

温度補正機能について

1. 温度補正機能を使用すると

- ・夏冬など季節による部品温度と、検査室温度との差異により、ワークの温度が安定しなくても
- ・ロー付け後の熱交換器など、ワーク毎に温度差があっても（限界がございます）リーク検査ができます。

2. 温度補正機能は特許取得済み

マスターとワークの温度差補正

https://www.youtube.com/watch?v=g_Xrxc-m41A

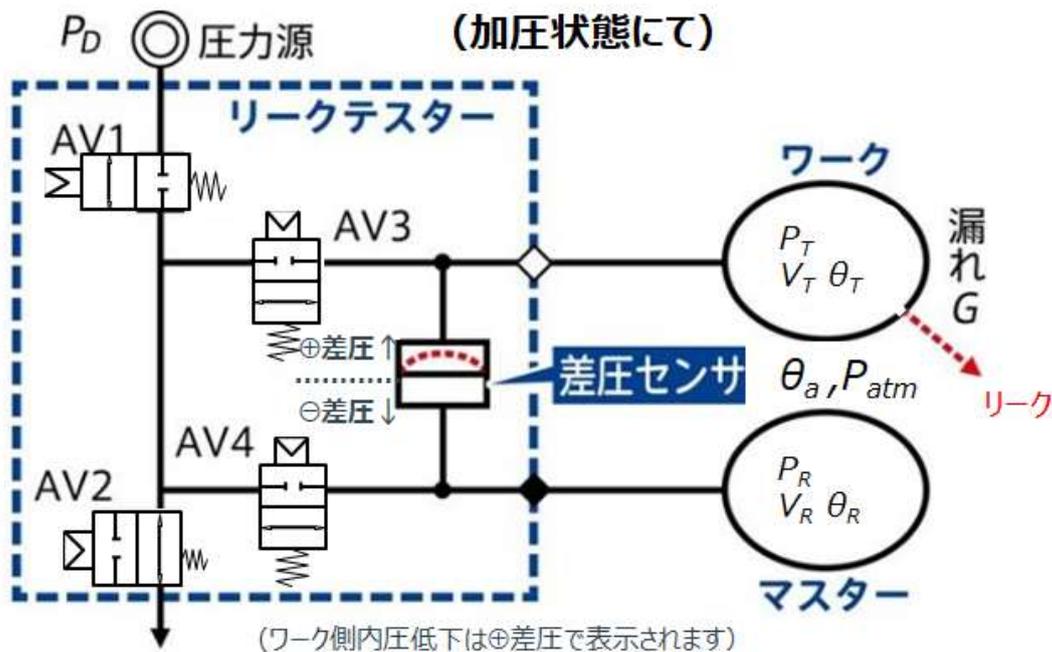
3. 温度補正機能のメリット

従来のエアリークテスターでは計測不可能な
微小漏れが計測できます (1.0×10^{-5} [Pam³/s : He])

4. 温度補正機能のデメリット

- ・温度補正值をワーク毎に計測する時間が必要なこと
 - ・温度補正できる ΔT 限界、対象物の温度上限がある
 - ・ヘリウム検査装置より時間がかかる
- ⇒従来型のエアリークの限界 UP として、デメリットを差し引いても十分お役立ちできると思います

5. 温度補正機能なし漏れ計測とは(1)：理想



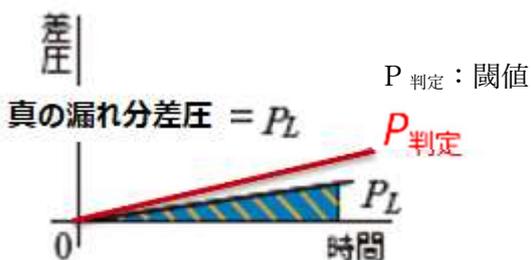
通常の温度補正機能なしエアリークテスターによる検査は、下の理想的状態での測定が前提となっています。

* マスター・ワークが同温度 $\theta_T = \theta_R$ の理想状態で計測し、漏れ量が閾値以下の場合が合格良品です。

- ・ 漏れのないマスターと、漏れ有ワークに、規定圧力のエアを加圧・封入し差圧計測。
- ・ 漏れによってワーク側の圧が下がり、 ΔP が 閾値 $P_{判定}$ 以下なら合格と判定できる。

マスター・ワークが温度的等価状態で検査した場合、圧縮熱分の放熱がマスター・ワーク間で同じなため、放熱で生じる内圧低下はマスター・ワークで相殺され、差圧は発生しません。

⇒上図は、内部空気温度 $\theta_T = \theta_R > \theta_a$ これは+、-逆でも OK



空気が加圧された状態で

$$\theta_T = \theta_R \text{ なら}$$

発生する差圧は

漏れによるワーク側内圧低下だけを示す。

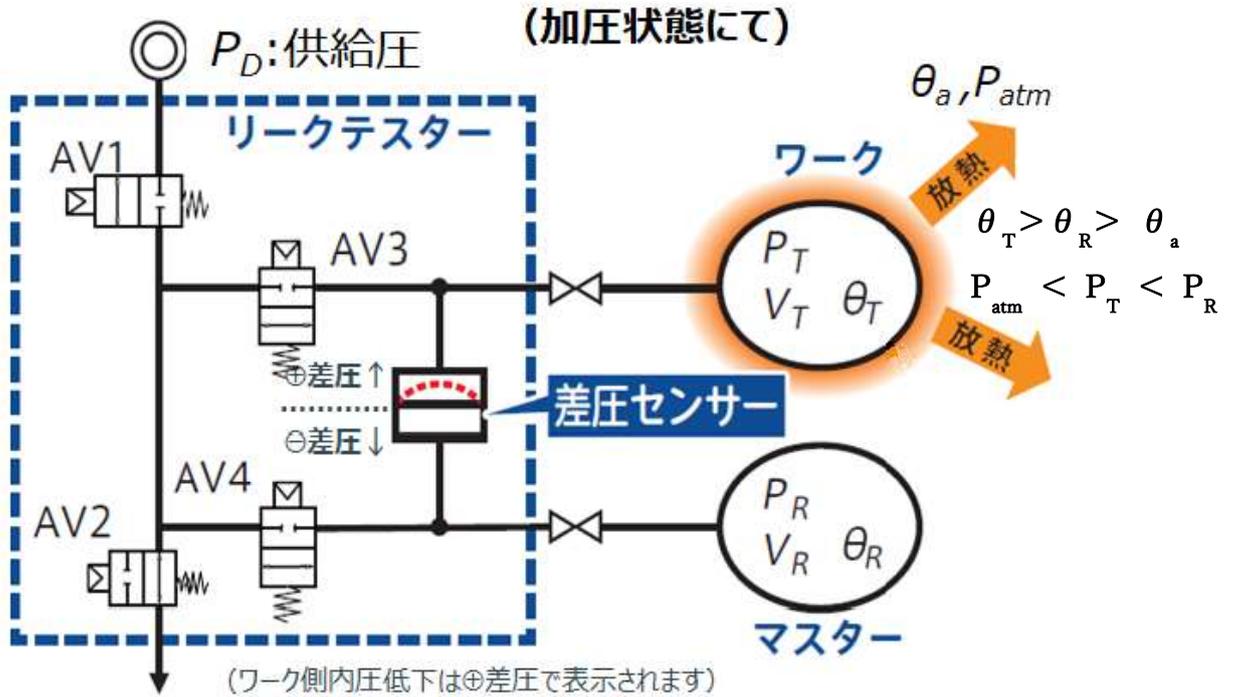
$$P_{atm} < P_T < P_R$$

(物理的漏れにより低下した内部圧力 P_T)

$$\Delta P = P_R - P_T = P_L$$

$$P_L < P_{判定} = \text{合格良品}$$

5. 温度補正機能なし漏れ計測とは(2)：現実



温度補正機能なしのエアリークテスターでは、ワークを手で触れただけでも差圧が発生してしまいます。

* マスター・ワーク温度に温度差があり、 $\theta_T > \theta_R$ の状態で、漏れ無しのワークを NG 誤判定するケース。

- ・ マスターと、漏れなしワークに、規定圧力のエアを加圧・封入し差圧計測。

計測された差圧： P_m [Pa/DETs] = P_m / DETs [Pa/s] : 下図参照

- ・ 漏れのないワークに残熱があると、放熱でワーク内部の空気圧が下がる。

$P_m > P_{\text{判定}}$ となれば、漏れていないのに「漏れ有」と誤判定してしまいます。

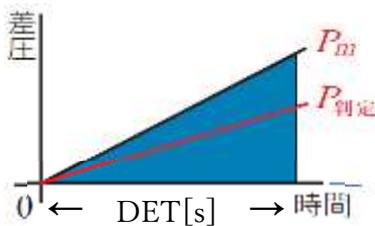
- ・ 周囲環境との温度差による放熱

漏れていないのに NG と誤判定してしまうケース

$$\Delta P = P_R - P_T = P_m$$

$$P_m > P_{\text{判定}} = \text{不合格品(誤判定)}$$

$P_{\text{判定}}$: 閾値



ワークを取付た時、手で触ったりしてワークだけ受熱し、保有熱量が高い状態で検査が始まる。マスター・ワークが温度的等価でないため、ワークは受熱分を放熱し始める。圧縮熱分の放熱による差圧はマスターと相殺されるが、受熱分(+、-有)による差圧は顕在化する。

計測差圧： $P_m \Rightarrow$ 「放熱によるワーク内圧の低下」だけなのに、閾値： $P_m > P_{\text{判定}}$ ならば NG 判定となる。

6. 温度補正機能の説明(1) 概要

ボイル・シャルルの法則

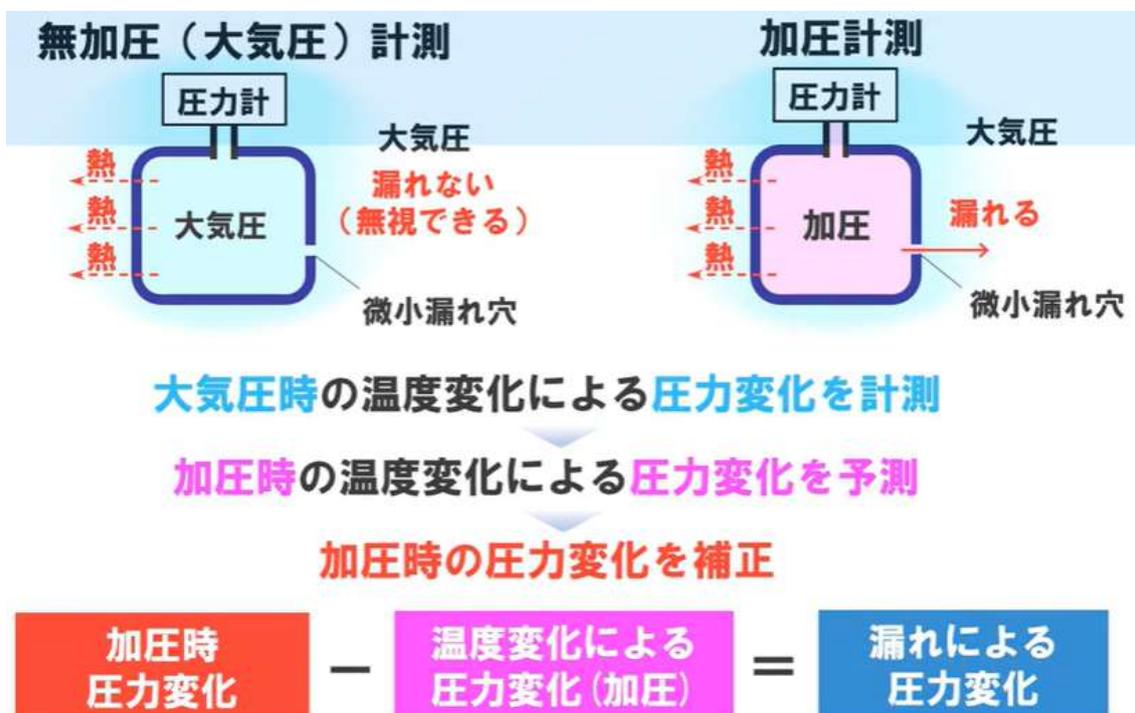
$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

ハーゲンポアズイユの法則

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\mu L}$$

ボイル・シャルルの法則と気体の状態方程式から検出した差圧による漏れ量を導出できます。

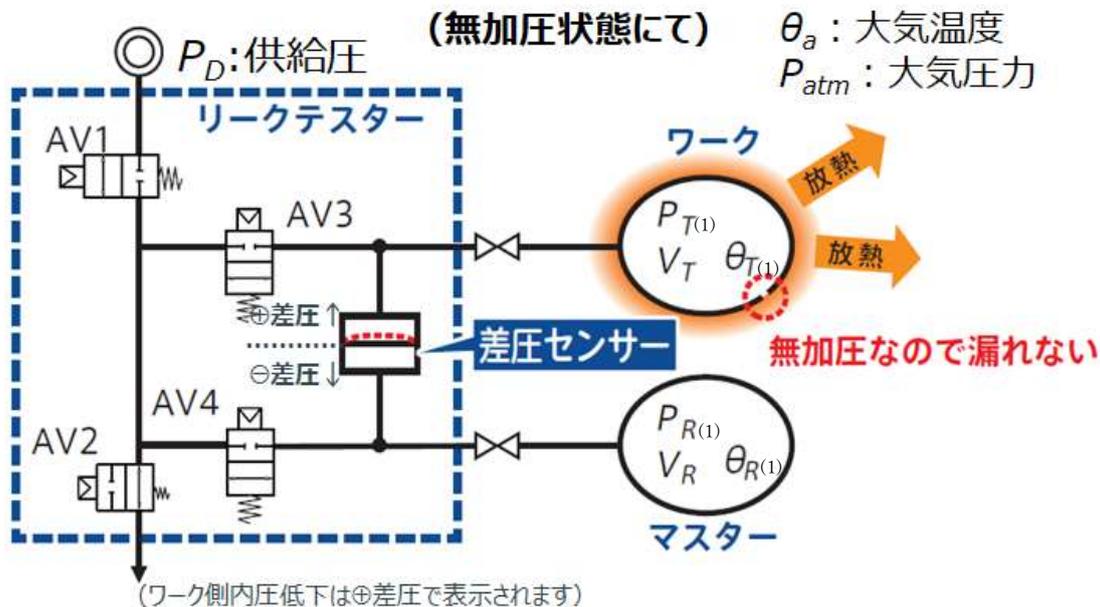
ハーゲンポアズイユの法則（微小漏れ穴からの漏れ量算出式）より、無加圧状態なら、温度変化分の程度の差圧による漏れは無視できることが分かります。



6. 温度補正機能の説明(2) : 温度補正值

温度補正機能付きエアリークテスターASP2310 の計測手順 (パンフレットの詳細説明)

* 温度補正值採取 その1: 無加圧状態で、漏れのないマスターと、漏れのあるワークを連通し回路閉鎖の後残熱で生じる差圧を計測した場合。



パンフレット

1 温度補正值採取

上図のように

$\theta_{T(1)} > \theta_{R(1)}$ なら (ワークに残熱がある場合)

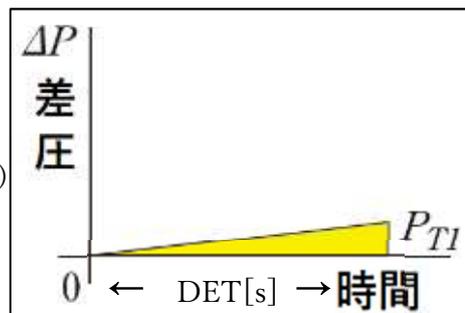
$P_{T(1)} < P_{R(1)} = P_{atm}$ (放熱でワーク内部圧力が低下)

差圧を一定時間 DET[s] 計測し

$$\Delta P = P_{R(1)} - P_{T(1)} = P_{TI}$$

温度差分の差圧の時間変化率 P_{TI} [Pa/DETs]

を 残熱分の温度補正值とする

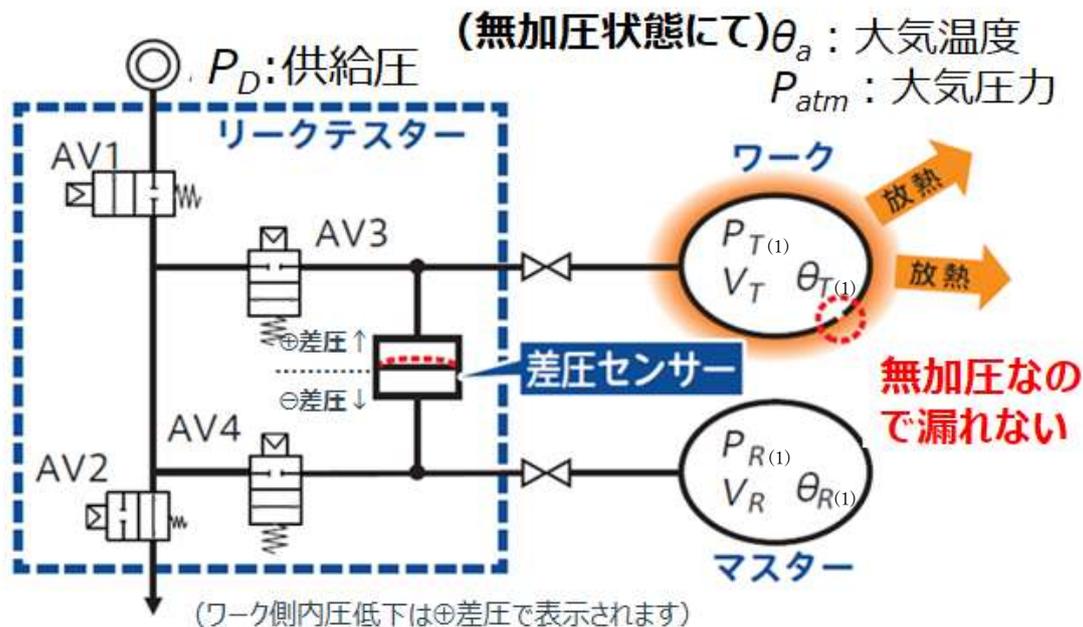


6. 温度補正機能のご説明(3)：温度補正值

*温度補正值採取 その2

無加圧状態でも、マスター・ワークを連通したとき、放熱によって差圧が発生するなら、漏れ孔のあるワークに漏れ流入（または吸熱による漏れ流出）が発生するのでは？

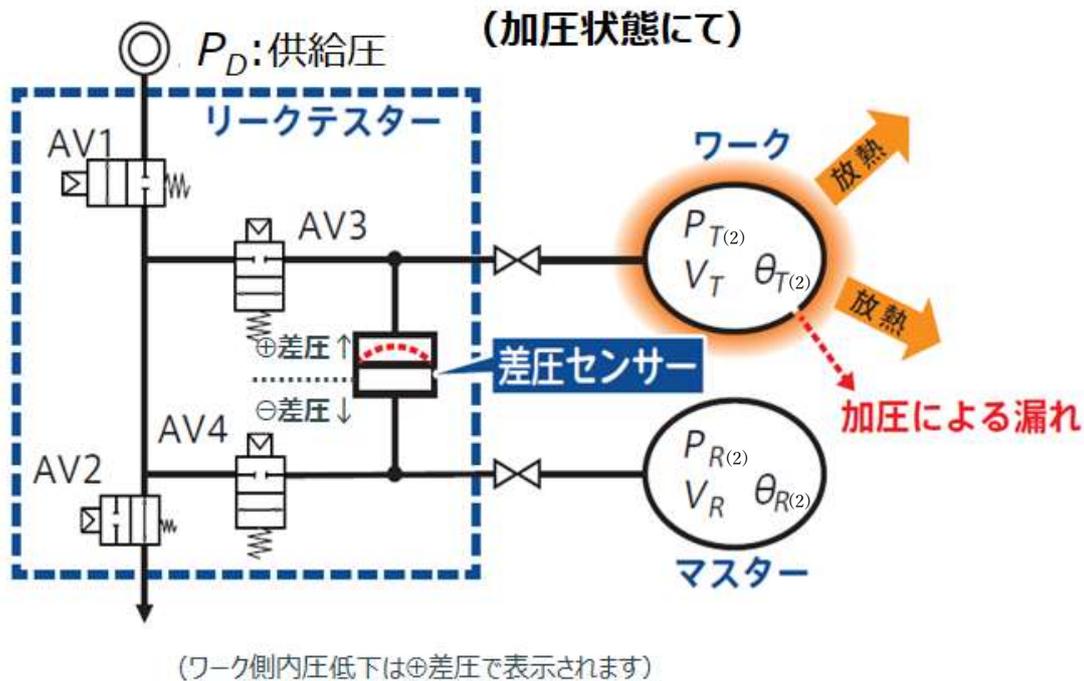
⇒心配ありません



- 理想的にはマスターとワークを一度大気開放して連通後、空圧弁 AV3、AV4 で回路閉鎖しても、 $\theta_{T(1)} = \theta_{R(1)} = \theta_a$ であれば内部圧力は $P_{R(1)} = P_{T(1)} = P_{atm}$ (大気圧) 従って差圧の発生は有りません。 $\Delta P = P_{R(1)} - P_{T(1)} = 0$
- しかし $\theta_{T(1)} = \theta_{R(1)}$ というケースはまれで、ワークを手で触れた時の熱移動だけで温度差が生じます。
- 上図のように、ワークに直径数 μm の漏れ孔があった場合、無加圧時状態での温度補正值計測中に、放熱による内圧低下が発生すれば理論上微細な漏れ流入が発生します。しかしその差圧による漏れ孔からの逆流流量（ハーゲンポアズイユ式で算出可能）は極めて微量です。容積一定の定積変化をしていると考えて問題ありません。よってボイル・シャルルの法則から得る、無加圧時のマスターとワーク間の圧力差 P_{TI} [Pa/DETs] を「温度補正值：TP1」として得ます。
- 差圧リークテスターでは、マスターとワークが全く同じ放熱特性を持っていないと正しい差圧は得られません。内部空間体積を一致させただけの疑似マスターでは、差圧計測時ワークの放熱特性とマスター側の放熱特性が異なるため、放熱差異によって物理的漏れと関係ない、差圧オフセットが発生し誤判定の可能性があります。そのオフセットは季節による検査雰囲気温度で変わるので、特に微細な漏れ計測では注意が必要です。

6. 温度補正機能のご説明(4) : 加圧測定

* 残熱の有るワークを規定圧力に加圧して漏れ計測

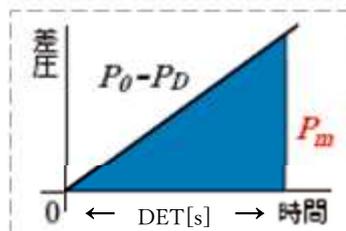


パンフレット

2 加圧して計測される差圧

$\theta_{T(1)} > \theta_{R(1)}$ のまま
規定圧力 P_D に加圧して検査

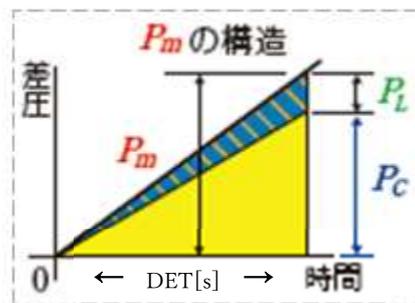
加圧後、発生差圧 ΔP を一定時間で計測
 $\Delta P = P_{R(2)} - P_{T(2)} = P_m$ [Pa/DETs]



例) 差圧(時間変化率)
計測時間 DET[s] = 5 [s] の場合
 $\Delta P = P_m$ [Pa/5s] = $P_m / 5$ [Pa/s]

3 加圧して計測される差圧の構造

計測された差圧 P_m (時間変化率) の構造は
 $P_m = P_C + P_L$
 P_L : 漏れによる差圧(真の漏れ分)
 P_C : ワークの残熱差圧を圧力換算した差圧
 P_{atm} : 大気圧
 $P_C = P_{T1} \times (P_D / P_{atm})$



6. 温度補正機能のご説明 (5) : 圧力換算

規定圧力に加圧時の残熱差圧分の圧力換算

状態方程式

$$PV = nR\theta$$

容積 V [L]の容器に2倍の n [mol]の気体分子を詰め込むと

圧力は2倍[Pa]となります。

$$2PV = 2nR\theta$$

容器に気体分子を X 倍詰め込むと圧力も X 倍となります。

温度変化 $\Delta\theta$ の影響も、容器内に入っている n [mol]の分子数に応じて（比例して）圧力変化として現れます。

$$\Delta PV = nR\Delta\theta$$

$$\Leftrightarrow X\Delta PV = XnR\Delta\theta$$

測定圧(内部圧力) P_D [Pa] が大気圧 P_{atm} [Pa]の何倍かという、

$$X = P_D / P_{atm} \quad [\text{倍}]$$

マスター・ワーク温度差 $\Delta\theta$ の影響も、容器内に入っている分子数に応じて変わるため、

$$\Delta\theta = \theta_{T(1)} - \theta_{R(1)}$$

内部圧力が P_{atm} [Pa]の時に、温度変化 $\Delta\theta$ で受ける圧力変化が P_{T1} [Pa/DETs]ならば、

供給圧力にて加圧し、内部圧力 P_D [Pa] の時には、

$$X \times P_{T1} \quad [\text{Pa/DETs}]$$

の影響を受けますから、

$$X \times P_{T1} \quad [\text{Pa}] = (P_D / P_{atm}) \times P_{T1} \quad [\text{Pa}]$$

従って、容器内部圧力 P_D [Pa]の時に、

温度変化 $\Delta\theta$ で受ける圧力変化 P_C [Pa]を求める式は、

$$P_C = (P_D / P_{atm}) \times P_{T1} \quad [\text{Pa}]$$

となります。

パンフレット

3 加圧して計測される差圧の構造

計測される差圧時間変化率の構造は

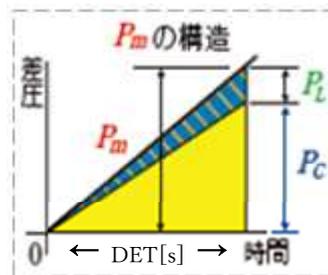
$$P_m = P_C + P_L$$

P_L : 漏れによる差圧

P_C : ワークの残熱差圧を圧力換算した差圧

P_{atm} : 大気圧

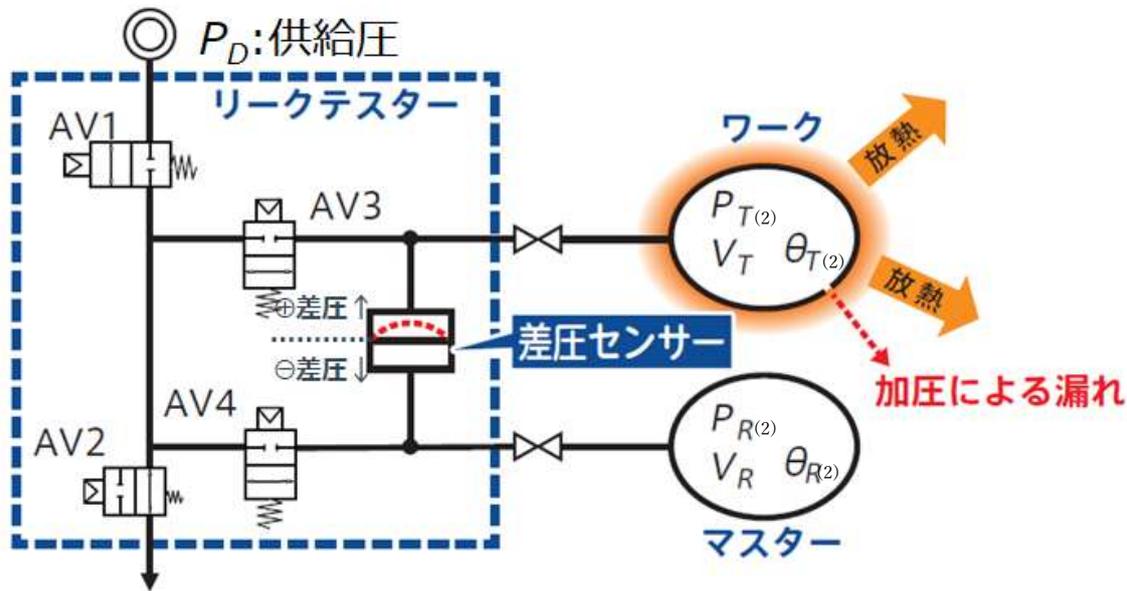
P_D : 測定時内部圧力



$$P_C = P_{T1} \times (P_D / P_{atm})$$

6. 温度補正機能のご説明(6) : 本当の漏れ

* 本当の漏れ量の算出



(ワーク側内圧低下は⊕差圧で表示されます)

パンフレット

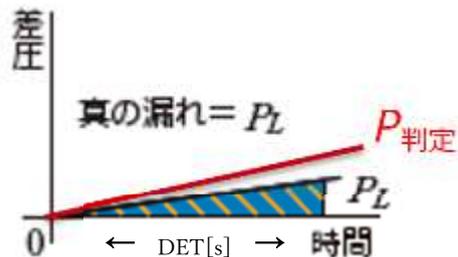
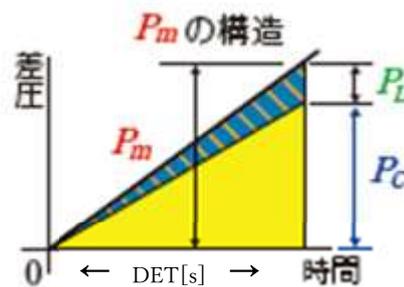
4 漏れにより発生する差圧を算出

本当の漏れ分の差圧： $P_L = P_m - P_c$ [Pa/DETs]

P_m : 発生差圧

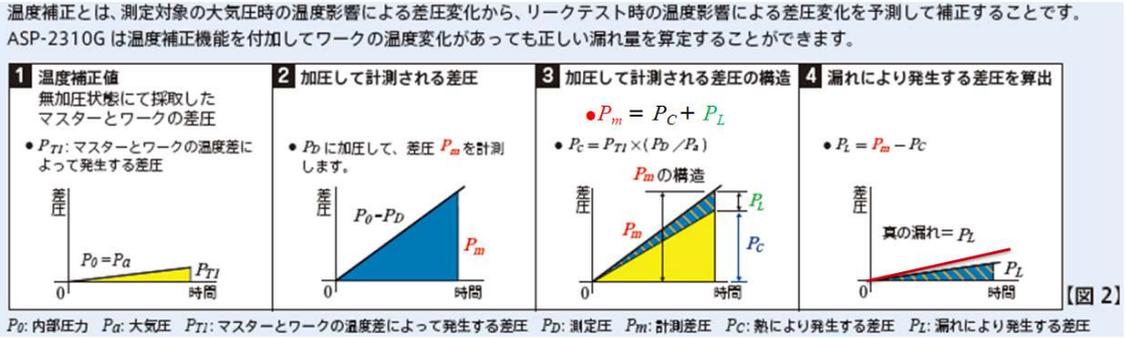
P_c : 圧力換算した温度差分の差圧

計測 DET[s]間の差圧 $P_L < P$ 判定 であれば合格



6. 温度補正機能のご説明 (7): 温度補正全体

パンフレット **1** ~ **4** 全体



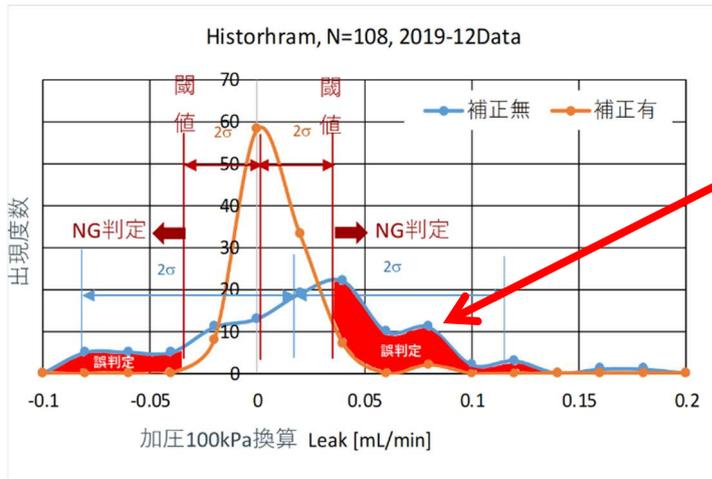
1. 無加圧で補正值を測定
(温度差による圧力変化 P_{T1})
ワーク温度は、個々に異なります。

2.~3. 規定圧力 P_D での測定
($P_m =$ 温度差による圧力変化 P_C + 真の漏れ P_L)

4. 補正
(温度差による圧力変化を差し引く)

7. 温度補正の効果

* リーク検査の誤判定を大幅削減できます



温度補正なしの場合のデータ漏れていないのに誤判定

・ 熱交の検査データ統計値 (内容積約 1000mL)



以上