

図 2.1.5 ピエゾバランス粉じん計ブロック図

(3) ローポリウムエアサンプラー (小山)

ローポリウムエアサンプラーはビル衛生管理法などで定められている浮遊粉じん量を重量法により測定するための測定器である。また、デジタル粉じん計の質量濃度変換係数を算出する場合に標準器として用いられる。

ローポリウムエアサンプラーによる浮遊粉じんのサンプリングでは、吸引ポンプで試料空気を分粒装置 (相対沈降径 $10 \mu\text{m}$ 以下) に一定の流量で導入し、分粒装置を通過した空気中の粉じんをろ紙に捕集し、ろ紙に捕集された粉じん量を天秤で秤量することで粉じんの質量が測定される。さらに、粉じん質量を吸引ポンプで吸引した試料空気の総量 (積算流量) で除することで質量濃度が求められる。

ローポリウムエアサンプラーは主に多段形分粒装置、粉じん捕集ろ紙、吸引ポンプ、流量計 (ポンプ内蔵の場合は不要) から成っている。ローポリウムエアサンプラーの構成例を図 2.1.6 に示す。

室内環境中の浮遊粉じんの測定では図 2.1.7 に示す透過率特性をもつ多段形分粒装置付きのろ紙ホルダー (構成例は C-30 型) が使用される。C-30 型は吸引流量を $30\text{L}/\text{min}$ で一定としたとき、粒径 $10 \mu\text{m}$ を超える粒子を 100% カットする特性をもつ分粒装置である。また、ろ紙ホルダーには直径 55mm の捕集用ろ紙が装着できる。

粉じん捕集には $0.3 \mu\text{m}$ のステアリン酸粒子を 99.9% 以上捕集できる性能をもつガラス

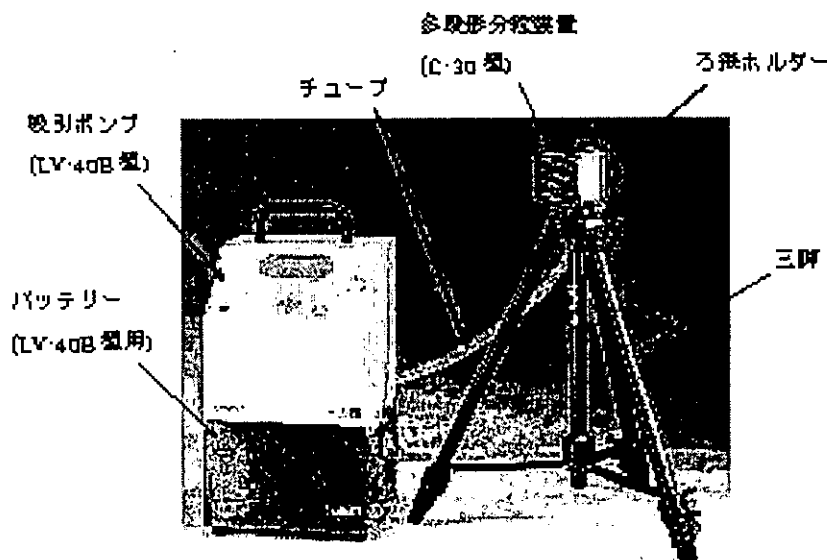


図 2.1.6 ローポリウムサンプラー構成例

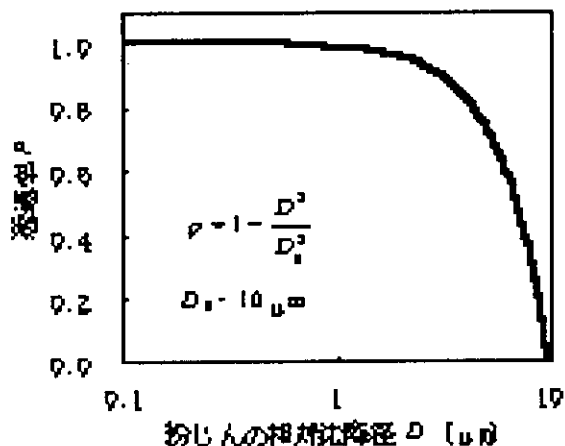


図 2.1.7 多段形分粒装置の透過率特性 (C30 型、吸引流量 $30\text{L}/\text{min}$)

ファイバーろ紙が用いられる。

試料大気を吸引するためのポンプは定流量保持機能をもつ吸引ポンプ（構成例はローポリウムポンプ LV-40B 型、バッテリー駆動時）が使用される。ローポリウムエアサンプラーに使用される吸引ポンプは分粒装置の透過率特性を常に一定に保つため、温度や圧力の変化、特に粉じんのろ紙捕集による通気抵抗の増加などに影響されず、分粒装置に導入される試料空気量を一定に保持する性能が要求される。図 2.1.8 に示すローポリウムポンプ LV-40B 型は流量計としてマスフローセンサーを搭載しており、吸引流量（設定流量範囲：10～40 L/min）を直接測定

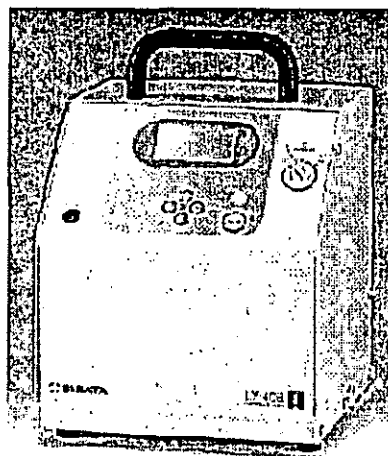


図 2.1.8 ローポリウムポンプ LV40B 型の外観

し、定流量機能により設定した流量を一定に保持して瞬時流量、積算流量を表示することができる。温度・圧力補正機能により周囲の気温・大気圧変化に影響されず、また、高い吸引圧力によりろ紙の通気抵抗増加に対しても常に一定の流量でサンプリングすることができる。さらに、タイマー内蔵でバッテリー駆動（吸引流量 30 L/min、多段形分粒装置 C-30 型使用時の連続動作時間：約 10 時間）が可能で交流・直流両電源で使用できる小型携帯型の吸引ポンプである。

2.2 粒子個数濃度 (小山, 横山)

(1) 光散乱式自動粒子計数器 (レーザーパーティクルカウンタ)

1) 動作原理 (横山)

測定原理は、粒子に光を照射した際に発生する散乱光強度を検出するものである。その散乱光の強さは、粒径に関係する量であり、光の強さをフォトディテクタ等により検出し、その散乱光量を波高に変換し、波高弁別する事により粒径情報を、散乱光の頻度により粒子数の情報を得る。近年、光源としてレーザーが一般的に使用されるようになっており、光の波長や位相が一定しているため、 $0.05\mu\text{m}$ 程度まで測定することが可能となった。検出器にはフォトダイオードまたはフォトマルチプライヤーが一般に使用されている。ブロック図の一例を図 2.2.1 に示す。

以上述べた光散乱式自動計数器は、JISB 9921 の基準に基づき校正などが行われている。また、この JIS においては、最少可測粒径に対する計数効率を求めることを規定している。例えば、最少可測粒径 $0.1\mu\text{m}$ の計数器については、 $0.1\mu\text{m}$ の標準粒子 (ポリスチレンラテックス) を発生させ、凝縮核測定器 (CPC) にて測定したデータに対して、その値の 30%~70% の値をカウントしなければならないとしている。また、最少可測粒径の 1.5~2.0 倍の粒径に対して 100% のカウント効率を有することとしている。

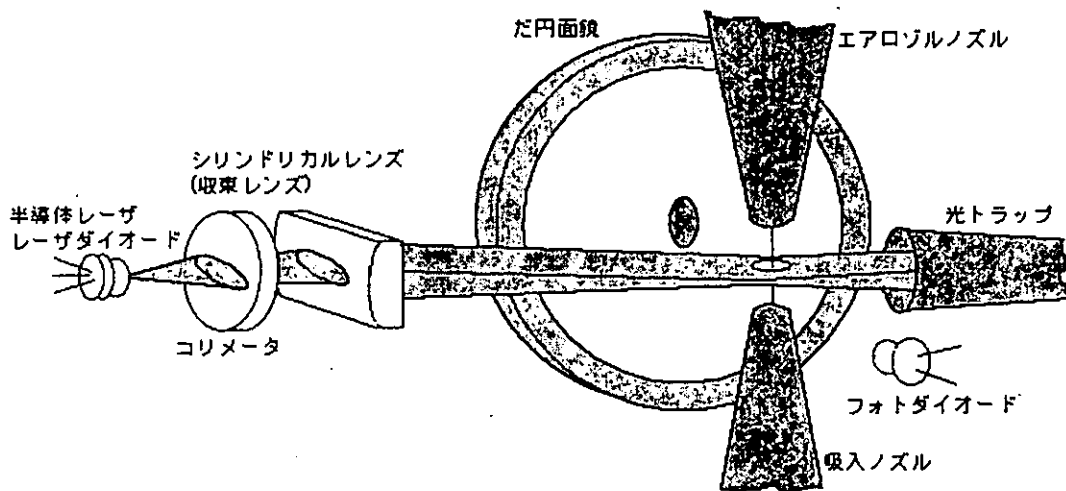


図 2.2.1 パーティクルカウンタのブロック図の例

2) 大気計測用パーティクルカウンタ (小山)

装置は、光源に波長 780nm の半導体レーザーを光学系で、厚さ 0.3mm のシート状に集光、被測定粒子の通過位置に照射する。被測定粒子の通過位置とレーザー光源が交わる点

を楕円鏡の焦点とし、もう一方の焦点に受光素子を設け、被測定粒子からの 90° 方向の散乱光を受ける構造とした。楕円鏡を用いる事で粒子から散乱した光量を多く集め光学的に高感度化を計っている。

被測定粒子が検出器内部を通過する間清浄空気で包み粒子の飛散を防いで散乱領域の安定化を図った事で、連続使用により光学系が汚染され感度が低下が改善された。検出器内部に取りこんだ被測定粒子による散乱光は受光素子により電気信号に変換され増幅器で増幅

した後信号強度別にコンパレータで弁別して粒子径別の個数とする。

粒子径の異なったラテックス粒子を導入し、出力を MCA で測定、グラフ化したレーザー式粒子測定装置の出力特性を図 2.2.2 に示す。

この特性をもとに、粒子の弁別を 0.3、0.5、1.0、2.0、5.0、7.0 μm としてアンプの出力を 6 個のコンパレータに通し

コンパレータの弁別電圧をそれぞれ設定した。最終的に纏め上げたレーザー式粒子測定装置の構成を図 2.2.3 に示す。

パーティクルカウンターに 0.3 μm のラテックス粒子を導入して 5% の計数ロスを引き起こす計数値を計数

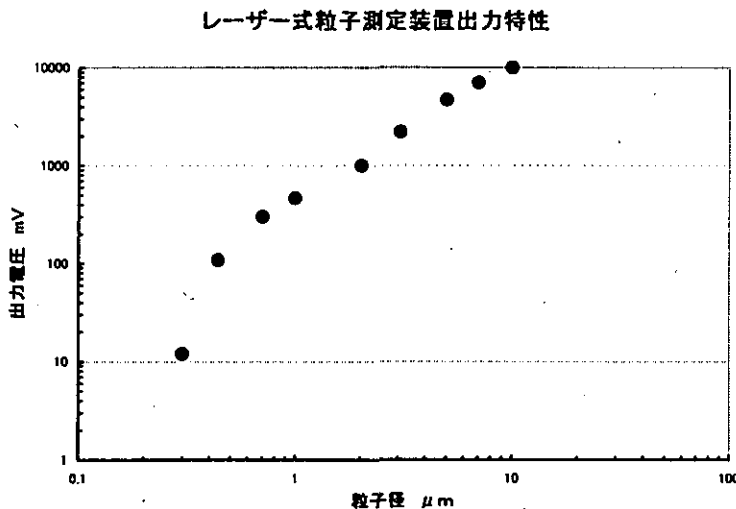


図 2.2.2 パーティクルカウンターの出力特性

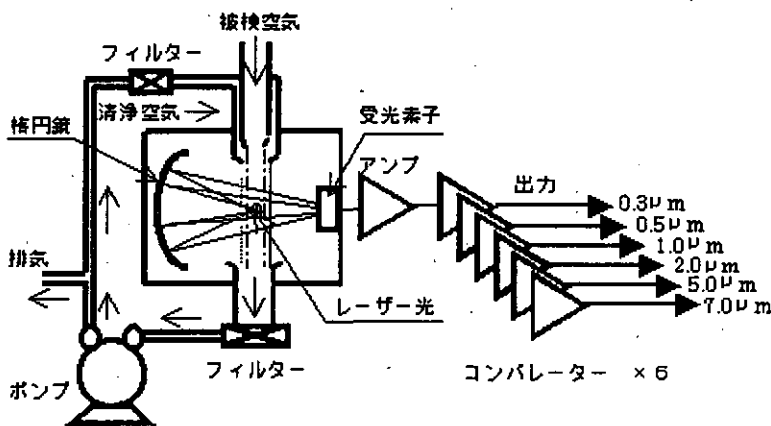


図 2 レーザー式粒子測定器

図 2.2.3 レーザー式粒子測定器

限界値とし、パーティクルカウンター5台について調べた結果 1200 個/cc となった。

質量濃度 1.0mg/m³ で 0.3 μm 以上の粒子個数を、Clark らが提唱した大気中の粒径分布式を用いて推定すると

$$dN/d \log(r) = 0.05 \times \phi \times r^{-3} \quad \text{を} r \text{ について積分して}$$

$$N(r \geq a) = 0.038 \times \phi \times a^{-3} \quad \text{を得る}$$

ここで、 N は半径が a 以上の個数濃度(個/cm³)、 ϕ は空気1cm³あたりの粒子体積(μm^3)、
 a は半径(μm)とし、 $0.3\mu\text{m}$ 以上の個数濃度は

$$N(r \geq 0.3/2) = 0.038 * 1000 * (0.3/2)^{-3} \text{ (個/cm}^3\text{)}$$

$$= 11259.259 \text{ (個/cm}^3\text{)}$$

となり、1/10程度希釈すればよいが安全を見込み希釈率を1/12に設定した。

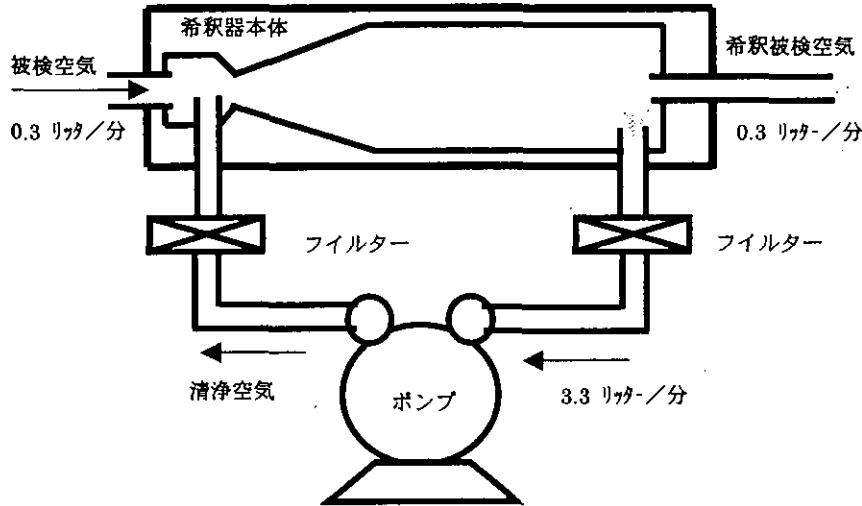


図 2.2.4 希釈器の構成

希釈器の構成は図 2.2.4 に示すように、清浄空気を循環させ、希釈用被検空気を1/12に希釈後被検空気としてパーティクルカウンターに導入した。被検空気と希釈被検空気を0.3リットル/分とし、清浄空気3.3リットル/分で1/12を確保した。

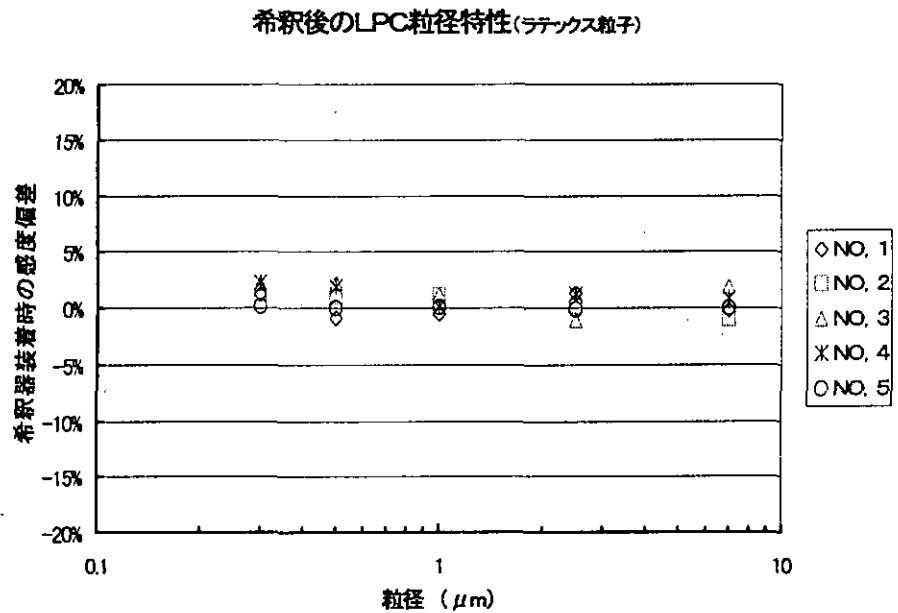


図 2.2.5 希釈後パーティクルカウンターの計数偏差

パーティクルカウンターに希釈器接続ラテックス粒子の計数特性を図 2.2.5 に示す。

(2) SMPS走査型モビリティ粒径分析器 (横山)

1) 動作原理

気相中でのナノ粒子計測に非常に有用な機器として走査型モビリティ粒径分析器 (Scanning Mobility Particle Sizer, 米国TSI社製, 以下SMPSと略す) があり, 各方面で広く用いられている。

SMPSは, 高精度な粒径分析データを得るために電気移動度検出技術を採用している。外観を図2.2.6に示す。

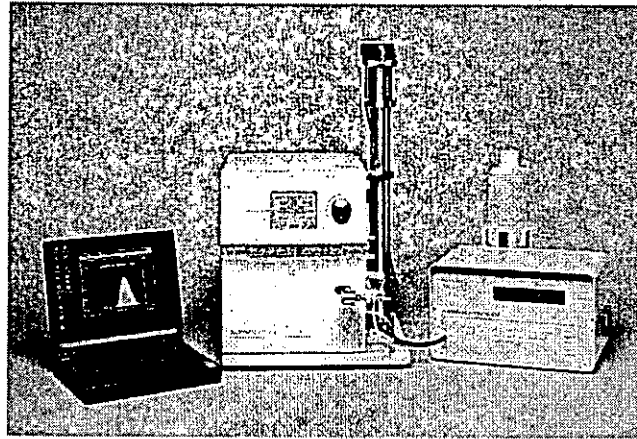


図 2.2.6 SMPS外観

本機器動作時において, 図2.2.7に示すブロック図の通り, サンプルエアロゾルは最初にインパクタを通過する。これは, 多重荷電によるデータ変換誤差の要因となる測定範囲外の

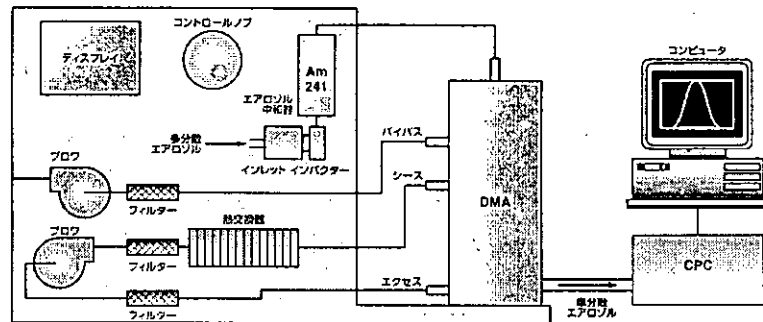


図 2.2.7 SMPSブロック図

大粒子を取り除くためである。次に, エアロゾルは, 放射性同位元素を用いた両極荷電部を持つ静電式分級器に導かれる。

この両極荷電部は, エアロゾルを平衡荷電状態 (プラス荷電, マイナス荷電, 無荷電の粒子で構成され, トータル電位が零の状態) にする。これらの平衡帯電エアロゾルは, 微分型モビリティ分析器 (Differential Mobility Analyzer: 以下DMAと略す) を通過することによって, それぞれの粒子の持つ電気移動度に従って分級される。図2.2.8にブロック図を示す。

DMAのモビリティ分析部は2重円筒により形成されている。多分散粒子 (Polydisperse aerosol) とシーブスエア (Sheath air) がDMA上部から導入され, フィルターを通した清浄なシーブスエアを中心電極に沿って流し, 多分散エアロゾルを外円筒に沿って流すことによって, 分析部への導入部において多分散粒子の流れと中心電極との距離が一定に保たれるようになっている。この分析部において, 荷電した多分散粒子の流れは, DMA内部で形

成される電場により影響を受ける。なおDMAの種類としては、計測対象粒径に応じてロングDMA、ナノDMAがあり、内円筒の中心電極にはマイナスの高圧電源が接続されている（0～-10,000VDC）。この電圧の印加により、分析部内に正確なマイナスの電場が形成される。中心電極がマイナス電圧に印加されることによりマイナス荷電粒子は反発して外円筒の方向に向かい、無帯電（荷電を持たない）粒子はエクセスエア（Excess Air）とともに排気され、プラスの荷電粒子のみが中心電極の方向へ進む。粒子のモビリティの幅が狭い範囲にある粒子のみが内筒下流部に設けられた開口部を通り、DMAの出口より単分散粒子（Monodisperse aerosol）として排出される。この電気移動度は、粒径と反比例の関係があり、DMAより排出される単分散エアロゾルの粒径（厳密には単一の電気移動度エアロゾル）は、シースエア、エクセスエア、多分散エアロゾル、単分散エアロゾルの流量及び中心電極に印加される電圧により決定される。この排出された単分散エアロゾルの粒子濃度は、一般に凝縮粒子カウンタ（Condensation Particle Counter：以下CPCと略す）にて計測する。このCPCについてはいくつかの種類があり、一例を図2.2.9に示す。CPCによって吸引された単分散エアロゾルは、アルコール蒸気を含む加熱したサチュレータを通過し、この際にアルコールの蒸気によって飽和状態になる。その後単分散エアロゾルは冷却されたコンデンサチューブを通過することによって、この部分でアルコール蒸気が過飽和状態となり、微粒子上にアルコールが凝縮する。この凝縮作用

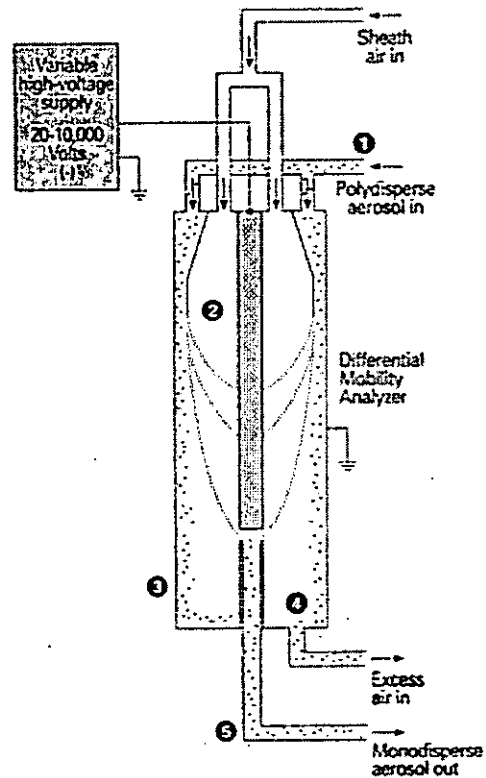


図 2.2.8 DMAブロック図

によって吸引された単分散エアロゾルは、アルコール蒸気を含む加熱したサチュレータを通過し、この際にアルコールの蒸気によって飽和状態になる。その後単分散エアロゾルは冷却されたコンデンサチューブを通過することによって、この部分でアルコール蒸気が過飽和状態となり、微粒子上にアルコールが凝縮する。この凝縮作用

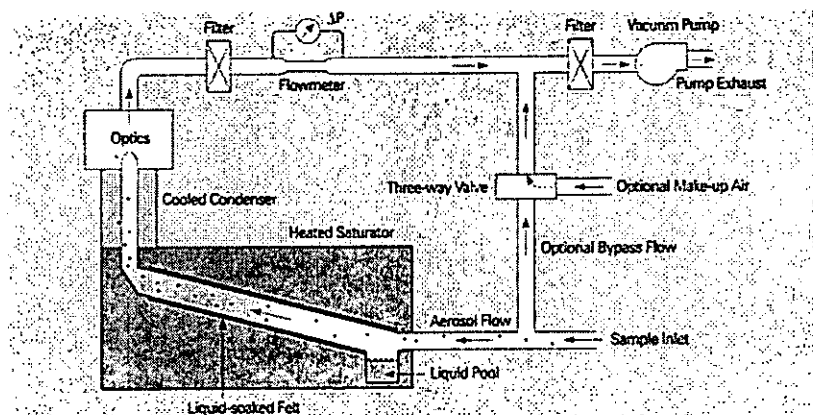


図 2.2.9 CPCブロック図

によって光学的に検出可能な大きさの液滴が生成され、これらの液滴はコンデンサチューブを通過した直後に設置された光学検出器を通過することによって粒子の計数を行う。

以上の操作を中心電極印加する電圧を可変しながら行う事により高精度の粒径分析を行うことができる。全体の測定システムをコントロールする Aerosol Instrument Manager (AIM) ソフトウェアにより、サンプリングや計数プロセスの制御、データ演算、表示、保存を行うことができる。さらに得られたデータに多重荷電とCPCの検出効率を補正して適切な粒径分布に変換を行う。

2) 仕様

表 2.2.1 SMPS仕様

仕様	
計測開始時間	60~600秒(ユーザーにて選択可能)
計測時間	50~300秒
サンプル平均	1つのサンプルで、1~999個のスキップが可能
データ収集速度	0.1秒毎 (CPCの計数データ)
トータル粒径チャンネル	162チャンネル (システムにより異なります)
表示分解能	4, 8, 16, 32, 64の幾何等値チャンネル(桁当たり)
エアロゾル温度範囲	10~35℃
動作エアロゾル圧力範囲	100±20kPa(1.0±0.2atm) *ただし静電式分級器には35kPa(5psi)以上の圧力を考えないで下さい。
電源供給	単相 100/115/230/240 VAC 50/60Hz

SMPSの基本仕様を表 2.2.1 に示す。また、各DMAと各CPCの組み合わせによる仕様を表 2.2.2 に示す。

表 2.2.2 DMAとCPCの組み合わせ

SMPS構成表		3010-S	3022A-S	3025A-S
DMA \ CPC				
308003 (Long)	粒径範囲: 10~1000nm 最速粒径: 20~800nm 濃度: 1~10 ⁸ 個/cm ³ 応答性: 高速 Model 3936L10	粒径範囲: 10~1000nm 最速粒径: 20~800nm 濃度: 2~10 ⁸ 個/cm ³ 応答性: 低速 Model 3936L22	粒径範囲: 10~1000nm 最速粒径: 20~800nm 濃度: 20~10 ⁸ 個/cm ³ 応答性: 高速 Model 3936L25	
308003 (Nano)	粒径範囲: 10~150nm 最速粒径: 10~150nm 濃度: 1~10 ⁸ 個/cm ³ 応答性: 高速 カスタム	粒径範囲: 7~150nm 最速粒径: 7~150nm 濃度: 2~10 ⁸ 個/cm ³ 応答性: 低速 カスタム	粒径範囲: 3~150nm 最速粒径: 3~150nm 濃度: 20~10 ⁸ 個/cm ³ 応答性: 高速 Model 3936N25	

*上記DMAには、Am-241 (アメリカシウムエアロゾル中核器)が別途必要です。

特長として下記の事が挙げられる。粒径範囲と濃度範囲はDMAとCPCの組み合わせにより範囲が異なる。

処理速度 最短 60 秒で走査完了
 分解能 粒径 1 桁あたり 64 チャンネル

粒径範囲 3～1000 nm

濃度範囲 1～10⁸個/cm³

SMP Sの個々の構成品は、それぞれ独立した機器として様々な用途に対応できる。DMAは単分散粒子発生器として、CPCは粒子濃度測定器として使用でき、より広い用途に対応が可能である。

また、フィールドで簡便的に使用するための一体型のSMP Sもある。

3) 用途及び用途

主な用途は下記の通りである。

- ・基礎的なエアロゾルの研究
- ・エンジン排気の研究
- ・ナノ粒子の研究
- ・大気エアロゾルの研究
- ・核凝縮過程の研究
- ・物質合成の研究
- ・毒性吸入の研究
- ・環境汚染の研究
- ・スモッグチャンバーの評価
- ・ガス-粒子変換の研究

参考文献

1) SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2001-01-0201

Single-Stage Dilution Tunnel Performance Qiang Wei, David B. Kittelson and Winthrop F. Watts Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota

2.3 粒子捕集方法 (本間, 明星)

(1) カスケードインパクト (明星)

空中を飛行する粉じん粒子は気流の方向や速度が急変すると、すぐには変化に追従できず、それまでの運動を持続しようとする。これを慣性効果といい、粒径の測定や捕集によく利用される。慣性効果を利用したエアロゾル粒子捕集用の装置としてよく知られたものにインパクトがある。インパクトは円形またはスリット形のノズルと対向する衝突板を配置した構造であり、ノズルから噴出した気流は板で曲げられるが、慣性力の働く粒子は曲りきれずに板上に衝突捕集される。インパクトの捕集効率にはノズルの形状、流速および粒径と密度により決められる無次元パラメータであるストークス数 Stk 、レイノルズ数などに依存する¹⁾。

$$Stk = C_m \rho_p d_s^2 v / 9\mu W \quad (1)$$

ここで W はノズルの直径 (またはスリット幅)、 v は流速、 ρ_p は粒子の密度である。他にもノズルと衝突板との距離、ノズルの長さなどの構造的な影響があるが、ストークス数の影響が最も大きく、特定のストークス数 (円孔では約0.22) から捕集効率は急速に増加する。このことはインパクトの運転条件が同じであればある粒径以上の粒子のみを衝突板に捕集することを意味している。その粒径分解能の良さから、ノズル径を小さくし、流速を増加させることにより、捕集粒径を次第に小さくしたインパクトの列からなるカスケードインパクトが粒度分布測定装置によく用いられる。

(1)式の C_m はカニンガム補正係数である。粒子が小さく気体分子の平均自由行程よりも小さいとき、またはガスの圧力が常圧よりかなり低い場合はエアロゾルの媒質 (空気) は連続的な流体ではなく、非連続的な分子の集合体として粒子に作用する。カニンガムの補正係数はこれを補正するために与えられる。この補正は $1\mu\text{m}$ 以下のエアロゾル粒子で、また減圧下では考慮する必要がある。

$$C_m = 1.0 + 2.492(\lambda/d_p) + 0.84(\lambda/d_p)\exp(-0.43/(\lambda/d_p)) \quad (2)$$

$$\lambda = 0.665 \times 10^{-5} (101.3/P)(T/293.15)(1+110/293.15)/(1+110/T) \quad (3)$$

ここで λ は空気の平均自由行程で単位は(cm)であり、エアロゾルの圧力 P (kPa)、エアロゾルの温度 T (K)である。このカニンガム補正係数は減圧下の場合に1以上となる。このため、(1)式から減圧下では粒径が大きくなるのと同じ効果があり、微小粒子を捕集し易くなる。

(2) アンダーセンサンプラ (明星)

カスケードインパクトで広く使用されているものがアンダーセンサンプラ²⁾で、6段の微生物用サンプラと8段の非微生物用サンプラがある。アンダーセン非微生物用サンプラは

作業環境や室内環境のエアロゾル測定で用いられる他に吸入薬剤の粒度分布測定の公定法としても用いられている³⁾。吸引流量は通常28.3 l/minとローボリウムサンプラに該当する。分級は8段で行い、50%カット径は11, 7.0, 4.7, 3.3, 2.1, 1.1, 0.65, 0.43 μm である。このアンダーセンサンプラは環境中の粒子の粒径分布を求めるために広く使用されている。

(3) 微小粒子用カスケードインパクト (明星)

改良型 Berner インパクトは減圧型のカスケードインパクトで吸引流量は 30 l/min、9 段で分級を行い、50%カット径は 16.7, 8.6, 4.2, 2.1, 0.96, 0.43, 0.21, 0.13, 0.082 μm である⁴⁾。圧力低下を避け、微小なノズルにより分級・捕集する MOUDI(Micro-orifice uniform-deposit impactor)は市販され、米国ではかなり広く使用されている。吸引流量は 30 l/min、11 段で分級を行い、50%カット径は 18, 10, 5.6, 3.2, 1.8, 1.0, 0.56, 0.32, 0.18, 0.10, 0.056 μm である^{5,6)}。さらに小さな粒子を捕集するタイプもあるが、これは減圧型インパクトとなる。

(4) シウタスインパクト (明星)

小型のカスケードインパクトでは Marple personal sampler が知られている⁷⁾。これは作業者の胸に取り付けて作業環境中のエアロゾルを粒径別に捕集するコンパクトな装置である。吸引流量は通常 2 l/min で、6 段で 20, 14, 10, 6, 3.5, 2, 1, 0.6 μm の粒径 (50%カット径) の粒子を分級・捕集する。作業環境中のエアロゾルが対象であるため、粒径が少し大きい、価格が高いなどの問題もある。

これに対して、最近同じくコンパクトでありながら、低価格で吸引流量も 9 l/min と大き

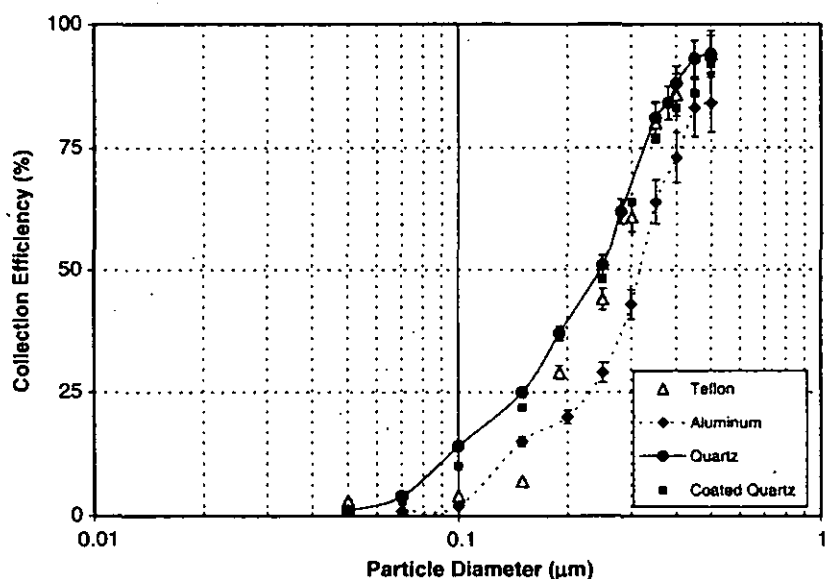


Fig. 5. Collection efficiency of the 0.25 μm stage as a function of particle diameter.

図 2.2.10 シウタスインパクトの最終段(カット径 0.25 μm)の粒径別捕集効率と衝突板の種類 (文献9)

く取れるシウタスインパクトが開発された⁸⁾。大気汚染を考慮して、4段で2.5, 1.0, 0.5, 0.25 μm の粒径 (50%カット径) の粒子を分級・捕集する。ノズルはスリットで通気抵抗も大きくない。インパクトの捕集板として、石英フィルタ、石英フィルタでオイルを塗布したもの、PTFE フィルタ (テフロンフィルタ)、アルミフォイルを用いて捕集能力を比較している。アルミフォイルを用いた場合には若干、捕集した粒子の再飛散が認められたが、他の捕集板では設計のカット径が確認された。(図 2.2.10)

図のような性能曲線は、サブミクロンの粒径では、多分散硫酸アンモニウムの粒子をインパクトに通し、SMPS によって前後の濃度を計測し、1 ミクロン以上では、単分散のポリスチレンラテックス粒子を用いて前後を光散乱粉じん計で捕集して求めている。

図 2.2.11 に室内でシウタスインパクトと $1 \mu\text{m}$ 以下の粒子を全量捕集する DPM サンプラを用いて測定したエアロゾル粒子の濃度を示す。喫煙者が 1 名の部屋について昼間二日間に渡ってサンプリングを行った。シウタスインパクトは粒径別に測定可能であるが、室内では微小な粒子が多いことがわかる。またシウタスの積算値と DPM の結果は DPM の結果の方が少ないが、ほぼ一致している。

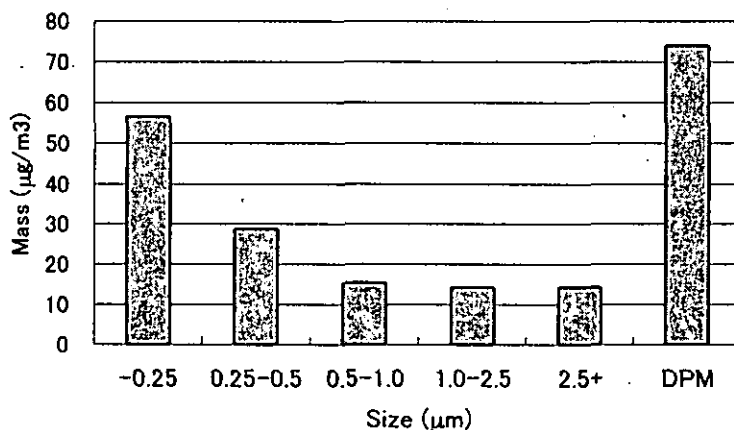


図 2.2.11 シウタスインパクトによる室内エアロゾル粒子濃度と DPM サンプラの結果の例

文献

- 1) Marple, V.A. Liu, B.Y.H. (1974) "Characteristics of laminar jet impacotrs", Environ. Sci. Tech. 8:648-654
- 2) Andersen, A. (1958) "A sampler for respiratory health assessment". Am.Ind. Hyg. Assoc. J. 27:160-165

- 3) Mitchell, J.P., Nagel, M.W., (2003) "Cascade impactors for the size characterization of aerosols from medical inhalers: Their uses and limitations", J. Aerosol Med. 16:341-377
- 4) Wang, H.C. John, W. (1988) "Characteristics of the Berner impactor for sampling inorganic ions". Aerosol Sci. and Tech. 8:157-172
- 5) Kuhlmeiy, G.A., Liu, B.Y.H., Marple, V.A. (1981) "Microorifice impactor for submicron aerosol size classification", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 42:790-795.
- 6) Marple, V.A., Rubow, K.L., Behm, S.M. (1991) "A microorifice uniform deposit impactor (MOUDI): Description, calibration and use", Aerosol Sci. Tech., 14:434-446
- 7) Rubow, K.L., Marple, V.A., Olin, J. McCawley, M.A., (1987) "A personal cascade impactor: Design, evaluation and calibration", Am.Ind.Hyg.Assoc. J. 48:532-538
- 8) Misra, C. Singh, M. Shen, S, Sioutas, C., Hall, P.M., (2002) "Development and evaluation of a personal cascade impactor sampler (PCIS), J. Aerosol Sci. 33: 1027-1047.

(5) ロープレッシャーインパクト
(本間)

ロープレッシャーインパクトは環境大気中に浮遊している粒子状物質の測定において最も古くから使われ、粒子の分粒に広く使用されている多段多孔式カスケード・インパクトの原理機構を用いた粒径別粒子捕集装置である。

ロープレッシャーインパクトは円筒形の多段積層の構造になっており、各段ごとに多孔ノズルと捕集板とから構成されている。

このノズル径は上段から下段になるほど小さくなっており、ノズルを通過するエアロゾルの流速は下段になるほど流速は増大する。

空気力学的粒径によるエアロゾルの慣性力に差を与えることにより分級する慣性衝突分離方式によってエアロゾル粒子を捕集し、各段の捕集量を秤量することで粒径区分別の濃度を測定する。

ロープレッシャーインパクトは、低圧条件下でインパクションすることにより、これまで下限とされていた捕集径 $0.43\mu\text{m}$ より小さい粒子の分級捕集が可能である。

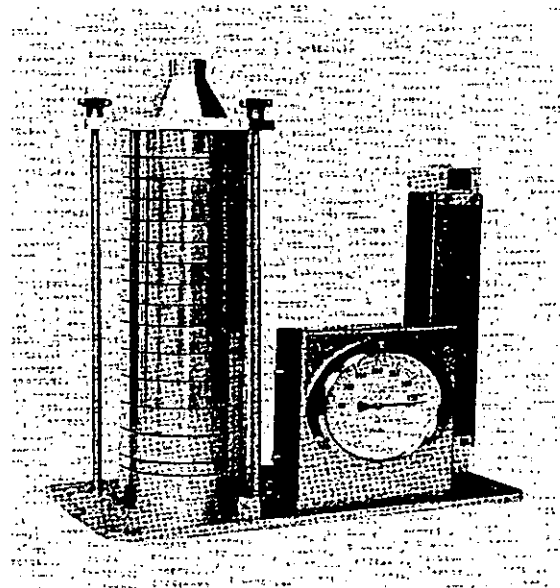


図 2.2.12 ロープレッシャーインパクト

表 2.2.3 ロープレッシャーインパクターの
各段の 50%カット径

20 L/minの時の50%カットオフ値	
0	12.1 μm 以上
1	8.5
2	5.7
3	3.9
4	2.5
5	1.25
6	0.76
7	0.52
L_1	0.33
L_2	0.22
L_3	0.13
L_4	0.06
BF	0.06 μm 以下

ロープレッシャーインパクターは大気計測などでは非常によく用いられているが、室内計測などで用いる場合は何点かの注意点がある。

まず、室内計測などでは得られる濃度が低いことが予想され、例えば室内環境が $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と仮定した場合、15 時間のサンプリングを行った場合、ピークの捕集量が全捕集量の 40% でインパクターではウォールロスや壁面吸着があるため 20% のロスがあるとすると $0.1 \mu\text{g}$ 程度となる。

したがって、秤量に十分な 1mg を捕集させる場合に要する時間は 150 時間程度になり、1 データをとるのに 6 日間の日数を必要とする。

また数時間要して得られるデータは粒径分布の結果だけであり、経時的濃度変化の情報は持たない。

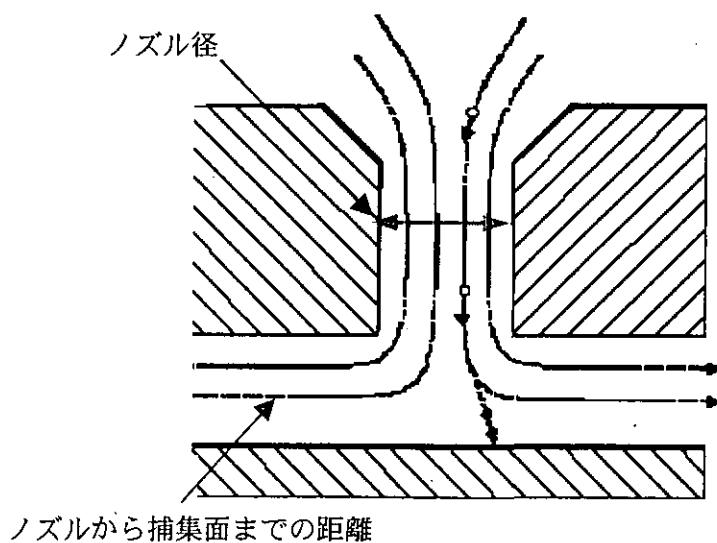


図 2.2.13 カスケード・インパクター

なお、捕集したサンプルは目視で確認でき、成分分析に用いることができる。

また、ロープレッシャーインパクトでは最下段を-73.3Kpaにする必要があるため、使用するポンプは通常ローボリュームサンプラーで用いられるポンプより到達真空度の高い油回転真空ポンプやカーボンブラシポンプを使用することとなる。この場合、オイルミスやカーボン粒子がポンプ排気から出てくるため特に室内計測に用いる場合には注意しなくてはならない。

2.4 粒子組成分析方法（竹田）

(1) ICP-MS 法

粒子組成の中で無機成分、特に金属成分を高感度に分析する方法のひとつとして、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS 法）がある。ローボリュームサンプラーなどを用いてフィルター上に捕集された微粒子は、高純度の酸で溶出し、希硝酸溶液として測定を行なう。捕集に用いるフィルターは一般にはフッ素樹脂製のもので、事前に洗浄を行ないブランク値を低減したものを使用する。

ICP-MS 法は大気圧プラズマをイオン源として用い、プラズマ中で生成したイオンをインターフェースを介して高真空下の質量分析計に引き込み、検出する方法である。質量分析計には四重極型が多く用いられているが、より高感度、高分解能の特徴を持つ二重収束型も用いられている。図 2.4.1 に四重極型の ICP-MS 構成図を示す。

ICP-MS 法は原子吸光法やプラズマ発光分光法と比べて感度が非常に高く、また多元素迅速分析が可能であり、定性分析が容易で、また同位体分析ができるなど優れた特徴を持っており、超微量分析の分野で威力を発揮する。

特に微小粒子について組成分析を行なう場合、捕集される量が極微量のため高感度、迅速分析が可能であることは非常に有利な特徴であり、その検出感度は分子イオンの妨害のある元素やイオン化電圧の高い元素を除く多くの元素について pg オーダーである。表 2.4.1 に測定可能元素の例を示す。

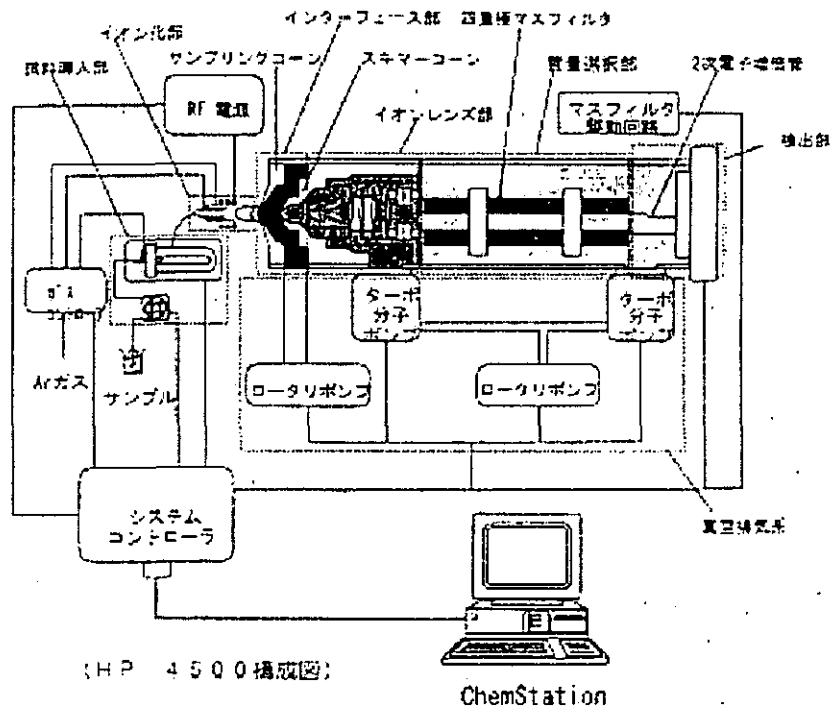


図 2.4.1 ICP-MS の構成例

表 2.4.1 測定可能元素の例

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0		
H															He		
Li	Be									B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	A															
		L	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		A	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

(2) パーティクルアナライザ

パーティクルアナライザはサイクロンパーティクルサンプラーやローボリウムサンプラーを用いてフィルター上に捕集された微粒子を1個ずつアスピレータにより吸い上げ、順次 He マイクロ波誘導プラズマ (He-MIP) に導入し、プラズマ中で蒸発、原子化の過程を経て励起され、この励起に伴う発光スペクトルを利用して元素の定性を行うものである。その構成図を図 2.4.2 に示す。

パーティクルアナライザはプラズマ発光検出のため、ICP-MS 法で測定困難な炭素 (C)、ケイ素 (Si)、窒素 (N)、硫黄 (S)、塩素 (Cl) なども測定可能であり、1回に測定出来る4チャンネルを適切に組み合わせることにより、粒子組成情報を得ることもできる。

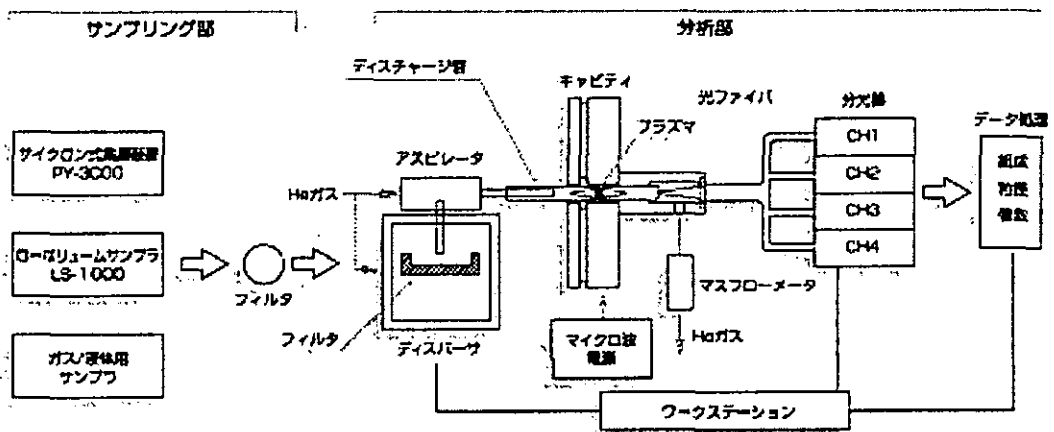


図 2.4.2 パーティクルアナライザの構成図

(3) 多環芳香族炭化水素類

フィルター上に捕集された粒子中の多環芳香族炭化水素類はソックスレーや超音波などの抽出法で有機溶媒中に抽出し、高速液体クロマトグラフ法 (HPLC) やガスクロマトグラフ-質量分析法 (GC/MS) により測定される。図 2.4.3, 図 2.4.4 にそれぞれの構成例を示す。

HPLC 法の検出器としては蛍光検出器 (FL ; Fluorescent) や紫外・可視光検出器 (UV/VIS) が用いられる。蛍光検出器は特徴的な蛍光波長を使用して選択的に測定できるものの、アセナフチレン (Acenaphthylene) など蛍光特性がない物質は測定できない。また UV/VIS 検出器も紫外部に吸収を持つものには適用出来ないため、対象成分や目的の感度により併用や適切な検出器の選択が必要となる。

一方、GC/MS 法は質量分析計を用いるため、選択的測定が可能で、選択的イオンモニタリング (SIM) により HPLC 法より高感度な測定が可能である。イオン化法は一般に電子衝撃イオン化法 (EI) が用いられ、得られるマススペクトル情報には化合物固有の質量や構造由来のフラグメントイオンなどが含まれる。

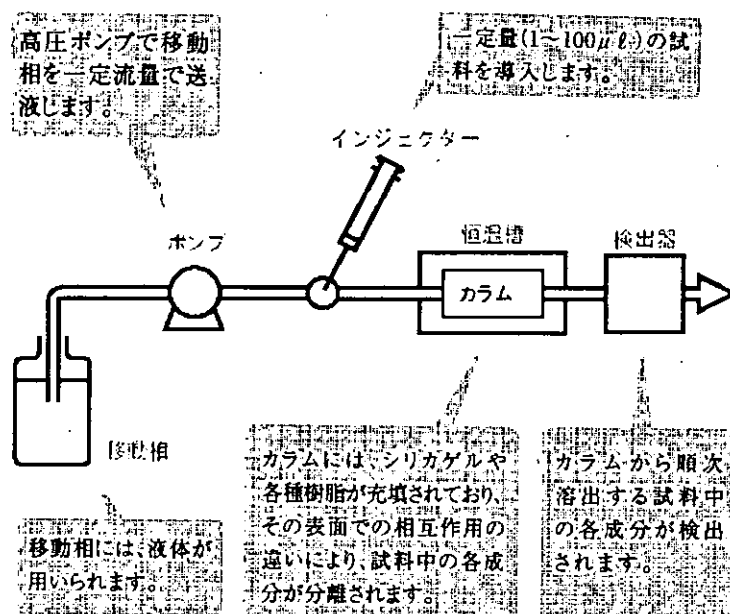


図 2.4.3 HPLCの構成例

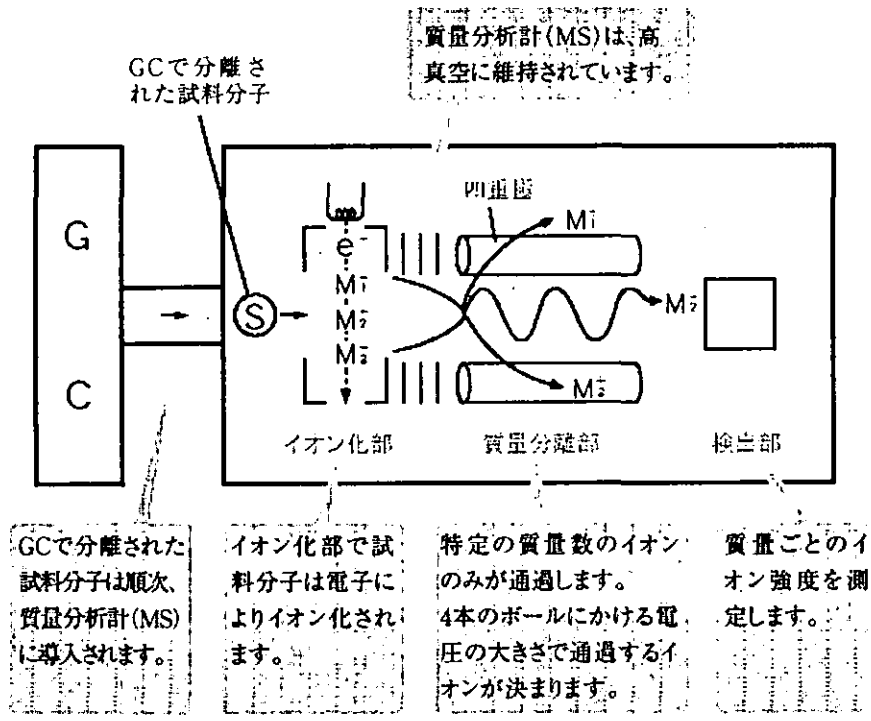


図 2.4.4 GC/MSの構成図例