

■ 高感度ガス分析装置

— 息の中に含まれる微量なガス成分を高感度で測定する —

- 高感度ガス分析装置 (呼気ガス測定装置)



生き物が呼吸するときに吐き出す息や皮膚から排泄されるガスの成分を分析すると・・・

体の中の健康状態や肌の様子を知ることができます。

日本原子力研究開発機構は、従来より、応用真空工学に基づく技術開発のひとつとして「高感度四重極形質量分析計」を使った微量ガス成分の高感度分析技術の開発を進めてきました。

その応用開発の中で実用化開発装置として生まれたのが、高感度ガス分析装置です。

息を吹き込んでふくらませたサンプルバッグから呼気のサンプルを取り出し、0.2ml程度をこのガス分析装置に注入すると10秒程度で呼気の成分をはかることができます。

- 高感度ガス分析装置の基本性能

到達圧力	~10 ⁻⁷ Pa (1兆分の1気圧)
加熱温度	~200°C
測定質量	1~200amu
測定感度	~1ppm (~100万分の1)
外形	W900×D600×H1200 (mm) ~50 (kg)

高感度ガス分析装置は呼気ガスのように日常的な気圧(大気圧)状態にあるガスを特殊機能を持った真空排気システムを用いることで、高感度四重極形質量分析計で計測可能な超高真空状態まで瞬時に減圧できます。これにより、微量ガス成分の分析を可能としました。

— 高感度四重極形質量分析計の原理 —

高感度ガス分析装置は高感度四重極形質量分析計を使って、呼気ガス中の成分や皮膚からの排泄成分を測ります。四重極形質量分析計は、真空環境下でのさまざまなガス分析(香り分析)に応用されています。

高感度四重極形質量分析計はその名前の通り真空容器の中に4本の金属棒が中心軸から等間隔で平行に配置されています。

イオン化室で生成されたイオンは数10Vの電圧で加速され、四重極の領域に飛び出します。そのとき四重極には、向い合う電極に同じ極性の電圧U、隣り合う電極に正負逆の極性の電圧Uをかけておきます。

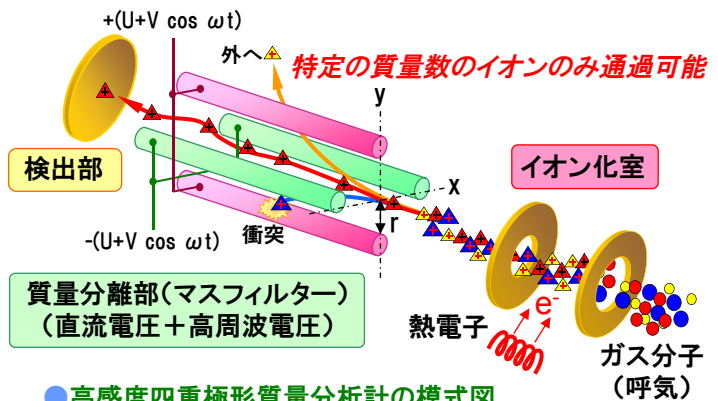
さらにそれぞれの電極に高周波電圧 $V \cos \omega t$ (ω :高周波の振動数 t :時間)とを重ね合わせてかけると、四重極の中には高速で位相が変化する電場が生じます。

イオンはこの電場によりX、Yの軸方向に振動します。

このとき特定の条件(U、V、 ω)が与えられると、特定の質量電荷比(m/z)を持つイオンだけが“安定な振動”状態になり、四重極を通り抜けて検出部に到達できます。

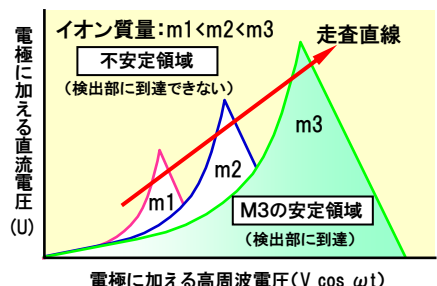
その他のイオンは電極に衝突したり、外に飛び出してしまいます。イオンの振動は、Mathieuの方程式と呼ばれる式(1)に従います。

イオンが安定に振動する条件は、線で囲む領域として表されます。質量 m_1 , m_2 , m_3 のイオンに対して、それぞれの安定領域を通るように直流電圧と高周波交流電圧の比を一定に保って電圧を変化させれば(走査直線)、 m_1 , m_2 , m_3 イオンの安定領域を順番に通過させることができます。



● 高感度四重極形質量分析計の模式図

$$\frac{m}{z} = K \frac{V}{r^2 \omega^2} \dots (1) \quad (K:定数, r:電極の距離)$$



● イオン安定領域 (Mathieuの図)

一 呼気ガス成分と皮膚排泄成分のはかり方 一

●呼気のはかり方

呼気ガスの分析は息でふくらませたサンプルバッグから呼気ガスを採取して、そのガスを分析します。
この時に使うサンプルバッグも開発品の一つです。



①サンプルバッグに息を吹き込んでふくらませます。



②サンプルバッグから呼気を抜きとります。



③呼気を導入ポートに注入し、測定の準備をします。

●皮膚排泄成分のはかり方



①頭皮などの皮膚に局所ガス捕集器の吸気ノズルをあて、皮膚から排泄される成分をサンプルバッグに集めます。



●局所ガス捕集器

④導入ポートのバルブを開けて測定開始です。

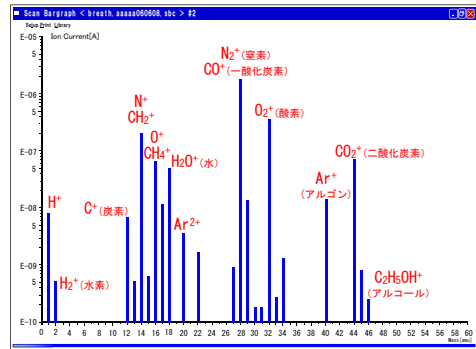


一 呼気ガス成分の分析データ(代表例) 一

●呼気ガス測定データ<代表例>

高感度ガス分析装置で呼気ガスを測定すると右のようなシグナルデータが得られます。

このグラフでガス分子の質量に対応した検出部のイオン電流の大きさから呼気ガスの各成分量を算出します。



赤字で記したものが代表的なガス成分です。
人の呼吸は、酸素 (O_2^+ m/z: 32) を体内にとり込んで、二酸化炭素 (CO_2^+ m/z: 44) を吐き出しています。

吐き出した呼気の中の酸素が少なく、二酸化炭素が多ければ、健康的な呼吸状態であることがわかります。
その他にも、体内からの呼気に含まれるアルコールなども検出することができます。

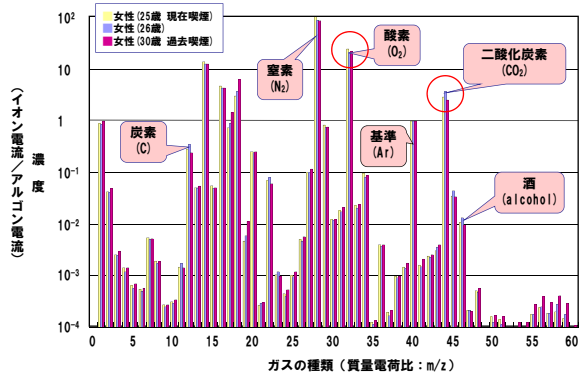
喫煙は、呼吸に影響を与えます。
生活習慣(喫煙)の異なる人の呼気ガス測定データを比較すると喫煙による呼吸状態への影響の違いが分ってきます。

右のグラフは、喫煙している人、していない人、過去にしていた人の呼気ガスデータを比較したものです。測定された呼気ガス成分の酸素と二酸化炭素のシグナルピークを拡大したのが下の図です。

喫煙者は、酸素の吐き出し量が多く、二酸化炭素がすくないので呼吸状態がよくないことが分かります。

また、過去の喫煙でも二酸化炭素の吐き出し量が少なくなっていて「タバコをやめても呼吸機能はすぐには元に戻らない」ことを表しています。

●喫煙の影響による呼気ガスデータの変化



●呼気ガスデータのピーク値の比較

