



JAEA-Testing  
2013-001

# JAEA-Testing

## 呼気ガス測定装置の運転操作

The Operation Manual of the Breath-Mass with a Quadrupole Mass Spectrometer

平塚 一 秦野 歳久 阿部 哲也

Hajime HIRATSUKA, Toshihisa HATANO and Tetsuya ABE

産学連携推進部

Industrial Collaboration Promotion Department

May 2013

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2013

呼気ガス測定装置の運転操作

日本原子力研究開発機構  
産学連携推進部

平塚 一・秦野 歳久・阿部 哲也

(2013年1月22日受理)

四重極形質量分析計(QMS ; Quadrupole Mass Spectrometer)を用いた微量ガス成分の測定・分析技術の開発を進め、呼気ガス測定装置(ブレスマス ; Breath-Mass)を実用化した。ブレスマスは、大気圧のガスを超高真空まで瞬時に排気し、高感度かつ再現性よく、そのガス成分を短時間に計ることを特徴としたガス分析装置である。その特徴を生かし、可搬性を備えることから、その場測定を実施するなど、広範な分野への活用を目指した。技術指導や共同研究等を通してブレスマスの活用を進める中、本装置の基本的な取り扱い方法の講習が求められた。そこで、ブレスマスの運転操作やガスの採取方法及び保守方法を本報告書にまとめた。

JAEA-Testing 2013-001

## The Operation Manual of the Breath-Mass with a Quadrupole Mass Spectrometer

Hajime HIRATSUKA, Toshihisa HATANO and Tetsuya ABE

Industrial Collaboration Promotion Department

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 22, 2013)

The Breath-Mass was put in practical use in the development of the gas analysis technology with quadrupole mass spectrometer. Features of the Breath-Mass are measurement at short time, high sensitivity and reproducibility. Moreover, on-site measurable feature made the Breath-Mass possible apply to various fields. In development of application, lectures of operation with the instrument were required. This report was summarized as operation manual whose contents were handling, measurement and maintenance.

Keywords : Quadrupole Mass Spectrometer, Breath-Mass, Vacuum, Gas, Handling, Maintenance

目次

1. はじめに	1
2. プレスマス	3
2.1 構成機器	3
2.2 性能仕様	3
2.3 測定手順	4
3. ガス測定	12
3.1 起動と停止	12
3.2 ガスの測定準備	13
3.3 ガスの採取と測定	13
3.4 データ整理	14
4. 保守メンテナンス	31
4.1 真空漏れ	31
4.2 真空ポンプ	32
4.3 導入部	32
4.4 ベーキング	33
4.5 四重極形質量分析計	33
4.6 B-A 真空計	34
5. おわりに	40
謝辞	41
参考文献	42

Content

1 . Introduction .....	1
2 . The Breath-Mass .....	3
2.1 Instrument component .....	3
2.2 Specification .....	3
2.3 Procedure .....	4
3 . Gas measurement .....	12
3.1 Starting and stopping .....	12
3.2 Preparation .....	13
3.3 Sampling and measurement .....	13
3.4 Date correction .....	14
4 . Maintenance .....	31
4.1 Vacuum leak .....	31
4.2 Vacuum pump .....	32
4.3 Gas supply section .....	32
4.4 Baking .....	33
4.5 QMS .....	33
4.6 B-A gauge .....	34
5 . Conclusion .....	40
Acknowledgment .....	41
Reference .....	42

表目次

表 2.1 構成機器の仕様	5
表 2.2 ブレスマスの性能仕様	6
表 3.1 運転チェックシート	15
表 3.2 ガス採取用具の仕様	16

図目次

図 1.1 波及分野とブレスマスを支える特許技術 .....	2
図 2.1 ブレスマスの外観 .....	7
図 2.2 ベーキングヒータ回路 .....	8
図 2.3 サンプルバッグからのガス吸引 .....	9
図 2.4 ブレスマス内のガスの流れ .....	10
図 2.5 測定データの表示（バーグラフ）例 .....	11
図 3.1 ブレスマスのガス測定の手順 .....	17
図 3.2 ブレスマスの起動手順（パネル操作） .....	18
図 3.3 ブレスマスの起動手順（バルブ操作） .....	19
図 3.4 ベーキングの操作手順 .....	20
図 3.5 ベーキングの停止手順 .....	21
図 3.6 ブレスマスの停止手順（バルブ操作） .....	22
図 3.7 ブレスマスの停止手順（パネル操作） .....	23
図 3.8 排気時定数の測定手順 .....	24
図 3.9 空気吸引の様子 .....	24
図 3.10 空気測定の手順 .....	25
図 3.11 B.G 測定の手順 .....	26
図 3.12 ヒトの呼気の採取方法 .....	26
図 3.13 呼気ガス吸引 .....	27
図 3.14 ポリエチレン袋に入れた試料例 .....	28
図 3.15 ビーカに入れた試料例 .....	29
図 3.16 ブレスマスによる測定データの整理 .....	30
図 4.1 真空リーク試験対象箇所为例 .....	35
図 4.2 TMP と DP の接続状態 .....	35
図 4.3 チューブ継手 .....	35
図 4.4 TMP 用冷却ファン .....	36
図 4.5 TMP 下部開口状態 .....	36
図 4.6 バラスト弁 .....	37
図 4.7 DP のメンブレン等の分解状態 .....	37
図 4.8 ウルトラトール継手 .....	38
図 4.9 QMS コントローラ .....	38
図 4.10 ミニチュアゲージ .....	39

Error (42 頁)	Correct (42 頁)
<b>参考文献</b>	<b>参考文献</b>
1) 日本原子力研究開発機構, 日本真空技術株式会社, 四重極型質量分析計, 特許第 3002521 号, 平成 2 月 10 月 22 日	1) 廣木 成治, 阿部 哲也 他, 四重極型質量分析計, 特願平 2-283850, 日本国 特許第 3002521 号, 1999.11.12.
2) 日本原子力研究開発機構, 東京システム開発株式会社, 四極子質量分析計, 特許第 3427897 号, 平成 6 年 8 月 31 日	2) 廣木 成治, 阿部 哲也 他, 四極子質量分析計, 特願平 6-207006, 日本国 特許第 3427987 号, 2003.5.16.
3) 日本原子力研究開発機構, アネスト岩田株式会社, ダブルラップドライスクロール真空ポンプ, 特許第 3985051 号, 平成 9 年 7 月 28 日	3) 阿部 哲也, 廣木 成治, 芳賀 修二, ダブルラップドライスクロール真空ポンプ, 特願平 9-217050, 日本国 特許第 3985051 号, 2007.7.20.
4) 日本原子力研究開発機構, 高感度ガス分析装置, 特許第 4052597 号, 平成 16 年 8 月 11 日	4) 阿部 哲也, 廣木 成治 他, 高感度ガス分析装置, 特願 2004-234010, 日本国 特許第 4052597 号, 2007. 12.14.
5) 日本原子力研究開発機構, 株式会社環境測定サービス, 呼気捕集器特許第 4620987 号, 平成 16 月 9 月 6 日	5) 阿部 哲也, 丹澤 貞光 他, 呼気捕集具, 特願 2004-258288, 日本国 特許第 4620987 号, 2010.11.5.
6) 住原 則也, 清酒のルーツ, 菩提酛(ぼだいもと)の復元-奈良の「産」「官」「宗」連携プロジェクトの記録-, Agora : Journal of International Center for Regional Studies, No.4, 2006, pp.1-27	6) 住原 則也, 清酒のルーツ, 菩提酛(ぼだいもと)の復元-奈良の「産」「官」「宗」連携プロジェクトの記録-, Agora : Journal of International Center for Regional Studies, No.4, 2006, pp.1-27.
7) 松澤 一幸, 菩提もとのメカニズムと微生物の遷移, 生物工学会誌, 台 89 卷, 第 8 号, 2011, pp.473-477	7) 松澤 一幸, 菩提もとのメカニズムと微生物の遷移, 生物工学会誌, 第 89 卷, 第 8 号, 2011, pp.473-477.
8) 小橋 恭一, 呼気生化学-測定とその意義-, (株)メディカルレビュー社, 1998, p.127	8) 小橋 恭一, 呼気生化学-測定とその意義-, (株)メディカルレビュー社, 1998, p.127.
9) 秦野 歳久ほか, 高感度測定をめざしたガス分析装置の開発と質量スペクトルの整形, J Vac Soc Jpan, VOL.54 , NO.9, 2011, pp.474-477	9) 秦野 歳久, 平塚 一, 阿部 哲也, 高感度測定をめざしたガス分析装置の開発と質量スペクトルの整形, J Vac Soc Jpan, VOL.54 , NO.9, 2011, pp.474-477.

This is a blank page.

## 1. はじめに

核融合研究で培った応用真空工学技術に基づく技術開発の一つとして、微量ガス成分の測定及び分析の技術開発を進めた結果、高感度ガス分析装置を開発した。そのシリーズとして呼気ガス測定装置（ブレスマス；Breath-Mass）を実用化した。

本装置は、ガス測定という手法に対して複数の特許技術<sup>1)～5)</sup>を組み合わせ、大気圧のガスを超高真空まで高速に排気し、高感度かつ再現性よく測定することができる。

この特徴を生かしてブレスマスを多くの分野に活用し、波及させた。図 1.1 に波及分野とブレスマスを支える特許技術を示す。主な波及分野として医療分野では呼気ガスの分析により、健康増進の取り組みに貢献した。農業分野では農産物が発する香りから野菜や果物の特性や新鮮度を提案した。畜産分野では牛肉、豚肉の香りから肉の品質持続時間の違いと変化を調査した。漁業分野では魚介類の香りから貯蔵用水の種類による保存効率の違いを検証した。醸造分野では室町時代の醸造法を復活させた「菩提酛復活プロジェクト」<sup>6)～7)</sup>に協力した。土木分野では道路舗装材などの品質管理に貢献した。工業分野ではアルミ合金の品質検査に利用した。その他、ブレスマスは、安全管理やセキュリティ技術の先進化などの分野への応用が期待できる。

種々の分野における技術指導や共同研究及び技術相談などを通じて、ブレスマスの活用を進める中、ブレスマスの取り扱い、起動停止、ガス採取やガス測定、メンテナンスについての技術的な講習が求められた。

本報告書は、ブレスマスの運転操作方法や様々な試料ガスの採取及び保守メンテナンスについて、呼気ガス測定装置「ブレスマス」の基本的な運転操作が行えるマニュアルとしてまとめた。



**質量分析計**

「四重極型質量分析計」  
特願平2-283850 (平2. 10. 22)  
特許第3002521号 (平11. 11. 12)



「四極子質量分析計」  
特願平06-207006 (平6. 8. 31)  
特許第3427987号 (平15. 5. 16)

**ポンプ**

「ダブルラップドライブスクロール真空ポンプ」  
特願平09-217050 (平9. 7. 28)  
特許第3985051号 (平19. 7. 20)



**プレスマス**

「高感度ガス分析装置」  
特願2004-234010 (平16. 8. 11)  
特許第4052597号 (平19. 12. 14)



**サンプルバッグ**

「呼気捕集具」  
特願2004-258288 (平16. 9. 6)  
特許第4620987号 (平22. 11. 5)



図 1.1 波及分野とプレスマスを支える特許技術

## 2. ブレスマス

ブレスマスの機器構成等は、JAEA 産学連携サテライトに設置されたブレスマスの仕様（ガス分析装置 No.2：ブレスマス 2 号機）に基づき記載する。よって、基本とするところは変わらないが、機種によっては一部異なることがある。

### 2.1 構成機器

ブレスマスの外観（上面及び正面）を図 2.1 に示す。ブレスマスは安全性、作業性及び可搬性を考慮し、ガス測定部と架台からなる。主な機器は、QMS、ターボ分子ポンプ (TMP)、ダイアフラムポンプ (DP)、真空容器 (VV)、B・A 真空計 (B・A) 等から構成される。架台の前面パネルには B・A コントローラ、TMP 用電源ユニット (DCU)、温調計 (H1~H3)、ベーキングヒータスイッチ (H1-SW~H3-SW) が配置されている。構成機器の仕様を表 2.1 に示す。

QMS の測定は、パーソナルコンピュータ (PC) により専用のソフトウェアを作動させて測定される。PC は Windows XP (32bit) を使用とし、QMS とは USB シリアル変換アダプター (RS-232C) を介して接続される。

### 2.2 性能仕様

ブレスマスは、排気コンダクタンス、熱伸縮、振動吸収などを考慮したコンパクトな設計を基に、連続ベーキングや連続排気機能より、バックグラウンドの徹底的な低減化と高品質な真空を実現して高感度化を図った。

ブレスマスは、主排気ポンプに TMP、補助排気ポンプに DP を用い、2 系統 (Sample-Pump 系、QMS-Pump 系) のオイルフリーな真空排気システムを採用して超高真空まで連続排気される。また、放出ガスや残留ガスの低減を目的として、ガス測定部の検出部、排気部、導入部の VV を含めた TMP の上流側がベーキング処理される。各部は、ベーキング温度の均一、安定化を図るために帯状ベーキングヒータと熱電対を配置し、その上にアルミホイル、ラスタン材、アルミ蒸着ガラスクロステープの保温材により外部温度の影響を受けないような複層構造にしている。温度制御は、3 回路に分かれ、温調計の SSR 式 PID 方式により制御される。主回路には温度制御の異常が発生した場合にベーキングの制御出力を「off」とする機能及び異常温度となった場合に温度ヒューズ (240℃) が作動してベーキング電源を「断」する 2 段のインターロックを備えている。通常運転では検出部、排気部、導入部の温度が制御され、TMP 本体が 80℃以上の熱負荷を受けない温度設計となっている。ブレスマスのベーキングヒータ回路を図 2.2 に示す。検出部、排気部、導入部は、各々ベーキングヒータ 1 (H1)、ベーキングヒータ 2 (H2)、ベーキングヒータ 3 (H3) にて温度制御される。

ブレスマスの性能仕様を表 2.2 に示す。ブレスマスは、 $\sim 10^{-7}$ Pa を実現し、 $m/z$  1~200 までを 10 秒 ( $0.05s/(m/z) \times 200m/z$ ) で測定する。測定感度は 1ppm 以下を実現した。

### 2.3 測定手順

サンプルバッグに採取された呼気などの試料ガス（サンプルガス）はシリンジに吸引して測定する。サンプルバッグからのガス吸引を図 2.3 に示す。サンプルガスを吸引したシリンジは、導入部に接続して測定する。ブレスマス内のガスの流れを図 2.4 に示す。測定データの PC での表示例を図 2.5 に示す。

表 2.1 構成機器の仕様

機器名	記号	型式	仕様	員数
質量分析計	QMS	四重極形質量分析計 PrismaTM QMS200 M2 ファイファーバキューム製	Mass range 1~200 Detector type Channeltron/Faraday Detection limit <10-14 mber AC100V 150W	1 台
真空ポンプ	TMP	ターボ分子ポンプ TMU071P TC600 電源ユニット DCU (110) エアークーリングユニット PM Z01 ファイファーバキューム製	1500Hz S(N2) 60l/s AC100V 110W Output 24V-4.6A 110W AC100V 125W fan 24V DC	2 台
	DP	ダイアフラムポンプ MVPO15-2 ファイファーバキューム製 チューブ継手 チューブ ナット, フェルール, インサート スウェージロック製	50Hz S(N2) 15l/s AC100V 55W  PFA-T10M-1M, PFA-T10M-1.5M	2 台
圧力計	B-A	ワイドレンジ電離真空計 M-431HG ミニチュアゲージ MG-2F キャノン アネルバ テクニクス製	13.2×100~0.01×10-7Pa AC100V 50W  ICF070	1 式
バルブ	V	ベローズ・シール・バルブ (B) SS-4BW SS-4BG スウェージロック製	1/4インチ	5 台
	VL	ベローズ・シール・バルブ (BM) (流量調整用) SS-4BMW スウェージロック製	1/4インチ	3 台
ヒータ	H	帯状 (リボン) ヒータ 坂口電熱製 シース型熱電対 助川電気製 デジタル温調計 E5CN型 オムロン製 入/切スイッチ	20mm幅×1.0m-1.5m長 AC100V 200W K φ1.6mm 800℃  AC100V 7.5W	3 式
		温度ヒューズ S. W. C製	240℃	1 式
		保温材 アルミホイル ラスタンテープ アルミ蒸着ガラスクロステープ	50mm幅 50mm幅	1 式

表 2.2 プレスマスの性能仕様

項目	仕様値	備考
到達圧力	$\sim 10^{-7}$ Pa	
測定質量	$m/z$ 1 $\sim$ 200	
測定感度	$\sim 1$ ppm	
加熱温度	常温 $\sim$ 200 °C	ベーキング
重量	約 50 kg	
寸法	0.9 $\times$ 0.6 $\times$ 1.2 (m)	W $\times$ D $\times$ H
電源	AC 100 V	
その他	可搬型	

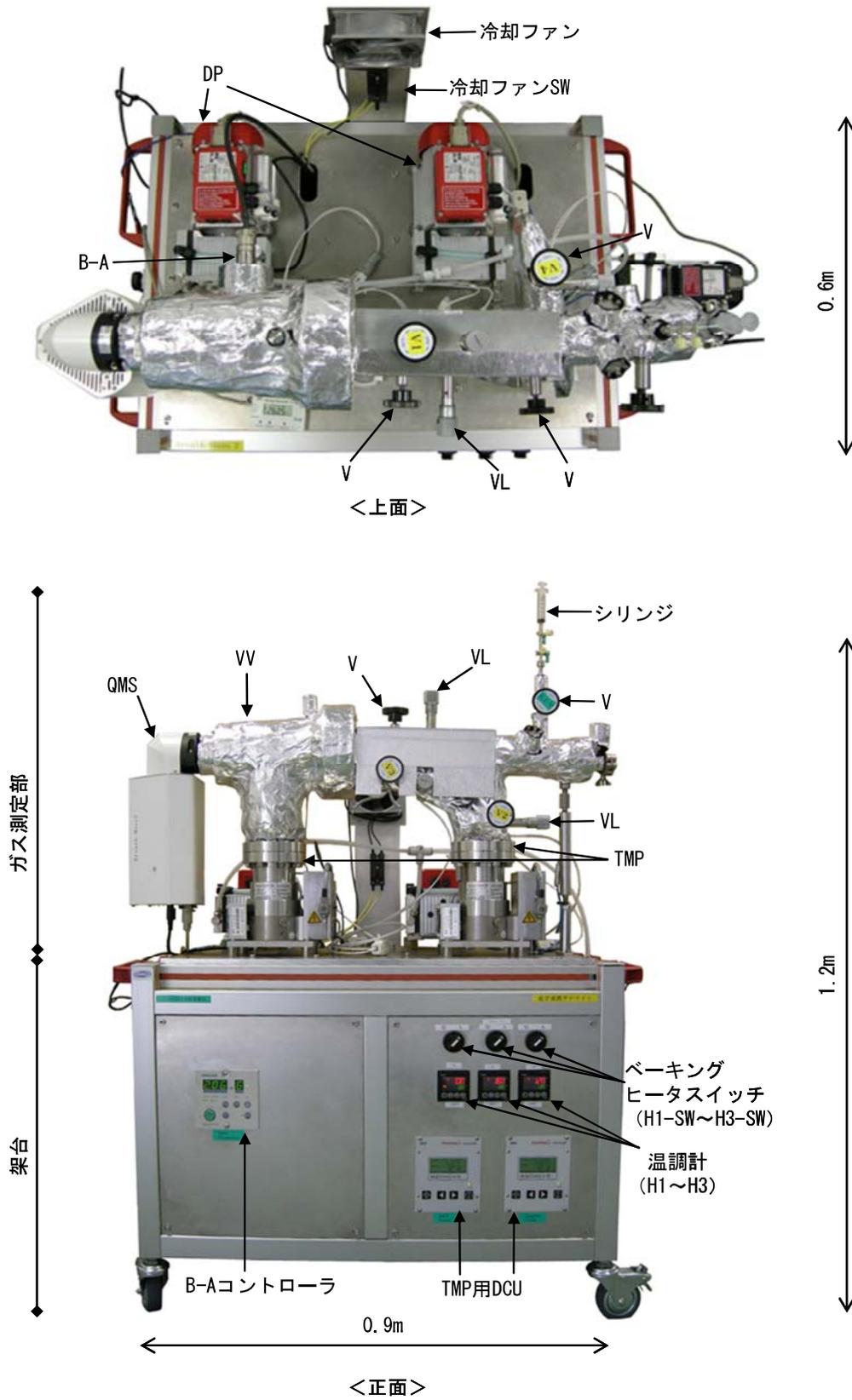


図 2.1 プレスマスの外観

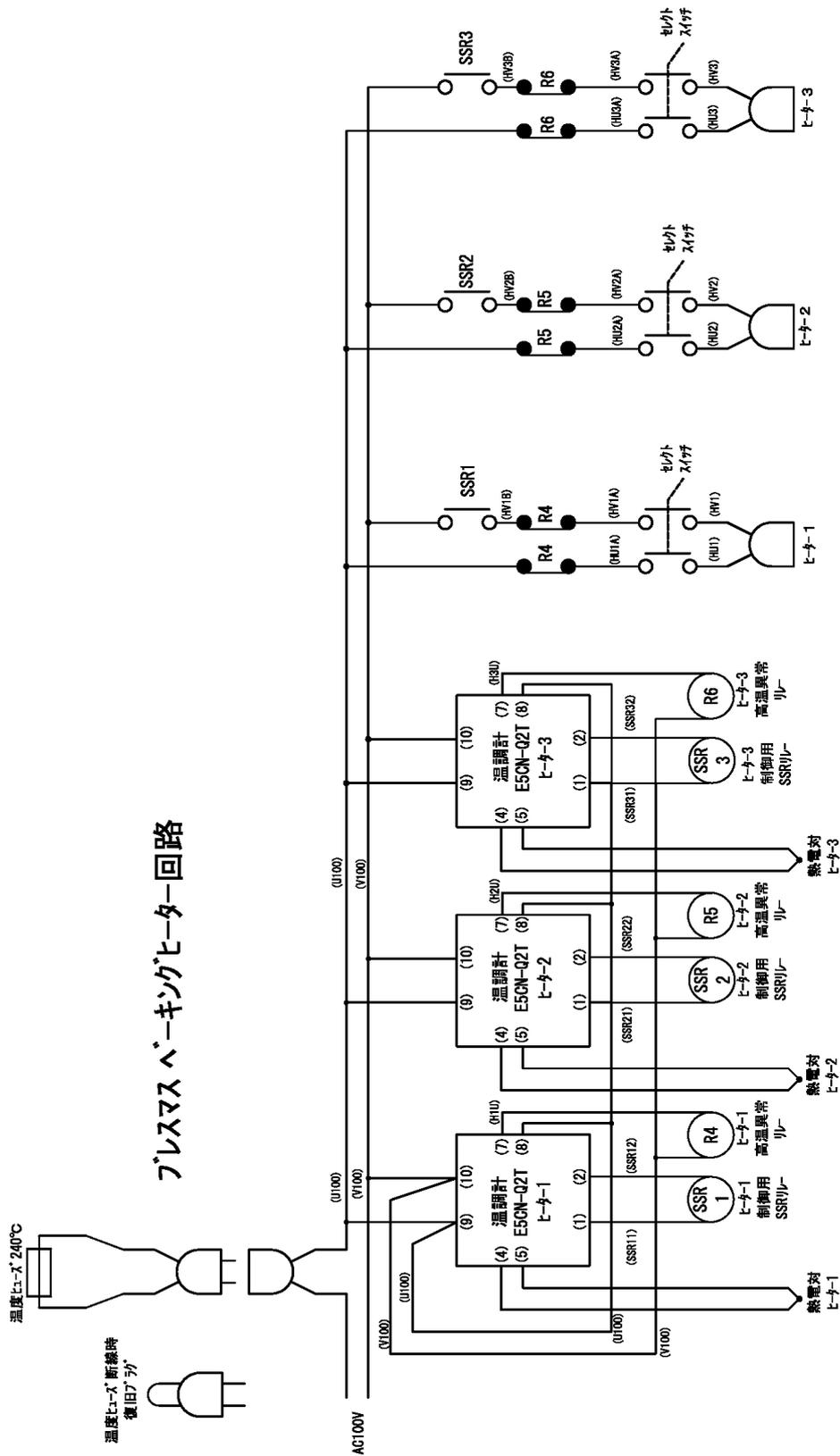
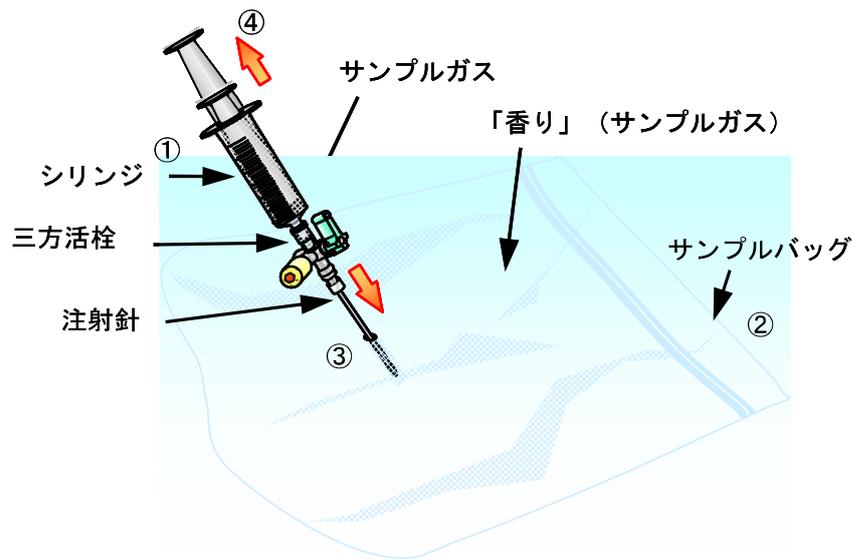


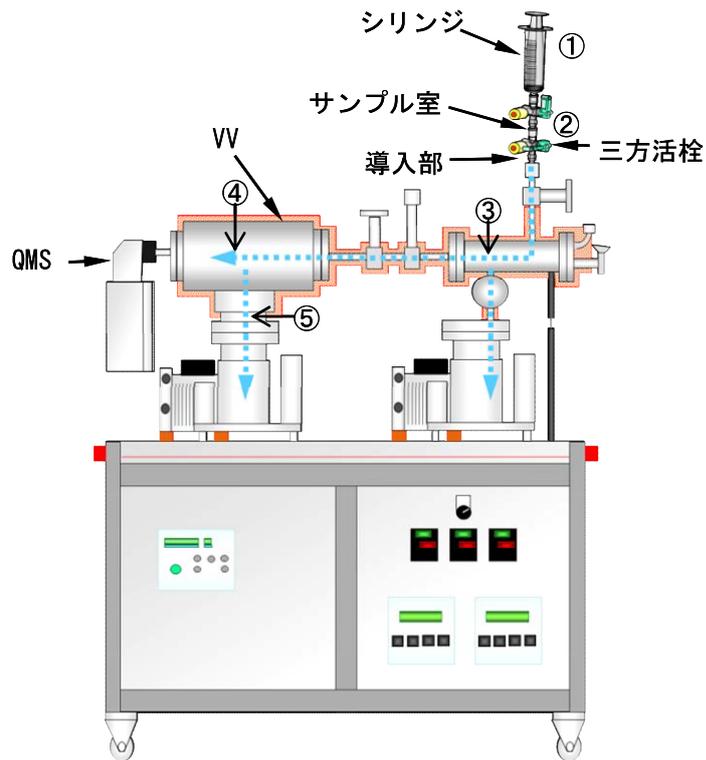
図 2.2 ベーキングヒータ回路



#### ガス採取の手順

- ①シリンジ，三方活栓，注射針を組み立てる。
- ②サンプルバッグに香りを採取する。
- ③サンプルバッグに注射針を刺し込む。
- ④シリンジにサンプルガスを吸引し、注射針を引き抜く。

図 2.3 サンプルバッグからのガス吸引



測定手順

- ① シリンジと三方活栓から注射針を外し、導入部の三方活栓にシリンジを接続する。
- ② シリンジよりサンプル室にサンプルガスを充填する (0.2ml)。
- ③ サンプルガスを W に導入する。
- ④ 検出部に入ったガスは、QMS でイオン化され、特定の質量数が検出、測定される。
- ⑤ 不要なガスは真空排気される。

図 2.4 プレスマス内のガスの流れ

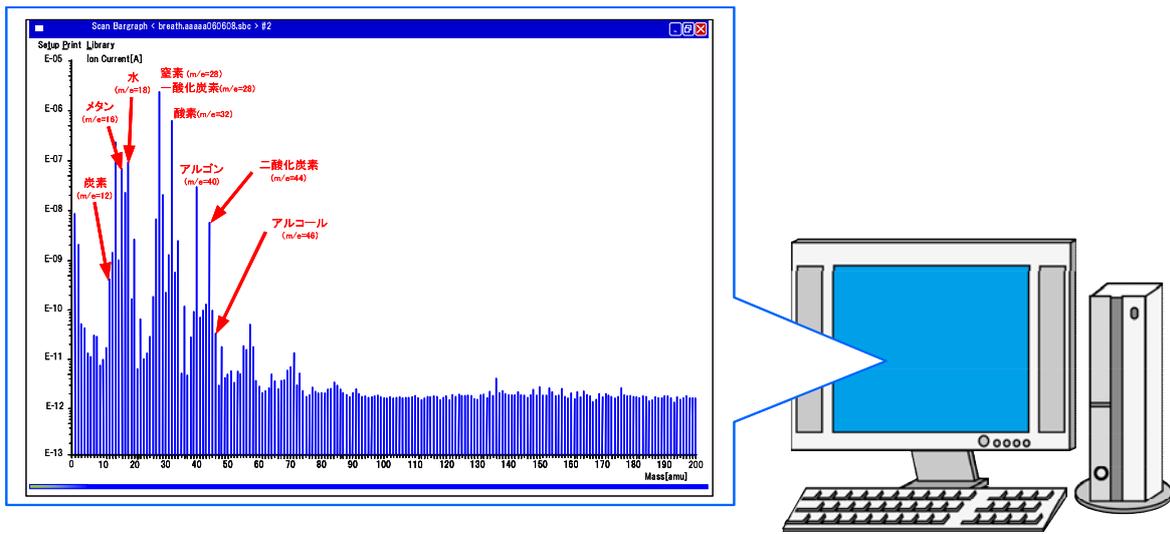


図 2.5 測定データの表示（バーグラフ）例

### 3. ガス測定

ブレスマスによるガス測定は、運転（起動）、サンプルガスの採取、測定、測定データの整理及び運転（停止）という流れになる。ブレスマスの起動からガス測定、停止までの手順を図 3.1 に示す。ブレスマスの起動に要する時間はベーキングを含め 2 時間程度である。サンプルガスの測定は試料からガスを採取し、ブレスマスにより測定をする。測定終了後は、測定データの整理をするとともに、ブレスマスを停止する。停止に要する時間は冷却を含めて 3 時間程度である。ブレスマスの起動、測定、停止についての運転操作を表 3.1 運転チェックシートに示す。以下、チェックシートに沿って示す。

#### 3.1 起動と停止

##### 3.1.1 起動

①・1 ブレスマスの起動前には、排気ガスを安全に屋外に排気するためのプロアを起動し、運転状態の点検と運転表示を確認する。

①・2 運転前には周囲の安全と装置の外観に異常の無いことを確認する。①・3 装置用及び計測用電源プラグを電源コンセントに挿入する。

ブレスマスのパネル操作の起動手順を図 3.2 に、ブレスマスのバルブ操作の起動手順を図 3.3 に示す。①・4, ①・5 ベーキングヒータの off 状態（連続加熱の場合は on 状態）及びガス計測部の温度状態は H1, H2, H3 の温調計で各「室温」T1, T2, T3 を確認する。①・6 前面パネルの TMP 用 DCU (Sample-Pump 系, QMS-Pump 系) の LED が点滅を確認後にスタート SW を on にて起動する。①・7 TMP の定常状態 (1,500Hz) を確認後、①・8, ①・9, ①・10, ①・11 各バルブの状態を確認する。①・12, ①・13 B・A コントローラにて圧力を確認する。

ブレスマスのベーキングは圧力 ( $\sim 10^4 \text{Pa}$ ) の条件を満足した状態で実施する。ベーキングの操作手順を図 3.4 に示す。①・14, ①・15, ①・16 H1, H2, H3 のベーキングヒータ SW を「on」し、ガス測定部（検出部、排気部、導入部）を温度設定通りに制御されていることと、ブレスマスの保温材表面温度を確認する。

その後、PC を立ち上げ、測定・分析用ソフトウェアを準備する。

##### 3.1.2 停止

ブレスマスの停止は、ベーキングの停止から始まる。ベーキングの停止手順を図 3.5 に示す。③・1 B・A にて停止前の圧力を確認する。③・2, ③・3 ベーキング停止前温度と停止温度設定を確認する。③・4 装置の運転状態と加熱状態を確認し、③・5 ベーキングヒータを「off」にする。装置冷却は、自然冷却と強制冷却がある。強制冷却の場合は冷却ファンを起動「on」する。③・6, ③・7 ガス測定部の温度が  $40^\circ\text{C}$  以下である（冷却ファンを起動した場合は停止する）ことと、B・A の圧力 ( $\sim 10^6 \text{Pa}$ ) を確認する。③・8 B・A のフィラメントを切り、電源を「off」にする。その後、測定・分析用ソフトウェアを停止し、PC を立ち下げる。

ブレスマスのバルブ操作の停止手順を図 3.6 に、ブレスマスのパネル操作の停止手順に図 3.7 に示す。③・9, ③・10, ③・11 三方活栓や各バルブを「閉」にする。B・A のフィラメント「切」、電源「off」を確認し、③・12 TMP 用 DCU (Sample-Pump 系, QMS-Pump 系) にてポンプを停止する。③・13 TMP 用 DCU のディスプレイで回転数 0Hz (動作停止) を確認し, Sample-Pump 系 Pump stat-SW 及び QMS-Pump 系 Pump stat-SW の LED 点滅を確認する (グリーン点滅)。③・14 電源プラグをコンセントからの引抜き, 停止を完了する。

停止完了後は, ③・15 ブロアを停止し, 停止状態表示を確認する。

### 3.2 ガスの測定準備

ブレスマスによる測定は, シリンジに規定量のサンプルガスを吸引して導入部の三方活栓に接続する。次いで, サンプル室にサンプルガスを充填して三方活栓の「開」動作により, 検出部にガスを導いてパルス的に測定する (パルスガス測定)。表 3.2 にガスの採取に使用する用具の主な仕様を示す。用具は測定の目的により仕様を決定する。

#### 3.2.1 排気時定数

連続排気されているブレスマス内にサンプルガスを導入して得られるスペクトルデータは, 圧力と共に減少する。そのため, 排気時定数によって, 圧力が一定二成るように補正してデータの分析評価をする。ブレスマスの測定準備が整えば, 排気コンダクタンスを調整し, 排気時定数を求める。排気時定数の測定手順を図 3.8 に示す。

排気時定数の調整が必要な場合は再度実施する。排気時定数の決定後, 調整バルブ VL1, VL3 及び VL4 の開度を固定する。

#### 3.2.2 空気測定

測定・分析ソフトウェアの起動と排気時定数の決定後, 大気中の空気に含まれるアルゴン (Ar ; 9,300ppm) を基準として規格化するために, 測定雰囲気中の空気 (その場空気) の測定をする。三方活栓を開き, シリンジに空気を吸引する様子を図 3.9 に示す。

空気測定の手順を図 3.10 に示す。実施後, 空気の測定データを作成する。

#### 3.2.3 バックグラウンド測定

空気の測定後, シリンジを接続した状態でサンプルガスを導入するときのバックグラウンド (B.G) を測定する。B.G 測定は, 三方活栓を「開」にして実施する。B.G 測定時の操作を図 3.11 に示す。実施後, B.G の測定データを作成する。

### 3.3 ガスの採取と測定

試料によりガスの採取方法に相異はあるが, 試料からのサンプルガスはシリンジに吸引採取する。そのシリンジをブレスマスの導入部に接続する。ガスの採取時や導入時にシリンジのとも洗

いやガス導入経路のとも洗いを実施することで測定精度をあげることが可能となる。

### 3.3.1 呼気ガスの場合

専用のサンプルバッグ<sup>5)</sup> にヒトの呼気<sup>8)</sup> を吹き込み、そこから呼気ガスを採取する。ヒトの呼気の採取方法を図 3.12 に、シリンジへの呼気ガス吸引方法を図 3.13 に示す。呼気ガスを採取した後は、シリンジから注射針を外して処理する。呼気ガスの測定は、ガスの採取方法を除き、基本的に空気測定と同様な手順である。

### 3.3.2 呼気ガス以外の場合

野菜、果実、食品類、液状や液体などの呼気ガス以外の試料から放出ガスを採取する場合は、その場空気、または、標準空気と一緒にポリエチレン袋やビーカなどの袋や容器に入れる。試料は、重量当たりの放出ガス量を求めるため、測定前に単体の重量を測定する。ポリエチレン袋に入れた試料の例（行者大蒜、餃子）を図 3.14 に示す。ビーカに入れた試料の例（鶏卵、日本酒）を図 3.15 に示す。試料ガスの測定は、ガスの採取方法を除いて呼気ガス測定と同様な手順である。

試料から放出ガスを多くしてサンプルガスの採取、測定をする場合は、ポリエチレン袋やビーカに試料を入れて加温器（インキュベータ）等を用いて加温する。

## 3.4 データ整理

ブレスマスによる測定データ ( $m/z$  50 までのデータ) の一例を図 3.16 に示す。通常、ブレスマスでは、測定データを整理してから解析する。測定データから B.G. を引き、圧力減少の測定データを圧力一定の状態に補正する<sup>9)</sup>。サンプルガスに空気を含んでいる場合、 $m/z$  40 を全て Ar からのイオン化電流とみて、各イオン化電流を  $m/z$  40 のイオン電流で除し、規格化イオン電流値で整理する

表 3.1 運転チェックシート

年月日； 年 月 日 ( )		温湿度； °C %				
① 起動 (ON)	担当；	時間；				チェック：√
1	フロアの運転 (室内換気扇)	起動	on	赤ランプ	点検	
2	装置の状態確認	異常	有	無		
3	電源コンセント状態 「入」	装置用コンセント「入」		計測用コンセント「入」		
4	Heater 「H1~H3」 状態	on/off	H1	H2	H3	
5	H1~H3の温度確認		T1； °C	T2； °C	T3； °C	
6	Pump起動 (Sample)	on	DPﾊﾞﾗｽﾄ弁	開	閉	
	Pump起動 (QMS)	on	DPﾊﾞﾗｽﾄ弁	開	閉	
7	Pump 定常状態確認 (Sample)	定常状態	▼ ▼	Hz	A	
	Pump 定常状態確認 (QMS)	定常状態	▼ ▼	Hz	A	
8	バルブの開確認 (V1、V2、V3、V4)	V1 「開」	V2 「開」	V3 「開」	V4 「開」	
9	調整バルブの確認 (LV1、LV2、LV3)	LV1 「開」		LV3 「開」	LV4 「開」	
10	Service Port閉確認	Port			閉	
11	Sample Inlet V (S、I-V)		開		閉	
12	B-A 電源、Filament状態	電源-「ON」		Filament-「ON」		
13	QMS-Pressure確認	Qp=				
14	H1~H3 温度設定 (SV1、SV2、SV3)		SV1;100°C	SV2;180°C	SV3;120°C	
15	Heater SW「H1~H3」 on		H1	H2	H3	
16	H1~H3 OUTランプ確認		H1「OUT」	H2「OUT」	H3「OUT」	
② 測定・表示	担当；	時間；				
1	Baking 定常温度確認		T1； °C	T2； °C	T3； °C	
2	測定前Pressure確認	Qp=				
3	調整バルブの開度 (LV1、LV2、LV3)	LV1；		LV3；	LV4；	
4	パソコン立ち上げ	測定開始	Parset (ﾊﾟﾗﾐｰﾀ)	Masure (測定)	Dispsav (表示)	V；
5	パソコン立ち下げ	測定終了				I；
③ 停止 (OFF)	担当；	時間；				
1	停止前Pressure確認	Qp=				
2	Baking 停止前温度 (T1、T2、T3)		T1； °C	T2； °C	T3； °C	
3	H1~H3 停止温度設定	有 / 無	H1SV1 °C	H2SV2 °C	H3SV3 °C	
4	連続運転 / 連続加熱	運転： 有 / 無	加熱： 有 / 無			
5	Heater SW「H1~H3」 off/連続	Fan on	H1	H2	H3	
6	Baking 温度確認 (40°C以下)	Fan off	T1； °C	T2； °C	T3； °C	
7	降温後QMS-Pressure確認	Qp=				
8	B-A Filament、電源の状態確認	Filament-off		電源-off	連続	
9	Sample Inlet V (S、I-V)	開	閉	三方活栓「閉」		
10	バルブの開確認 (V1、V2、V3、V4)	V1 「閉」	V2 「閉」	V3 「閉」	V4 「閉」	
11	調整バルブの確認 (LV1、LV2、LV3)	LV1 「開」		LV3 「開」	LV4 「開」	
12	Pump 停止 (QMS)	off		DPﾊﾞﾗｽﾄ弁	閉	
	Pump 停止 (Sample)	off		DPﾊﾞﾗｽﾄ弁	閉	
13	Pump 停止状態確認 (Sample)	0 Hz		LED点滅		
	Pump 停止状態確認 (QMS)	0 Hz		LED点滅		
14	電源コンセント確認 (切-抜)	装置用コンセント「切」		計測用コンセント「切」		
15	フロアの停止	停止	off	緑ランプ	点検	
コメント						

表 3.2 ガス採取用具の仕様

用具名	仕様	備考
注射器 (シリンジ)	SS-05SZ	5ml
	SS-10ESZ	10ml
	SS-20ESZ	20ml
	SS-30ESZ	30ml
	SS-50ESZ	50ml
	テルモ製	
	JS-S00S ジェイ・エム・エス製	100ml
三方活栓 (スリップコネクター)	TS-TL1K	
	テルモ製	
注射針	18G × 1 1/2"	
	22G × 1 1/2"	
	テルモ製	
ルアーキャップ	SS-LP	
	テルモ製	
サンプルバッグ	PBAG-T4020	呼気用
	環境測定サービス製	

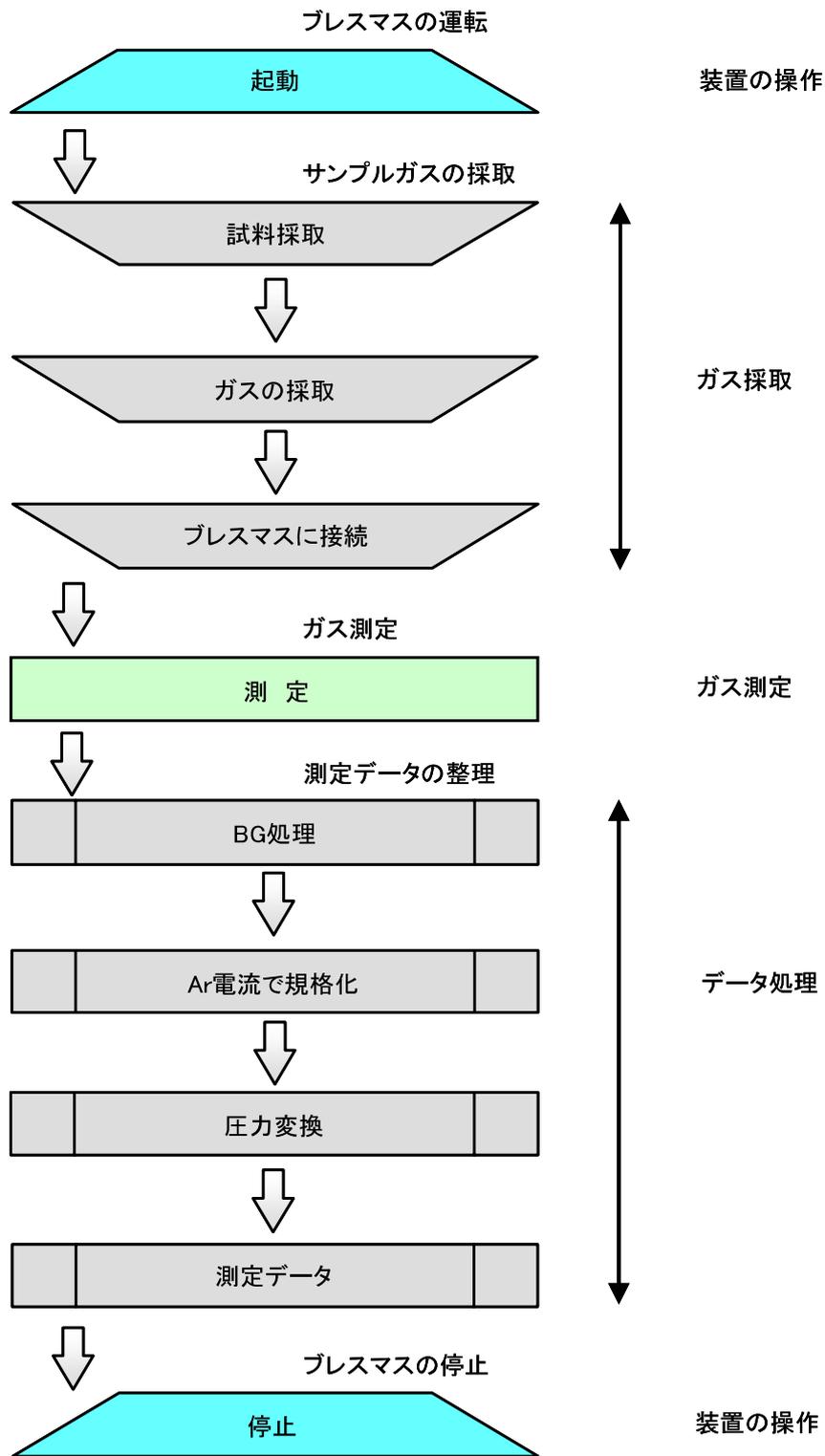
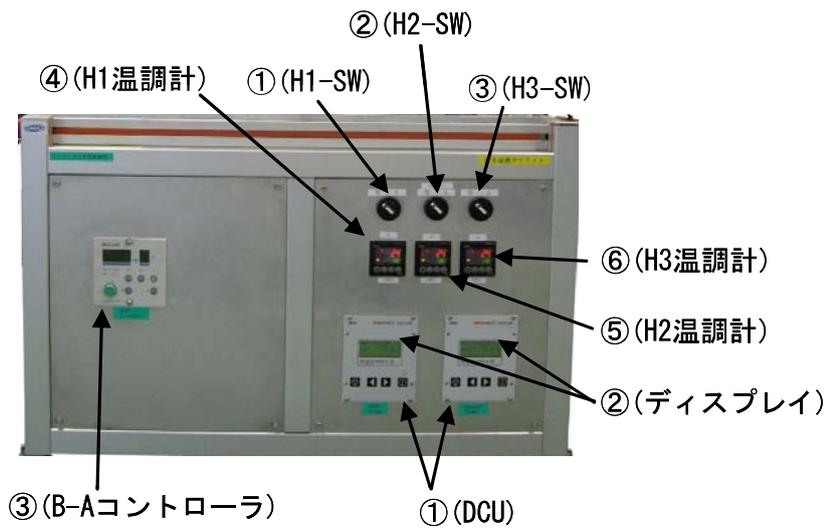
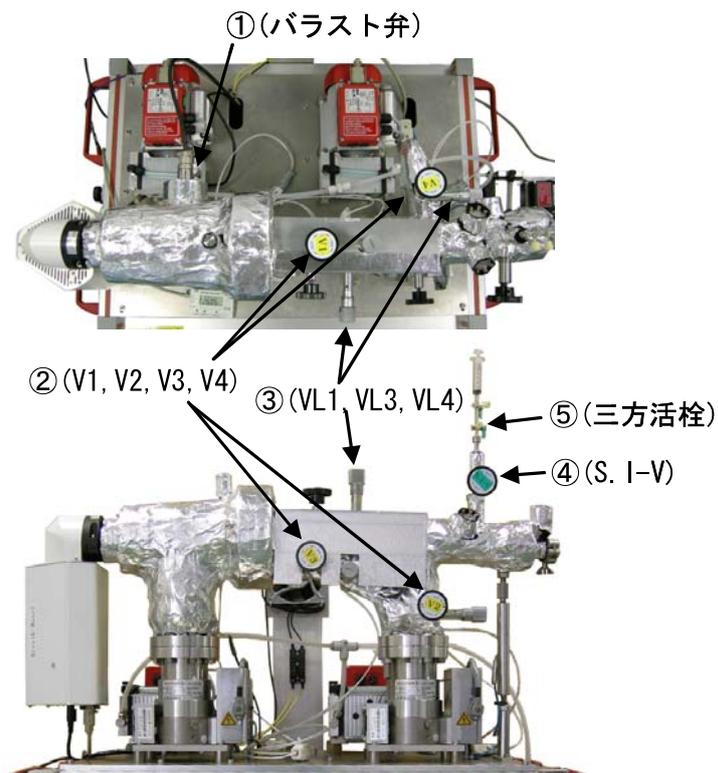


図 3.1 プレスマスのガス測定の手順



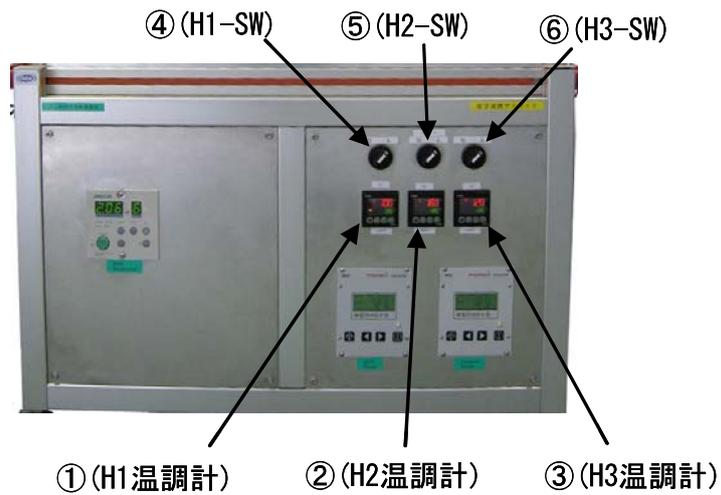
- ①ベーキングヒータ H1-SW の「off」を確認する。
- ②ベーキングヒータ H2-SW の「off」を確認する。
- ③ベーキングヒータ H3-SW の「off」を確認する。
- ④H1 温調計の室温 T1 を確認する。
- ⑤H2 温調計の室温 T2 を確認する。
- ⑥H3 温調計の室温 T3 を確認する。
- ⑦各 DCU のポンプ起動 SW を「on」にする（グリーン LED 連続点灯）。
- ⑧各 DP の動作及び TMP の回転動作を確認し、DCU のディスプレイにて回転数(1, 500Hz で定常状態)を確認する。
- ⑨各バルブの操作後に、B-A コントローラの電源 SW を「on」し、フィラメントを点灯する。

図 3.2 プレスマスの起動手順（パネル操作）



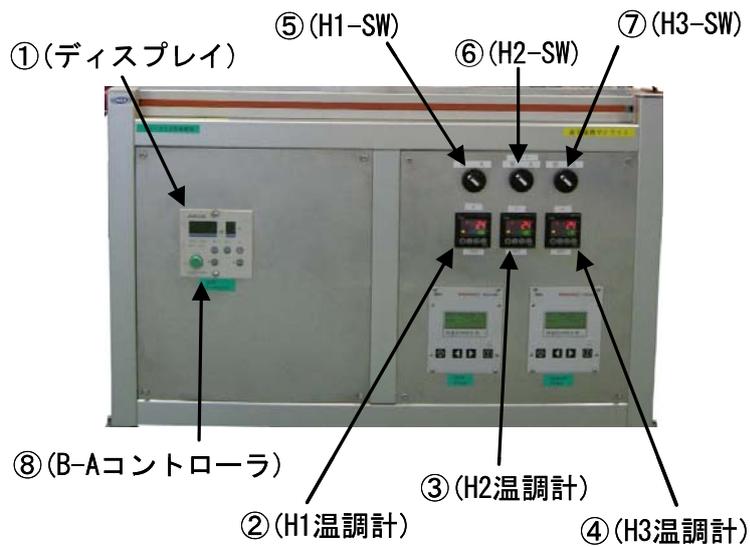
- ①バラスト弁が「閉」であることを確認する。
- ②ストップバルブ V1, V2, V3, V4 を「開」にする。
- ③調整バルブ VL1, VL3, VL4 を「開」にする。
- ④サンプル導入ストップバルブ S. I-V が「閉」であることを確認する。S. I-V を「開」にする場合は、B-A の圧力 ( $\sim 10^{-4}$ Pa) を確認しながら実施する。
- ⑤三方活栓が「閉」であることを確認する。

図 3.3 プレスマスの起動手順 (バルブ操作)



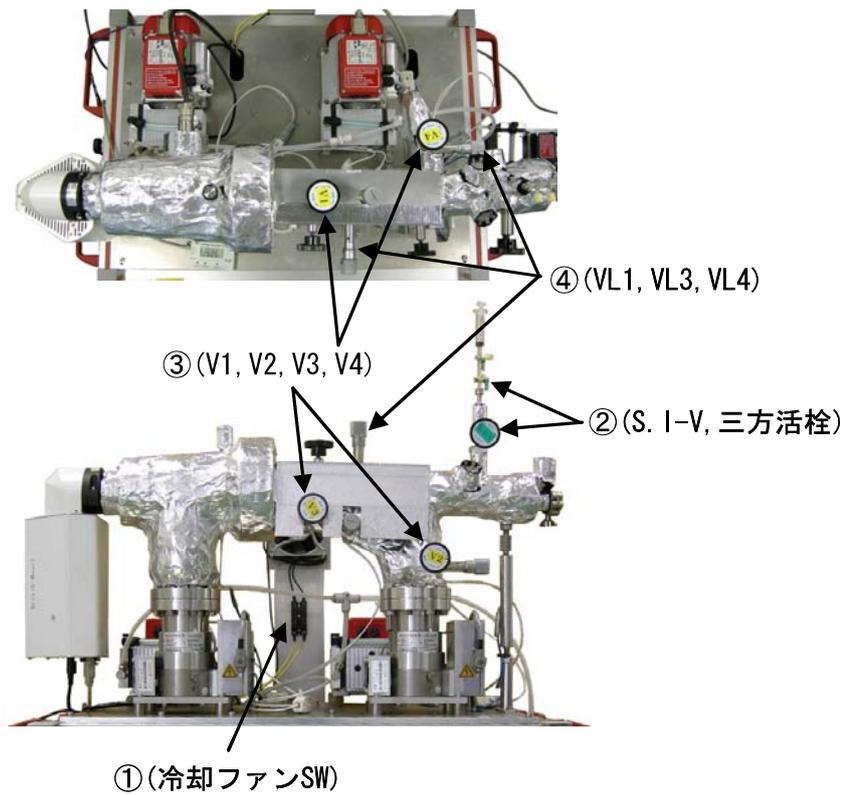
- ①H1 温調計（検出部）の温度設定をする。
- ②H2 温調計（排気部）の温度設定をする。
- ③H3 温調計（導入部）の温度設定をする。
- ④ベーキングヒータ H1-SW を「on」にする。
- ⑤ベーキングヒータ H2-SW を「on」にする。
- ⑥ベーキングヒータ H3-SW を「on」にする。

図 3.4 ベーキングの操作手順



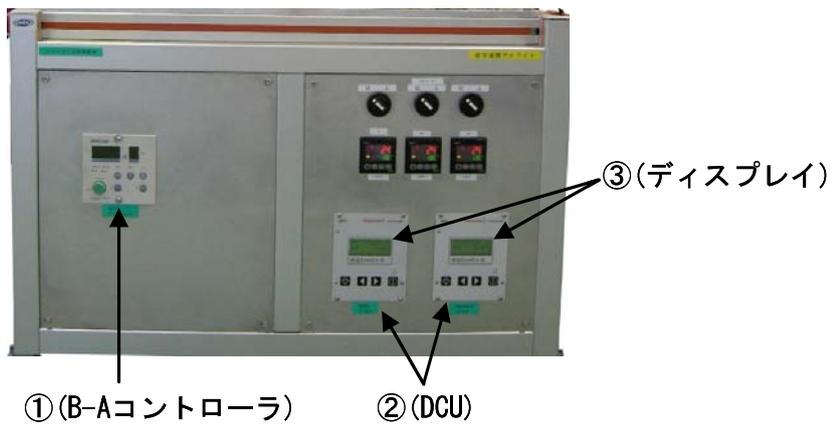
- ①B-A コントローラのディスプレイにて圧力を確認する。
- ②H1 温調計でベーキング停止前温度と停止温度設定を確認する。
- ③H2 温調計でベーキング停止前温度と停止温度設定を確認する。
- ④H5 温調計でベーキング停止前温度と停止温度設定を確認する。
- ⑤H1-SW を「off」にする。冷却後、室温（40℃以下）を確認する。
- ⑥H2-SW を「off」にする。冷却後、室温（40℃以下）を確認する。
- ⑦H3-SW を「off」にする。冷却後、室温（40℃以下）を確認する。
- ⑧室温確認後、B-A のフィラメントを切り、電源を「off」にする。

図 3.5 ベーキングの停止手順



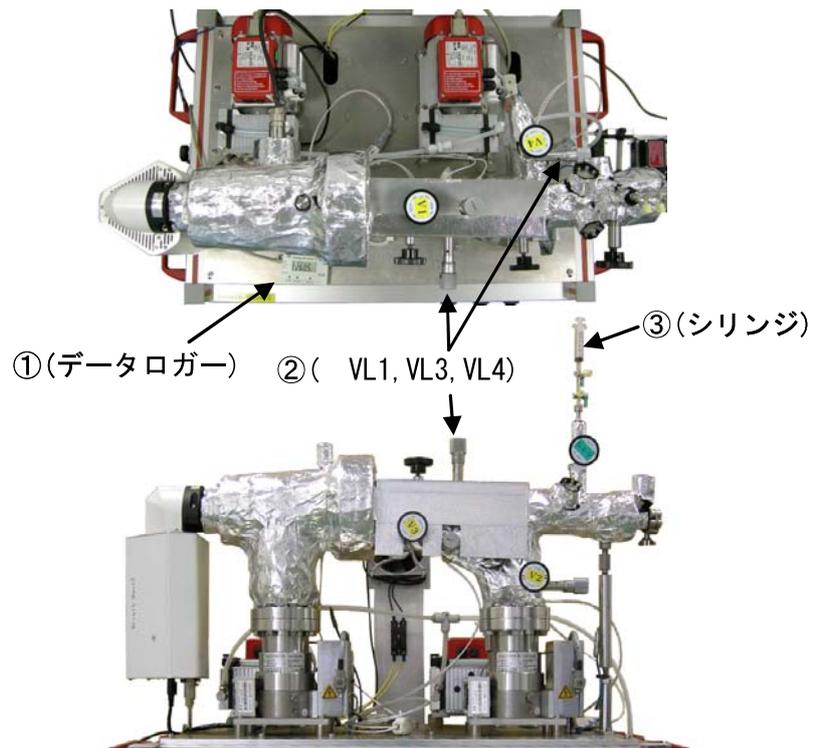
- ①冷却ファンのSW「off」、ファン停止を確認する。
- ②三方活栓, サンプル導入ストップバルブ S. I-Vを「閉」にする。
- ③ストップバルブ V1, V2, V3, V4を「閉」にする。
- ④調整バルブ VL1, VL3, VL4を「閉」にする。

図 3.6 プレスマスの停止手順 (バルブ操作)



- ① B-A コントローラのフィラメントを切り，電源 SW を「off」を確認する。
- ② 各 DCU のポンプ起動 SW を「off」にする（LED 点滅）。
- ③ 各 DCU のディスプレイにて回転数（0Hz）を確認する。

図 3.7 プレスマスの停止手順（パネル操作）



- ①B-A コントローラの出力をデータロガーに記録する。
- ②調整バルブ VL1, VL3 及び VL4 の開度を調整して排気時定数を決定する。
- ③シリンジに充填するサンプルガスは、通常、空気を使用する。

図 3.8 排気時定数の測定手順

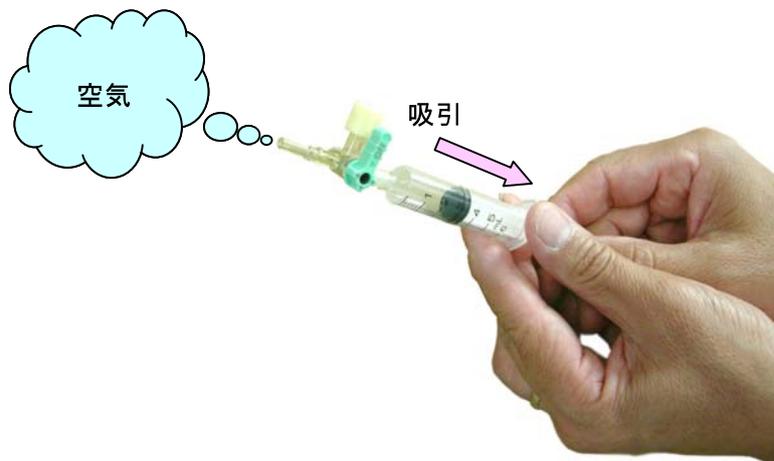
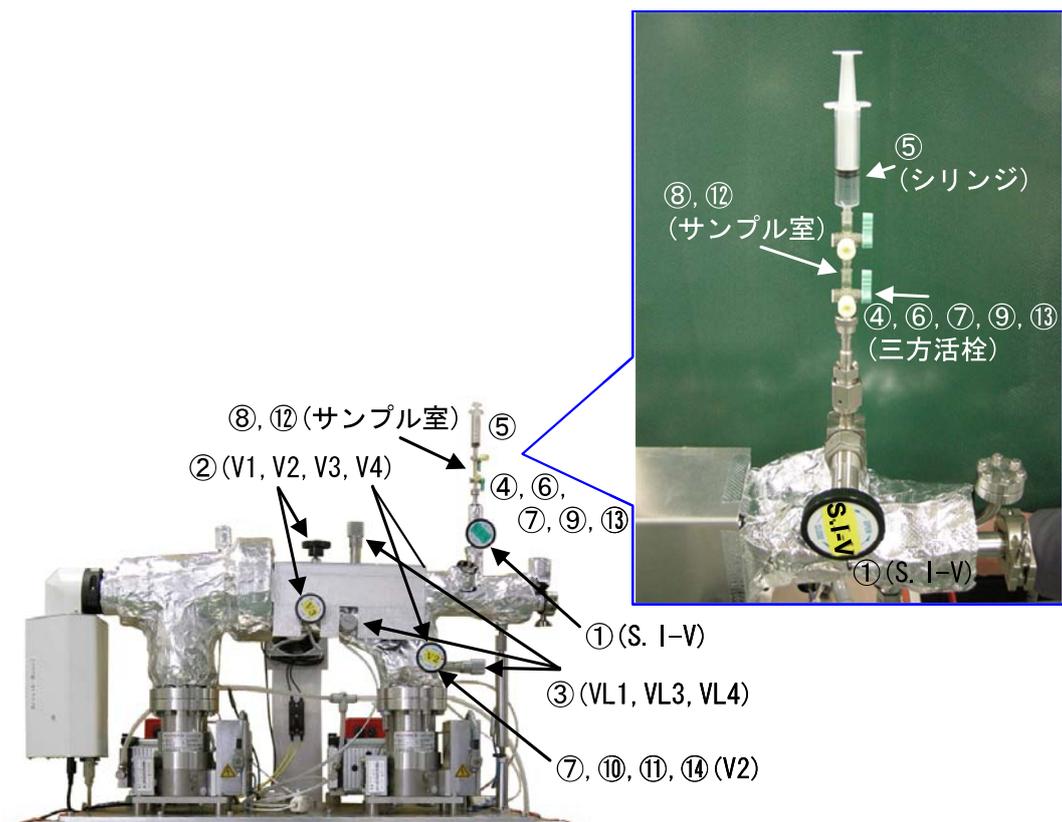
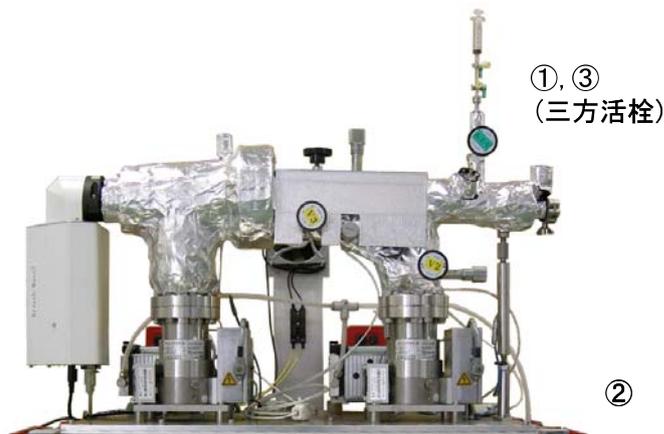


図 3.9 空気吸引の様子



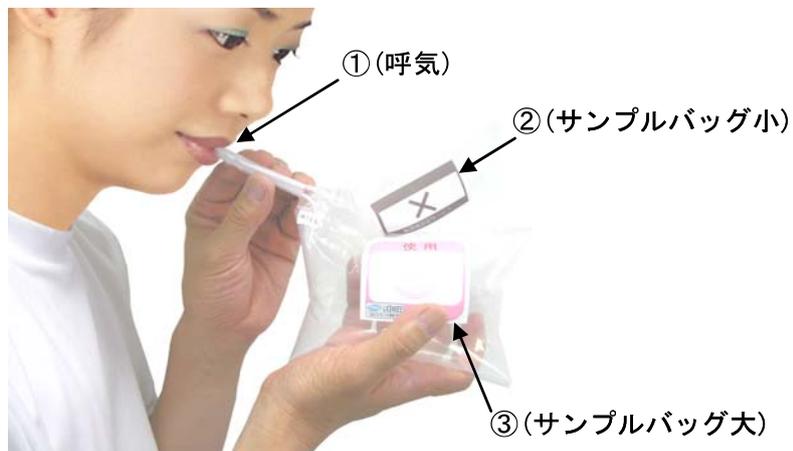
- ①サンプル導入ストップバルブ S. I-V の「開」を確認する。
- ②ストップバルブ V1, V2, V3 及び V4 の「開」を確認する。
- ③調整バルブ VL1, VL3 及び VL4 の開度を確認する。
- ④三方活栓が「閉」を確認する。
- ⑤空気を充填したシリンジをガス導入部に接続する。
- ⑥三方活栓を「開」してサンプル室の大気圧空気を排気する。
- ⑦B-A の圧力を確認し、ストップバルブ V2 を「閉」、三方活栓を「閉」にする。
- ⑧サンプル室にシリンジ内の空気ガスを充填する。
- ⑨三方活栓を「開」してサンプル室のガスを系内に導入する。
- ⑩B-A の圧力を確認し、ストップバルブ V2 を「開」して不要なガスを排気する。
- ⑪B-A の圧力を確認し、ストップバルブ V2 を「閉」、三方活栓を「閉」にする。
- ⑫サンプル室にシリンジ内の空気ガスを充填 (0.2ml) する。
- ⑬測定・分析ソフトウェアを作動させ、空気ガスを測定する (三方活栓を「開」して空気ガスを導入する)。
- ⑭空気の測定が終了後、V2 を「開」してガスを排気する。

図 3.10 空気測定の手順



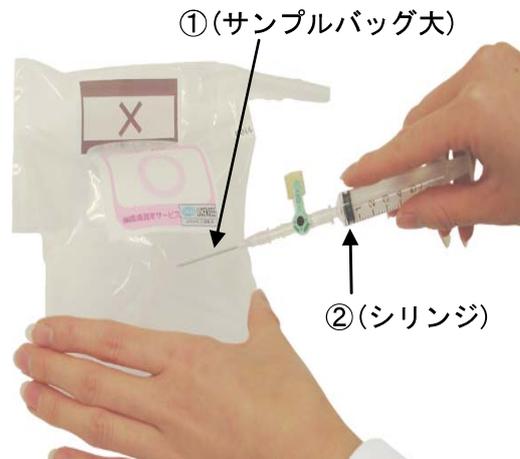
- ①空気の測定後，三方活栓を「開」など，そのままの状態では排気する。
- ②測定・分析ソフトウェアを作動させ，ガスを導入する圧力（到達圧力）まで排気してB.Gの測定をする。
- ③三方活栓を「閉」にしてB.Gの測定を終了する。

図 3.11 B.G 測定の手順



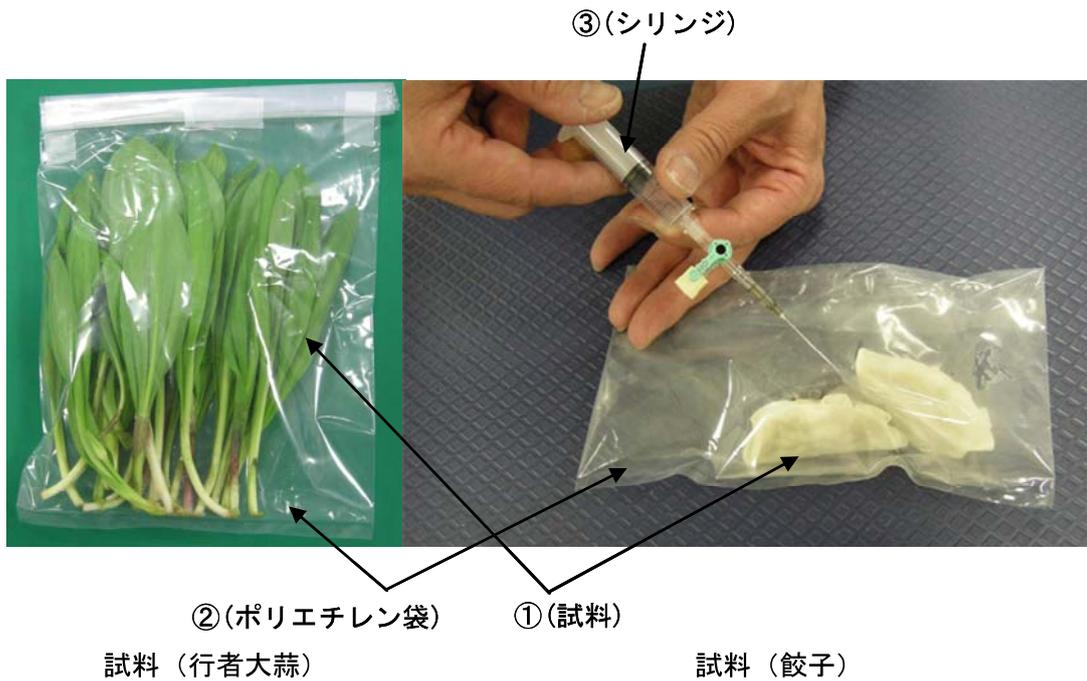
- ①ヒトの呼気をサンプルバッグに自然体で一息に吹き込む。
- ②サンプルバッグの小（死腔）が膨らむ。
- ③サンプルバッグの大（終末呼気）が膨らむ。

図 3.12 ヒトの呼気の採取方法



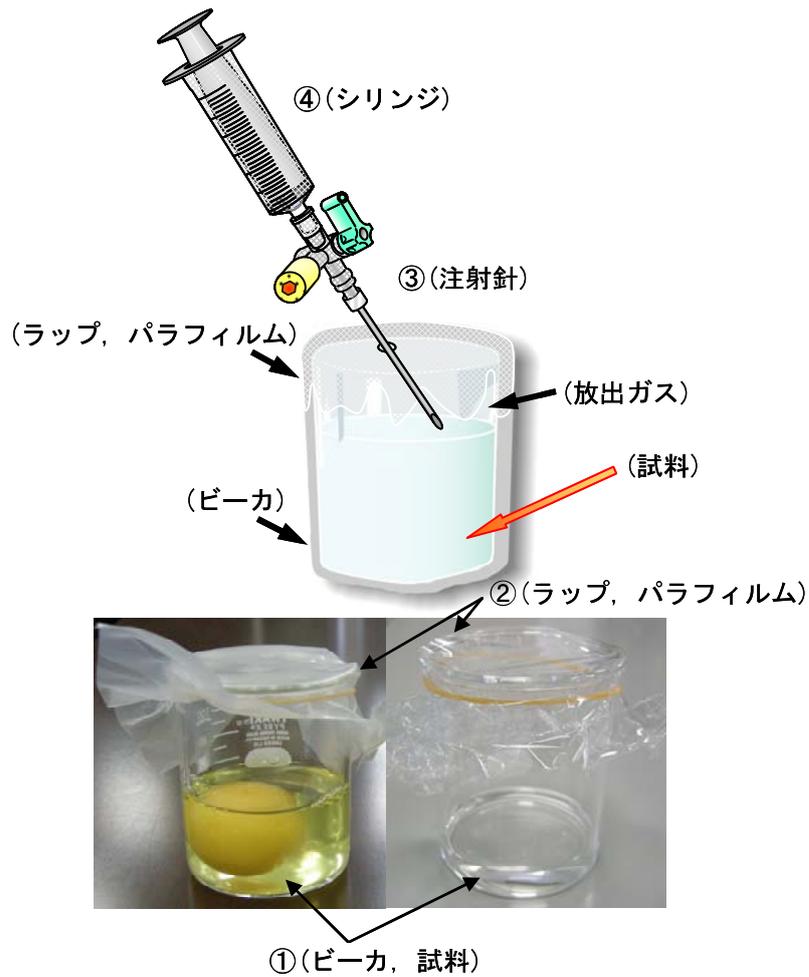
- ①サンプルバッグ（大）に注射針（注射針，三方活栓，シリンジのセット）を刺す。
- ②呼気ガスをシリンジに吸引する。

図 3.13 呼気ガス吸引



- ①試料をポリエチレン袋にその場空気，又は，目的に応じて標準空気と一緒に梱包し，ポリエチレン袋の開口部を閉じる。あるいは，熱線シールをして開口部を閉じる。
- ②ポリエチレン袋に入れた試料のサンプルガス採取は，ポリエチレン袋に注射針を刺して試料近傍より，ガスをシリンジに吸引する。
- ③シリンジにガスを吸引し，注射針を引き抜いた後には香り等のガス漏洩防止のために封止をする。

図 3.14 ポリエチレン袋に入れた試料例



- ①液体試料等はビーカに注ぎ，測定前の単体の重量を測定する（ビーカ重量は差し引く）。
- ②ビーカの開口部をその場空気も含めてパラフィルム，または，ラップにより覆いをする。
- ③ビーカに入れた試料のガス採取は，パラフィルム等に注射針を刺して液面近傍より，ガスをシリンジに吸引する。
- ④シリンジにガスを吸引し，注射針を引き抜いた後には香り等のガス漏洩防止のために封止をする。

図 3.15 ビーカに入れた試料例

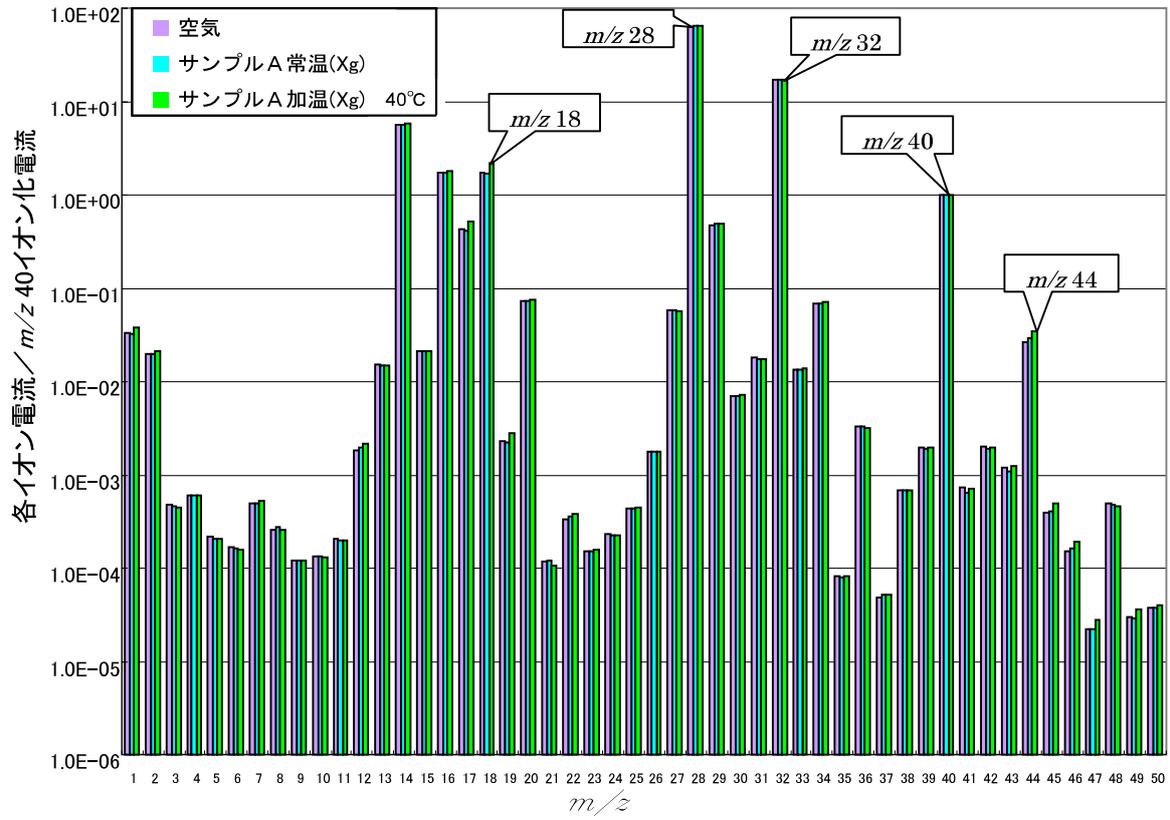


図 3.16 プレスマスによる測定データの整理

## 4. 保守メンテナンス

ブレスマスは、本体が真空漏れを発生させた場合、機器が不具合を発生した場合、吸着ガスな試料を測定した場合は、機器の清掃、部品の交換やガスケットの取り替えなどの保守メンテナンスが必要になる。

ブレスマスの TMP, DP, QMS は、オーバーホールなど特殊作業以外の保守を自主メンテナンスにて実施する。

### 4.1 真空漏れ

ガス測定前のブレスマスの圧力 ( $\sim 10^{-5}$ Pa) や QMS の B.G データのシグナルに異常 (空気成分など) が認められる場合、または、TMP 本体の温度高や TMP 用 DCU の電流値が高い場合は、ブレスマスの真空健全性を確認する。真空健全性は、真空漏れ (真空リーク) 試験を実施して確認する。

真空リーク試験は、QMS の作動範囲でガス測定・分析用ソフトウェア (QUADSTAR-32Bit) のリーク試験機能による確認する。試験は、状態によりベーキング前、ベーキング中及びベーキング後においても実施できる。

試験方法は、対象箇所へヘリウム (He) ガスを拭きかけて真空リークをチェックする (吹きかけ法)。また、常温時、対象箇所をポリエチレン袋やテープで覆い、その中に He を充填 (フード法) して実施する。

対象箇所は、ICF フランジ、VCR 継手、バルブボンネットである。図 4.1 に対象箇所の例 (保温材を外した状態) を示す。真空リークが確認された場合は、ボルトの増し締めやガスケットの交換を実施する。

ブレスマスの組み立て時は、He リークディクターを使用して真空リーク試験を実施する。

#### 4.1.1 ICF フランジ

ガス測定部には数種の ICF フランジ (ICF034~ICF152) を採用している。ICF フランジが熱歪み等により真空リークを発生した場合は、ICF034 フランジ、ICF070 フランジ、ICF114 フランジ、ICF152 フランジの増し締め、または、Cu ガスケットを交換する。

#### 4.1.2 VCR 継手

ガス測定部には 1/4" の VCR 継手を採用している。VCR 継手が熱歪み等により真空リークを発生した場合は、VCR の増し締め、または、VCR ガスケットを交換する。

#### 4.1.3 チューブ継手

排気部の TMP と DP は、図 4.2 に示すようにテフロンチューブとインサート及びフェルール等からなるチューブ継手による接続されている。ポンプの振動により真空リークを発生した場合は、

チューブ継手の増し締め、または、φ10 テフロンチューブ、φ8 インサート及び 10mm フェルレルを交換する。図 4.3 テフロンチューブとインサート及びチューブ継手の外観を示す。また、DP と TMP の接続を切り離れたときにも交換する。

## 4.2 真空ポンプ

TMP や DP の異音や高温状態及び排気性能異常の場合は、点検及び消耗部品の交換を実施する。また、動作不良の場合は、ポンプ本体を予備品と交換する。

### 4.2.1 TMP

TMP の保守メンテナンスは、空冷ファン (Fan) と潤滑油リザーバー (Lubricant reservoir) が対象である。

TMP 用の空冷ファンに風量不良や異音が生じた場合は、取り外しによる清掃を実施する。または、ファンの交換をする。図 4.4 に TMP 用の空冷ファンを示す。

TMP の回転時の異音や回転異常、又は、長時間の連続運転 (10,000 時間) を行った場合は、TMP 底部にある潤滑油リザーバーを交換する。図 4.5 に TMP 下部開口状態を示す。交換方法は、専用工具 (Adjustable pin type face wrench) を用い、カバーを外して O リング (大, 小) と潤滑油リザーバーを入れ替える。

### 4.2.2 DP

補助排気ラインの DP のバラスト弁 (Gasballastventil) を機能させても効果が無い場合、バラスト弁の目詰まりがあるため本弁を分解する。図 4.6 にバラスト弁の外観を示す。分解して内部 O リングの交換やフィルター (Filter) 及びノズルのエアブロー、または、超音波洗浄を実施する。

DP の稼働振動を吸収する防振ゴム (図 4.3 参照) の性能が失われると DP の振動が TMP、ストップバルブ、VV などに伝わり、ブレスマス性能に支障をきたす。振動が生じた場合や DP の固定不具合が生じた場合は、防振ゴムの交換をする。

TMP 上流側圧力の低下、DP の異音及び所定運転時間 (3,000 時間) を経過した場合は、メンブレンや弁プレート等の交換をする。図 4.7 に DP のメンブレン等の分解状態を示す。メンブレン (M/zmbrane) は、両側のカップ (Kopfdeckel) を外し、配置されているメンブレン等を交換する。

メンブレンを交換する際、プレート (Zwischenplatte) の清掃と弁プレート (Ventilplatte)、リング (Dichtungsring) 等を交換する。

## 4.3 導入部

### 4.3.1 リーク

シリンジを接続する三方活栓は、導入部のウルトラトール継手からなり、S-4 及び S-5 のパイトン O リングを介したウルトラトールにより接続されている。図 4.8 にウルトラトール継手の構

造を示す。ガス導入時、三方活栓の操作によるウルトラトールから三方活栓の取り付け部がゆるみ真空リークが発生した場合は、ナットを増し締めする。または、Oリングを交換する。

#### 4.3.2 吸着ガスの測定

キセノンガスなどの吸着ガス測定をした場合は、バイトンOリングにそのガスが吸着、吸収されるのでOリングの交換及びウルトラトール継手（図 4.8 参照）の洗浄、または、交換をする。

#### 4.3.3 油脂類ガスの測定

肉類や油成分を含む液体のガスを測定した場合は、バイトンOリングなどにそのガスが吸着するので空気導入洗浄を行うとともに、Oリングの交換の交換をする。

#### 4.3.4 三方活栓

導入部の三方活栓とシリンジ及び三方活栓は、擦り合わせ接続される。擦り合わせ不具合により真空リークを発生させる場合は、三方活栓などを交換する。また、吸着ガスの測定をした場合にも交換する。

### 4.4 ベーキング

ベーキング温度が 240℃以上になると安全機能が作動（温度ヒューズ）して加熱制御が停止、ベーキング電源を断する。その場合のベーキング回路の点検は、まず、帯状ヒータのプラグを抜き、帯状ベーキングヒータの絶縁抵抗、抵抗値を各々測定する。次に、温度ヒューズプラグを抜き、点検用の復旧プラグを差し込んで回路の確認、温調計の動作を確認する。確認結果により、帯状ベーキングヒータ、熱電対、温調計を交換する。

最後に、温度の急激な変化があったので、圧力を確認し、真空リーク試験を実施する。

### 4.5 四重極形質量分析計

#### 4.5.1 フィラメント

四重極形質量分析計（QMS）の B.G データなどの不良シグナルの場合は、SEM 電圧の確認、または、フィラメントの切り替えを実施する。QMS には 2 本のフィラメントがあり、通常、1 本を使用している。

#### 4.5.2 QMS コントローラ

QMS コントローラの空気取入口のフィルターの目詰まりにより、ガス測定時に QMS コントローラからの異音や温度が上昇した場合、フィルターの交換を実施する。図 4.9 に QMS コントローラの外観を示す。

#### 4.6 B-A 真空計

B・A コントローラの表示が異常ふらつきや変化がない場合は、フィラメントの切り替えを実施する。B・A 真空計には2本のフィラメントがあり、通常、1本を使用している。また、2本のフィラメントが不良の場合は、VVを大気圧にしてミニチュアゲージを交換する。図4.10にミニチュアゲージの外観を示す。

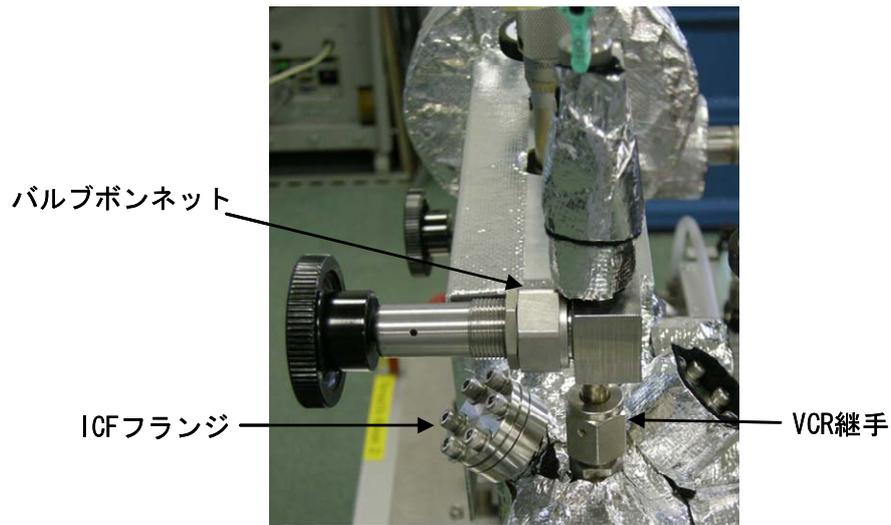


図 4.1 真空リーク試験対象箇所例

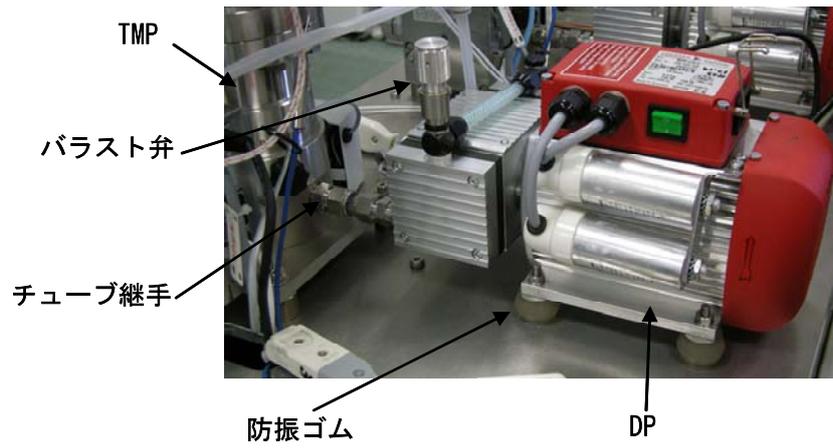


図 4.2 TMP と DP の接続状態

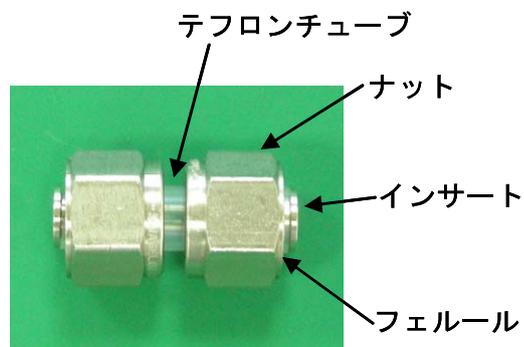


図 4.3 チューブ継手

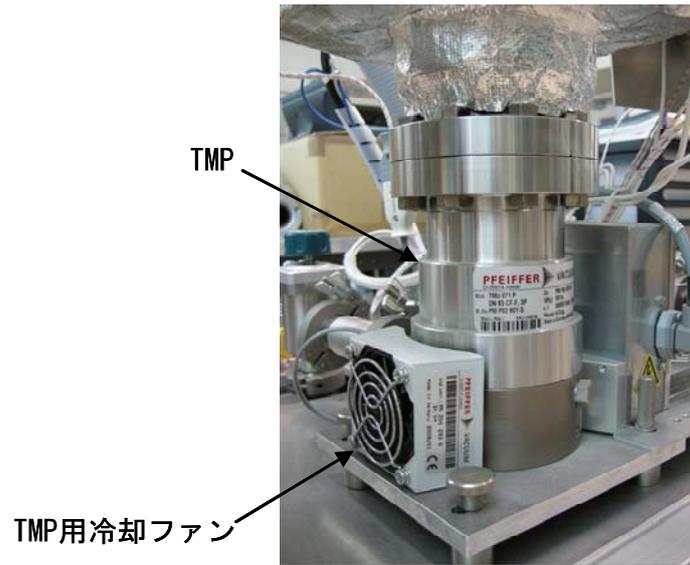


図 4.4 TMP 用冷却ファン

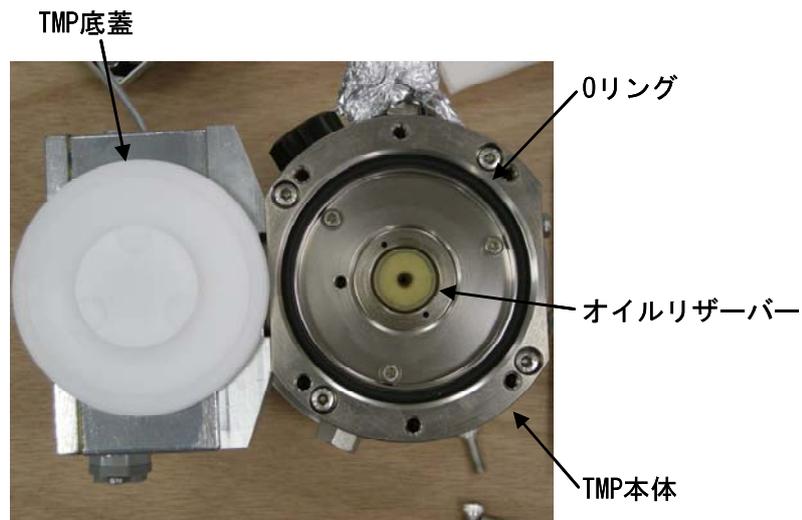


図 4.5 TMP 下部開口状態

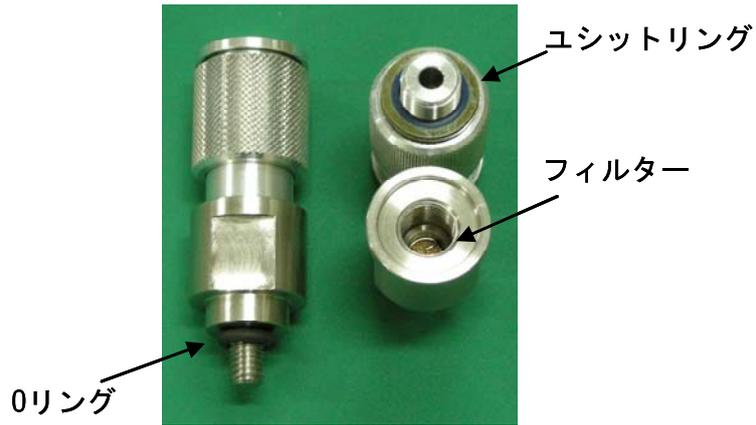


図 4.6 バラスト弁

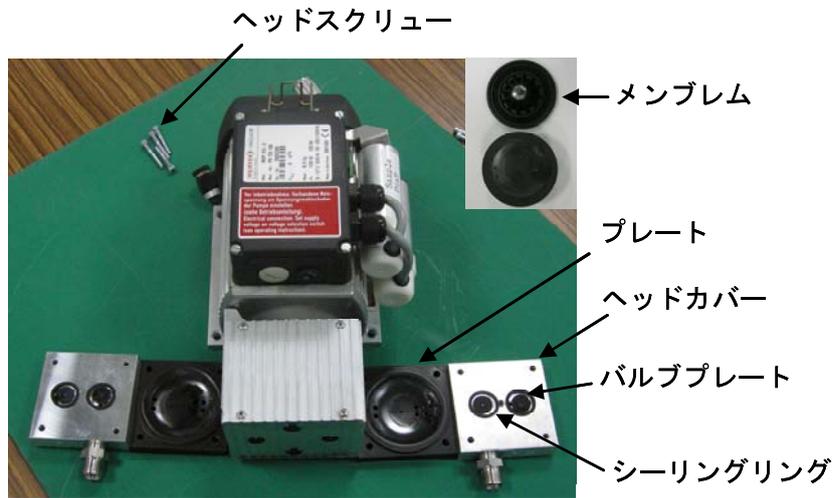


図 4.7 DP のメンブレン等の分解状態

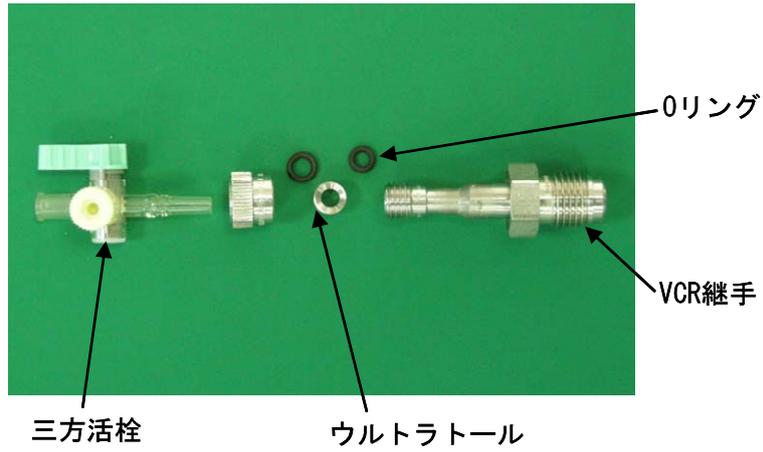


図 4.8 ウルトラツール継手



図 4.9 QMS コントローラ



図 4.10 ミニチュアゲージ

## 5. おわりに

本報告書は、ブレスマスの運転操作をはじめとし、多分野におけるブレスマスの波及効果を考慮したガス測定・分析における試料ガスの採取、ガス導入及びブレスマスの軽微な保守について述べたものである。今後、本報告書が更なる分野への活用において、ブレスマス活用の教育資料として役立つものと期待される。

謝辞

本報告書を纏めるに当たって、ブレスマスの構築、運用や整備を目的に特定寄附を頂きました企業の皆様に深く御礼申し上げます。また、有意義なコメントをいただいた産学連携推進部の関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構, 日本真空技術株式会社, 四重極型質量分析計, 特許第 3002521 号, 平成 2 月 10 月 22 日
- 2) 日本原子力研究開発機構, 東京システム開発株式会社, 四極子質量分析計, 特許第 3427897 号, 平成 6 年 8 月 31 日
- 3) 日本原子力研究開発機構, アネスト岩田株式会社, ダブルラップドライスクロール真空ポンプ, 特許第 3985051 号, 平成 9 年 7 月 28 日
- 4) 日本原子力研究開発機構, 高感度ガス分析装置, 特許第 4052597 号, 平成 16 年 8 月 11 日
- 5) 日本原子力研究開発機構, 株式会社環境測定サービス, 呼気捕集器, 特許第 4620987 号, 平成 16 月 9 月 6 日
- 6) 住原 則也, 清酒のルーツ, 菩提酛 (ぼだいもと) の復元—奈良の「産」「官」「宗」連携プロジェクトの記録—, *Agora : Journal of International Center for Regional Studies*, No.4, 2006, pp.1-27
- 7) 松澤 一幸, 菩提もとのメカニズムと微生物の遷移, *生物工学会誌*, 第 89 卷, 第 8 号, 2011, pp.473-477
- 8) 小橋 恭一, 呼気生化学—測定とその意義—, (株) メディカルレビュー社, 1998, p.127
- 9) 秦野 歳久ほか, 高感度測定をめざしたガス分析装置の開発と質量スペクトルの整形, *J Vac Soc Jpan*, VOL.54 , NO.9, 2011, pp.474-477

# 国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電流量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> cd
放射線種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についての、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で「radioactivity」と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> kg s <sup>-2</sup>
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> cd m <sup>-2</sup>
ファ	ph	1 ph=1 cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal=1 cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≐ (10 <sup>3</sup> /4π) A m <sup>-1</sup>

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 f=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1868 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 <sup>-6</sup> m

