

課題番号	Q19T-07
課題名 (和文)	粒径 45 nm 以下の PM2.5 リアルタイム計測のための QCM 表面修飾
課題名 (英文)	QCM surface decoration for realtime measurement of PM2.5 smaller than 45 nm in diameter
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位)
	工学部 電子システム工学科 助教
	氏名 安藤 毅
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位)
	氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位)
	氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位)
	氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位)
	氏名

#### 研究成果の概要 (和文)

本研究では、従来困難であった粒径 45 nm 以下のスス (PM2.5) のリアルタイムモニタリング手法の開発を目的として、QCM (水晶振動子微量天秤: Quartz Crystal Microbalance) の表面修飾による、極小径の粒子に対する感度向上の検討を行った。PM2.5 のような微小な粒径の物質は、その粒径が小さくなるほどにその振る舞いがニュートン力学から離れ、ガス分子 (気体) に近い特徴を示すようになる。従来ガスセンサとして利用されてきた QCM 表面に対して、ススの粒子が自然吸着し、その慣性重量の変化によって水晶の振動数が変化したことを確認した。また、表面修飾の状態によってススの吸着の程度に差が見られた。

#### 研究成果の概要 (英文)

In this study, we improve sensitivity to nano-particles by employing QCM (Quartz Crystal Microbalance) surface decoration in order to develop real-time measurement of soot (PM2.5) smaller than 45 nm in diameter. Behavior of nano-particles such as PM2.5 is far from Newtonian mechanics and the smaller these particles are, they show closer characteristics to gas molecule. In the result, we confirmed that soot adsorbed onto the surface of QCM naturally and resonance frequency of the QCM was changed by inertial mass of the QCM. Moreover, the degree of soot adsorption differed with surface decoration of the QCM.

## 1. 研究開始当初の背景

現在 PM2.5 は、粒子の慣性を利用して大気や排出ガスから粒子径ごとに分粒、分級されている。その後粒子を慣性衝突によってフィルタに捕集し、フィルタの重量変化を測定して、粒子径毎の PM の量を評価するフィルタ法が標準となっている。しかし、粒子の慣性を利用したフィルタ法では評価可能な粒子径限界が大きく、装置規模が大きく高価、加えて、リアルタイムモニタリングが困難である。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、従来ガスセンサとして利用されてきた QCM(水晶振動子微量天秤：Quartz Crystal Microbalance)に着目した。QCM は、時計などに用いられている、電圧をかけると一定の周波数で発振する水晶そのものであり、その表面に吸着した物質の重量によって発振周波数が減少する。このことより、QCM 表面に吸着したガス分子などの重量をナノグラムの精度で評価可能である。

PM2.5 などと呼ばれる極小径の微粒子は、その重量の小ささゆえにニュートン力学に従わず、ガス分子に類似した振る舞いを持ち、拡散挙動による物体表面への自然吸着を示す。そこで本研究では、PM ガス分子と同等の挙動を示す PM(スス)の、QCM への自然吸着を利用したリアルタイムモニタリング手法を提案し、その提案手法の実証と、表面修飾による極小径の粒子に対する感度向上を目的として研究を行った。

## 3. 研究の方法

図 1 にスス発生装置および QCM の配置模式図を示す。ススはトルエン蒸気を拡散燃焼させることによって発生させた。QCM は多摩デバイス製の共振周波数 9 MHz、測定感度 1.07 ng/Hz のものを利用し、同社製の発振回路を用いて発振させ、岩崎通信機製のユニバーサルカウンタ SC-7205A を使用して発振周波数の測定を行った。QCM は火炎直上の排気管内に、火炎上端より 1320 mm の位置に、円板状の QCM が排気管断

面に対し水平、もしくは垂直になるように設置した。QCM へのススの付着は、ユニバーサルカウンタによる周波数変化と共に、電子顕微鏡(SEM)による表面観察によって行った。

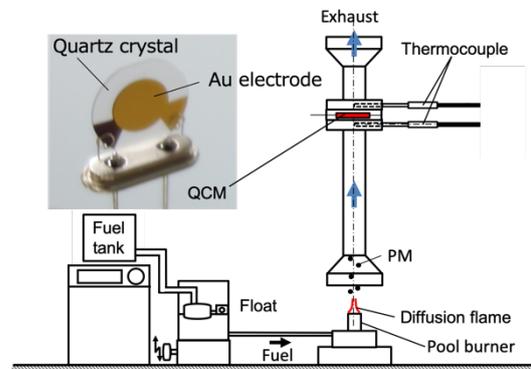


図 1 スス発生装置および QCM 配置の模式図

## 4. 研究成果

図 2 にススを付着させた QCM 表面の SEM 観察像を示す。インパクタを用いないススの捕集系であったにもかかわらず、QCM 表面へススが吸着していることが確認でき、その粒子径は 0.1~2  $\mu\text{m}$  ほどであった。緩やかに排気管内をファンで掃気しているため、直径 0.1  $\mu\text{m}$  以下の粒子はその流れに乗り、吸着できなかったものと考えられる。より微小径の PM の自然吸着には、より流速の遅い雰囲気 QCM を配置する必要があると考える。また、QCM 表面を疎水性物質で修飾することにより、ススの吸着量が増加していることが確認でき、油脂(トルエン)が付着したススとの親和性が向上しているためであると考えられる。また、スス発生開始からの時間経過に伴って QCM の発振周波数が減少してゆくことが確認できた。これは QCM 表面へのスス吸着に由来するものであり、今後、総スス発生量に対する QCM 表面へのスス吸着量を検討することによって、実際のスス検出感度の評価を行う予定である。

図 2 QCM 表面の SEM 観察像

