

# グローブボックスのリーク率の新検査法

1992年6月

動力炉・核燃料開発事業団  
東 海 事 業 所

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下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1992

## グローブボックスのリーク率の新検査法

落合 健一\*

### 要 旨

本書は、グローブボックスのリーク率検査法について新しい提案を述べたものである。その方法については本文で詳細に述べるが、原理的には従来の「洩れなし容器法」の概念を発展させたもので、以下の特徴を有するものである。

- (1) 洩れなし容器と検査対象であるグローブボックスとは接続しないで測定する。
- (2) 一つの洩れなし容器を基準とし、同時に並行して複数のグローブボックスのリーク率を測定することができる。
- (3) 本法による測定誤差の大きさは「洩れなし容器法」よりも大きく、「大気圧比較法」よりも小さい。

本法によるリーク率測定のための測定原理、適用の方法などについて本文中で述べている。なお、本法を他の方法と区別するために「洩れなし容器基準法」と称することにする。

---

\* 環境施設部処理第一課

## 目 次

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1. はじめに .....             | 1  |
| 2. リーク率の計算式の導き方 .....     | 2  |
| 3. 測定誤差の評価 .....          | 9  |
| 4. 本提案方法の特徴 .....         | 13 |
| 5. グローブボックスのリーク率検査法 ..... | 18 |
| 6. 洩れなし容器基準法の検証方法 .....   | 22 |
| 7. あとがき .....             | 28 |

## 1. はじめに

グローブボックスのリーク率検査の新方法について提案する。

過去30年にわたり、動燃事業団はグローブボックスのリーク率検査法として、「洩れなし容器法」を採用し、実績を積んできているが、本法に関しては以前より、洩れなし容器とグローブボックスとの接続部の気密性の確認又は洩れなし容器を使用することによる煩雑さが指摘されており、最近は「大気圧比較法」に比べていさか居心地が悪いように見受けられる。

洩れなし容器を使用する方法は、きわめて柔軟性に富んだ優れた方法であるにもかかわらず、いわゆる「洩れなし容器法」として現在の手法がマニュアル化されたために、一般に本法に対する観念が固定してしまい、本来の良さが引き出されないままになっているのは残念である。

その主たる原因是、洩れなし容器とグローブボックスとを接続したことによる。これによって、洩れなし容器を使用する方法の自由度が失なわれたのみならず、接続によって生ずる不利を背負うことになったのである。

そこで、洩れなし容器とグローブボックスを切り離す、即ち、相互に独立性を持たせることにする。検査において、グローブボックスは従来どおり負圧にするが、洩れなし容器は負圧にする必要はない。これによって、グローブボックスのリーク率測定が出来なくなることはない。それどころか、測定の作業の煩雑さが減り、さらに別の利点が生ずるのである。このことを本文中で論ずる。新しく提案する方法は従来の「洩れなし容器法」と同じ原理に立つものであるが、より概念を広げるものである。そこで在来法と区別するために「洩れなし容器基準法」と称することにする。

以下に提案した方法について記述する。

## 2. リーク率の計算式の導き方

基本となるのは、下記の状態方程式である。

$$\frac{PV}{T} = nR \quad (1)$$

ここで、 P : 圧力

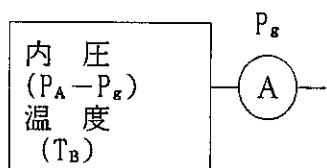
V : 容積

T : 絶対温度

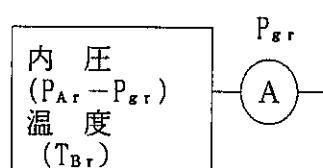
n : 気体のモル数

R : 1モル当りの気体定数

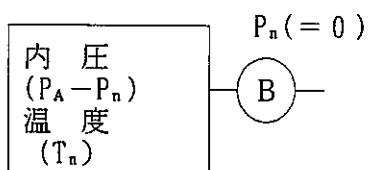
測定開始時及び t 分後のグローブボックスと洩れなし容器それぞれの差圧変化と温度変化を下図のようにする。(差圧  $p_{gr}$ ,  $p_{nr}$  はいずれもグローブボックス、洩れなし容器側を正とする。)



グローブボックス



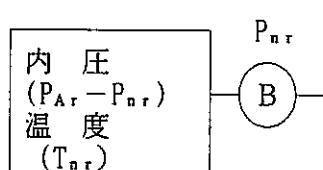
グローブボックス



洩れなし容器

室内圧( $P_A$ )

(1) 測定開始時 ( $t = 0$ )



洩れなし容器

室内圧( $P_{A_t}$ )

(2) t 分後 ( $t = t$ )

グローブボックス内について、測定開始時においては、

$$\frac{(P_A - P_g) V}{T_B} = n_1 R \quad (2)$$

ここで、V：グローブボックス容積、一定

$n_1$ ：測定開始時におけるグローブボックス内空気モル数

t分後においては

$$\frac{(P_{Ar} - p_{gr}) V}{T_{Br}} = n_2 R \quad (3)$$

$n_2$ ：t分後のグローブボックス内空気モル数

グローブボックス内に容積Qの空気（温度及び圧力はボックス内と同じとする）がリークしたとすると

$$n_2 = (1 + \frac{Q}{V}) n_1 \quad (4)$$

ただし、グローブボックス内は負圧とする。

グローブボックスのリーク率L（リークの百分率は $\ell$ ）は次式で定義される。

$$L \equiv \frac{Q}{V} \quad (5)$$

したがって(4)式は

$$n_2 = (1 + L) n_1 \quad (6)$$

(6)式を(3)式に代入すると、

$$\frac{(P_{Ar} - p_{gr}) V}{T_{Br}} = (1 + L) n_1 R \quad (7)$$

(2)式と(7)式より

$$\frac{(P_A - p_n) V}{T_B} \cdot (1 + L) = \frac{P_{Ar} - p_{gr}}{T_{Br}} \quad (8)$$

一方、洩れなし容器については、リークを考えないので、

$$\frac{P_A - p_n}{T_B} = \frac{P_{Ar} - p_{gr}}{T_{Br}} \quad (9)$$

(8)式を変形すると

$$1 + L = \frac{T_B}{T_{B_r}} \cdot \frac{(P_{A_r} - p_{g_r})}{(P_A - p_g)} \quad (10)$$

(9)式より

$$P_{A_r} = \frac{T_{n_r}}{T_n} (P_A - p_n) + p_{n_r} \quad (11)$$

(10)式と(11)式より

$$\begin{aligned} 1 + L &= \frac{T_B}{T_{B_r}} \cdot \frac{\left\{ \frac{T_{n_r}}{T_n} (P_A - p_n) + p_{n_r} - p_{g_r} \right\}}{(P_A - p_g)} \\ &= \frac{T_B}{T_{B_r}} \cdot \frac{T_{n_r}}{T_n} \cdot \frac{\left\{ (P_A - p_n) + \frac{T_n}{T_{n_r}} (p_{n_r} - p_{g_r}) \right\}}{(P_A - p_g)} \\ &= \frac{T_B}{T_{B_r}} \cdot \frac{T_{n_r}}{T_n} \left\{ 1 + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{n_r}} p_{g_r} \right) - \left( p_n - \frac{T_n}{T_{n_r}} p_{n_r} \right)}{(P_A - p_g)} \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{ここで } F = \frac{T_B}{T_{B_r}} \cdot \frac{T_{n_r}}{T_n} \quad (13)$$

とおき、これを次のように変形する。

$$\begin{aligned} F &= \left( 1 + \frac{T_B - T_{B_r}}{T_{B_r}} \right) \cdot \left( 1 + \frac{T_{n_r} - T_n}{T_n} \right) \\ &= 1 + \frac{T_B - T_{B_r}}{T_{B_r}} + \frac{T_{n_r} - T_n}{T_n} + \left( \frac{T_B - T_{B_r}}{T_{B_r}} \right) \left( \frac{T_{n_r} - T_n}{T_n} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

リーク検査は常温付近で行なわれ、グローブボックス内及び洩れなし容器内の温度変化はごく小さい（通常は0.3°K以下）ので、(14)式の第4項は第2項及び第3項に比べても1/1000以下であるので無視できる。従って、

$$F = 1 + \frac{T_B - T_{B_r}}{T_{B_r}} + \frac{T_{n_r} - T_n}{T_n} \quad (15)$$

とおくことができる。

よって(12)式は

$$1 + L = F \left\{ 1 + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{g,r} \right) - \left( p_n - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{n,r} \right)}{P_A - p_g} \right\}$$

$$= F + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{g,r} \right) - \left( p_n - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{n,r} \right)}{P_A - p_g} \cdot F$$

故に

$$L = (F - 1) + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{g,r} \right) - \left( p_n - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{n,r} \right)}{P_A - p_g} \cdot F$$

$$= \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{g,r} \right) - \left( p_n - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{n,r} \right)}{P_A - p_g}$$

$$+ \left\{ \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{g,r} \right) - \left( p_n - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{n,r} \right)}{P_A - p_g} \right\} \left( \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} \right) \quad (16)$$

(16)式の第4項は第1項、第2項、第3項に比べて数百分の1と小さく無視できる。従って16式は次のようになる。

$$L = \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{g,r} \right) - \left( p_n - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{n,r} \right)}{P_A - p_g} \quad (17)$$

ここで、 $T_{n,r} - T_n = \Delta T_{n,r}$  とすると(17)式において、

$$\begin{aligned} p_g - \frac{T_n}{T_{n,r}} p_{g,r} &= p_g - \left( 1 - \frac{\Delta T_{n,r}}{T_{n,r}} \right) p_{g,r} \\ &= p_g - p_{g,r} + \frac{\Delta T_{n,r}}{T_{n,r}} p_{g,r} \\ &\approx p_g - p_{g,r} \quad (\because \Delta T_{n,r} < \frac{1}{1000} T_{n,r}) \end{aligned}$$

$$\text{同様に } P_n - \frac{T_n}{T_{n,r}} P_{n,r} \approx P_n - P_{n,r}$$

よって(17)式は以下のように簡略化される。

$$L = \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} + \frac{(p_g - p_{g,r}) + (p_{n,r} - p_n)}{P_A - p_g} \quad (18)$$

リーグの百分率  $\ell$  は

$$\ell = 100 \cdot L \quad (19)$$

また、1時間当たりのリークの百分率を  $q$  (vol%/Hr) とすると、

$$q = \frac{60}{t} \cdot \ell = \frac{6000}{t} \cdot L \quad (20)$$

(18)式と(20)式より  $q$  は以下のようにになる。

$$q = \frac{6000}{t} \left\{ \frac{(p_s - p_{s,r}) + (p_{n,r} - p_n)}{P_A - p_s} + \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} \right\} \quad (21)$$

さらに計算を簡略化するため、(21)式の分母を以下のように近似する。

$$\left. \begin{aligned} P_A - p_s &\approx 10300 \text{mmH}_2\text{O} \\ T_{B,r} &\approx T_n \approx 295^\circ \text{K} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

これにより(21)式は次のように表わされる。

$$q = \frac{60}{t} \left[ \frac{(p_s - p_{s,r}) + (p_{n,r} - p_n)}{103} + \frac{(T_B - T_{B,r}) + (T_{n,r} - T_n)}{2.95} \right] \quad (23)$$

しかし、通常は下記の簡略式が用い易い。

$$q = \frac{60}{t} \left[ \frac{(p_s - p_{s,r}) + (p_{n,r} - p_n)}{100} + \frac{(T_B - T_{B,r}) + (T_{n,r} - T_n)}{3} \right] \quad (24)$$

しかるに実際の検査条件は、これまでの実績から

$$\left. \begin{aligned} T_n, T_{B,r} &: 290 \sim 300^\circ \text{K} (17^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}) \\ P_A - p_s &: 10,000 \sim 10,500 \text{mmH}_2\text{O} (980 \sim 1030 \text{mbar}) \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

の範囲で変動するので、(23)式、(24)式の代表値とのずれによって、代表近似値を用いて計算したリーク率と実際値を用いた場合のそれとの間にどの程度の差を生じるかを検討してみる。

$$\text{共通条件として} \left\{ \begin{array}{l} (p_g - p_{g,r}) + (p_{n,r} - p_n) = -10 \text{mmH}_2\text{O} \\ (T_B - T_{B,r}) + (T_{n,r} - T_n) = 0.3^\circ\text{C} \\ t = 60 \text{分} \end{array} \right. \quad (26)$$

$$\left. \begin{array}{ll} \text{この条件で(23)式から} & q_{(23)} = 0.005 \text{ vol\%}/\text{Hr} \\ \text{(24)式から} & q_{(24)} = 0.000 \text{ " } \end{array} \right\} \quad (27)$$

(21)式に(25)式、(26)式の条件を与えて整理すると下表のようになる。

| $\frac{P_A - p_g}{T_{B,r}, T_n}$ | 10,000mmH <sub>2</sub> O | 10,300mmH <sub>2</sub> O | 10,500mmH <sub>2</sub> O |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 290° K                           | 0.003 vol\% / Hr         | 0.006 vol\% / Hr         | 0.008 vol\% / Hr         |
| 295° K                           | 0.002 "                  | 0.006 "                  | 0.006 "                  |
| 300° K                           | 0.000 "                  | 0.003 "                  | 0.005 "                  |

これより、(23)式、(24)式の実際値との偏りを整理すると下表のようになる。

| $\frac{P_A - p_g}{T_{B,r}, T_n}$ | 10,000mmH <sub>2</sub> O | 10,300mmH <sub>2</sub> O | 10,500mmH <sub>2</sub> O |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 290° K                           | (23)式 0.002 vol\% / Hr   | -0.002 vol\% / Hr        | -0.003 vol\% / Hr        |
|                                  | (24)式 -0.003 "           | -0.006 "                 | -0.008 "                 |
| 295° K                           | (23)式 0.003 "            | 0.000 "                  | -0.002 "                 |
|                                  | (24)式 -0.002 "           | -0.005 "                 | -0.006 "                 |
| 300° K                           | (23)式 0.005 "            | 0.002 "                  | -0.000 "                 |
|                                  | (24)式 0.000 "            | -0.003 "                 | -0.005 "                 |

上表の値は、近似値より実際値を差し引いたもので、負の値は実際より低目であることを示す。しかしいずれも0.01vol\% / Hrよりも小さく、判定基準の0.1vol\% / Hrの10分の1以下であり、また、後で示すように測定誤差に比較すれば、これら近似式による誤差ははるかに小さい。

従って通常の条件下では(23)式、(24)式のいずれを用いても構わない。

しかしながら、(23)式あるいは(24)式のように定式化する場合に、常に留意しておかねばならぬことがある。通常は $P_A - p_g$ 、 $T_{B,r}$ は各々2～3%程度しか変化しないので、(23)、(24)式とも誤差はせいぜい5%程度以内である。第2項は温度の項であり、作業環境の温

度はどこでも似かよっているので大きく影響を受けることはないが、第1項は気圧の項であり、特に分母は大気圧であるから、地域の高度による影響を大きく受ける。高度が1000mを超えるような地域では、分母の数値はかなり小さな値になるであろうし、それぞれの地域で妥当な値を測定して決定することを忘れてはならない。

### 3. 測定誤差の評価

一般に

$$q = f(\chi_1, \chi_2, \chi_3, \dots, \chi_n)$$

の最大誤差  $|\Delta q_{\max}|$  は、次式より与えられる。

$$|\Delta q|_{\max} = \left| \frac{\partial q}{\partial \chi_1} \right| \Delta \chi_1 + \left| \frac{\partial q}{\partial \chi_2} \right| \Delta \chi_2 + \dots + \left| \frac{\partial q}{\partial \chi_n} \right| \Delta \chi_n$$

リーク率計算式において  $\chi_1$  に相当する誤差を生ずる因子は、測定時間  $t$ 、差圧計の読み  $p_g, p_{gr}$ 、および  $P_{nr}$  温度  $T_B, T_{Br}, T_n$  及び  $T_{nr}$  である。

洩れなし容器比較法によるリーク率計算式

$$q = \frac{60}{t} \left[ \frac{(p_g - p_{gr}) + (p_{nr} - p_n)}{100} + \frac{(T_B - T_{Br}) + (T_{nr} - T_n)}{3} \right] \quad (24)$$

の誤差  $|\Delta q|_{\max}$  は次のようになる。

$$\begin{aligned} |\Delta q|_{\max} &= \left| -\frac{q}{t} \right| \Delta t + \frac{60}{100t} \left| \Delta P_g + \Delta P_{gr} + \Delta P_n + \Delta P_{nr} \right| \\ &\quad + \frac{60}{3t} \left| \Delta T_B + \Delta T_{Br} + \Delta T_n + \Delta T_{nr} \right| \\ &= \left| \frac{q}{t} \right| \Delta t + \frac{1.2}{t} (\Delta P_g + \Delta P_n) + \frac{40}{t} (\Delta T_B + \Delta T_n) \quad (28) \end{aligned}$$

いま、それぞれの誤差を

$$t \text{ については } 1 \text{ 分} \quad \dots \quad \Delta t = 1.0$$

$$p_g \text{ については } 0.5 \text{ mmH}_2\text{O} \quad \dots \quad \Delta p_g = 0.5$$

$$p_n \text{ については } 0.1 \text{ mmH}_2\text{O} \quad \dots \quad \Delta p_n = 0.1$$

$$T_B, T_n \text{ については } 0.01^\circ\text{C} \quad \dots \quad \Delta T_B = \Delta T_n = 0.01$$

とし、さらにリーク率を  $0.1 \text{ vol\%}/\text{Hr}$  とおくと (28) 式は、

$$|\Delta q|_{\max} = \frac{0.1}{t} + \frac{0.72}{t} + \frac{0.8}{t} = \frac{1.62}{t} \quad (29)$$

となる。従来の洩れなし容器法ならびに大気圧比較法について  $|\Delta q|_{\max}$  はそれぞれ次のように表わせる。

$$|\Delta q|_{\max} = \left| -\frac{q}{t} \right| \Delta t + \frac{0.6}{t} \Delta p_{dr} + \frac{40}{t} (\Delta T_B + \Delta T_n) \quad (30)$$

$$|\Delta q|_{\max} = \left| -\frac{q}{t} \right| \Delta t + \frac{1.2}{t} (\Delta P_A + \Delta P_g) + \frac{40}{t} \Delta T_B \quad (31)$$

誤差  $\Delta t$ ,  $\Delta T_B$ ,  $\Delta T_n$ ,  $\Delta p_g$ について、上記と同等とし、 $\Delta p_{dr}=0.1$ ,  $P_A=0.1\text{mbar}$ , 即ち  $\Delta P_A=1.0\text{mmH}_2\text{O}$  とすると

洩れなし容器法については

$$|\Delta q|_{\max} = \frac{0.1}{t} + \frac{0.06}{t} + \frac{0.8}{t} = \frac{0.96}{t} \quad (32)$$

大気圧比較法については

$$|\Delta q|_{\max} = \frac{0.1}{t} + \frac{1.8}{t} + \frac{0.4}{t} = \frac{2.3}{t} \quad (33)$$

となる。これらの3つの方法について、最大誤差  $|\Delta q|_{\max}$  を時間  $t$  をパラメーターとして整理すると下表のようになる。

| $t$       | 15分   | 30分   | 45分   | 60分   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 洩れなし容器基準法 | 0.108 | 0.054 | 0.036 | 0.027 |
| 洩れなし容器法   | 0.064 | 0.032 | 0.021 | 0.016 |
| 大気圧比較法    | 0.153 | 0.077 | 0.051 | 0.038 |

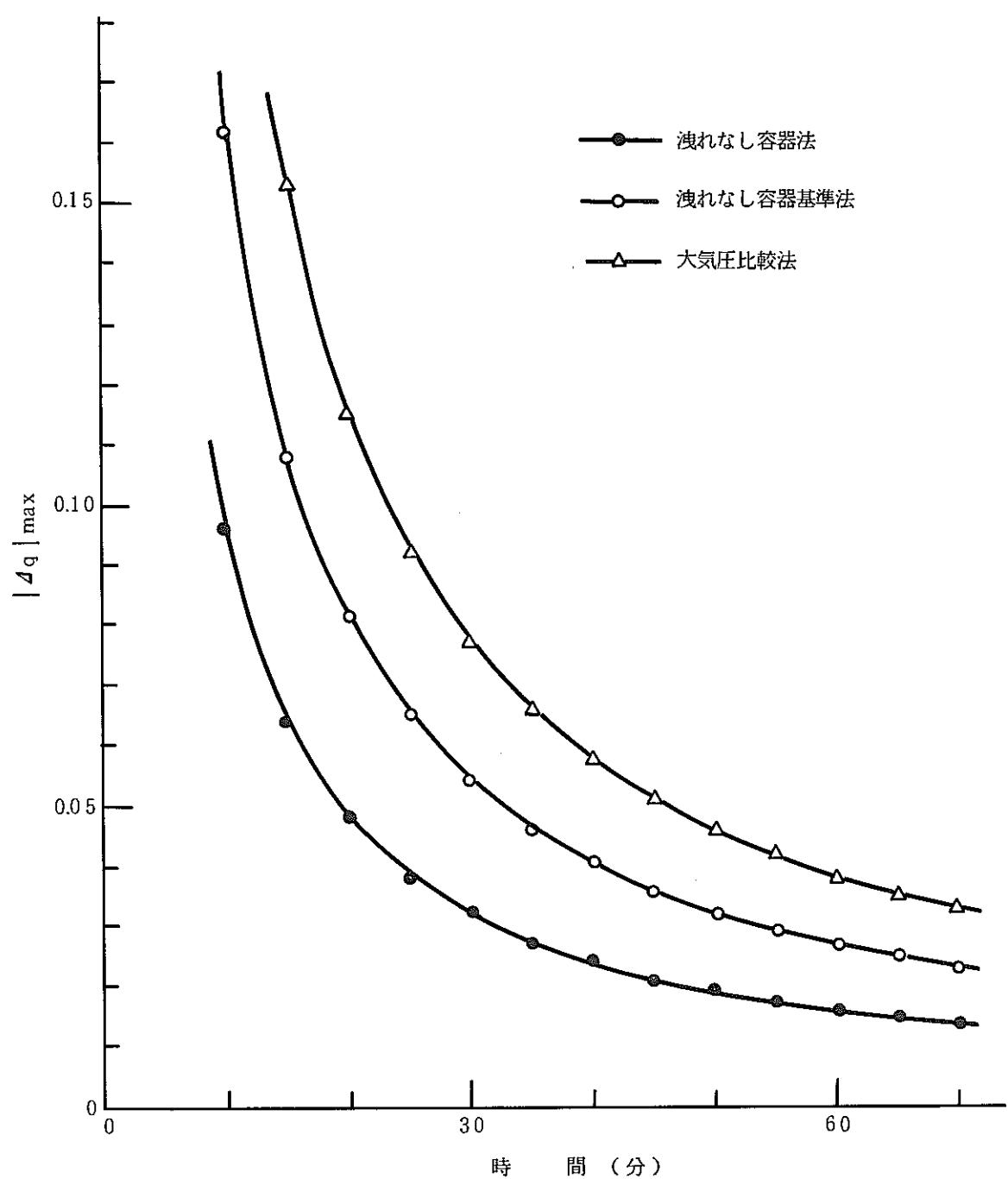


図 1 測定誤差の測定時間依存性

これらの計算結果から、リーク率測定の誤差は、従来の「洩れなし容器法」が最も小さく、提案した「洩れなし容器比較法」は中間に位置する。誤差  $|\Delta q|_{\max}$  曲線を図1に示した。2  $|\Delta q|_{\max}$  が  $0.1\text{vol\%}/\text{Hr}$  以下になる時間を測定時間の限界とすると、洩れなし容器法で約20分、洩れなし容器比較法で約30分、大気圧比較法で約45分の測定時間が必要である。即ち、上記の測定時間で初めて、 $0.05\text{vol\%}/\text{Hr}$  以上のリーク率が判定できるようになる。

リーク率測定の誤差は、いずれの方法の場合も①読み取り時間、②圧力の読み、③温度の読みによる誤差が要因となっている。(29)式、(32)式、(33)式を比較してみると、従来の洩れなし容器法は③、大気圧比較法は②および洩れなし容器比較法は②と③が主要因となっている。測定値を読み取る時間は要因としてはごく小さいので、主要因となっているものについては、精度的にはほぼ限界にたっしていると言えよう。さらに測定機器の精度を上げてみても、グローブボックス内の圧力、温度の変動が機器の精度内におさまるかどうか問題である。

## 4. 本提案方法の特徴

### 4.1 本提案方法の概念

洩れなし容器基準方法によるグローブボックスのリーク率計算式(21)式は、洩れなし容器と検査対象のグローブボックスとは同一の外的影響を受けるものとして、即ち同じ室内圧 $P_A$ 、 $P_{A,r}$ の下で導いたものである。従って、一般的にはそのような条件は両者が同一場所に在る場合に充分満足されると考えられる。但しグローブボックスは独立しているので1台に限る必要はない。任意のグローブボックス $i$ について、そのリーク率を $L_i$ とすれば、

$$L_i = \frac{T_B - T_{B,r,i}}{T_{B,r,i}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} + \frac{(P_{g,i} - P_{g,r,i}) + (P_{n,r} - P_n)}{P_A - P_{g,i}} \quad (34)$$

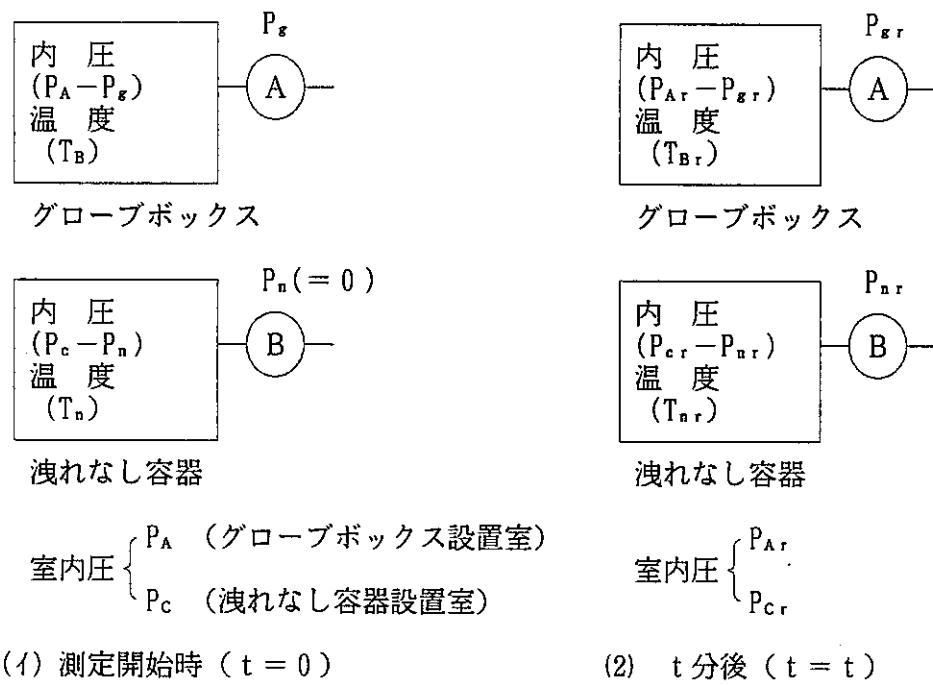
と表せる。このことは、同室に存在するグローブボックスであれば、1台の洩れなし容器を用いて同時に複数のグローブボックスの検査が可能であることを意味するものである。

### 4.2 適用に当って配慮すべき点

洩れなし容器比較法は、同時に複数のグローブボックスを検査することが可能であるが、これを可能にするためには制約条件が一つある。その条件というのは、洩れなし容器の設置場所とグローブボックスの設置場所の環境が類似していることである。具体的には、両者の設置してある室の室内圧力変動がほぼ同じであることが条件となる（同一である必要はない）。このことは従来の「洩れなし容器法」及び「大気圧比較法」にあっても同じ条件であって、本「洩れなし容器比較法」のみに該当するものではないが、他の2法については、測定対象のグローブボックスと極めて近接させているために、上記の条件が満たされてことを暗黙のうちに認めているのである。グローブボックスが大型になればなるほど、上記条件が満たされているかどうかを確認しておくことがどの方法についても本来必要であることは言うまでもない。

それでは、その条件はどの程度まで満たされていれば良いかについて検討する。

洩れなし容器の設置場所とグローブボックスの設置場所との環境条件を以下のように設置する（グローブボックスについては前と同じとする）。



グローブボックスについては前と同様に

$$1 + L = \frac{T_B}{T_{B_r}} \cdot \frac{(P_{A_r} - P_{g_r})}{(P_A - P_g)} \quad (8)$$

一方、洩れなし容器についての(9)式は次のようになる。

$$\frac{P_c - P_n}{T_n} = \frac{P_{c_r} - P_{n_r}}{T_{n_r}} \quad (34)$$

それぞれの室内圧について

$$P_c - P_A = \Delta P_c$$

$$P_{c_r} - P_{A_r} = \Delta P_{c_r}$$

とおくと(34)式は

$$\frac{P_A + \Delta P_c - P_n}{T_n} = \frac{P_{A_r} + \Delta P_{c_r} - P_{n_r}}{T_{n_r}} \quad (35)$$

これより

$$P_{A_r} = \frac{T_{n_r}}{T_n} (P_A + \Delta P_c - P_n) - \Delta P_{c_r} + P_{n_r} \quad (36)$$

(8)式と(36)式より

$$1 + L = \frac{T_B}{T_{B_r}} \cdot \frac{P_{A_r} - P_{g_r}}{P_A - P_g}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{T_B}{T_{Br}} \cdot \frac{\overline{T_n} (P_A + \Delta P_c - P_n) - \Delta P_{cr} + P_{nr} - P_{gr}}{P_A - P_g} \\
&= \frac{T_B}{T_{Br}} \cdot \frac{\overline{T_n} \cdot \frac{P_A - P_n + \Delta P_c - T_{nr}}{P_A - P_g} (\Delta P_{cr} - P_{nr} + P_{gr})}{\overline{T_n}} \\
&= \frac{T_B}{T_{Br}} \cdot \frac{\overline{T_n} \cdot \frac{P_A - P_g + P_g - P_n + \Delta P_c - \frac{T_n}{T_{nr}} (\Delta P_{cr} - P_{nr} + P_{gr})}{P_A - P_g}}{\overline{T_n}} \\
&= \frac{T_B}{T_{Br}} \cdot \frac{\left\{ 1 + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{nr}} P_{gr} \right) - \left( P_n - \frac{T_n}{T_{nr}} P_{nr} \right) + \left( \Delta P_c - \frac{T_n}{T_{nr}} \Delta P_{cr} \right)}{P_A - P_g} \right\}}{\overline{T_n}}
\end{aligned} \tag{37}$$

が得られる。

ここで(13)式と同様に,  $F = \frac{T_B}{T_{Br}} \cdot \frac{T_{nr}}{T_n}$  とおくと(37)式は

$$1 + L = F \left\{ 1 + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{nr}} P_{gr} \right) - \left( P_n - \frac{T_n}{T_{nr}} P_{nr} \right) + \left( \Delta P_c - \frac{T_n}{T_{nr}} \Delta P_{cr} \right)}{P_A - P_g} \right\}$$

これを変形すると

$$L = (F - 1) + \frac{\left( P_g - \frac{T_n}{T_{nr}} P_{gr} \right) - \left( P_n - \frac{T_n}{T_{nr}} P_{nr} \right) + \left( \Delta P_c - \frac{T_n}{T_{nr}} \Delta P_{cr} \right)}{P_A - P_g} \cdot F \tag{38}$$

通常の測定において  $T_n \approx 300^\circ \text{ K}$ ,  $|T_n - T_{nr}| < 0.3^\circ \text{ K}$  であるので,  $\frac{T_n}{T_{nr}} \approx 1$  とおく

ことができる。また(15)式より  $F - 1 = \frac{T_B - T_{Br}}{T_{Br}} + \frac{T_{nr} - T_n}{T_n}$  であるので, これらを(38)式に代入すると

$$\begin{aligned}
 L = & \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} + \frac{(P_g - P_{g,r}) - (P_n - P_{n,r}) + (\Delta P_c - \Delta P_{c,r})}{P_A - P_g} \\
 & + \left\{ \frac{(P_g - P_{g,r}) - (P_n - P_{n,r}) + (\Delta P_c - \Delta P_{c,r})}{P_A - P_g} \right\} \cdot \left( \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} \right)
 \end{aligned} \tag{39}$$

(39)式の第4項は、第1項、第2項、第3項に比べて数百分の1と小さく無視できる。

故に(39)式は

$$L = \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} + \frac{T_{n,r} - T_n}{T_n} + \frac{(P_g - P_{g,r}) - (P_n - P_{n,r}) + (\Delta P_c - \Delta P_{c,r})}{P_A - P_g} \tag{40}$$

これを(18)式と比較すると

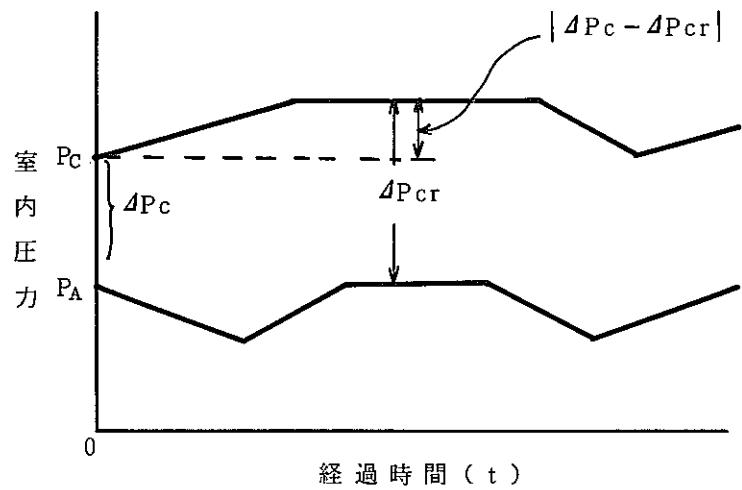
$$\frac{\Delta P_c - \Delta P_{c,r}}{P_A - P_g} \text{ が(18)式に付加されている。}$$

$\Delta P_c$ ,  $\Delta P_{c,r}$ は、それぞれ、洩れなし容器とグローブボックスの設置場所の初期及びt分後の室内圧力の差であるので、二つの場所の室内圧の変動が同じ、即ち、 $\Delta P_c - \Delta P_{c,r} = 0$ であれば(18)式と(40)式は同じになり全く問題はない。この $\Delta P_c - \Delta P_{c,r}$ を誤差として処理しようとすれば、その範囲は先に述べた誤差評価から0.05vol%程度を許容するすれば

$$\left| \frac{\Delta P_c - \Delta P_{c,r}}{P_A - P_g} \right| = 0.05 \times 10^{-2}$$

$P_A - P_g = 10^4 \text{ mm H}_2\text{O}$ とすると、

$| \Delta P_c - \Delta P_{c,r} | = 5 \text{ mm H}_2\text{O}$  (0.1vol%以内であれば10mm H<sub>2</sub>O)となる。従って、両者の室内圧の変動の差が上記の値を超えないことが条件となる。これを図示すると以下のとおりである。



逆にこの条件が満たされれば、両者はどんなに離れていても良い。

## 5. グローブボックスのリーク率検査法

これまでに述べてきた内容を整理して、一つの検査法の案として、その手順を以下のように示すことができる。

[洩れなし容器基準法]

### 1. 適用範囲

新たに非密封のプルトニウムを取り扱うグローブボックスのリーク率検査に適用する\*。

### 2. 使用する機器

#### (1) グローブボックス（検査の対象）

\* 供用中のグローブボックスの検査への適用については本件では論じない。

#### (2) 洩れなし容器

従来と同様の仕様のもの。容器のリークは、予め「洩れなし容器の気密性」に基づき許容値以下であることを確認しておく。

#### (3) 温度計

グローブボックス、洩れなし容器とも $0.01^{\circ}\text{C}$ 目盛りを備えた温度計もしくはそれと同等以上のもの。

#### (4) 時計

ストップウォッチ又は秒単位が読める時計。

#### (5) 真空ポンプ

#### (6) 差圧計

グローブボックスに装着するものは、 $1\text{ mm H}_2\text{O}$ 目盛り以下の目盛りを備えた気圧計もしくはそれと同等以上のもの。洩れなし容器に装着するものは従来と同等以上のもの。

### 3. 操作

| 作業手順             | 注意事項                                  |
|------------------|---------------------------------------|
| (1) 洩れなし容器を準備する。 | (1) リークが許容値以下であることを確認し、室内圧とほぼ同圧にしておく。 |

| 作業手順  | 注意事項  |
|---|---|
| (2) グローブボックスの所定の接続口に真空ポンプを接続し、所定の差圧まで減圧したあと接続口のバルブを閉じる。   | (2) 所定の差圧は、従来70mm H <sub>2</sub> O以上であるので、当面その慣習に従っておく*。<br>(*但し、グローブボックスの使用状態を考慮すれば、検査は30~40mm H <sub>2</sub> Oの差圧でも良いはずであるが、これは今後検討すべきであろう) |
| (3) グローブボックス内の圧力が安定化するまで放置する。   |   |
| (4) グローブボックスの差圧計A (P <sub>a</sub> )、内部温度 (T <sub>B</sub> )、洩れなし容器の差圧計B (P <sub>n</sub> )、内部温度 (T <sub>n</sub> ) をすばやく読み、記録するとともに、計時を開始する。       | (4) 差圧計A、Bの読みは、それぞれグローブボックス側及び洩れなし容器側を正（室内圧より負圧側）とする。   |
| (5) 一定時間毎にグローブボックスの差圧計A (P <sub>a,r</sub> )、温度 (T <sub>B,r</sub> )、洩れなし容器の差圧計 (P <sub>n,r</sub> )、温度 (T <sub>n,r</sub> ) をすばやく読み、記録するとともに計時を行う。 | (5) 一定時間とは従来どおり、15分で良いが、測定誤差の観点からは若干長めの方が良い（たとえば20分毎）。  |
| (6) 測定は60分以上継続して行う。   |   |

#### 4. リーク率計算法

下記の式により計算する。式の導き方は別に示す。

$$q = \frac{60}{t} \left( \frac{(P_a - P_{a,r}) - (P_n - P_{n,r})}{P_a - P_n} + \frac{T_B - T_{B,r}}{T_{B,r}} - \frac{T_n - T_{n,r}}{T_{n,r}} \right) \times 100$$

ここで t : 測定時間

$P_A$  : 測定開始時の室内圧、高地を除き、通常大気圧 1 気圧の地点では  $P_A =$

$$P_B \approx P_A - P_n \approx 10300 \text{ mm H}_2\text{O}$$

上式を簡略化して、通常は次式を使用する。

$$q = \frac{60}{t} \left( \frac{(P_g - P_{g,r}) - (P_n - P_{n,r})}{100} + \frac{(T_B - T_{B,r}) - (T_n - T_{n,r})}{3} \right)$$

参考として洩れなし容器法（在来法）及び大気圧比較法の簡略計算式を示す。

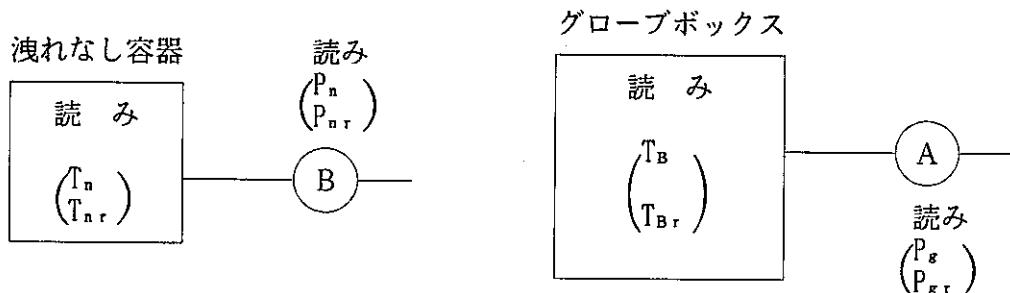
(イ) 洩れなし容器法

$$q = \frac{60}{t} \left( \frac{P_{d,r}}{100} + \frac{(T_B - T_{B,r}) - (T_n - T_{n,r})}{3} \right)$$

(ロ) 大気圧比較法

$$q = \frac{60}{t} \left( \frac{(P_{A,r} - P_A) - (P_{g,r} - P_g)}{100} + \frac{T_B - T_{B,r}}{3} \right)$$

4.-1 記号等の説明



測定開始時 ( $t = 0$ )     $t$  分後

差圧計 A の読み                       $P_g$                        $P_{g,r}$  (mm H<sub>2</sub>O)

差圧計 B    "                       $P_n$  (=0)                       $P_{n,r}$  (mm H<sub>2</sub>O)

グローブボックス温度                       $T_B$                        $T_{B,r}$  (°C)

洩れなし容器温度                       $T_n$                        $T_{n,r}$  (°C)

リーク率を  $q$  (vol% / Hr) とする。

## 5. 作表(例)

| 測定時刻<br>(t) |  | グローブボックス                              |                      | 洩れなし容器                                |                      |
|-------------|--|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
|             |  | P <sub>gr</sub> (mm H <sub>2</sub> O) | T <sub>Br</sub> (°C) | P <sub>nr</sub> (mm H <sub>2</sub> O) | T <sub>nr</sub> (°C) |
| 1           |  |                                       |                      |                                       |                      |
| 2           |  |                                       |                      |                                       |                      |
| 3           |  |                                       |                      |                                       |                      |
| 4           |  |                                       |                      |                                       |                      |

## 6. 洩れなし容器基準法の検証方法

### 6.1 洩れなし容器基準法の検証手順

本法は、一個の洩れなし容器を基準として、複数のグローブボックスのリーク率を同時に測定出来る利点を有する。本法の施設への適用性が立証されれば、大きな便益をもたらすであろう。

本法の妥当性を検証し、世に受け入れられるためには、以下に述べる段階的なテストが必要である。

#### ① 洩れなし容器を対象としたテスト

リーク率が予めわかっているグローブボックス又は設備があれば良いが、現実には見出されていないので、リークのない洩れなし容器を使って、一方を基準とし他方を検査対象に見ててリーク率測定テストを行う。判定は洩れないことが証明されることである（実際的には、リーク率が本法の理論的な測定誤差内であるという結果が得られれば良い）。

#### ② グローブボックスを対象としたテスト

実際のグローブボックスで測定する。この場合、他の方法と比較して、同等の性能があることが証明されれば良い。これも、それぞれの方法に特有の測定誤差を判定のものさしとして使用することになる。

在来法である「洩れなし容器法」が既に定着していることもある。そこで順序としてはまず上記①を実施し理解を得た上で②を実施するのが妥当であろう。

以下に上記①について検証テストの手順を述べる。

洩れなし容器を2つ準備し、予めリークテストを行って洩れのないことを確認しておく。

一方を基準容器とし、他方を検査対象としてその容器のリーク率を測定する。この場合2つの容器は接続しないで離して置く。やり方は下記のとおりである。

検査対象となる洩れなし容器を基準容器に対して距離を違えて、様々な位置に配置して測定する。

検査対象は複数個配置する方がより現実的であるが、1個の対象容器を様々に配置を変えて測定しても論理的にはかまわない。

(1) 洩れなし容器による検証テスト

1) 準備するもの

① 洩れなし容器 複数個（2個でもよい）

容器のリークは、予め「洩れなし容器の気密性」に基づき許容以下であることが確認されているもの。

② 温度計

0.01°Cの目盛りを備えたもの

③ 時計

秒単位が読める時計。又はストップウォッチ

④ 差圧計

洩れなし容器に装着してあるもので良い（0.1mm H<sub>2</sub>Oが読めるもの）

2) 操作

| 手 順   | 注 意 事 項   |
|---|---|
| (1) 洩れなし容器を準備する。（2個）  | リークが許容値以下であることが確認されているもの。                       |
| (2) 室内圧と同じにしバルブを閉じる。  | 配置位置に置く   |
| (3) 一方(A)を基準とし、他方(B)を測定対象とし、容器Aの差圧( $P_{n,r}$ )、内部温度( $T_{n,r}$ )、及び容器Bの差圧( $P_{B,r}$ )、内部温度( $T_{B,r}$ )、をすばやく読み記録する。同時に計時を開始する。 | 差圧計A、Bの読みはそれぞれ洩れなし容器側を正にとる。<br>読み取りは1分以内であれば良い。 |
| (4) 一定時間ごとに、容器Aの $P_{n,r}$ 、 $T_{n,r}$ 及び容器Bの $P_{B,r}$ 、 $T_{B,r}$ をすばやく読み、計時とともに記録する。   | 従来通り15分間隔とする。                                   |
| (5) 測定は1時間半継続して行う。  |   |

## 3) 試験結果

上記試験は、昭和61年2月25日から3月3日にかけて1日プルトニウム燃料部第3開発室の中央管理室で実施した。得られた結果を表1に示す。

表1 洋れなし容器基準法の検証テスト（洋れなし容器）

| 測定番号 | 測 定<br>年 月 日 | リーク率<br>(vol %/Hr) | 備 考                       |
|------|--------------|--------------------|---------------------------|
| 1    | S 61. 2. 25  | 0.011              | 容器は相互に約0.5m程度の距離に置いて測定した。 |
| 2    | 2. 26        | -0.035             |                           |
| 3    | 3. 3         | 0.027              |                           |
| 4    | 2. 25        | 0.038              | 容器は相互に約8m程度離して置き、測定を行った。  |
| 5    | 2. 26        | -0.017             |                           |

リーク率は測定時間1時間での値である。室内の場所による大気圧の差及びその変化は測定していない。

洋れなし容器基準法における測定誤差は、1時間の測定において0.027であるから、室の管理状況を考慮すれば、得られた値は妥当な値と言えよう。また場所の違いによる影響も少なく、良い一致を示していると言えよう。もう少し良く管理された場所を選べば、この一致は更に良くなると思われる。第一段階はクリアしたと考えられる。

## (2) グローブボックスの気密試験における試験圧力について

洋れなし容器基準法の適用性を立証するためには、実際にグローブボックスを使用した気密試験を実施する必要があるが、このためには施設検査のときと同じ状態でグローブボックスが使用できることが条件であり、この機会は、新たにグローブボックスが納入される時期しかない。

残念ながら、その機会に恵まれなかつたので、検証テストを実施することは出来なかつた。

視点を変えて、グローブボックスの気密試験を実施する際の試験圧力（グローブボックスの負圧）がリーク率にどのような影響するのかを調査してみた。通常の「洩れなし容器法」による気密試験では、洩れなし容器とグローブボックスを直接接続し、双方を約-70mm H<sub>2</sub>Oに減圧して測定を開始する。この値が妥当かどうかについてあまり突っこんだ議論はないようである。ほとんど例外なくグローブボックス側の負圧が減少する（即ち正圧側に近づく）。

一方、洩れなし容器側は変化が小さいようで、従ってグローブボックス側との差圧が増加してくる。すると一般にはグローブボックスにリークがあると考えてよい。しかし、その圧力領域で仮にリークがあったとしても、それが通常の使用圧にどう影響するかを見積ることができるわけでもない。

実際に使用している負圧領域でテストした例は見当たらないが、その値でテストすることが特別不都合を生ずる理由も見出せない。事の是非はともかく、グローブボックスの負圧とリークとの相関性の有無を調査しておくことは有意義であると考えられる。実際に測定した例を1例だけ示す（図2）及び（図3）このデータは洩れなし容器法によるものであるが、この例に見られるようにグローブボックス内の負圧が小さくなるとリーク率も減少する傾向にあることがわかる。

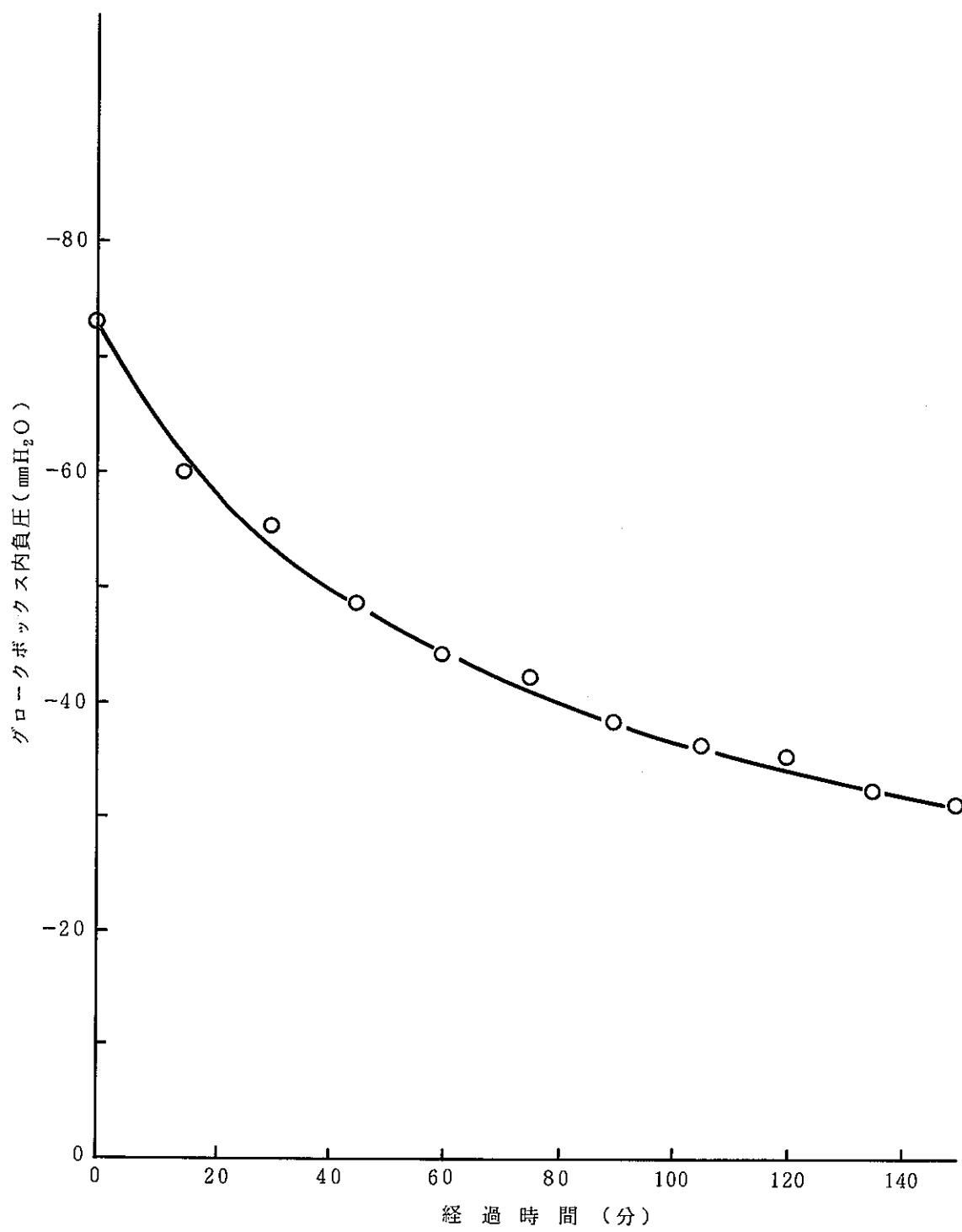


図2 グローブボックス内負圧の時間変化

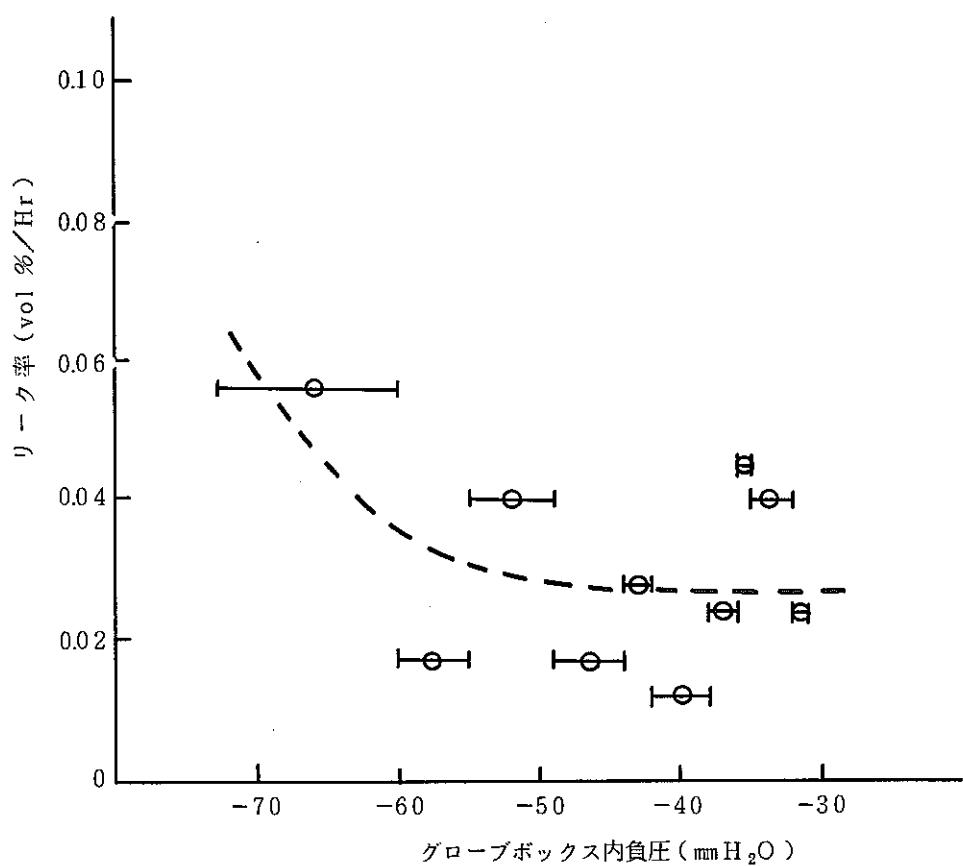


図3 グローブボックス内負圧とリーク率との関係

[ ] はリーク率算出のための負圧変化の範囲（図2における15分間の測定範囲に同じ），○はその中間値を示す。  
 [ ] 曲線 ----- はリーク率の概略の変化を示す。

## 7. あとがき

洩れなし容器を基準として、複数のグローブボックスのリーク率を測る方法は、様々な利点を有している。グローブボックスを設置してある室の状況が安定でなければ適用することはむづかしいし、もし施設検査でうまくいかなかった場合には困るという反論が出るかも知れない。

しかし逆に考えると、安定した環境の施設を設計するのが施設設計の一つの目的であるならば、その目的にも適用できる利点をもっている。

物事は現実的に処理することが大切である。元々、グローブボックスの気密試験は、グローブボックスに洩れがないことを確認するための試験であった。判定値 $0.1\text{vol\%}/\text{Hr}$ というのは、洩れてもよい限度ではなく、これを定めた当時の計器の誤差がその値に相当した、ということを忘れてはならない。その上で、洩れるということはどういうことかを問い合わせ直す必要がある。グローブボックス内が負圧である場合、空気の流れはグローブボックスの内側に向う。そういう状態で外へ洩れることははあるのか。そもそも測定しているのは空気の洩れであって、プルトニウム等の核燃料物質ではない。この観点からは、プルトニウム等の洩れとリーク率との相関性が求められることが重要である。これは別途究明されるべき重要な課題である。

上記を踏まえて、以下のように述べるのは言い過ぎであろうか。

現実には、当初よりリーク率 $0.1\text{vol\%}/\text{Hr}$ を適用してきたグローブボックスからプルトニウム等が洩れた例はない。従ってこの範囲が守れるならば、測定方法はより簡便な、より効率的な方法が良い。洩れなし容器基準法はその要求にこたえられる可能性がある。是非試みてもらいたいと願い、その立証の方法と手段を述べたのが本書である。