

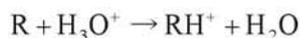
## 陽子移動型質量分析計 (PTR-MS) および走査型粒子径測定装置 (SMPS)

理工学部物質生命理工学科 山崎 章弘

2009 (平成 20) 年度から 5 年間の期間で文部科学省から補助を受けている、「私立大学戦略的研究基盤形成事業」および成蹊学園の資金援助を受けて、陽子移動型質量分析計および走査型粒子径測定装置を導入した。これらは、室内空気における有害物質、特に VOC (揮発性有機化合物 volatile organic compounds) の挙動を解明するための強力な武器となる装置である。以下、それぞれについてその測定原理及び利用方法を簡単に説明する。

### 1. 陽子移動型質量分析計 (PTR-MS, Proton Transfer Reaction Mass Spectrometer)

PTR-MSは、オーストリアのIONICON ANALYTIKによって開発された装置で、従来の捕集剤及び機器分析では検出が困難な含酸素物質も含む広範なVOCを高感度で分析できる装置である。PTR-MSでは、水よりもプロトン親和性の高い物質 (R) がドリフトチューブ内で水由来のヒドロニウムイオン $H_3O^+$ と反応し (陽子移動反応),  $RH^+$ に変換された後、質量分析計で検出される。



$H_3O^+$ イオンの濃度 $[H_3O^+]$ は $[R]$ に比べて大過剰であるため、陽子移動反応は擬一次反応とみなすことができる。したがって $RH^+$ イオンの濃度 $[RH^+]$ は以下の式 (1) で表すことができる。ただし、 $k$ は陽子移動反応速度定数  $2.0 \times 10^{-9} [cm^3 s^{-1}]$ ,  $t$ は $H_3O^+$ イオンとの反応時間 [s]である。

$$[RH^+] = [R]_0 (1 - e^{-k[H_3O^+]t}) \approx [H_3O^+]_0 [R]_0 \cdot kt \quad (1)$$

ここで、 $[R]_0$ は測定対象物質の分析計に導入される(陽子移動反応の前)の濃度 (測定濃度),  $[H_3O^+]_0$ は $H_3O^+$ イオンの反応前の濃度である。さらにイオン検出器で測定されたそれぞれのイオンカウント $[H_3O^+]_{count}$ ,  $[RH^+]_{count}$ は各イオン濃度と比例するので、最終的に測定物質の濃度 $[R]$ は、 $H_3O^+$ イオンの透過率を $Tr(H_3O^+)$ , 測定物質 $R$ の透過率を $Tr(RH^+)$ , ドリフトチューブの温度を $T_{drift}$ , ドリフトチューブの圧力を $P_{drift}$  (Pa), アボガドロ数を $N_A$ とすると、式 (2) で示されるppbV単位での体積混合比で表すことができる。

$$[R]_0 = \frac{[RH^+]_{count} \cdot Tr(H_3O^+)}{[H_3O^+]_{count} \cdot Tr(RH^+) \cdot kt} \times \left( \frac{8.314 \times T_{drift}}{N_A \times P_{drift} \times 1 \times 10^{-6}} \right) \times 10^9 \quad (2)$$

したがって、各測定点における試料空気をPTR-MSによって測定し、全てのVOCの除去性能を評価できる。

### 2. 走査型粒子径測定装置

走査式粒子径測定装置 (Scanning Mobility Particle Sizer : SMPS) の特長としては、①1000 nm以下の非常に小さな微粒子に対して高分解能であること、②連続的な測定が可能であることが挙げられる。SMPSは様々な分野の微粒子研究において、広く使用されている機器である。

SMPSは、微粒子を分級するDMA (Differential Mobility Analyzer) と、分級した粒子をカウントするCPC (Condensation Particle Counter) からなる。まず、空気中の粒子がSMPSに吸引され、中和器に通される。中和器内部には放射性ベータ線源である85Krが入っており、ベータ線が粒子を (ほとんどの場合) 1 価に帯電させる。帯電した粒子はDMAに移されて分級される。DMAは電場が存在すると荷電した粒子が電極に向かって引き寄せられることを利用し、内部にかける電場を段階的に変更することで分級を行っている。DMAによって分級された粒子はCPCにてカウントされる。CPCでは導入された粒子を核として表面上に溶媒 (n-ブチルアルコールまたは $H_2O$ ) を凝縮させることによって、粒子を拡大して数をカウントしている。以上の様に、SMPSでは空気動力学の粒子径別の個数濃度、すなわち微粒子の粒径分布を測定することができる。

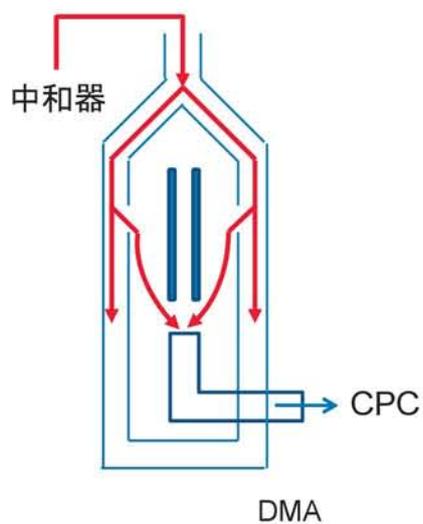


図2 走査型粒子径測定装置SMPSとその構造図

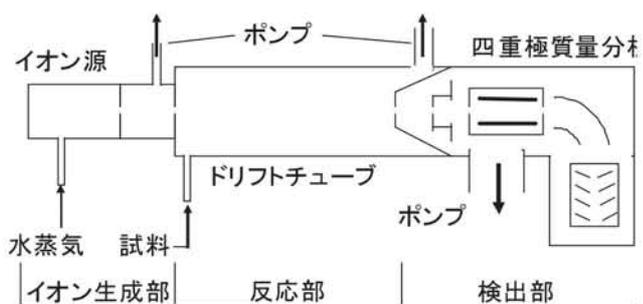


図1 陽子移動型質量分析計とその構造図

