	00:12:20	2.81E-002
10:53:3000:22:50	0.000598	0.000593	295.454	295.462	295.462	00:12:30	2.86E-002
10:53:4000:23:00	0.000600	0.000595	295.454	295.461	295.462	00:12:40	2.90E-002
10:53:5000:23:10	0.000600	0.000595	295.453	295.460	295.462	00:12:50	2.90E-002
10:54:0000:23:20	0.000600	0.000595	295.453	295.460	295.461	00:13:00	2.90E-002
10:54:1000:23:30	0.000600	0.000595	295.452	295.458	295.460	00:13:10	2.90E-002
10:54:2000:23:40	0.000600	0.000595	295.451	295.457	295.460	00:13:20	2.90E-002
10:54:3000:23:50	0.000600	0.000595	295.450	295.456	295.460	00:13:30	2.90E-002
10:54:4000:24:00	0.000602	0.000597	295.449	295.455	295.459	00:13:40	2.94E-002
10:54:5000:24:10	0.000603	0.000598	295.450	295.454	295.459	00:13:50	2.96E-002
10:55:0000:24:20	0.000603	0.000598	295.449	295.453	295.459	00:14:00	2.96E-002
10:55:1000:24:30	0.000609	0.000604	295.448	295.452	295.458	00:14:10	3.09E-002
10:55:2000:24:40	0.000610	0.000605	295.447	295.450	295.457	00:14:20	3.11E-002
10:55:3000:24:50	0.000611	0.000606	295.446	295.448	295.456	00:14:30	3.13E-002
10:55:4000:25:00	0.000613	0.000608	295.446	295.447	295.456	00:14:40	3.17E-002
10:55:5000:25:10	0.000615	0.000610	295.445	295.446	295.456	00:14:50	3.21E-002
10:56:0000:25:20	0.000619	0.000614	295.445	295.444	295.455	00:15:00	3.29E-002
10:56:1000:25:30	0.000616	0.000611	295.444	295.443	295.454	00:15:10	3.23E-002
10:56:2000:25:40	0.000620	0.000615	295.443	295.442	295.454	00:15:20	3.31E-002
10:56:3000:25:50	0.000620	0.000615	295.443	295.441	295.454	00:15:30	3.31E-002
10:56:4000:26:00	0.000620	0.000615	295.442	295.440	295.453	00:15:40	3.31E-002
10:56:5000:26:10	0.000620	0.000615	295.442	295.439	295.453	00:15:50	3.31E-002
10:57:0000:26:20	0.000620	0.000615	295.441	295.438	295.452	00:16:00	3.31E-002
10:57:1000:26:30	0.000620	0.000615	295.440	295.437	295.452	00:16:10	3.31E-002
10:57:2000:26:40	0.000620	0.000615	295.439	295.436	295.451	00:16:20	3.31E-002
10:57:3000:26:50	0.000621	0.000616	295.438	295.436	295.451	00:16:30	3.34E-002
10:57:4000:27:00	0.000626	0.000621	295.438	295.435	295.450	00:16:40	3.44E-002
10:57:5000:27:10	0.000626	0.000621	295.438	295.434	295.449	00:16:50	3.44E-002
10:58:0000:27:20	0.000629	0.000624	295.437	295.433	295.449	00:17:00	3.50E-002
10:58:1000:27:30	0.000630	0.000625	295.436	295.432	295.449	00:17:10	3.52E-002
10:58:2000:27:40	0.000632	0.000627	295.436	295.431	295.448	00:17:20	3.57E-002
10:58:3000:27:50	0.000631	0.000626	295.435	295.430	295.447	00:17:30	3.54E-002
10:58:4000:28:00	0.000633	0.000628	295.435	295.429	295.447	00:17:40	3.59E-002
10:58:5000:28:10	0.000635	0.000630	295.434	295.427	295.447	00:17:50	3.63E-002
10:59:0000:28:20	0.000636	0.000631	295.433	295.427	295.446	00:18:00	3.65E-002
10:59:1000:28:30	0.000639	0.000634	295.433	295.426	295.445	00:18:10	3.71E-002
10:59:2000:28:40	0.000640	0.000635	295.432	295.425	295.445	00:18:20	3.73E-002
10:59:3000:28:50	0.000640	0.000635	295.431	295.424	295.444	00:18:30	3.73E-002
10:59:4000:29:00	0.000640	0.000635	295.431	295.423	295.444	00:18:40	3.73E-002
10:59:5000:29:10	0.000640	0.000635	295.430	295.422	295.444	00:18:50	3.73E-002
11:00:0000:29:20	0.000640	0.000635	295.430	295.421	295.443	00:19:00	3.73E-002
11:00:1000:29:30	0.000640	0.000635	295.430	295.421	295.442	00:19:10	3.73E-002
11:00:2000:29:40	0.000640	0.000635	295.429	295.419	295.442	00:19:20	3.73E-002
11:00:3000:29:50	0.000650	0.000645	295.428	295.418	295.441	00:19:30	3.94E-002
11:00:4000:30:00	0.000643	0.000638	295.428	295.417	295.441	00:19:40	3.79E-002
11:00:5000:30:10	0.000649	0.000644	295.427	295.416	295.440	00:19:50	3.92E-002
11:01:0000:30:20	0.000650	0.000645	295.426	295.416	295.440	00:20:00	3.94E-002
11:01:1000:30:30	0.000644	0.000639	295.425	295.415	295.439	00:20:10	3.82E-002
11:01:2000:30:40	0.000650	0.000645	295.425	295.414	295.439	00:20:20	3.94E-002
11:01:3000:30:50	0.000650	0.000645	295.424	295.413	295.438	00:20:30	3.94E-002
11:01:4000:31:00	0.000650	0.000645	295.424	295.412	295.438	00:20:40	3.94E-002
11:01:5000:31:10	0.000651	0.000646	295.423	295.412	295.438	00:20:50	3.96E-002
11:02:0000:31:20	0.000651	0.000646	295.422	295.410	295.436	00:21:00	3.96E-002
11:02:1000:31:30	0.000653	0.000648	295.422	295.410	295.436	00:21:10	4.00E-002
11:02:2000:31:40	0.000655	0.000650	295.421	295.409	295.435	00:21:20	4.05E-002
11:02:3000:31:50	0.000657	0.000652	295.420	295.408	295.435	00:21:30	4.09E-002
11:02:4000:32:00	0.000660	0.000655	295.420	295.408	295.435	00:21:40	4.15E-002
11:02:5000:32:10	0.000658	0.000653	295.420	295.406	295.434	00:21:50	4.11E-002
11:03:0000:32:20	0.000660	0.000655	295.419	295.406	295.434	00:22:00	4.15E-002
11:03:1000:32:30	0.000661	0.000656	295.419	295.405	295.433	00:22:10	4.17E-002
11:03:2000:32:40	0.000666	0.000661	295.418	295.404	295.432	00:22:20	4.27E-002
11:03:3000:32:50	0.000669	0.000664	295.417	295.403	295.431	00:22:30	4.34E-002
11:03:4000:33:00	0.000666	0.000661	295.417	295.402	295.432	00:22:40	4.27E-002
11:03:5000:33:10	0.000661	0.000656	295.417	295.401	295.431	00:22:50	4.17E-002
11:04:0000:33:20	0.000670	0.000665	295.416	295.401	295.430	00:23:00	4.36E-002
11:04:1000:33:30	0.000670	0.000665	295.415	295.400	295.429	00:23:10	4.36E-002
11:04:2000:33:40	0.000670	0.000665	295.414	295.399	295.429	00:23:20	4.36E-002
11:04:3000:33:50	0.000670	0.000665	295.413	295.398	295.428	00:23:30	4.36E-002
11:04:4000:34:00	0.000670	0.000665	295.413	295.398	295.428	00:23:40	4.36E-002
11:04:5000:34:10	0.000670	0.000665	295.412	295.397	295.427	00:23:50	4.36E-002
11:05:0000:34:20	0.000671	0.000666	295.412	295.397	295.426	00:24:00	4.38E-002
11:05:1000:34:30	0.000673	0.000668	295.411	295.396	295.426	00:24:10	4.42E-002
11:05:2000:34:40	0.000674	0.000669	295.410	295.396	295.425	00:24:20	4.44E-002
11:05:3000:34:50	0.000674	0.000669	295.409	295.394	295.425	00:24:30	4.44E-002
11:05:4000:35:00	0.000678	0.000673	295.409	295.394	295.425	00:24:40	4.53E-002
11:05:5000:35:10	0.000678	0.000673	295.408	295.394	295.424	00:24:50	4.53E-002
11:06:0000:35:20	0.000677	0.000672	295.408	295.393	295.424	00:25:00	4.50E-002
11:06:1000:35:30	0.000680	0.000675	295.408	295.392	295.423	00:25:10	4.57E-002
							5.00E-005
							4.90E-005
							4.81E-005
							4.72E-005
							4.64E-005
							4.56E-005
							4.49E-005
							4.42E-005
							4.35E-005
							4.29E-005
							4.23E-005
							4.17E-005
							4.12E-005
							4.07E-005
							4.01E-005
							3.97E-005
							3.92E-005
							3.88E-005
							3.83E-005
							3.79E-005
							3.75E-005
							3.71E-005
							3.67E-005
							3.64E-005
							3.60E-005
							3.57E-005
							3.53E-005
							3.50E-005
							3.46E-005
							3.43E-005
							3.40E-005
							3.37E-005
							3.34E-005
							3.31E-005

表 9.3 - 1 ( 3 / 3 ) 治具 1 単体の試験結果 ( 回帰時間の測定データ )

11:06:2000:35:40	0.000681	0.000676	295.407	295.391	295.423	00:25:20	4.59E-002	3.29E-005
11:06:3000:35:50	0.000683	0.000678	295.406	295.389	295.421	00:25:30	4.63E-002	3.26E-005
11:06:4000:36:00	0.000681	0.000676	295.406	295.389	295.421	00:25:40	4.59E-002	3.24E-005
11:06:5000:36:10	0.000685	0.000680	295.405	295.389	295.421	00:25:50	4.67E-002	3.21E-005
11:07:0000:36:20	0.000688	0.000683	295.405	295.388	295.420	00:26:00	4.73E-002	3.19E-005
11:07:1000:36:30	0.000690	0.000685	295.404	295.387	295.419	00:26:10	4.78E-002	3.16E-005
11:07:2000:36:40	0.000687	0.000682	295.403	295.386	295.419	00:26:20	4.71E-002	3.14E-005
11:07:3000:36:50	0.000690	0.000685	295.402	295.384	295.418	00:26:30	4.78E-002	3.12E-005
11:07:4000:37:00	0.000690	0.000685	295.402	295.384	295.418	00:26:40	4.78E-002	3.09E-005
11:07:5000:37:10	0.000690	0.000685	295.402	295.383	295.418	00:26:50	4.78E-002	3.07E-005
11:08:0000:37:20	0.000690	0.000685	295.400	295.382	295.417	00:27:00	4.78E-002	3.05E-005
11:08:1000:37:30	0.000690	0.000685	295.400	295.381	295.416	00:27:10	4.78E-002	3.03E-005
11:08:2000:37:40	0.000690	0.000685	295.399	295.380	295.416	00:27:20	4.78E-002	3.01E-005
11:08:3000:37:50	0.000690	0.000685	295.398	295.379	295.414	00:27:30	4.78E-002	2.98E-005
11:08:4000:38:00	0.000690	0.000685	295.398	295.378	295.415	00:27:40	4.78E-002	2.96E-005
11:08:5000:38:10	0.000690	0.000685	295.398	295.377	295.414	00:27:50	4.78E-002	2.94E-005
11:09:0000:38:20	0.000691	0.000686	295.397	295.376	295.413	00:28:00	4.80E-002	2.92E-005
11:09:1000:38:30	0.000693	0.000688	295.396	295.376	295.413	00:28:10	4.84E-002	2.90E-005
11:09:2000:38:40	0.000693	0.000688	295.396	295.374	295.412	00:28:20	4.84E-002	2.88E-005
11:09:3000:38:50	0.000695	0.000690	295.394	295.373	295.411	00:28:30	4.88E-002	2.86E-005
11:09:4000:39:00	0.000697	0.000692	295.394	295.373	295.411	00:28:40	4.92E-002	2.85E-005
11:09:5000:39:10	0.000698	0.000693	295.394	295.372	295.411	00:28:50	4.94E-002	2.83E-005
11:10:0000:39:20	0.000697	0.000692	295.393	295.372	295.410	00:29:00	4.92E-002	2.81E-005
11:10:1000:39:30	0.000700	0.000695	295.392	295.371	295.409	00:29:10	4.98E-002	2.79E-005
11:10:2000:39:40	0.000700	0.000695	295.394	295.371	295.410	00:29:20	4.98E-002	2.77E-005
11:10:3000:39:50	0.000700	0.000695	295.394	295.371	295.410	00:29:30	4.98E-002	2.75E-005
11:10:4000:40:00	0.000700	0.000695	295.394	295.371	295.410	00:29:40	4.98E-002	2.74E-005
11:10:5000:40:10	0.000700	0.000695	295.393	295.370	295.409	00:29:50	4.98E-002	2.72E-005
11:11:0000:40:20	0.000701	0.000696	295.393	295.371	295.408	00:30:00	5.01E-002	2.70E-005

漏洩量測定装置

測定部容積 2.170E+002 cc  
 判定基準 1.000E-005 atm\*cc/s  
 回帰時間 30 分  
 測定周期 10 秒

測定圧力 0.00119 kaf/cm<sup>2</sup>  
 補正圧力 0.00118 kaf/cm<sup>2</sup>  
 雰囲気温度 296.43 K 23.28 °C  
 測定温度 296.83 K 23.68 °C  
 平均漏洩量 7.95E-007 atm\*cc/s  
 標準偏差 4.52E-008 atm\*cc/s

95/06/01 09:05:12  
 F 値 310  
 F 分布値 3.915  
 有意差判定

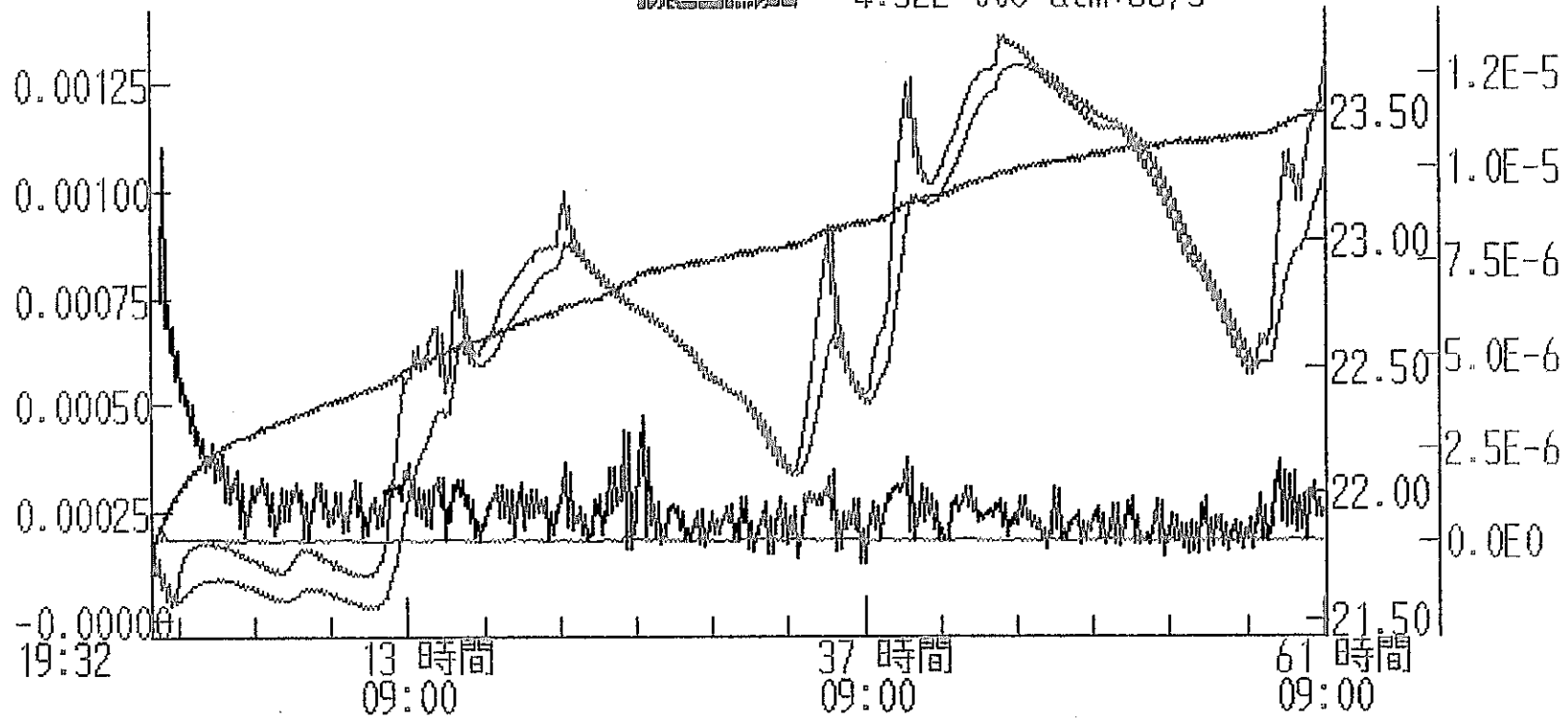


図9.3-4 減圧法による漏洩試験結果

(治具1単体、2日間測定)


漏洩量測定装置

測定部容積 2.170E+002 cc  
 判定基準 1.000E-004 atm\*cc/s  
 回帰時間 30 分  
 測定周期 10 秒

測定圧力	1.91757 kaf/cm <sup>2</sup>
補正圧力	1.90355 kaf/cm <sup>2</sup>
力又温度	295.31 K 22.16 °C
雰囲気温度	295.43 K 22.28 °C
平均漏洩量	-2.51E-005 atm*cc/s
標準偏差	3.16E-006 atm*cc/s

95/05/29 09:02:12

F 値 63.4  
 F 分布値 3.915

有意差判定 

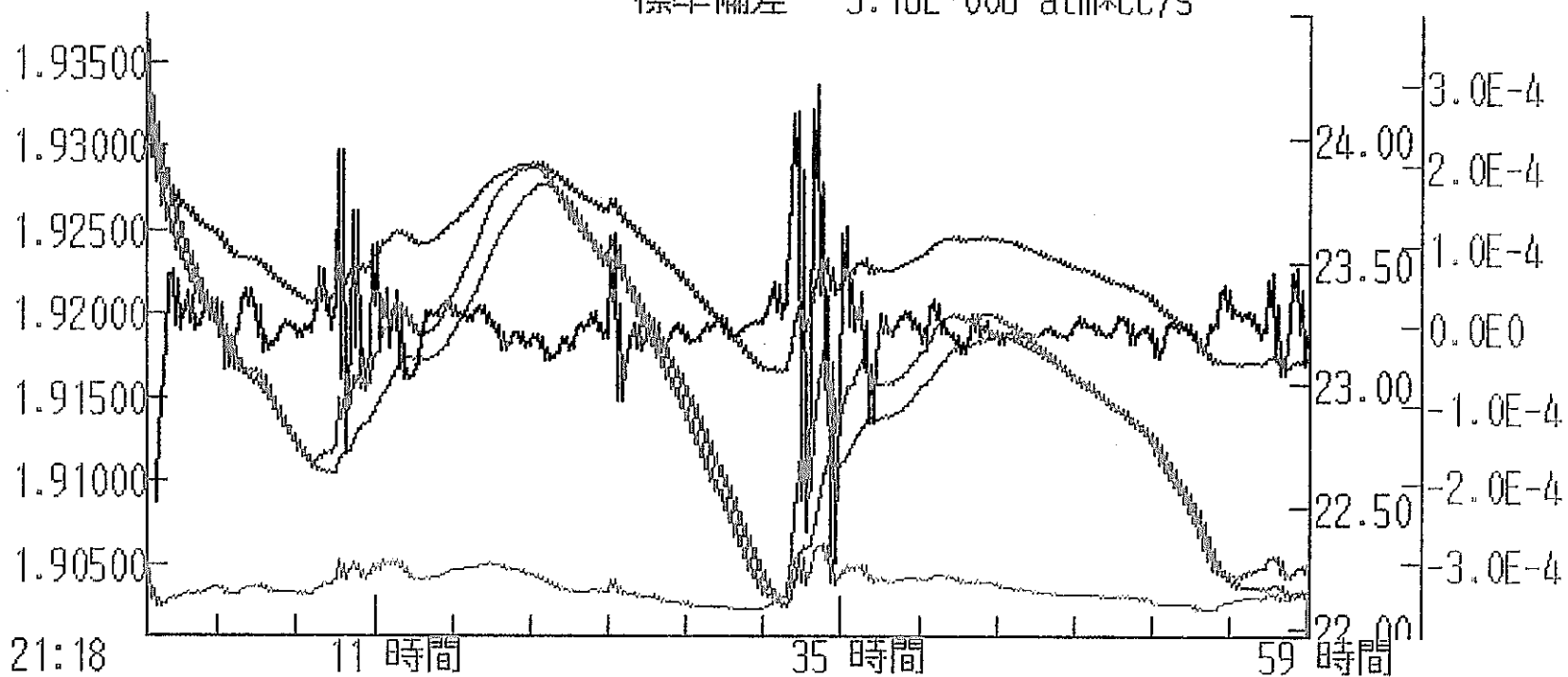


図 9.3 - 5 加圧法による漏洩試験結果  
 (治具 1 単体、2 日間測定)

## 1 0. 漏洩量測定装置の保証精度

4 項及び 5. 1 ～ 3 項での精度評価は、各測定器が有する最小読取値からそれぞれの漏洩量測定方法に対する最小の組合せ誤差である分解能について評価を行ってきた。

しかし、各測定器には所定の計器誤差があり、この各計器の誤差を含めた漏洩測定方法の組合せ誤差を検討しておく必要がある。特に、公的な漏洩検査を実施する際には、判定基準以下の測定精度（保証精度）を有していることが前提条件となる。

本項では、「漏洩量測定装置」の各測定計器（圧力計、温度計）が有する計器誤差に基づき、本装置が有する保証精度について検討を行う。

### 1 0. 1 漏洩量測定装置の保証精度の検討

本装置の漏洩量計算式に対する精度評価の計算方法を添付資料 7 に示す。基本的な計算式は、添付資料 4 の理論式の計算方法と同じであるが、減圧法の場合には圧力上昇により漏洩量を測定するために、 $(p_2 - p_1)$  を入れ換えている。

組合せ誤差を計算するための測定条件には以下を基準として計算した。

$T_0 = 293.15$ [K] = 20 [°C]	: 定数
$P_0 = 1.0332$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	: 定数
$t =$ [sec]	: パラメータ
$V = 300$ [cc]	: 標準的な測定例として設定
$T_1 = 298.15$ [K] = 25.0 [°C]	: 標準的な測定例として設定
$T_2 = 299.15$ [K] = 26.0 [°C]	: 下記より設定
$p_1 =$ [kg/cm <sup>2</sup> abs]	: パラメータ
$p_2 =$ [kg/cm <sup>2</sup> abs]	: 下記より設定

測定時間  $t$  と測定開始時圧力  $p_1$  は、パラメータとして設定した。測定終了時の温度  $T_2$  は、測定前後で 1 °C 上がった場合（加圧法の場合は 1 °C 低下）を仮定した。測定終了時圧力  $p_2$  は、その他の測定条件で  $1 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec] の漏洩が生じた状態を仮定し、その場合の圧力差を逆算して設定した。

各測定器の計器誤差については以下のように設定した。

$$\sigma(t) = t \times 0.01 \text{ [sec]} \quad : 1\% \text{ を仮定}$$

$$\sigma(V) = 3.0 \text{ [cc]} \quad : 1\% \text{ を仮定}$$

・保証精度を計算する場合

$$\sigma(T_i) = 0.32 \text{ [K]}$$

$$\sigma(p_i) = 0.00060 \text{ [kg/cm}^2 \text{ abs]}$$

・圧力計の測定誤差（測定確度） : 測定範囲は、0 ～ 2.00000 [kg/cm<sup>2</sup> abs]

$$\text{デジタル圧力計} : 0.03\% \times 2.00000 = \pm 0.00060 \text{ [kg/cm}^2 \text{ abs]}$$

・温度計の測定誤差（測定確度） : 測定範囲は、0 ～ 50.00 [°C]

$$\text{デジタル温度計} : 0.006\% \times 50.00 [°C] + 0.07 = \pm 0.073 [°C]$$

$$\text{測温抵抗体} : 0.002 \times 50.00 [°C] + 0.15 = \pm 0.25 [°C]$$

$$\text{合計} : \pm 0.32 [°C]$$



・分解能を計算する場合

$$\sigma(T_i) = 0.01 \quad [K] \quad : \text{最小読取り値}$$

$$\sigma(p_i) = 0.00001 \quad [kg/cm^2\text{abs}] : \text{最小読取り値}$$

尚、本測定装置では温度及び圧力の表示は、0.01 [°C] と 0.00001 [kg/cm<sup>2</sup>abs]であるが、測定プログラム内では1秒毎にデータ測定し、測定周期毎に取得データの平均を行って、1桁精度を向上させ 0.001 [°C] と 0.000001 [kg/cm<sup>2</sup>abs] の有効数字で内部計算及びグラフ表示を行っている。

測定時間に対する保証精度の計算結果を図1 0.1 - 1 に、検査圧力に対する計算結果を図1 0.1 - 2 に、また各計算の詳細を表1 0.1 - 1 ~ 4 に示す。

図1 0.1 - 1 より、 $1 \times 10^{-3}$  [atm cc/sec]以下の精度は、加圧法では30分以上、減圧法では20分程度の測定時間で検査可能であるが、 $1 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]以下の精度を出すには、加圧法では4時間以上、減圧法では2時間以上の測定時間が必要となる。

測定圧力を小さくするほど保証精度は小さくなる傾向があり、実際の減圧法による測定試験では0.00100 [kg/cm<sup>2</sup>abs]程度まで真空引きが可能である。しかし、図1 0.1 - 2 から分かるように、検査圧力を限りなく0に近づけても1時間測定では $1.3 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]程度が限界である。従って、 $1 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]以下の精度を担保するには、2時間以上の測定が必要となる。

### 1 0.2 保証精度計算の測定条件設定に関する注意事項

保証精度を計算するためには、検査圧力や測定温度等の条件を設定しなければならないが、この測定条件の値により得られる保証精度は大きく変化する。測定条件の設定方法には限定された方法はなく、一般的な検査状態を仮定する必要がある。

より小さい保証精度を得るには、次のように各値をとることにより可能となる。

測定時間	t	: 長く	
被試験体容積	V	: 小さく	
測定開始時の温度	T1	: 大きく	
測定開始時の絶対圧力	Pa1	: 小さく	
温度差	$\Delta T$	: 大きく	⇒ T2 : 大、Pa2 : 大、 $\Delta P$ : 大
漏洩量	Q	: 小さく	⇒ Pa2 : 小、 $\Delta P$ : 小
時間の測定誤差	$\sigma(t)$	: 小さく	
容積の測定誤差	$\sigma(V)$	: 小さく	
温度の測定誤差	$\sigma(T_i)$	: 小さく	
圧力の測定誤差	$\sigma(p_i)$	: 小さく	

表1 0.2 - 1 に各設定値を1.5倍した場合の保証精度の増減率を示す。各設定項目の内で保証精度に影響するものは、容積 > 時間 > 圧力誤差 > 温度誤差 > 圧力の順に増減率が大きくなる。

公的な検査で保証精度は、安全側に評価する方が望ましく、実際の測定値や計器校正值を用いて再度計算し直すことが必要であると思われる。

以下に、各項目毎に条件設定上の注意事項を記載する。

- t : 際限なく大きくするのは実用上不可能であり、2時間程度が限度である。 $1 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]以下の保証精度を担保するには、減圧法でも最低2時間以上が必要である。  
尚、実際に減圧法により測定した結果からは、長時間測定したとしても漏洩量が小さくなることはない。
- V : 本項での評価計算では300[cc]と仮定したが、公的に説明する際には、検査対象部の中で最大の容積値に基づき、再計算することが望ましい。
- T1 : 際限なく大きくすることは現実的に不可能である。容積と同様に、実際の測定値を考慮して設定することが必要と思われる。また、安全側に評価するには、冬季に測定することを考慮して10 [°C]程度で検討する必要がある。
- Pa1 : 実際の測定試験では0.00100[kg/cm<sup>2</sup>abs]程度の減圧は可能であるが、局立用検査条件は0.5[kg/cm<sup>2</sup>abs]以下であり、安全側に評価するには0.5[kg/cm<sup>2</sup>abs]程度は必要である。  
尚、キャスクカーの設計圧力は1.5[kg/cm<sup>2</sup>]であり、公的な漏洩検査を実施するには、検査内圧0.1[kg/cm<sup>2</sup>abs]以下、外圧0.6[kg/cm<sup>2</sup>abs]以上の条件で検査することが望まれる。(第11回定検の局立要領書では、他設備と同様に0.5[kg/cm<sup>2</sup>abs]を検査圧力として申請した。)  
加圧法の場合には1.5[kg/cm<sup>2</sup>abs]以上、安全側に評価するには圧力計器の最大測定範囲の2.0[kg/cm<sup>2</sup>abs]で計算することが望まれる。
- ΔT : 本項での評価計算では1 [°C]と仮定した。温度変化は、測定する季節や時間帯により変化するが、今回の測定試験では0.5 [°C]程度の変化が見られた。
- Q : 本項での評価計算では $1 \times 10^{-4}$  [atm cc/sec]と仮定した。 $1 \times 10^{-3}$  [atm cc/sec]で計算すると、時間誤差σ(t)と容積誤差σ(V)の誤差要因が有為なものになる。
- σ(t) : 今回は1%と仮定した。計算機による自動計測では、各データサンプリング時間は1秒以内であり更に小さくすることは可能であるが、10.1項の測定条件における保証精度計算では、ほとんど影響を受けない。但し、長時間(10時間以上)測定する際には、誤差の要因となる。  
人間による測定の場合は、この程度の測定誤差は見込む必要がある。
- σ(V) : 今回は1%と仮定した。11.1項にて記載する容積測定の実測結果から、この程度の誤差は見込む必要がある。
- σ(pi) : 計器メーカーの測定確度から設定した。  
計器校正による実測結果では、最大誤差0.00006[kg/cm<sup>2</sup>abs]であり、この値により計算すれば、保証精度は半分程度減少する。
- σ(Ti) : 計器メーカーの測定確度から設定した。  
計器校正による実測結果では、以下の通りである。
- |   |        |                                  |
|---|--------|----------------------------------|
| { | センサー単体 | : 0.162 [°C] (0.063 Ω : 50°C測定時) |
|   | 温度計単体  | : 0.05 [°C] (20°C測定時)            |
|   | 組合測定   | : 0.25 [°C] (50°C測定時)            |
- この値により計算した場合には、3分の1程度減少する。

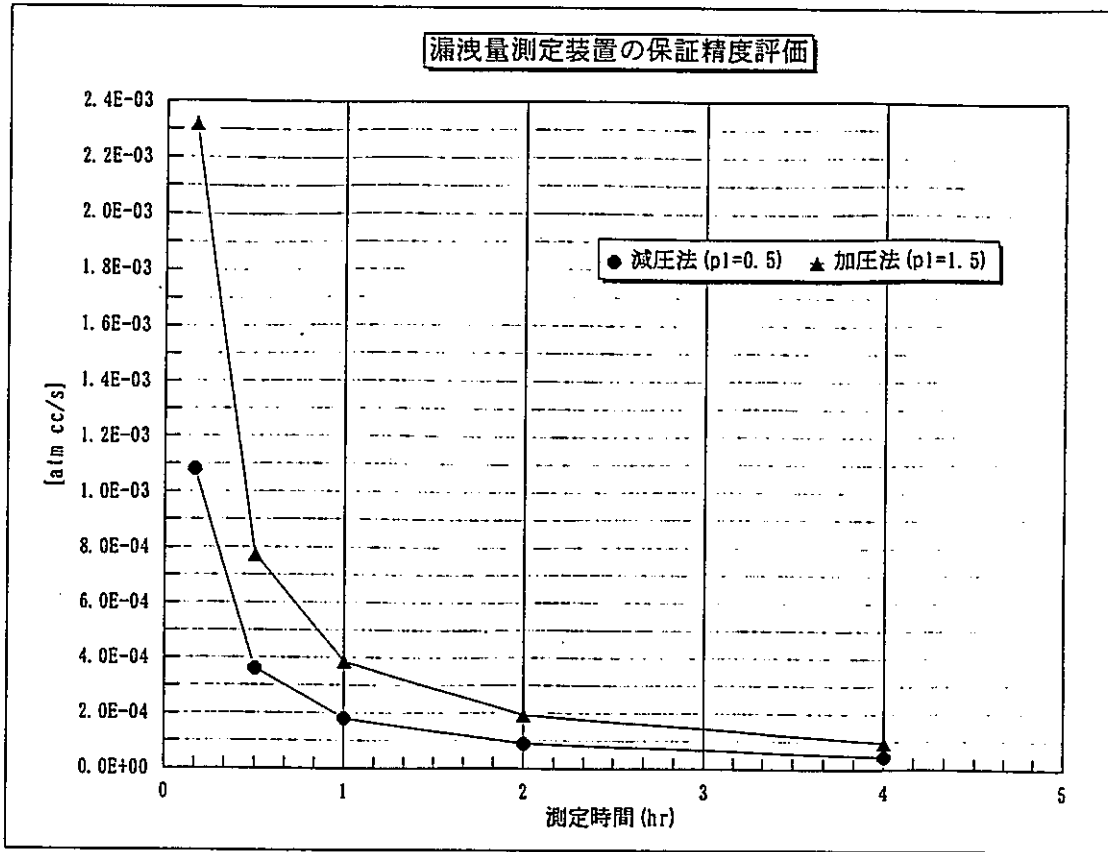


図 10. 1-1 漏洩量測定装置の保証精度評価グラフ (1)

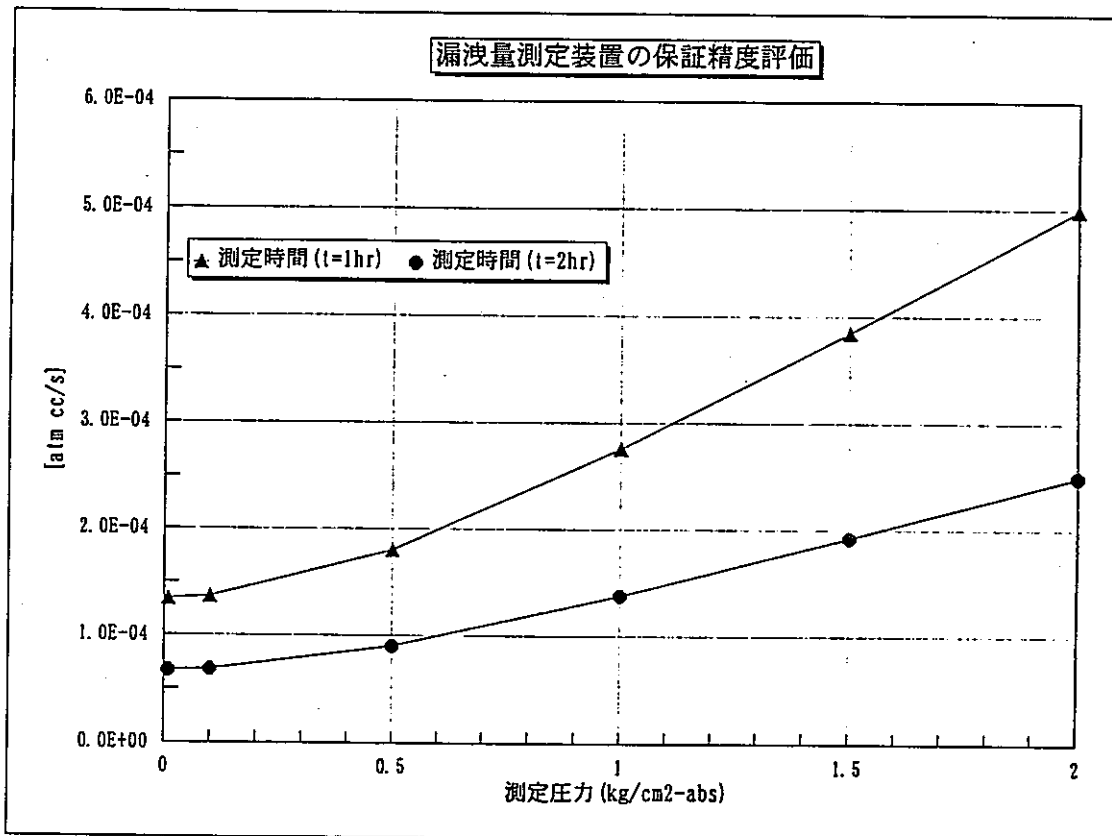


図 10. 1-2 漏洩量測定装置の保証精度評価グラフ (2)

表 10. 1 - 1 保証精度計算結果詳細(1)

燃取漏洩量測定 of 誤差評価 (理論式 絶対圧力測定)  
 (漏洩量測定装置の保証精度: 減圧法)  $Q=VT0/IP0*$  (Pa2/T2-Pa1/T1)

各測定計器の測定条件	分解能									
	1 0分	3 0分	1 時間	2 時間	4 時間	1 0分	3 0分	1 時間	2 時間	4 時間
T0= [K]	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15
P0= [kg/cm2abs]	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323
t= [sec]	600	1800	3600	7200	14400	600	1800	3600	7200	14400
V= [cc]	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
T1= [K]	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15
T2= [K]	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15
Pa1= [kg/cm2abs]	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000
Pa2= [kg/cm2abs]	0.50189	0.50231	0.50294	0.50421	0.50674	0.50189	0.50231	0.50294	0.50421	0.50674
測定誤差										
$\sigma(t)$ [sec]	6	18	36	72	144	6	18	36	72	144
$\sigma(V)$ [cc]	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\sigma(T1)$ [K]	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\sigma(T2)$ [K]	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\sigma(Pa1)$ [kg/cm2abs]	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
$\sigma(Pa2)$ [kg/cm2abs]	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
計算値										
t:	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
V:	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
T1:	6.52E-08	7.24E-09	1.81E-09	4.53E-10	1.13E-10	6.37E-11	7.07E-12	1.77E-12	4.42E-13	1.11E-13
T2:	6.48E-08	7.21E-09	1.81E-09	4.54E-10	1.15E-10	6.33E-11	7.04E-12	1.77E-12	4.44E-13	1.12E-13
Pa1:	8.15E-08	9.06E-09	2.26E-09	5.66E-10	1.41E-10	2.26E-11	2.52E-12	6.29E-13	1.57E-13	3.93E-14
Pa2:	8.10E-08	9.00E-09	2.25E-09	5.62E-10	1.41E-10	2.25E-11	2.50E-12	6.25E-13	1.56E-13	3.90E-14
合計	2.92E-07	3.25E-08	8.13E-09	2.04E-09	5.12E-10	1.74E-10	2.11E-11	6.79E-12	3.20E-12	2.30E-12
$\sigma$	5.41E-04	1.80E-04	9.02E-05	4.51E-05	2.26E-05	1.32E-05	4.60E-06	2.61E-06	1.79E-06	1.52E-06
2 $\sigma$ [atm cc/s]	1.08E-03	3.61E-04	1.80E-04	9.03E-05	4.53E-05	2.64E-05	9.19E-06	5.21E-06	3.58E-06	3.03E-06

差圧計算  $Q=$  1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04 1.0E-04  
 $\sigma T=$  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
 VT0/IP0 1.42E+02 4.73E+01 2.36E+01 1.18E+01 5.91E+00 1.42E+02 4.73E+01 2.36E+01 1.18E+01 5.91E+00  
 P1/T1 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677 0.001677  
 P2/T2 0.001678 0.001679 0.001681 0.001685 0.001694 0.001678 0.001679 0.001681 0.001685 0.001694

表 10. 1 - 2 保証精度計算結果詳細(2)

燃取漏洩量測定の誤差評価 (理論式 絶対圧力測定)  
 (漏洩量測定装置の保証精度：減圧法)  $Q=VT0/TP0*(Pa2/T2-Pa1/T1)$

各測定計器の測定条件	分解能									
	10分	30分	1時間	2時間	4時間	10分	30分	1時間	2時間	4時間
T0= [K]	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15
P0= [kg/cm2abs]	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323
t= [sec]	600	1800	3600	7200	14400	600	1800	3600	7200	14400
V= [cc]	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
T1= [K]	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15
T2= [K]	297.15	297.15	297.15	297.15	297.15	297.15	297.15	297.15	297.15	297.15
Pa1= [kg/cm2abs]	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000
Pa2= [kg/cm2abs]	1.49476	1.49434	1.49371	1.49246	1.48994	1.49476	1.49434	1.49371	1.49246	1.48994
測定誤差										
$\sigma(t)$ [sec]	6	18	36	72	144	6	18	36	72	144
$\sigma(V)$ [cc]	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\sigma(T1)$ [K]	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\sigma(T2)$ [K]	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\sigma(Pa1)$ [kg/cm2abs]	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
$\sigma(Pa2)$ [kg/cm2abs]	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
計算値										
t:	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
V:	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
T1:	5.87E-07	6.52E-08	1.63E-08	4.07E-09	1.02E-09	5.73E-10	6.37E-11	1.59E-11	3.98E-12	9.95E-13
T2:	5.91E-07	6.56E-08	1.64E-08	4.09E-09	1.02E-09	5.77E-10	6.40E-11	1.60E-11	3.99E-12	9.95E-13
Pa1:	8.15E-08	9.06E-09	2.26E-09	5.66E-10	1.41E-10	2.26E-11	2.52E-12	6.29E-13	1.57E-13	3.93E-14
Pa2:	8.20E-08	9.12E-09	2.28E-09	5.70E-10	1.42E-10	2.28E-11	2.53E-12	6.33E-13	1.58E-13	3.96E-14
合計	1.34E-06	1.49E-07	3.72E-08	9.30E-09	2.32E-09	1.20E-09	1.35E-10	3.52E-11	1.03E-11	4.07E-12
$\sigma$ [atm cc/s]	1.16E-03	3.86E-04	1.93E-04	9.64E-05	4.82E-05	3.46E-05	1.16E-05	5.93E-06	3.21E-06	2.02E-06
2 $\sigma$	2.32E-03	7.72E-04	3.86E-04	1.93E-04	9.64E-05	6.92E-05	2.32E-05	1.19E-05	6.41E-06	4.03E-06

差圧計算  $Q = -1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$   $-1.0E-04$

$\sigma T =$

VT0/TP0 1.42E+02 4.73E+01 2.36E+01 1.18E+01 5.91E+00 1.42E+02 4.73E+01 2.36E+01 1.18E+01 5.91E+00

P1/T1 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031 0.005031

P2/T2 0.00503 0.00503 0.005027 0.005023 0.005014 0.00503 0.005029 0.005027 0.005023 0.005014



表 10. 1 - 4 保証精度計算結果詳細(4)

燃取漏洩量測定の誤差評価 (理論式 絶対圧力測定)  
 (漏洩量測定装置の保証精度：減圧法)  $Q=VT0/IP0*(Pa2/T2-Pa1/T1)$

各測定計器の測定条件	分解能									
	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300	293.15 1.03323 7200 300
T0= [K]	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15	293.15
P0= [kg/cm2abs]	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323	1.03323
t= [sec]	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200
V= [cc]	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
T1= [K]	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15
T2= [K]	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15	299.15
Pa1= [kg/cm2abs]	0.01000	0.10000	0.50000	0.01000	0.10000	0.50000	0.01000	0.10000	0.50000	0.01000
Pa2= [kg/cm2abs]	0.01256	0.10287	0.50421	0.01256	0.10287	0.50421	0.01256	0.10287	0.50421	0.01256
測定誤差										
$\sigma$ (t)	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
$\sigma$ (V)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\sigma$ (T1)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
$\sigma$ (T2)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
$\sigma$ (Pa1)	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060
$\sigma$ (Pa2)	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060	0.00060
計算値										
t:	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
V:	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
T1:	1.81E-13	1.81E-11	4.53E-10	1.81E-09	7.24E-09	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
T2:	2.82E-13	1.89E-11	4.54E-10	1.81E-09	7.21E-09	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
Pa1:	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10	5.66E-10
Pa2:	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10	5.62E-10
合計	1.13E-09	1.17E-09	2.04E-09	4.75E-09	9.27E-09	1.56E-08	1.52E-06	1.53E-06	3.07E-06	3.58E-06
$\sigma$	3.36E-05	3.42E-05	4.51E-05	6.89E-05	9.63E-05	1.25E-04	1.52E-06	1.53E-06	3.07E-06	3.58E-06
2 $\sigma$	6.72E-05	6.83E-05	9.03E-05	1.38E-04	1.93E-04	2.50E-04	3.04E-06	3.07E-06	6.14E-06	7.16E-06
差計算	Q= 1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
	$\sigma T=$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	VT0/IP0	1.18E+01	1.18E+01	1.18E+01	1.18E+01	1.18E+01	1.18E+01	1.18E+01	1.18E+01	1.18E+01
	P1/T1	0.000034	0.000335	0.001677	0.003354	0.005031	0.000034	0.000335	0.001677	0.003354
	P2/T2	0.000042	0.000344	0.001685	0.003362	0.005039	0.000042	0.000344	0.001685	0.003362

表 1 0. 2 - 1 設定条件による保証精度の増減率

評価条件項目	記号 [単位]	初期条件	変更値 1.5倍	2 $\sigma$ [atm cc/s]	増減率
基準温度	T0 [K]	293.15	—	—	—
標準圧力	P0 [kg/cm <sup>2</sup> ]	1.03323	—	—	—
測定時間	t [sec]	7200 (2 hr)	10800 (3 hr)	6.03 *10 <sup>-5</sup>	-33.26 %
被測定部容積	V [cc]	300	450	1.35 *10 <sup>-4</sup>	+49.90 %
測定開始 温度	T1 [K]	298.15 (25°C)	310.65 (37.5°C)	8.51 *10 <sup>-5</sup>	-5.71 %
測定終了 温度	T2 [K]	299.15 (26°C)	—	—	—
測定開始 圧力	P1 [kg/cm <sup>2</sup> abs]	0.50000	0.75000	1.13 *10 <sup>-4</sup>	+24.69 %
測定終了 圧力	P2 [kg/cm <sup>2</sup> abs]	0.50421	—	—	—
測定誤差 時間	$\sigma(t)$ [sec]	72	108	9.03 *10 <sup>-5</sup>	+0.03 %
測定誤差 容積	$\sigma(V)$ [cc]	3	4.5	9.03 *10 <sup>-5</sup>	+0.03 %
測定誤差 温度	$\sigma(T)$ [K]	0.32	0.48	1.13 *10 <sup>-4</sup>	+24.76 %
測定誤差 圧力	$\sigma(P)$ [kg/cm <sup>2</sup> abs]	0.00060	0.00090	1.17 *10 <sup>-4</sup>	+30.09 %
漏洩量	$\Delta Q$ [atm cc/s]	1*10 <sup>-4</sup>	1.5*10 <sup>-4</sup>	9.04 *10 <sup>-5</sup>	+0.12 %
温度変化	$\Delta T$ [K]	1	1.5	9.02 *10 <sup>-5</sup>	-0.08 %
2×標準偏差	2 $\sigma$ [atm cc/s]	9.03 *10 <sup>-5</sup>	—	—	—



## 1 1. 試験部容積の測定

漏洩試験における測定対象部の容積は、漏洩量を計算する上で重要な項目であり、10.2項で検討したように、容積の大小により計算される漏洩量が大きく変動する。

従来漏洩試験では、製作メーカーから提示された容積値を用いて、試験試験を実施してきたが、漏洩試験装置の変更に伴いその容積を見直す必要があった。

安全側に評価するという観点からは、全ての測定対象を包絡するような大きな容積値により計算する従来までの試験方法もひとつの方法ではあるが、測定方法の誤差を考慮すると、測定対象毎の容積値を実測し、より正確な漏洩試験を行う方がより適正な試験方法である。

本項では、被測定部の容積測定方法について、その測定原理と計算方法について説明する。また、「微少漏洩量測定装置」及び「漏洩量測定装置」の測定治具の容積実測結果を示す。

### 1 1. 1 容積測定方法の原理

容積測定する際の機器構成を図1 1. 1 - 1に示す。

容積を測定するには、以下の手順により、その圧力差から計算する。

【状 態】	【被測定部】	【基準容器】	【バルブ状態】	
			V1	V2
①大気開放	(P0, T0, V)	(P0, T0, v)	開	開
②測定部の加圧	(P1, T1, V)	(P0, T0, v)	閉	開
③基準容器への開放	(P2, T2, V)	(P2, T2, v)	開	閉
④大気開放	(P0, T0, V)	(P0, T0, v)	開	開

ここで、状態②から状態③への移行では、物質の収支はないことから気体の状態方程式及びボイル・シャルルの法則が成り立つ。

$$\begin{aligned} & \text{[状態②]} && \text{[状態③]} \\ & \frac{P1}{T1} V + \frac{P0}{T0} v = \frac{P2}{T2} V + \frac{P2}{T2} v \\ & \left( \frac{P1}{T1} - \frac{P2}{T2} \right) V = \left( \frac{P2}{T2} - \frac{P0}{T0} \right) v \end{aligned}$$

従って、被測定部の容積は、

$$V = \frac{(P2 / T2) - (P0 / T0)}{(P1 / T1) - (P2 / T2)} v$$

により、求められる。

尚、実際の容積測定においては、大気圧P0が変動するために状態①と状態④の平均値を算出し容積計算を行う。

また、測定状態①から④までを3回繰り返し、その計算値が大きく変動していないこと

を確認するとともに、その平均値を実測結果とする。

この容積測定方法は、被測定部が漏洩していないことが前提となっているため、著しい漏洩がある場合には本方法では測定できない。

### 1.1.2 基準容器の容積測定

容積測定方法では、比較する基準容器の容積を予め測定する必要がある。

容積測定に使用する基準容器、バルブ、取付けホースの容積は、水を媒体にしてメスシリンダーにて直接測定した。測定結果を以下に示す。

1回目：	3 2 2
2回目：	3 2 0
3回目：	<u>3 2 2.5</u>
平均	3 2 2 [cc]

### 1.1.3 微小漏洩量測定装置の治具容積測定結果

微小漏洩量測定装置の測定治具の容積測定結果を表 1.1.3-1 に示す。

この測定では、

[状態①] ⇒ [状態②] ⇒ [状態③] = [状態②] ⇒ [状態③] ⇒ [状態④]

の順に、大気開放する前に 2 回測定を行った。

測定の結果、容積の平均値は 1 2 1.4 8 [cc] であり、各回ごとの容積誤差は、1 % 以内であった。

### 1.1.4 漏洩量測定装置の治具容積測定結果

漏洩量測定装置の治具 1 (1 ヶ所測定用) と治具 2 (5 ヶ所測定用) の容積測定結果を図 1.1.4-1 ~ 2 に、測定値を表 1.1.4-1 ~ 1 2 に、また詳細測定図を図 1.1.4-3 ~ 8 に示す。

φ60-φ60取付けフランジは、1.1.3 の治具と 1.1.4 の治具を接続するのに使用したものであり、全体容積から被測定部を求めるのに 126 [cc] から 1.1.3 の治具のうち取付けフランジの容積 4 [cc] を差し引いた。

治具 2 の容積測定には、各バルブの開閉状態を変更し、その状態における容積を求め、最終的に各フレキシブルホース部の容積を求めた。

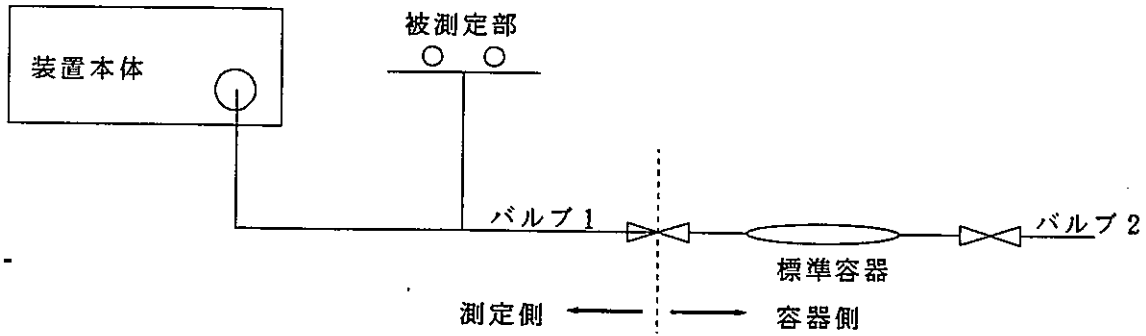


図 1 1 . 1 - 1 容積測定方法の装置構成概要

[ 被測定部の容積測定の原理 ]

①温度・圧力・容積の関係

気体の状態方程式

$$P V = n R T$$

より

$$\frac{P V}{T} = n R$$

となり、漏れがないと仮定すると

$$\frac{P V}{T} \text{ は一定となる。}$$

ここで、 $P$  : 圧力 [atm]  
 $V$  : 容積 [ℓ]  
 $n$  : モル数 [mol]  
 $R$  : 気体定数  
 $T$  : 温度 [K]

②容積算出式

被測定部の容積の測定は、上記の図の装置構成となる。

この装置において、以下の状態変化を仮定する。

[装置から被測定部]

[バルブ1からバルブ2]

状態 1 : $P_1, T_1, V$	バルブ1 閉 (大気圧)	バルブ2 開
↓	↓	↓
状態 2 : $P_2, T_2, V$	バルブ1 開	バルブ2 閉

ここで、測定側と容器側の温度は同じ :  $T_1 = T_2$ 、 $T_1 = T_2$ 、  
 容積  $V$ 、 $v$  は、状態 1 及び 2 にて変化なしとする。

表 1 1. 3 - 1 微小漏洩量測定装置治具容積測定結果

設備名	微小漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部				測定日	H6/ 6/15
測定部名称	測定治具			測定時間	20:17-21:46
ファイル名	YOURYO10. PRN				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.02391	25.75	298.90	—	—
P1a	1.88440	25.93	299.08	6.3007E-03	—
P1b	1.26038	26.00	299.15	4.2132E-03	121.70
P1c	1.08901	26.07	299.22	3.6395E-03	120.81
p02大気圧	1.02430	26.10	299.25	—	—
P2a	1.96053	26.13	299.28	6.5508E-03	—
P2b	1.28117	26.12	299.27	4.2810E-03	121.66
P2c	1.09492	26.12	299.27	3.6586E-03	121.73
p03大気圧	1.02462	26.11	299.26	—	—
p01-2平均	1.02411	25.93	299.08	3.4242E-03	—
p02-3平均	1.02446	26.11	299.26	3.4234E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
122 (cc)

平均値	121.48
被測定部容積	0.00

$$T_i = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{P_b/T_b - P_0/T_0}{P_a/T_a - P_b/T_b} \times 322$$

$$V_h = V - 122$$

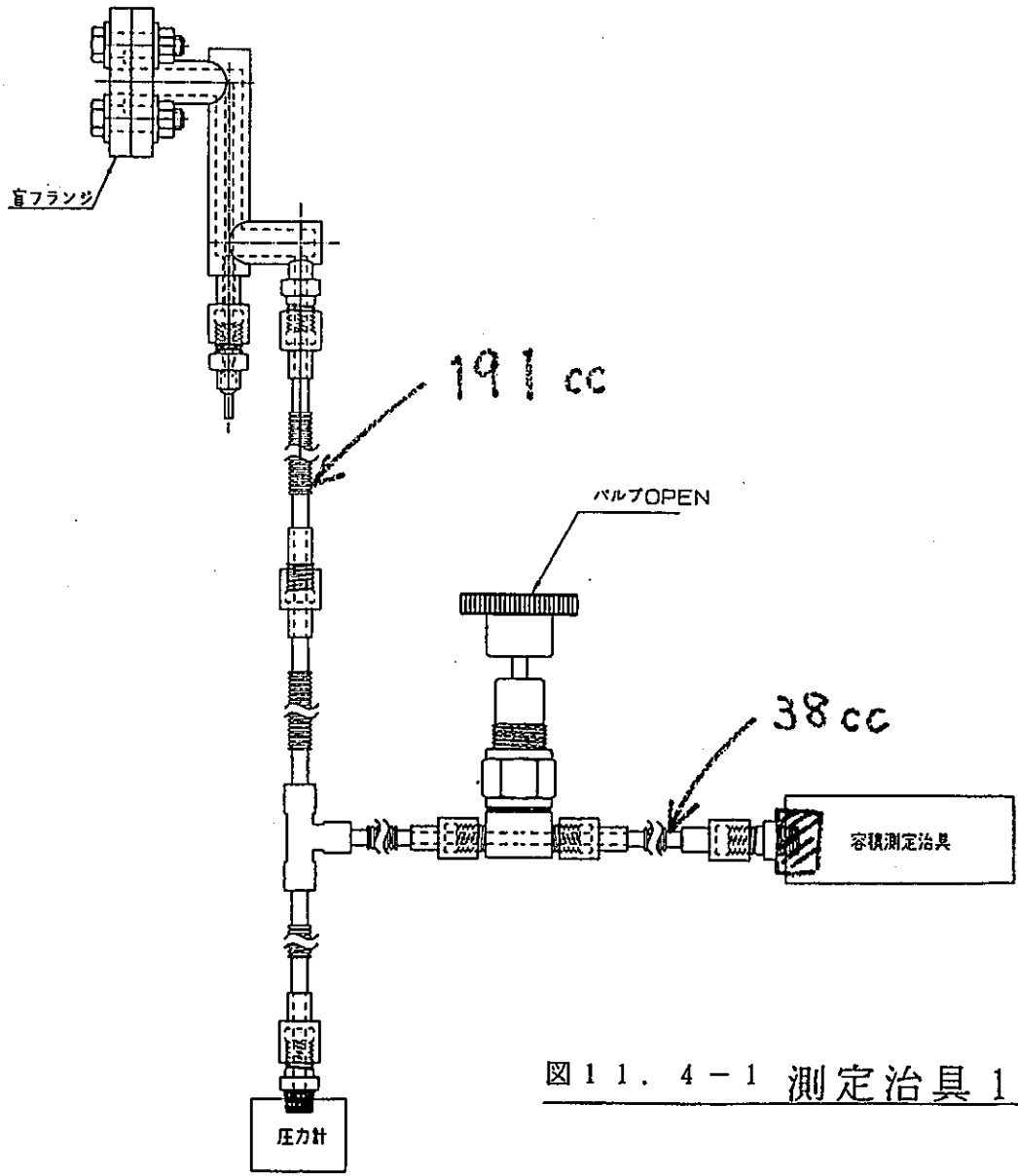
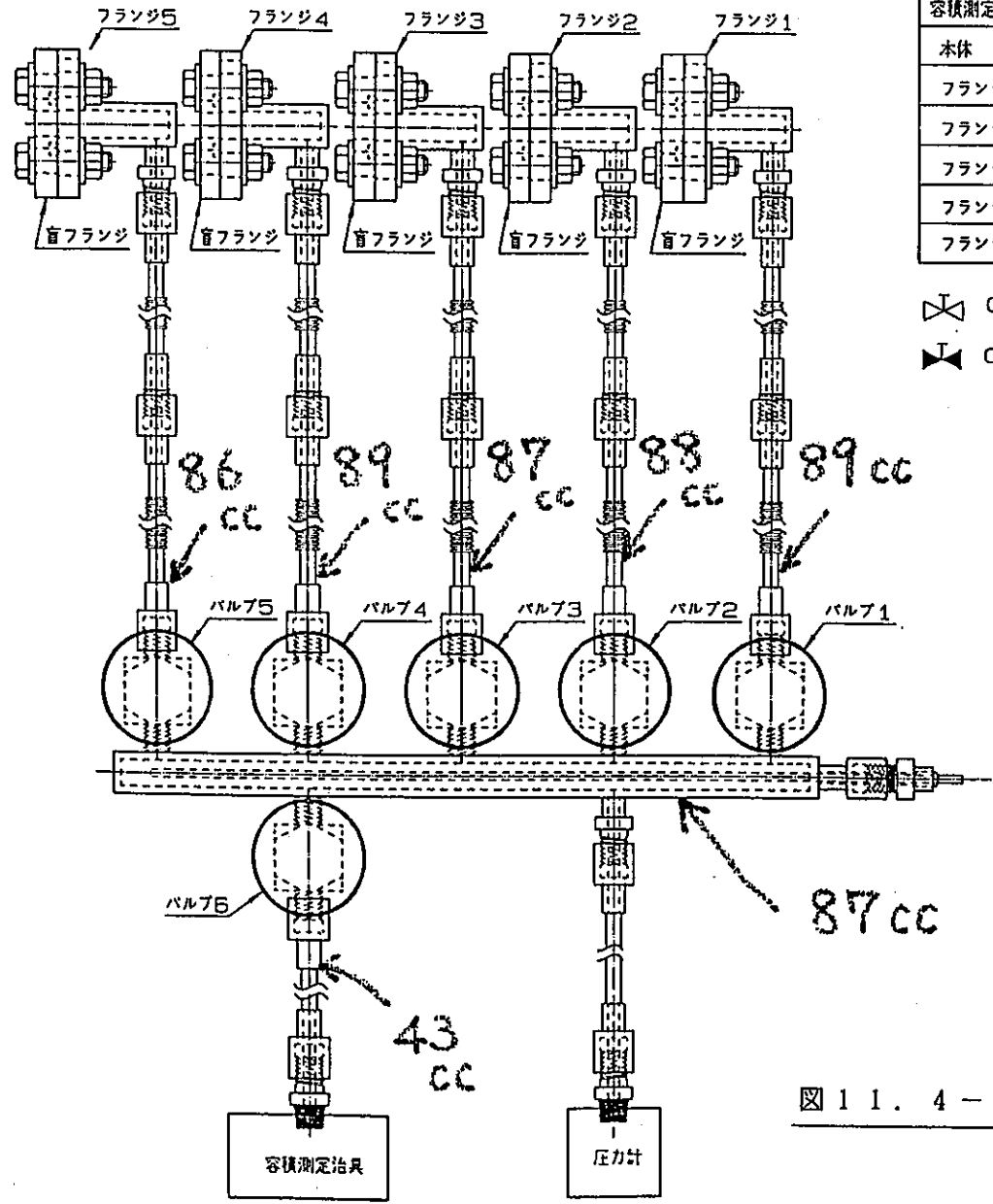


図 11. 4 - 1 測定治具 1 容積測定結果



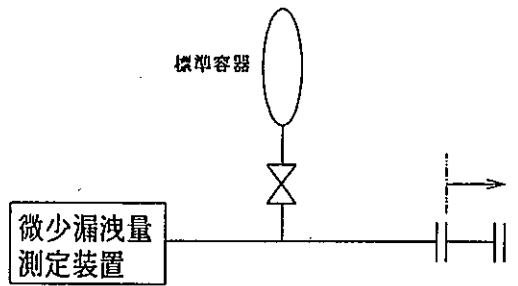
容積測定項目	バルブ1	バルブ2	バルブ3	バルブ4	バルブ5	バルブ6
本体	☒	☒	☒	☒	☒	☒
フランジ1	☒	☒	☒	☒	☒	☒
フランジ2	☒	☒	☒	☒	☒	☒
フランジ3	☒	☒	☒	☒	☒	☒
フランジ4	☒	☒	☒	☒	☒	☒
フランジ5	☒	☒	☒	☒	☒	☒

☒ OPEN  
 ☒ CLOSE

図 11. 4-2 測定治具 2 容積測定結果

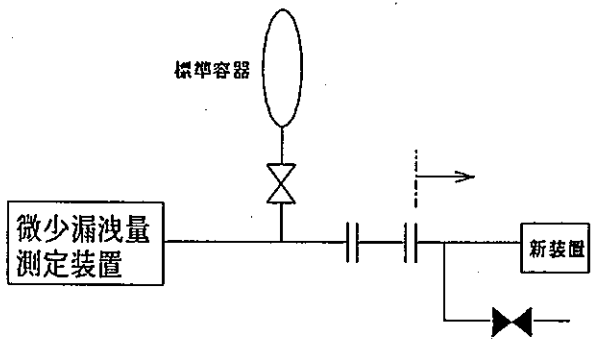
TEST-1

60φ-60φ フランジ 4 c c



TEST-2

治具-1 V6まで 191 c c



TEST-3

治具-1 V6からVPライン 38 c c

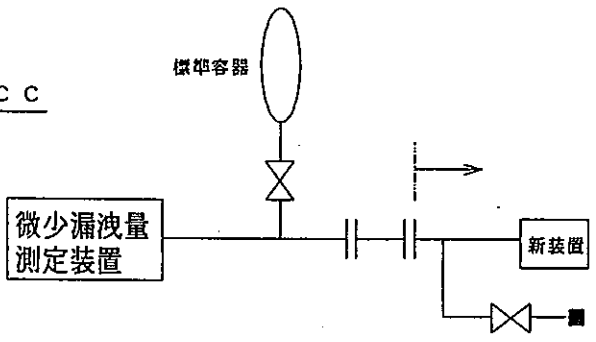
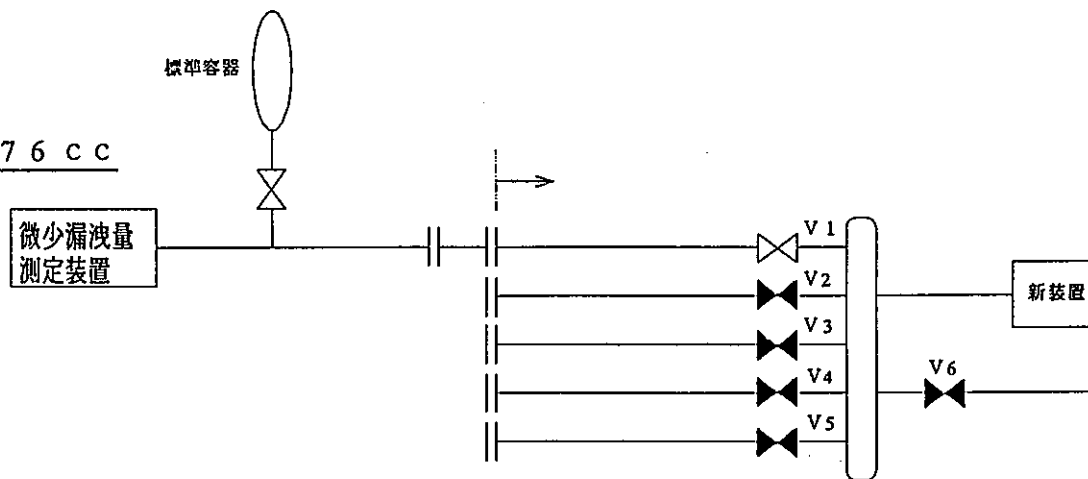


図11. 4 - 3 新漏洩検査治具容積測定図 (1 / 6)

TEST-11

治具-2 V1開, V2~V6閉 176 cc



TEST-12

治具-2 V1~V5開, V6閉 531 cc

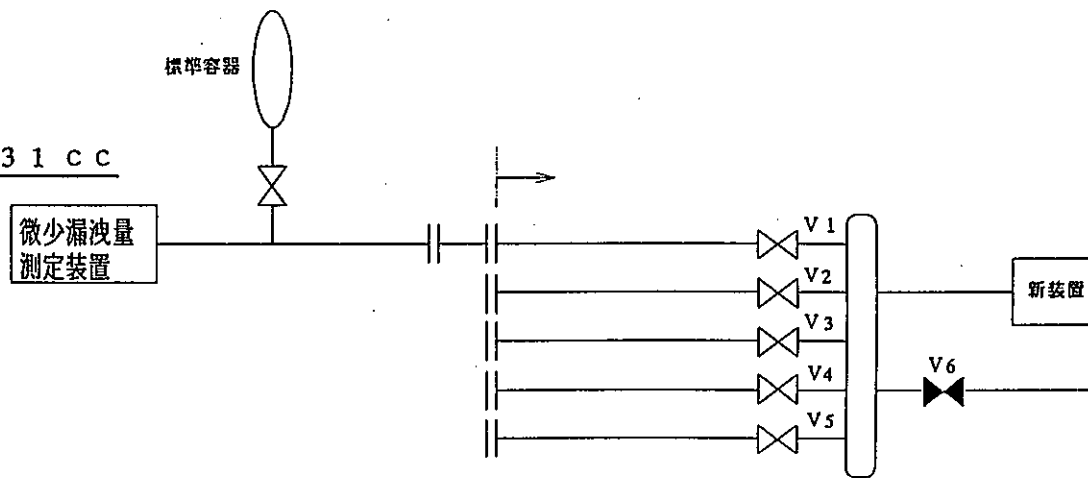
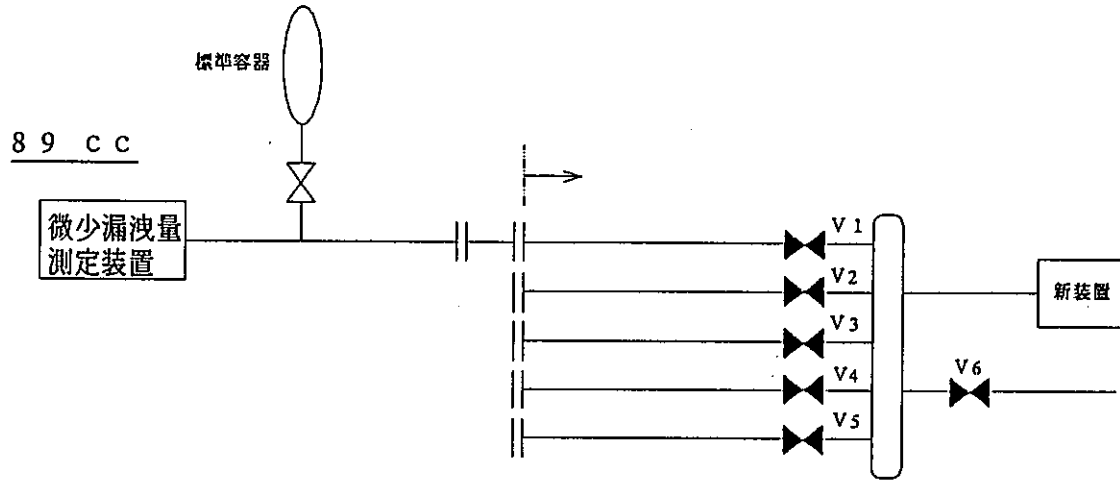


圖 11. 4 - 4 新漏洩檢查治具容積測定圖 (2 / 6)



TEST-13  
治具-2 V1~V6閉



TEST-14  
治具-2 V1, V6開  
V2~V5閉

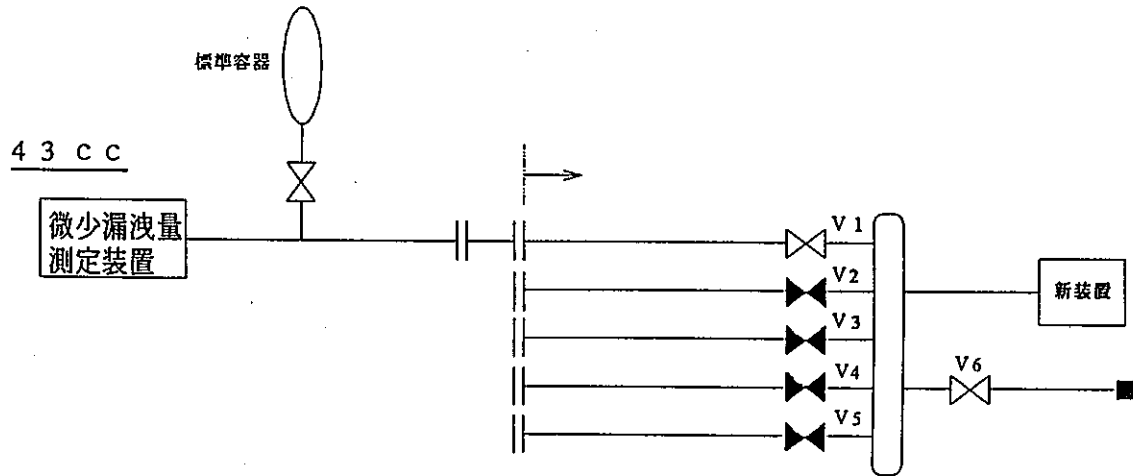
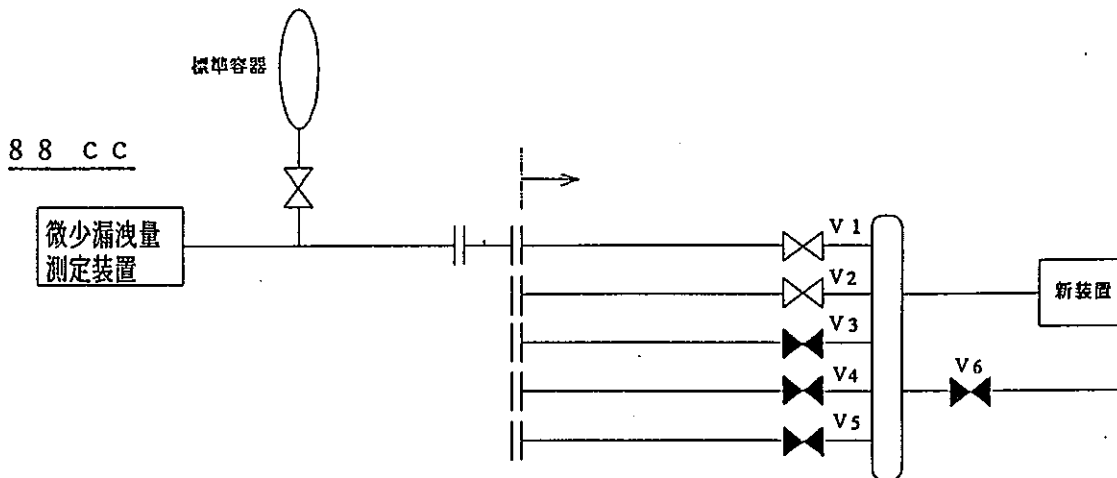


図11. 4-5 新漏洩検査治具容積測定図 (3/6)

TEST-15

治具-2 V1, V2 開  
V3~V6 閉



TEST-16

治具-2 V1~V6 開

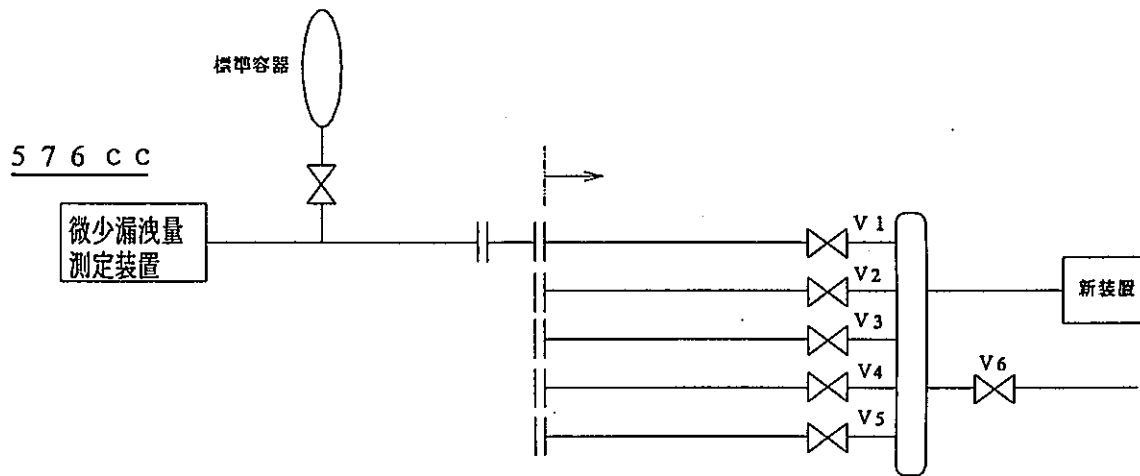
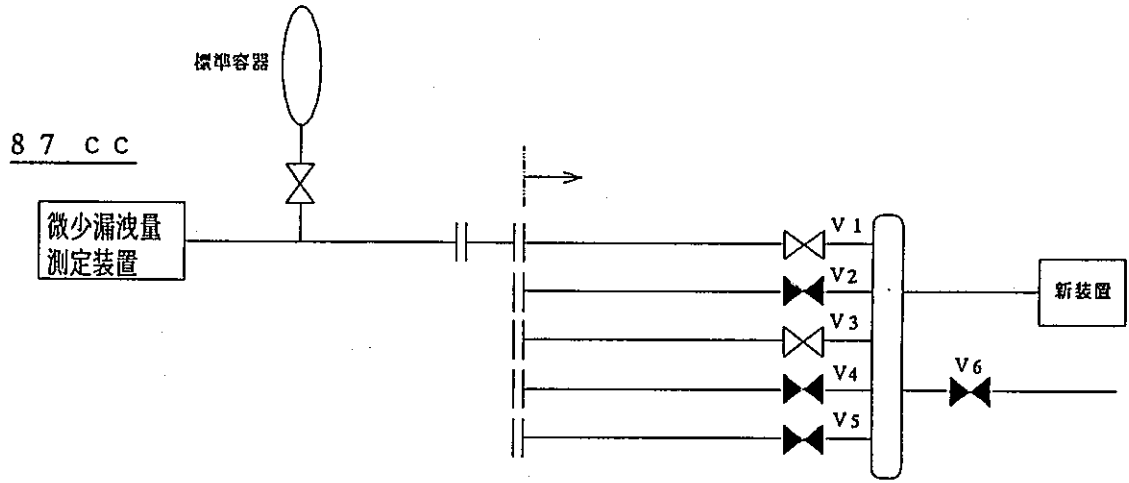


図 11. 4 - 6 新漏洩検査治具容積測定図 (4/6)

TEST-17

治具-2 V1, V3 開  
V2~V6 閉



TEST-18

治具-2 V1, V4 開  
V2~V6 閉

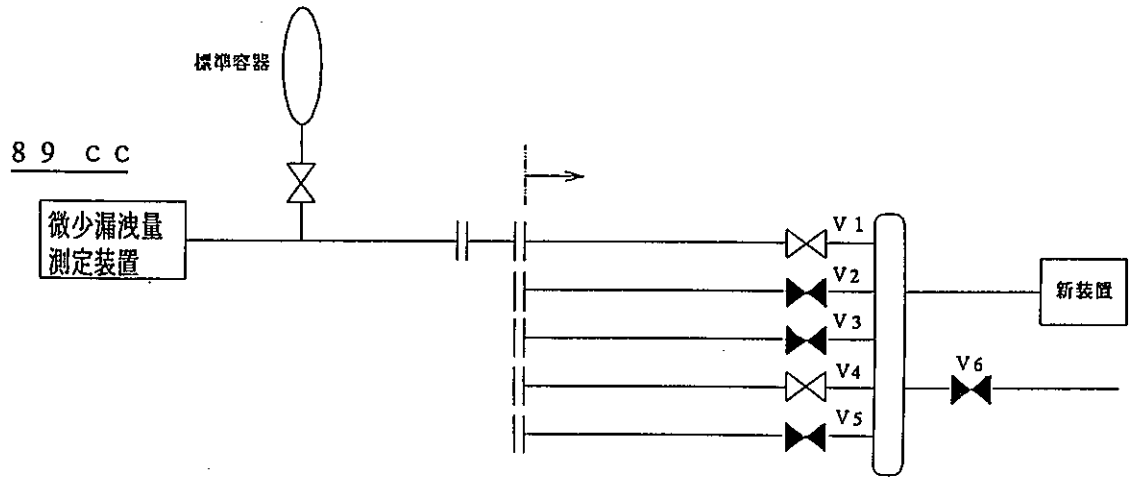


圖 11. 4 - 7 新漏洩檢查治具容積測定圖 (5 / 6)

TEST-19

治具-2 V1, V5 開

V2~V6 閉

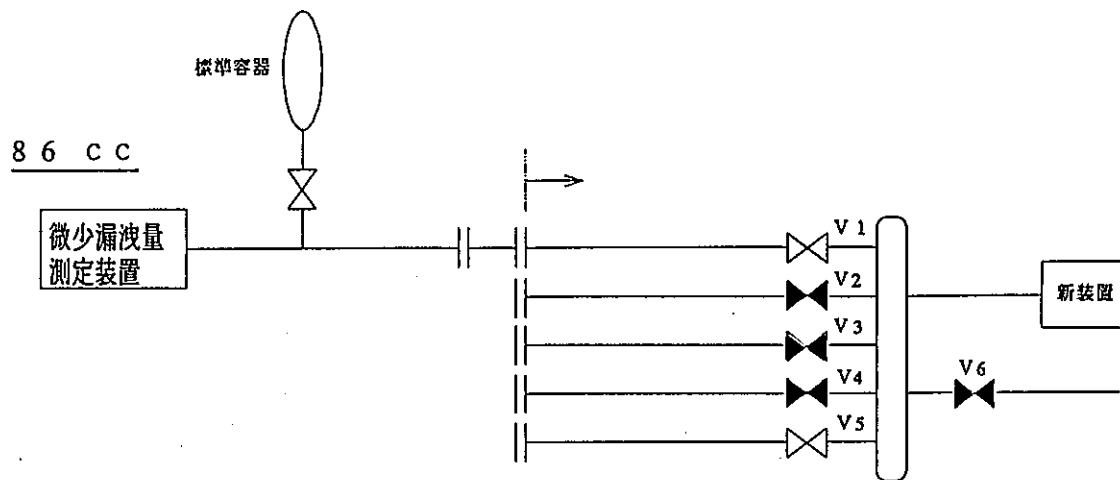


図11. 4 - 8 新漏洩検査治具容積測定図 (6 / 6)

表11. 4 - 1 漏洩量測定装置治具容積測定結果(1)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	フランジ φ60-φ60の取付ジグ			測定日	H7/ 4/10
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-1				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.02605	22.01	295.16	—	—
P1a	1.97842	22.02	295.17	6.7026E-03	—
P1b	1.29311	22.02	295.17	4.3809E-03	125.91
p02大気圧	1.02422	22.03	295.18	—	—
P2a	2.01150	22.06	295.21	6.8138E-03	—
P2b	1.30221	22.06	295.21	4.4111E-03	126.20
p03大気圧	1.02416	22.07	295.22	—	—
P3a	1.96535	22.07	295.22	6.6572E-03	—
P3b	1.28879	22.08	295.23	4.3654E-03	125.97
p04大気圧	1.02398	22.08	295.23	—	—
p01-2平均	1.02514	22.02	295.17	3.4730E-03	—
p02-3平均	1.02419	22.05	295.20	3.4695E-03	—
p03-4平均	1.02407	22.08	295.23	3.4688E-03	—

基準容器容積 322 (cc)  
測定治具容積 122 (cc)

平均値	126.03
被測定部容積	4.03

$$Ti = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{Pb/Tb - P0/T0}{Pa/Ta - Pb/Tb} \times 322$$

$$Vh = V - 122$$

表11. 4 - 2 漏洩量測定装置治具容積測定結果(2)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-1 全体			測定日	H7/ 4/10
測定部名称				測定時間	
7711名	TEST-2				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (℃)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.02450	22.24	295.39	—	—
P1a	2.05451	22.30	295.45	6.9538E-03	—
P1b	1.56515	22.34	295.49	5.2968E-03	355.35
p02大気圧	1.02482	22.36	295.51	—	—
P2a	2.02432	22.39	295.54	6.8496E-03	—
P2b	1.54952	22.42	295.57	5.2425E-03	355.72
p03大気圧	1.02476	22.49	295.64	—	—
P3a	2.04707	22.55	295.70	6.9228E-03	—
P3b	1.56138	22.58	295.73	5.2797E-03	355.45
p04大気圧	1.02498	22.59	295.74	—	—
p01-2平均	1.02466	22.30	295.45	3.4681E-03	—
p02-3平均	1.02479	22.43	295.58	3.4671E-03	—
p03-4平均	1.02487	22.54	295.69	3.4660E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
126 (cc)

平均値	355.51
被測定部容積	229.51

$$T_i = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{P_b/T_b - P_0/T_0}{P_a/T_a - P_b/T_b} \times 322$$

$$V_h = V - 122$$

表11. 4 - 3 漏洩量測定装置治具容積測定結果(3)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-1 ハル7 まで			測定日	H7/ 4/10
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-3				
	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.02430	21.90	295.05	—	—
P1a	1.98459	21.95	295.10	6.7251E-03	—
P1b	1.50096	21.99	295.14	5.0856E-03	317.17
p02大気圧	1.02417	22.03	295.18	—	—
P2a	1.98700	22.09	295.24	6.7301E-03	—
P2b	1.50225	22.13	295.28	5.0875E-03	317.28
p03大気圧	1.02438	22.19	295.34	—	—
P3a	1.96628	22.23	295.38	6.6568E-03	—
P3b	1.49185	22.25	295.40	5.0503E-03	317.11
p04大気圧	1.02440	22.25	295.40	—	—
p01-2平均	1.02424	21.97	295.12	3.4706E-03	—
p02-3平均	1.02428	22.11	295.26	3.4691E-03	—
p03-4平均	1.02439	22.22	295.37	3.4682E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
126 (cc)

平均値	317.19
被測定部容積	191.19

$$T_i = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{P_b/T_b - P_0/T_0}{P_a/T_a - P_b/T_b} \times 322$$

$$V_h = V - 122$$

表11. 4 - 4 漏洩量測定装置治具容積測定結果(4)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1:開、V2-6:閉			測定日	H7/ 4/10
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-11				
	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.02499	23.42	296.57	—	—
P1a	1.99011	23.34	296.49	6.7122E-03	—
P1b	1.49132	23.25	296.40	5.0314E-03	301.45
p02大気圧	1.02513	23.16	296.31	—	—
P2a	1.97538	23.05	296.20	6.6691E-03	—
P2b	1.48407	22.97	296.12	5.0117E-03	301.18
p03大気圧	1.02534	22.90	296.05	—	—
P3a	1.96984	22.84	295.99	6.6551E-03	—
P3b	1.48172	22.80	295.95	5.0067E-03	301.25
p04大気圧	1.02543	22.75	295.90	—	—
p01-2平均	1.02506	23.29	296.44	3.4579E-03	—
p02-3平均	1.02524	23.03	296.18	3.4615E-03	—
p03-4平均	1.02539	22.83	295.98	3.4644E-03	—

基準容器容積 322 (cc)  
測定治具容積 126 (cc)

平均値	301.30
被測定部容積	175.30

$$Ti = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{Pb/Tb - P0/T0}{Pa/Ta - Pb/Tb} \times 322$$

$$Vh = V - 122$$



表11. 4 - 5 漏洩量測定装置治具容積測定結果(5)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1-5:開、V6:閉			測定日	H7/ 4/11
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-12				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03544	18.65	291.80	—	—
P1a	1.99964	18.71	291.86	6.8514E-03	—
P1b	1.68280	18.75	291.90	5.7650E-03	657.33
p02大気圧	1.03516	18.77	291.92	—	—
P2a	1.95182	18.83	291.98	6.6848E-03	—
P2b	1.65039	18.87	292.02	5.6516E-03	656.66
p03大気圧	1.03483	18.89	292.04	—	—
P3a	1.93842	18.98	292.13	6.6355E-03	—
P3b	1.64221	19.15	292.30	5.6182E-03	657.40
p04大気圧	1.03461	19.16	292.31	—	—
p01-2平均	1.03530	18.71	291.86	3.5472E-03	—
p02-3平均	1.03500	18.83	291.98	3.5447E-03	—
p03-4平均	1.03472	19.03	292.18	3.5414E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
126 (cc)

平均値	657.13
被測定部容積	531.13

$$Ti = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{Pb/Tb - P0/T0}{Pa/Ta - Pb/Tb} \times 322$$

$$Vh = V - 122$$

表 11. 4 - 6 漏洩量測定装置治具容積測定結果(6)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1-6:閉			測定日	H7/ 4/11
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-13				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03448	19.42	292.57	—	—
P1a	1.96469	19.38	292.53	6.7162E-03	—
P1b	1.40632	19.36	292.51	4.8078E-03	214.60
p02大気圧	1.03422	19.34	292.49	—	—
P2a	1.96097	19.34	292.49	6.7044E-03	—
P2b	1.40475	19.32	292.47	4.8031E-03	214.57
p03大気圧	1.03422	19.32	292.47	—	—
P3a	1.99351	19.33	292.48	6.8159E-03	—
P3b	1.41773	19.33	292.48	4.8473E-03	214.50
p04大気圧	1.03411	19.33	292.48	—	—
p01-2平均	1.03435	19.38	292.53	3.5359E-03	—
p02-3平均	1.03422	19.33	292.48	3.5360E-03	—
p03-4平均	1.03417	19.33	292.48	3.5359E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
126 (cc)

平均値	214.56
被測定部容積	88.56

$$Ti = [\text{ガス温度:}^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{Pb/Tb - P0/T0}{Pa/Ta - Pb/Tb} \times 322$$

$$Vh = V - 122$$

表11. 4 - 7 漏洩量測定装置治具容積測定結果(7)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1.6:開、V2-5:閉			測定日	H7/ 4/11
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-14				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03177	19.38	292.53	—	—
P1a	1.95611	19.44	292.59	6.6855E-03	—
P1b	1.51044	19.49	292.64	5.1614E-03	345.54
p02大気圧	1.03160	19.52	292.67	—	—
P2a	1.95273	19.58	292.73	6.6708E-03	—
P2b	1.50856	19.62	292.77	5.1527E-03	345.53
p03大気圧	1.03142	19.64	292.79	—	—
P3a	1.99842	19.74	292.89	6.8231E-03	—
P3b	1.53231	19.78	292.93	5.2310E-03	345.69
p04大気圧	1.03146	19.82	292.97	—	—
p01-2平均	1.03169	19.45	292.60	3.5259E-03	—
p02-3平均	1.03151	19.58	292.73	3.5238E-03	—
p03-4平均	1.03144	19.73	292.88	3.5217E-03	—

基準容器容積 322 (cc)  
測定治具容積 126 (cc)

平均値	345.59
被測定部容積	219.59

$$Ti = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{Pb/Tb - P0/T0}{Pa/Ta - Pb/Tb} \times 322$$

$$Vh = V - 122$$

表11. 4 - 8 漏洩量測定装置治具容積測定結果(8)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1,2:開、V3-6:閉			測定日	H7/ 4/11
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-15				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03136	19.92	293.07	—	—
P1a	1.98991	20.01	293.16	6.7878E-03	—
P1b	1.55618	20.03	293.18	5.3079E-03	389.37
p02大気圧	1.03132	20.03	293.18	—	—
P2a	1.99118	20.03	293.18	6.7917E-03	—
P2b	1.55710	20.02	293.17	5.3113E-03	390.13
p03大気圧	1.03123	20.02	293.17	—	—
P3a	1.95080	20.04	293.19	6.6537E-03	—
P3b	1.53549	20.04	293.19	5.2372E-03	390.96
p04大気圧	1.03121	20.05	293.20	—	—
p01-2平均	1.03134	19.98	293.13	3.5184E-03	—
p02-3平均	1.03128	20.03	293.18	3.5176E-03	—
p03-4平均	1.03122	20.04	293.19	3.5173E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
126 (cc)

平均値	390.15
被測定部容積	264.15

$$Ti = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{Pb/Tb - P0/T0}{Pa/Ta - Pb/Tb} \times 322$$

$$Vh = V - 122$$

表 11. 4 - 9 漏洩量測定装置治具容積測定結果(9)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1-6:開			測定日	H7/ 4/14
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-16				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03438	19.27	292.42	—	—
P1a	1.97239	19.28	292.43	6.7448E-03	—
P1b	1.67728	19.28	292.43	5.7357E-03	701.61
p02大気圧	1.03404	19.26	292.41	—	—
P2a	1.95820	19.31	292.46	6.6956E-03	—
P2b	1.66779	19.33	292.48	5.7022E-03	702.43
p03大気圧	1.03374	19.35	292.50	—	—
P3a	1.96900	19.40	292.55	6.7305E-03	—
P3b	1.67490	19.42	292.57	5.7248E-03	701.69
p04大気圧	1.03348	19.43	292.58	—	—
p01-2平均	1.03421	19.27	292.42	3.5368E-03	—
p02-3平均	1.03389	19.31	292.46	3.5352E-03	—
p03-4平均	1.03361	19.39	292.54	3.5332E-03	—

基準容器容積 322 (cc)  
測定治具容積 126 (cc)

平均値	701.91
被測定部容積	575.91

$$T_i = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{P_b/T_b - P_0/T_0}{P_a/T_a - P_b/T_b} \times 322$$

$$V_h = V - 122$$

表11. 4-10 漏洩量測定装置治具容積測定結果(10)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1.3:開、V2-6:閉			測定日	H7/ 4/14
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-17				
	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03259	19.48	292.63	—	—
P1a	1.94531	19.55	292.70	6.6461E-03	—
P1b	1.53178	19.61	292.76	5.2322E-03	388.28
p02大気圧	1.03222	19.60	292.75	—	—
P2a	1.94706	19.57	292.72	6.6516E-03	—
P2b	1.53252	19.56	292.71	5.2356E-03	388.99
p03大気圧	1.03156	19.56	292.71	—	—
P3a	1.96713	19.57	292.72	6.7202E-03	—
P3b	1.54350	19.57	292.72	5.2730E-03	389.21
p04大気圧	1.03131	19.57	292.72	—	—
p01-2平均	1.03241	19.54	292.69	3.5273E-03	—
p02-3平均	1.03189	19.58	292.73	3.5251E-03	—
p03-4平均	1.03144	19.57	292.72	3.5237E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
126 (cc)

平均値	388.82
被測定部容積	262.82

$$T_i = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{P_b/T_b - P_0/T_0}{P_a/T_a - P_b/T_b} \times 322$$

$$V_h = V - 122$$

表11. 4-11 漏洩量測定装置治具容積測定結果(1)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1,4:開、V2-6:閉			測定日	H7/ 4/14
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-18				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03117	19.58	292.73	—	—
P1a	1.97184	19.60	292.75	6.7356E-03	—
P1b	1.54744	19.66	292.81	5.2848E-03	391.40
p02大気圧	1.03101	19.75	292.90	—	—
P2a	1.95848	19.85	293.00	6.6842E-03	—
P2b	1.53942	19.83	292.98	5.2544E-03	390.73
p03大気圧	1.03072	19.79	292.94	—	—
P3a	1.98826	19.76	292.91	6.7880E-03	—
P3b	1.55629	19.77	292.92	5.3130E-03	391.73
p04大気圧	1.03070	19.76	292.91	—	—
p01-2平均	1.03109	19.67	292.82	3.5213E-03	—
p02-3平均	1.03087	19.77	292.92	3.5193E-03	—
p03-4平均	1.03071	19.78	292.93	3.5187E-03	—

基準容器容積 322 (cc)  
測定治具容積 126 (cc)

平均値	391.29
被測定部容積	265.29

$$T_i = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{P_b/T_b - P_0/T_0}{P_a/T_a - P_b/T_b} \times 322$$

$$V_h = V - 122$$

表11. 4-12 漏洩量測定装置治具容積測定結果(12)

設備名	漏洩量測定装置			系統番号	
検査対象部	ジグ-2 V1,5:開、V2-6:閉			測定日	H7/ 4/14
測定部名称				測定時間	
ファイル名	TEST-19				
	圧力 (kg/cm2abs)	ガス温度 (°C)	絶対温度 (K)	Pi/Ti	全体容積 (cc)
p01大気圧	1.03066	19.74	292.89	—	—
P1a	1.96191	19.76	292.91	6.6980E-03	—
P1b	1.53943	19.73	292.88	5.2562E-03	387.93
p02大気圧	1.03067	19.71	292.86	—	—
P2a	1.95770	19.71	292.86	6.6848E-03	—
P2b	1.53692	19.70	292.85	5.2481E-03	387.56
p03大気圧	1.03044	19.69	292.84	—	—
P3a	1.99530	19.69	292.84	6.8136E-03	—
P3b	1.55730	19.71	292.86	5.3176E-03	387.34
p04大気圧	1.03032	19.80	292.95	—	—
p01-2平均	1.03067	19.73	292.88	3.5191E-03	—
p02-3平均	1.03056	19.70	292.85	3.5191E-03	—
p03-4平均	1.03038	19.75	292.90	3.5179E-03	—

基準容器容積  
測定治具容積

322 (cc)  
126 (cc)

平均値	387.61
被測定部容積	261.61

$$T_i = [\text{ガス温度: } ^\circ\text{C}] + 273.15$$

$$V = \frac{P_b/T_b - P_0/T_0}{P_a/T_a - P_b/T_b} \times 322$$

$$V_h = V - 122$$



## 1 2. 結 言

本報告における検討事項及び結果は以下の通りである。

2～4項では、これまで「常陽」の燃料取扱設備で実施してきた漏洩試験方法を整理し、その課題を明確にするとともに、その精度を明らかにした。

5項では、一般的に用いられる容器等の漏洩試験方法及び原子炉格納容器に用いられる漏洩測定方法を調査・検討し、各測定計器の精度を向上させ測定時間を延長することにより、加圧法及び減圧法の測定精度が向上できることを示した。

6～8項では、実際に測定装置を製作し、加圧法、ヘリウム加圧法、減圧法、コールドトラップ冷却減圧法の4つの測定方法について実測試験を行い、各測定方法の実用性や測定限界等を確認した。

9～10項では、測定精度を高めた計器を用い、漏洩量の計算方法に統計的な解析手法を導入した自動測定装置を製作し、その装置の性能、保証精度、並びに実用性を確認した。

漏洩測定が所定の精度内で安定して実施可能なことから、複数のシール部を一括して測定することが可能となり、100箇所以上もあるシール部の測定作業時間を約半分に短縮した。

今回の漏洩試験方法に関する一連の検討並びに装置の開発により、大幅な精度の向上が図られ、微少な漏洩の判定を人的要因をなくして厳密に判定することが可能となると共に、大幅な作業時間の短縮が可能となった。

燃料取扱設備の漏洩試験は、機器の機能を維持する上で重要な試験項目であるが、その本質は異常時においても放射性ガスや汚染物質の外部放出を防止する機能を確認するための試験である。今後とも本目的を達成するために、設備の適切な維持・運用を図っていく。

### 1 3. 参考文献

- (1) 日本非破壊検査協会規格      放置法による漏洩試験方法  
      NDIS 3409
  
- (2) 日本工業規格                    放置法による漏れ試験方法  
      JIS Z 2332
  
- (3) 日本電気協会 電気技術規程    原子炉格納容器の漏えい試験  
      JEAC 4203
  
- (4) 日本非破壊検査協会規格      漏洩試験方法の種類と選択  
      NDIS 3411

## 添付資料

- 添付資料 1 A社式に対する測定精度の計算方法
- 添付資料 2 B社式に対する測定精度の計算方法
- 添付資料 3 理論式（大気圧測定）に対する測定精度の計算方法
- 添付資料 4 理論式（絶対圧力測定）に対する測定精度の計算方法
- 添付資料 5 基準容器法（温度測定なし）に対する測定精度の計算方法
- 添付資料 6 基準容器法（温度測定有り）に対する測定精度の計算方法
- 添付資料 7 漏洩量測定装置の測定精度の計算方法（減圧法）

添付資料1 A社式に対する測定精度の計算方法

①漏洩量計算式（漏洩量計算式を偏微分するために、式の展開を行う。）

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{T_{av} \cdot V}{T_1 \cdot t \cdot P_0} \left\{ P_0 \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right) + \left( p_1 - \frac{T_1}{T_2} p_2 \right) \right\} \\
 &= \frac{V}{t \cdot P_0} \left( \frac{T_1 + T_2}{2} \right) \left\{ \left( \frac{P_0}{T_1} - \frac{P_0}{T_2} \right) + \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) \right\} \\
 &= \frac{V}{t \cdot P_0} \left( \frac{T_1 + T_2}{2} \right) \left\{ \frac{p_1 + P_0}{T_1} - \frac{p_2 + P_0}{T_2} \right\} \\
 &= \frac{V}{2 \cdot t} \left\{ \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right) \left( 1 + \frac{p_1}{P_0} \right) - \left( 1 + \frac{T_1}{T_2} \right) \left( 1 + \frac{p_2}{P_0} \right) \right\}
 \end{aligned}$$

Q	: 漏洩量	[atm cc/sec]	V	: 被試験体容積	[cc]
t	: 測定時間	[sec]	T0	: 基準温度	[293.15 K]
P0	: 標準圧力	[760 mmHg]	T1	: 測定開始時の温度	[K]
p1	: 測定開始時の圧力	[mmHg]	T2	: 測定終了時の温度	[K]
p2	: 測定終了時の圧力	[mmHg]			
Tav	: 平均温度	$T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2}$			[K]

②平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(Q) = \sum_i \left[ \frac{\partial Q}{\partial X_i} \right]^2 \times \sigma^2(X_i)$$

この内、変数： $X_i$  となるのは、  
 (t, V, p1, p2, T1, T2)  
 であり、この変数に関して一般式を展開する。

$$\begin{aligned}
 \sigma^2(Q) &= \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial t} \right]^2 \times \sigma^2(t)}_{(a)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial V} \right]^2 \times \sigma^2(V)}_{(b)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_1} \right]^2 \times \sigma^2(T_1)}_{(c)} \\
 &\quad + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_2} \right]^2 \times \sigma^2(T_2)}_{(d)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial p_1} \right]^2 \times \sigma^2(p_1)}_{(e)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial p_2} \right]^2 \times \sigma^2(p_2)}_{(f)}
 \end{aligned}$$

③これに漏洩試験計算式を代入する。

$$\begin{aligned}
 (a) &= \left\{ \frac{-V}{2 \cdot t^2} \left[ \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right) \left( 1 + \frac{p_1}{P_0} \right) - \left( 1 + \frac{T_1}{T_2} \right) \left( 1 + \frac{p_2}{P_0} \right) \right] \right\}^2 \times \sigma^2(t) \\
 (b) &= \left\{ \frac{1}{2 \cdot t} \left[ \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right) \left( 1 + \frac{p_1}{P_0} \right) - \left( 1 + \frac{T_1}{T_2} \right) \left( 1 + \frac{p_2}{P_0} \right) \right] \right\}^2 \times \sigma^2(V) \\
 (c) &= \left\{ \frac{V}{2 \cdot t} \left[ \left( -\frac{T_2}{T_1^2} \right) \left( 1 + \frac{p_1}{P_0} \right) - \left( \frac{1}{T_2} \right) \left( 1 + \frac{p_2}{P_0} \right) \right] \right\}^2 \times \sigma^2(T_1) \\
 (d) &= \left\{ \frac{V}{2 \cdot t} \left[ \left( \frac{1}{T_1} \right) \left( 1 + \frac{p_1}{P_0} \right) - \left( -\frac{T_1}{T_2^2} \right) \left( 1 + \frac{p_2}{P_0} \right) \right] \right\}^2 \times \sigma^2(T_2) \\
 (e) &= \left\{ \frac{V}{2 \cdot t} \left[ \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{1}{P_0} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(p_1) \\
 (f) &= \left\{ \frac{V}{2 \cdot t} \left[ -\left( 1 + \frac{T_1}{T_2} \right) \frac{1}{P_0} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(p_2) \\
 &= \left\{ \frac{V}{2 \cdot t} \left[ \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right) \left( -\frac{p_1}{P_0^2} \right) - \left( 1 + \frac{T_1}{T_2} \right) \left( -\frac{p_2}{P_0^2} \right) \right] \right\}^2 \times \sigma^2(P_0)
 \end{aligned}$$

添付資料2 B社式に対する測定精度の計算方法

①漏洩量計算式

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right\}$$

Q	: 漏洩量	[atm cc/sec]	V	: 被試験体容積	[cc]
t	: 測定時間	[sec]	T0	: 基準温度	[293.15 K]
P0	: 標準圧力	[1.033 kgf/cm <sup>2</sup> ]	T1	: 測定開始時の温度	[K]
p1	: 測定開始時の圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	T2	: 測定終了時の温度	[K]
p2	: 測定終了時の圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]			

②平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(Q) = \sum_i \left\{ \frac{\partial Q}{\partial X_i} \right\}^2 \times \sigma^2(X_i)$$

この内、変数:  $X_i$  となるのは、

(t, V, p1, p2, T1, T2)

であり、この変数に関して一般式を展開する。

$$\begin{aligned} \sigma^2(Q) = & \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial t} \right\}^2 \times \sigma^2(t)}_{(a)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial V} \right\}^2 \times \sigma^2(V)}_{(b)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial T_1} \right\}^2 \times \sigma^2(T_1)}_{(c)} \\ & + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial T_2} \right\}^2 \times \sigma^2(T_2)}_{(d)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial p_1} \right\}^2 \times \sigma^2(p_1)}_{(e)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial p_2} \right\}^2 \times \sigma^2(p_2)}_{(f)} \end{aligned}$$

③これに漏洩試験計算式を代入する。

$$\begin{aligned} (a) &= \left\{ \frac{-V \cdot T_0}{t^2 \cdot P_0} \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(t) \\ (b) &= \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(V) \\ (c) &= \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( -\frac{p_1}{T_1^2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(T_1) \\ (d) &= \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( +\frac{p_2}{T_2^2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(T_2) \\ (e) &= \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( \frac{1}{T_1} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(p_1) \\ (f) &= \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( -\frac{1}{T_2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(p_2) \\ &= \left\{ \frac{-V \cdot T_0}{t \cdot P_0^2} \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(P_0) \end{aligned}$$

## 添付資料3 理論式(大気圧測定)に対する測定精度の計算方法

①漏洩量計算式 ([kgf/cm<sup>2</sup>] 単位で測定)

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1} - \frac{p_2 + P_2}{T_2} \right\}$$

Q	: 漏洩量	[atm cc/sec]	V	: 被試験体容積	[cc]
t	: 測定時間	[sec]	T <sub>0</sub>	: 基準温度	[293.15 K]
P <sub>0</sub>	: 標準圧力	[1.033 kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>1</sub>	: 測定開始時の温度	[K]
p <sub>1</sub>	: 測定開始時の圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>2</sub>	: 測定終了時の温度	[K]
p <sub>2</sub>	: 測定終了時の圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]			
P <sub>1</sub>	: 測定開始時の外気圧	[kgf/cm <sup>2</sup> ]			
P <sub>2</sub>	: 測定終了時の外気圧	[kgf/cm <sup>2</sup> ]			

②平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(Q) = \sum_i \left\{ \frac{\partial Q}{\partial X_i} \right\}^2 \times \sigma^2(X_i)$$

この内、変数: X<sub>i</sub> となるのは、(t, V, p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>)

であり、この変数に関して一般式を展開する。

$$\begin{aligned} \sigma^2(Q) = & \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial t} \right\}^2 \times \sigma^2(t)}_{(a)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial V} \right\}^2 \times \sigma^2(V)}_{(b)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial T_1} \right\}^2 \times \sigma^2(T_1)}_{(c)} \\ & + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial T_2} \right\}^2 \times \sigma^2(T_2)}_{(d)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial p_1} \right\}^2 \times \sigma^2(p_1)}_{(e)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial p_2} \right\}^2 \times \sigma^2(p_2)}_{(f)} \\ & + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial P_1} \right\}^2 \times \sigma^2(P_1)}_{(g)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial P_2} \right\}^2 \times \sigma^2(P_2)}_{(h)} \end{aligned}$$

③これに漏洩試験計算式を代入する。

$$(a) = \left\{ \frac{-V \cdot T_0}{t^2 \cdot P_0} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1} - \frac{p_2 + P_2}{T_2} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(t)$$

$$(b) = \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{p_1 + P_1}{T_1} - \frac{p_2 + P_2}{T_2} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(V)$$

$$(c) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( - \frac{p_1 + P_1}{T_1^2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(T_1)$$

$$(d) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( + \frac{p_2 + P_2}{T_2^2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(T_2)$$

$$(e) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( + \frac{1}{T_1} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(p_1)$$

$$(f) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( - \frac{1}{T_2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(p_2)$$

$$(g) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( + \frac{1}{T_1} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(P_1)$$

$$(h) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left( - \frac{1}{T_2} \right) \right\}^2 \times \sigma^2(P_2)$$

添付資料 4 理論式（絶対圧力測定）に対する測定精度の計算方法①漏洩量計算式（[kgf/cm<sup>2</sup>-abs] 単位で測定）

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{Pa_1}{T_1} - \frac{Pa_2}{T_2} \right\}$$

{	Q : 漏洩量	[atm cc/sec]	V : 被試験体容積	[cc]
	t : 測定時間	[sec]	T0 : 基準温度	[293.15 K]
	P0 : 標準圧力	[1.0332 kgf/cm <sup>2</sup> ]	T1 : 測定開始時の温度	[K]
	Pa1 : 測定開始時の絶対圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> -abs]	T2 : 測定終了時の温度	[K]
	Pa2 : 測定終了時の絶対圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> -abs]		

②平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(Q) = \sum_i \left\{ \frac{\partial Q}{\partial X_i} \right\}^2 \times \sigma^2(X_i)$$

この内、変数：X<sub>i</sub> となるのは、

$$(t, V, Pa_1, Pa_2, T_1, T_2)$$

であり、この変数に関して一般式を展開する。

$$\begin{aligned} \sigma^2(Q) = & \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial t} \right\}^2 \times \sigma^2(t)}_{(a)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial V} \right\}^2 \times \sigma^2(V)}_{(b)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial T_1} \right\}^2 \times \sigma^2(T_1)}_{(c)} \\ & + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial T_2} \right\}^2 \times \sigma^2(T_2)}_{(d)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial Pa_1} \right\}^2 \times \sigma^2(Pa_1)}_{(e)} + \underbrace{\left\{ \frac{\partial Q}{\partial Pa_2} \right\}^2 \times \sigma^2(Pa_2)}_{(f)} \end{aligned}$$

③これに漏洩試験計算式を代入する。

$$(a) = \left\{ \frac{-V \cdot T_0}{t^2 \cdot P_0} \left\{ \frac{Pa_1}{T_1} - \frac{Pa_2}{T_2} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(t)$$

$$(b) = \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{Pa_1}{T_1} - \frac{Pa_2}{T_2} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(V)$$

$$(c) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ -\frac{Pa_1}{T_1^2} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(T_1)$$

$$(d) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ +\frac{Pa_2}{T_2^2} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(T_2)$$

$$(e) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{1}{T_1} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(Pa_1)$$

$$(f) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ -\frac{1}{T_2} \right\} \right\}^2 \times \sigma^2(Pa_2)$$

## 添付資料5 基準容器法（温度測定なし）に対する測定精度の計算方法

①漏洩量計算式（[kgf/cm<sup>2</sup>] 単位で測定）

$$Q = \frac{|P_{x1} - P_{x2}| \cdot V_x - |P_{s1} - P_{s2}| \cdot V_s}{t \cdot P_0}$$

Q	: 漏洩量	[atm cc/sec]	V <sub>x</sub>	: 被試験体容積	[cc]
t	: 測定時間	[sec]	V <sub>s</sub>	: 基準容器容積	[cc]
P <sub>0</sub>	: 標準圧力	[1.0332 kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>0</sub>	: 基準温度	[293.15 K]
P <sub>x1</sub>	: 開始時の被測定部圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>s1</sub>	: 開始時の基準容器圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
P <sub>x2</sub>	: 終了時の被測定部圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>s2</sub>	: 終了時の基準容器圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

## ②平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(Q) = \sum_i \left( \frac{\partial Q}{\partial X_i} \right)^2 \times \sigma^2(X_i)$$

この内、変数：X<sub>i</sub> となるのは、

(t, V<sub>x</sub>, V<sub>s</sub>, P<sub>x1</sub>, P<sub>x2</sub>, P<sub>s1</sub>, P<sub>s2</sub>)

であり、この変数に関して一般式を展開する。

$$\begin{aligned} \sigma^2(Q) = & \underbrace{\left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right)^2 \times \sigma^2(t)}_{(a)} + \underbrace{\left( \frac{\partial Q}{\partial V_x} \right)^2 \times \sigma^2(V_x)}_{(b)} + \underbrace{\left( \frac{\partial Q}{\partial V_s} \right)^2 \times \sigma^2(V_s)}_{(c)} \\ & + \underbrace{\left( \frac{\partial Q}{\partial P_{x1}} \right)^2 \times \sigma^2(P_{x1})}_{(d)} + \underbrace{\left( \frac{\partial Q}{\partial P_{x2}} \right)^2 \times \sigma^2(P_{x2})}_{(e)} + \underbrace{\left( \frac{\partial Q}{\partial P_{s1}} \right)^2 \times \sigma^2(P_{s1})}_{(f)} \\ & + \underbrace{\left( \frac{\partial Q}{\partial P_{s2}} \right)^2 \times \sigma^2(P_{s2})}_{(g)} \end{aligned}$$

## ③これに漏洩試験計算式を代入する。

$$\begin{aligned} (a) &= \left\{ \frac{|P_{x1} - P_{x2}| V_x - |P_{s1} - P_{s2}| V_s}{t^2 \cdot P_0} \right\}^2 \times \sigma^2(t) \\ (b) &= \left\{ \frac{P_{x1} - P_{x2}}{t \cdot P_0} \right\}^2 \times \sigma^2(V_x) \\ (c) &= \left\{ \frac{P_{s1} - P_{s2}}{t \cdot P_0} \right\}^2 \times \sigma^2(V_s) \\ (d) &= \left\{ \frac{V_x}{t \cdot P_0} \right\}^2 \times \sigma^2(P_{x1}) \\ (e) &= \left\{ \frac{-V_x}{t \cdot P_0} \right\}^2 \times \sigma^2(P_{x2}) \\ (f) &= \left\{ \frac{-V_s}{t \cdot P_0} \right\}^2 \times \sigma^2(P_{s1}) \\ (g) &= \left\{ \frac{V_s}{t \cdot P_0} \right\}^2 \times \sigma^2(P_{s2}) \end{aligned}$$



添付資料6 基準容器法（温度測定有り）に対する測定精度の計算方法

①漏洩量計算式（[kgf/cm<sup>2</sup>] 単位で測定）

$$Q = \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \left| \frac{P_{x1}}{T_{x1}} - \frac{P_{x2}}{T_{x2}} \right| \cdot V_x - \left| \frac{P_{s1}}{T_{s1}} - \frac{P_{s2}}{T_{s2}} \right| \cdot V_s \right\}$$

Q : 漏洩量	[atm cc/sec]	V <sub>x</sub> : 被試験体容積	[cc]
t : 測定時間	[sec]	V <sub>s</sub> : 基準容器容積	[cc]
P <sub>0</sub> : 標準圧力	[1.0332 kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>0</sub> : 基準温度	[293.15 K]
P <sub>x1</sub> : 開始時の被測定部圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>x1</sub> : 開始時の被測定部温度	[K]
P <sub>x2</sub> : 終了時の被測定部圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>x2</sub> : 終了時の被測定部温度	[K]
P <sub>s1</sub> : 開始時の基準容器圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>s1</sub> : 開始時の基準容器温度	[K]
P <sub>s2</sub> : 終了時の基準容器圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>s2</sub> : 終了時の基準容器温度	[K]

②平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(Q) = \sum_i \left[ \frac{\partial Q}{\partial X_i} \right]^2 \times \sigma^2(X_i)$$

この内、変数：X<sub>i</sub> となるのは、

(t, V<sub>x</sub>, V<sub>s</sub>, P<sub>x1</sub>, P<sub>x2</sub>, P<sub>s1</sub>, P<sub>s2</sub>, T<sub>x1</sub>, T<sub>x2</sub>, T<sub>s1</sub>, T<sub>s2</sub>)

であり、この変数に関して一般式を展開する。

$$\begin{aligned} \sigma^2(Q) = & \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial t} \right]^2 \times \sigma^2(t)}_{(a)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial V_x} \right]^2 \times \sigma^2(V_x)}_{(b)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial V_s} \right]^2 \times \sigma^2(V_s)}_{(c)} \\ & + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial P_{x1}} \right]^2 \times \sigma^2(P_{x1})}_{(d)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial P_{x2}} \right]^2 \times \sigma^2(P_{x2})}_{(e)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial P_{s1}} \right]^2 \times \sigma^2(P_{s1})}_{(f)} \\ & + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial P_{s2}} \right]^2 \times \sigma^2(P_{s2})}_{(g)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_{x1}} \right]^2 \times \sigma^2(T_{x1})}_{(h)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_{x2}} \right]^2 \times \sigma^2(T_{x2})}_{(i)} \\ & + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_{s1}} \right]^2 \times \sigma^2(T_{s1})}_{(j)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_{s2}} \right]^2 \times \sigma^2(T_{s2})}_{(k)} \end{aligned}$$

③これに漏洩試験計算式を代入する。

$$(a) = \left\{ \frac{-T_0}{t^2 \cdot P_0} \left[ \left| \frac{P_{x1}}{T_{x1}} - \frac{P_{x2}}{T_{x2}} \right| V_x - \left| \frac{P_{s1}}{T_{s1}} - \frac{P_{s2}}{T_{s2}} \right| V_s \right] \right\}^2 \times \sigma^2(t)$$

$$(b) = \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left[ \frac{P_{x1}}{T_{x1}} - \frac{P_{x2}}{T_{x2}} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(V_x)$$

$$(c) = \left\{ \frac{-T_0}{t \cdot P_0} \left[ \frac{P_{s1}}{T_{s1}} - \frac{P_{s2}}{T_{s2}} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(V_s)$$

$$(d) = \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left[ \frac{1}{T_{x1}} \right] V_x \right\}^2 \times \sigma^2(P_{x1})$$

$$(e) = \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left[ \frac{-1}{T_{x2}} \right] V_x \right\}^2 \times \sigma^2(P_{x2})$$

$$(f) = \left\{ \frac{-T_0}{t \cdot P_0} \left[ \frac{1}{T_{s1}} \right] V_s \right\}^2 \times \sigma^2(P_{s1})$$

$$(g) = \left\{ \frac{-T_0}{t \cdot P_0} \left[ \frac{-1}{T_{s2}} \right] V_s \right\}^2 \times \sigma^2(P_{s2})$$

$$\begin{aligned}
 \text{(h)} &= \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left( \frac{-P_{x1}}{T_{x1}^2} \right) V_x \right\}^2 \times \sigma^2(T_{x1}) \\
 \text{(i)} &= \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left( \frac{P_{x2}}{T_{x2}^2} \right) V_x \right\}^2 \times \sigma^2(T_{x2}) \\
 \text{(j)} &= \left\{ \frac{-T_0}{t \cdot P_0} \left( \frac{-P_{s1}}{T_{s1}^2} \right) V_s \right\}^2 \times \sigma^2(T_{s1}) \\
 \text{(k)} &= \left\{ \frac{-T_0}{t \cdot P_0} \left( \frac{P_{s2}}{T_{s2}^2} \right) V_s \right\}^2 \times \sigma^2(T_{s2})
 \end{aligned}$$

## 添付資料7 漏洩量測定装置の測定精度の計算方法(減圧法)

①漏洩量計算式 ([kgf/cm<sup>2</sup>-abs] 単位で測定)

$$Q = \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left\{ \frac{Pa_2}{T_2} - \frac{Pa_1}{T_1} \right\}$$

{	Q : 漏洩量	[atm cc/sec]	V : 被試験体容積	[cc]
	t : 測定時間	[sec]	T <sub>0</sub> : 基準温度	[293.15 K]
	P <sub>0</sub> : 標準圧力	[1.0332 kgf/cm <sup>2</sup> ]	T <sub>1</sub> : 測定開始時の温度	[K]
	Pa <sub>1</sub> : 測定開始時の絶対圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> -abs]	T <sub>2</sub> : 測定終了時の温度	[K]
	Pa <sub>2</sub> : 測定終了時の絶対圧力	[kgf/cm <sup>2</sup> -abs]		

②平均自乗誤差法の一般式は、次式で表される。

$$\sigma^2(Q) = \sum_i \left[ \frac{\partial Q}{\partial X_i} \right]^2 \times \sigma^2(X_i)$$

この内、変数: X<sub>i</sub> となるのは、

$$(t, V, Pa_1, Pa_2, T_1, T_2)$$

であり、この変数に関して一般式を展開する。

$$\begin{aligned} \sigma^2(Q) = & \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial t} \right]^2 \times \sigma^2(t)}_{(a)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial V} \right]^2 \times \sigma^2(V)}_{(b)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_1} \right]^2 \times \sigma^2(T_1)}_{(c)} \\ & + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial T_2} \right]^2 \times \sigma^2(T_2)}_{(d)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial Pa_1} \right]^2 \times \sigma^2(Pa_1)}_{(e)} + \underbrace{\left[ \frac{\partial Q}{\partial Pa_2} \right]^2 \times \sigma^2(Pa_2)}_{(f)} \end{aligned}$$

③これに漏洩試験計算式を代入する。

$$(a) = \left\{ \frac{-V \cdot T_0}{t^2 \cdot P_0} \left[ \frac{Pa_2}{T_2} - \frac{Pa_1}{T_1} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(t)$$

$$(b) = \left\{ \frac{T_0}{t \cdot P_0} \left[ \frac{Pa_2}{T_2} - \frac{Pa_1}{T_1} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(V)$$

$$(c) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left[ + \frac{Pa_1}{T_1^2} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(T_1)$$

$$(d) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left[ - \frac{Pa_2}{T_2^2} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(T_2)$$

$$(e) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left[ - \frac{1}{T_1} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(Pa_1)$$

$$(f) = \left\{ \frac{V \cdot T_0}{t \cdot P_0} \left[ + \frac{1}{T_2} \right] \right\}^2 \times \sigma^2(Pa_2)$$