

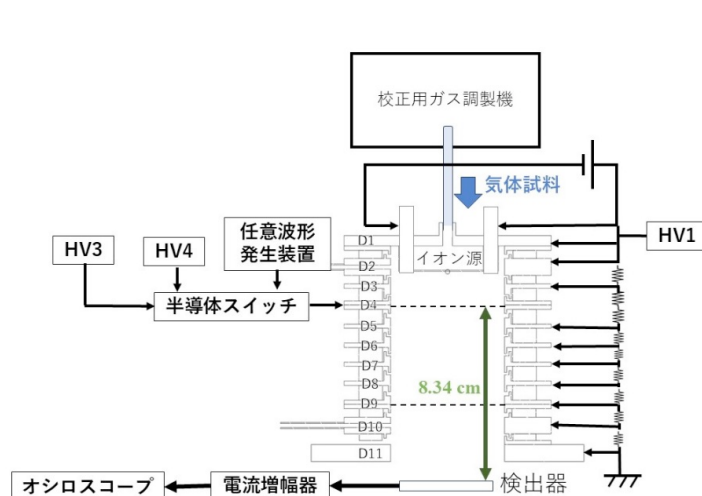
イオン付着型イオン移動度分析装置の開発に向けた基礎研究

氏名 和田 郁乃（原子過程科学教室）

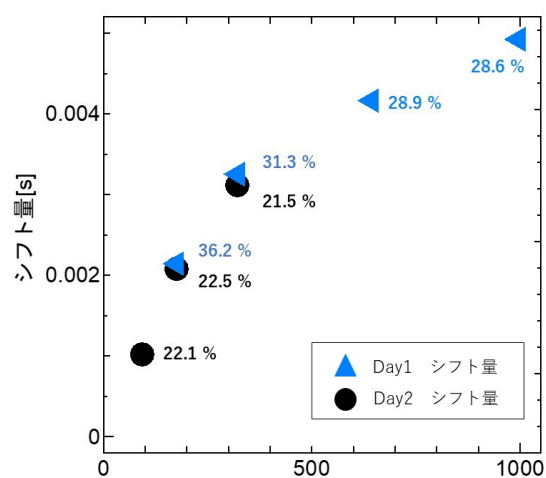
我々は、イオン付着法(Ion Attachment method : IA)技術 にイオン移動度分析 (Ion Mobility Spectrometry : IMS) 技術とイオン集束技術を組み合わせることで、リアルタイムかつ網羅的に空気中の多成分化学物質を分析する可搬型の装置開発を目指して研究を行っている。工場などで使用されている化学物質の中には、人体に有害なものも多く存在する。そのため、作業環境中の正確な化学物質ばく露量を把握することは非常に重要であり、健康被害が現れないと考えられる空気中の化学物質濃度として、ある一定時間の時間荷重平均濃度(Time Weighted Average: TWA)と瞬間的にも超えてはいけない濃度(Celling)が定められている。しかし、現在主流の分析技術では瞬間的な濃度を測定することは難しいため、リアルタイム測定可能な新しい分析技術の開発が必要である。

IMS 装置は質量分析計と異なり、真空装置を必要としないため大気圧下での測定を行うことができる。つまり装置は、真空ポンプという重たく大きな装置を必要とせず、装置の小型化、可搬型につながり、作業現場での測定を可能にする。現在市販されている可搬型 IMS 装置は放射性同位体やコロナ放電によりイオン化を行っているが、日本で放射性同位体を用いることには抵抗が大きい。また、コロナ放電ではイオン化できない化学物質がある、コロナ放電で生成されるイオン量や種類が温湿度に大きく依存するなどの問題点がある。そこで本研究では、イオン化方法として、リチウムイオン(Li^+)を用いたイオン付着法を導入する。これは試料(M)を混合させたガスセル内で Li^+ を M に付着させてイオン化する手法である。イオン付着法はフラグメントフリーイオン化法なので、従来の可搬型 IMS 装置が単一既知物質の定性・定量のみが可能であるのに対して、多成分混合気体の分析も短時間で容易に行うことが可能になる。

本研究では、イオン付着型イオン移動度分析装置の開発に向けた基礎研究として、温湿度の違いが化学物質濃度の測定にどの程度影響されるのかを探ることを目的とした。 Li^+ イオン源を用いたイオン付着法とコロナ放電を用いた大気圧イオン化法の 2 種類を用いて、温湿度が異なる条件下でさまざまな化学物質濃度ごとのドリフト時間スペクトルを測定した。その結果の比較から、イオン付着法の方がコロナ放電法よりも温度や湿度による影響が小さいことがわかり、イオン付着法の優位性のひとつを示すことができた。



Li イオン付着イオン源を用いた IMS 装置の概略図



Li イオン付着イオン源を用いた場合のトルエン濃度に対するピークシフト量

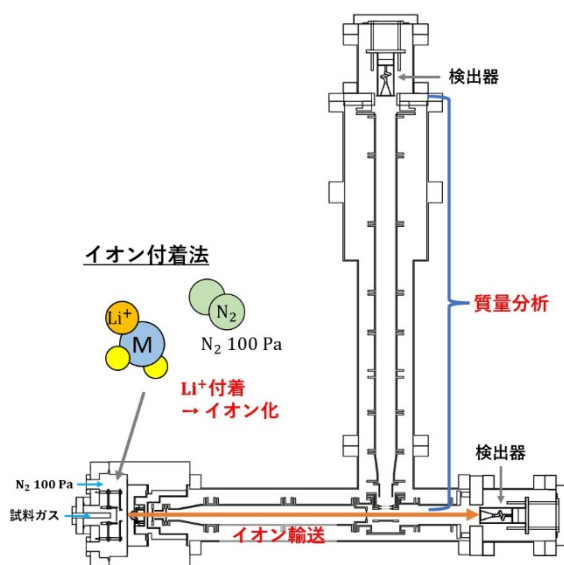
直交型イオン付着飛行時間質量分析装置による呼気分析

氏名 井上 和真（原子過程科学教室）

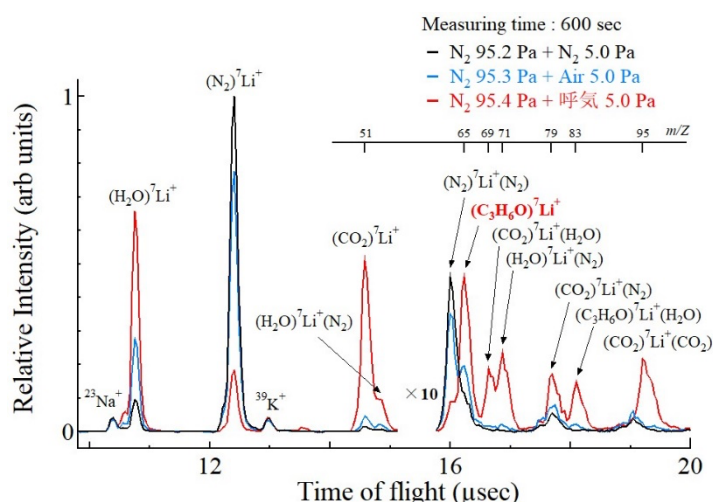
本研究室で開発を続けているイオン付着飛行時間質量分析装置では、質量分析の際のイオン化法としてイオン付着法を採用している。イオン付着法は、第三体ガス中で減速したアルカリ金属イオンを中性粒子に直接付着させることでイオン化を行う手法であり、フラグメンテーションを起こさずに 1 成分につき 1 ピーク検出という理想的なイオン化が可能のため、未知の気体試料の測定に有利とされている。そこで本研究室では、アルカリ金属イオンに Li^+ 、第三体ガスに N_2 を採用して、呼気分析装置の開発を計画した。

呼気分析は、疾患と関連のある揮発性有機化合物が呼気にどれだけ含まれるかを分析し、患者の健康状態を診断する臨床検査法の 1 つである。呼気分析の利点として、血液検査などに比べ、肉体的・精神的な負担が少なく、現段階で呼気の採取に資格が必要なく、感染症のリスクが少ないことなどが挙げられる。呼気分析を行うには、呼気中の極微量成分(ppm レベル)を定性・定量分析する必要があるが、イオン付着飛行時間質量分析装置を直交型に改良したことによる欠点の克服が課題であった。すなわち、バックグラウンドの低減、検出感度の向上と計測時間の短縮、分解能の向上、装置の安定性が求められる。これまでの研究で、バックグラウンドの低減と検出感度の向上に成功しており、本装置での呼気分析が期待できる状況となっている。

本研究では、装置の安定性と更なる検出感度の向上を図るため、簡易 RF カーペットを考案した。これは、イオン化室出口のオリフィス電極に数 MHz の高周波パルス電圧を印加することで、電圧上昇時に Li^+ をイオン化室内に閉じ込め、 Li^+ と気体試料分子の衝突回数を上昇させる狙いをもつものである。簡易 RF カーペット導入の結果、 Li^+ のカウント数を減少させつつ、付着イオンのカウント数の上昇に成功し、装置の安定性と検出感度の向上に成功し、短時間での呼気中の極微量成分の測定に成功した。しかし、実験の結果、イオン付着法によるイオン化メカニズムが、直接付着だけでなく $(\text{N}_2)\text{Li}^+$ を経由して付着する移行付着が存在すること、2 つの中性粒子が Li^+ を挟むクラスターイオンが生成され 1 成分につき 1 ピーク検出とは限らないことが判明し、量子化学計算によってそれが裏付けられた。この現象により精密な定量分析は困難となったものの、呼気成分のような気体試料中の極微量成分を短時間で定性分析可能な装置開発に成功した。



直交型イオン付着飛行時間質量分析装置の概略図



呼気分析時の飛行時間スペクトル