

# 感染リスク・室内空気質のモニタリング

## PALAS社AQ Guard

東京ダイレック(株) 濱 尚矢・船戸 浩二

### ● はじめに

新型コロナウイルスの世界的蔓延は依然として終息することなく、新型コロナウイルスと人類は暫く共生していくことになりそうである。日本では2021年10月1日より緊急事態宣言とまん延防止等重点措置が約半年ぶりに全面解除された。

今後、経済・社会活動は正常化を目指すことになるが、人が多くの時間を費やす室内において感染リスクは高いとされている。特に、Morawska and Milton(2020)<sup>(1)</sup>はエアロゾル感染するリスクを示唆している。例えば、ウイルスが呼気、会話、咳の際に、マイクロ飛沫で放出され、感染者から1~2mを超える距離でのばく露リスクや、換気の悪い室内で1.5mの高さで放出されたウイルスを含んだマイクロ飛沫が空気の循環で数十m先まで移動する可能性があるとしている。これらのリスクを低減させるには、「換気」、「空気清浄機・設備や紫外線殺菌の導入」、「入室人数の制限」などの対策が考えられる。

しかし、これら対策の効果を数値化することは容易ではなく、また、一般的に自宅やオフィスなどの室内環境で空気質をモニタリングすることも簡単ではない。最近では室内のCO<sub>2</sub>濃度をモニタリングし換気の目安としている場面が増えた。しかし、ウイルスが含まれる飛沫・飛沫核などの粒子はCO<sub>2</sub>と比べて拡散係数や重力沈降速度などの物理的挙動が異なるので留意すべき

である。2020年にはCO<sub>2</sub>濃度に加え、粒子濃度や粒子径を同時に計測する装置も市販化された。この装置は感染リスクや空気質の汚染度をモニタリング可能となっていることから多くの室内空間での利用が期待されている。本稿では、装置の概要や原理、使用例などを紹介する。

### ● 装置概要

ドイツのカーlsruエに本社を構えるPALAS社は、約40年にわたり最先端のエアロゾル・粒子計測装置を開発・販売している。特にFidas 200Sは欧州大気環境規制のPM<sub>2.5</sub>計測で認証機器となっており、欧州中に配置・利用されている。

本稿で紹介する「AQ Guard」はFidas 200Sの粒子計測原理を採用している。175nm~20μmの粒径分布（個数基準）を測定し、高度な変換アルゴリズムを用いてリアルタイムに質量濃度（PM<sub>1</sub>、<sub>2.5</sub>、<sub>4</sub>、<sub>10</sub>）を算出する。これらに加え、気温、気圧、相対湿度、ガス濃度（CO<sub>2</sub>、VOC）の検出、空気質指数（Air Quality Index：AQI）、および感染リスク指数（Infection Risk Index：IRI（特許出願中））が算出される。

各データは有線/無線接続でリアルタイムに取得、パソコン、タブレット、スマートフォンなどの端末を使って平均値や瞬時値、経時的な推移をビジュアル化して閲覧することもできる。写真1にAQ Guardの外観<sup>(2)</sup>を示す。



写真1 AQ Guardの外観

### ● 装置原理

ここではAQ Guardの主な検出部であるCO<sub>2</sub>検出部と粒子検出部について説明する。

CO<sub>2</sub>の検出にはNDIRセンサを使用している。センサの検出範囲は0~5,000ppmで精度は+/-30ppmである。また、センサは8日間の最小値を継続的に保存し、自動的に長期ドリフトを補正する。

粒子検出には光散乱式エアロゾルスベクトロメータを利用する。吸引した粒子に光を照射し、各粒子の散乱光強度を測定させる。その強度と粒径はある一定の関係性があるので粒子の大きさが判別される。併せて単一粒子の散乱光パルスを検出し、粒子数を求める。一般的な光散乱式粒子計数器（Optical Particle Counter：OPC）と同様の原理であるが、光源にはLED白色光源を利用している。これによりMie領域においても90°散乱光に対する直線的な

粒子サイズ対信号校正曲線をもたらすことができ、より正確かつ高分解能に粒子チャンネル（128チャンネル）を求める。粒子検出部の補正にはNISTトレーサブルな標準粒子を用いてオンサイトで粒子径の校正ができる。

図1に、凝縮粒子カウンター（Condensation Particle Counter：CPC）とAQ Guardを同時に計測し、比較した際の結果を示す。479 nmのPSL標準粒子をエアロゾルアトマイザで発生し、発生濃度を数段階変化させた。比較対象のCPCはOPCの校正で基準器として使用される装置であり、CPCとの相関

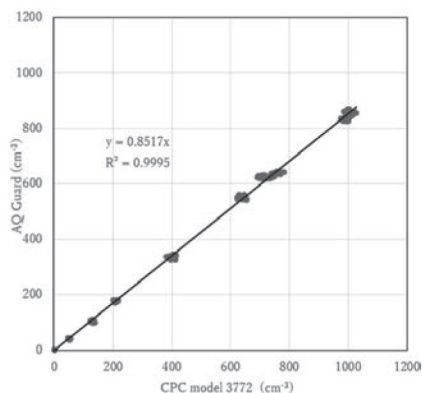


図1 CPCとAQ Guardの個数濃度比較

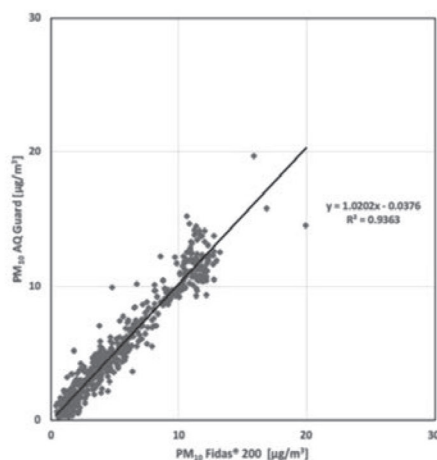
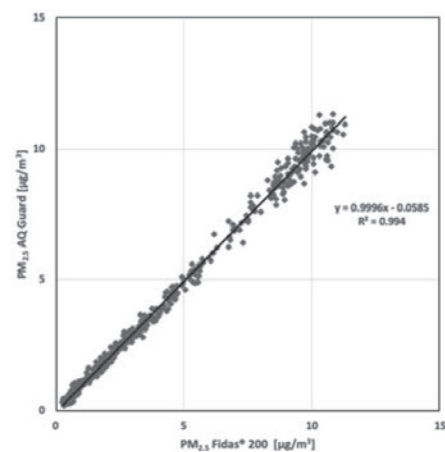


図2 Fidas 200とAQ GuardのPM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>比較

（装置インレット部の加熱管で水ミストを除去、高湿度による結露や凝縮を防止した後にFidas 200と比較。左がPM<sub>2.5</sub>、右がPM<sub>10</sub>を示している）

関係が高いAQ Guardは高精度であることが理解できる。また、本装置の粒子検出はPM<sub>2.5</sub>などの質量濃度にも変換されデータとして表示されるが、図2が示すように、PM<sub>2.5</sub>とPM<sub>10</sub>共に認証機器のFidas 200と高い相関関係であることが解る。

## ● 感染リスク指数と空気質指数

### (1) 感染リスク指数 (IRI)

本指数は感染者が1名いる部屋に1時間滞在した際に統計的に何名が感染するかを示すものである。Rudnick and Milton (2003)<sup>3)</sup>は、呼気エアロゾル濃度の代用としてCO<sub>2</sub>を用いたWels-Riley-Equationから感染モデル式を導出している。AQ Guardの感染リスク指数はこの式にエアロゾル粒子の沈降と濃度変化を加え、以下のように計算している。

$$R_{CO_2} = (n-1) * \left[ 1 - \exp\left(-\frac{a * f * q * t}{n}\right) \right] \quad \dots(1)$$

ここで、  
 $n$  = 室内の人数

$a$  = エアロゾル粒子の沈降

(PALAS社が独自にRudnick and Miltonの式に追加)

$t$  = 滞在時間 (h)

$q$  = 室内の感染者による感染力価

$$f = \frac{C - C_0}{C_a} = \text{空気の再呼吸数}$$

$C$  は室内のCO<sub>2</sub>濃度、

$C_0$  は最初のCO<sub>2</sub>濃度、

$C_a$  は呼気中のCO<sub>2</sub>濃度

$$a = \frac{C_{Aer}}{C_{ABL}}$$

$C_{Aer}$  を一定時間のエアロゾル数濃度、

$C_{ABL}$  をエアロゾル濃度のベースライン、

$a$ の最大は1

また、以下の条件とする。

$t$  滞在時間：1時間

$q$  室内の感染者による感染力価：

100 quanta/h (インフルエンザと同等の力価)

$C_a$  呼気中のCO<sub>2</sub>濃度：38,000ppm

上記のようにPALAS社が独自にエアロゾル粒子の沈降と濃度変化を加えたのは、CO<sub>2</sub>と飛沫などの粒子は挙動が異なり、換気した場合でも減衰傾向が異なるからである。CO<sub>2</sub>濃度の測定は、室内にいる人の存在を示す指標として有効であり、これに加えて室内にいる人由来のウイルスやウイルスを含む飛沫などの粒子数濃度を経時的に測定することで、より正確に補完できると考えている。

### (2) 空気質指数 (AQI)

空気質指数はPM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、CO<sub>2</sub>、TVOCの数値を基に算出される。本稿では算出方法は割愛するが、欧州連合のCITEAIRプロジェクト<sup>4)</sup>やドイツ環境省の各数値の限界値を参考に算出している。

## ● 使用例

都内の鉄板焼き屋で測定した結果を



図3に示す。人気の鉄板焼き屋のため来店者も多く、食材を焼く時間帯では個数濃度、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub>などの粒子濃度は急激な上昇が見られた。一方でCO<sub>2</sub>濃度も開店前に比べ多少の上昇が見られたものの、鉄板の天井に強力な換気設備があり室内全体を排気しているため、600ppm以下と低濃度に抑えられていた。このような状況下では、AQ Guardの示す感染リスク指数は、粒子濃度が急激に上昇した時であっても最大で0.01persons/hourと低く、エアロゾル感染するリスクは極めて低いと考えられる。

本章ではPALAS社によるドイツ国内での使用実績についても紹介する。Baden-Württemberg州の特別予算により同州ラストに位置するヨーロッパ・パーク内の映画館にてAQ Guardが使用された<sup>(5)</sup>。ヨーロッパ・パークは欧州で2番目に大きなテーマパークであり、年間来場者数は500万人以上である。映画館は室内空間ということ

もあり観客の感染リスクが懸念されていた。そこで、コロナ禍においてどのように営業を再開すべきか観客140名で実証試験が行われた。通常440名が入館できる空間（床面積550 m<sup>2</sup>）で観客の席を指定し間隔を空けて座り、観客にはマスク着用を必須とした。さらに換気設備で常時外部空気を供給するように設定した。そのような条件で3台のAQ Guardを各所に設置し（写真2）、CO<sub>2</sub>濃度、粒子濃度からなる感染リスクを求めた。結果、90分間の計測では感染リスク指数は0.6以下となり、安全性が確認され、上記のような条件で2021年3月より営業を再開している。

シュトゥットガルト大学では空気清浄機の運用の効果を調査するため、6台のAQ Guardを利用した<sup>(6)</sup>。試験粒子にはオイル粒子などの既知の粒子をPAG 1000というエアロゾル発生器で発生している。粒子を発生させ、各箇所に設置されたAQ Guardの各濃度減衰を確認することで、空間や時間での



写真2 映画館内でAQ Guardの配置 (実際の試験風景とは異なる)

感染リスクを含めた濃度分布を研究している。これらは、効果的な空気清浄機の作動方法・設置場所としても役に立つと期待されている。

上記のような複数台のAQ GuardやPAG 1000を使用する場合はこれらを制御できるソフトウェアがあると便利である。AQ Controlソフトウェアは最大4台のAQ Guardと1台のPAG 1000をWi-FiやUSB経由でリンクして制御することが可能である。PALAS社の推奨使用方法としては、まず、AQ Guardで部屋の現状を計測・判断する。次に、PAG 1000によって発生されるエアロゾル濃度をソフトウェアでデータ取得し、教室などの実際の状況を調査する。次のステップとして、室内の空気清浄機を作動させるか、換気対策を講じて、室内環境が改善されるまでモニタリングし、どのくらいの時間、どれだけ効果的に換気されるかを計測する。このようにして、より安全で快適な空間を作っていくことをPALAS社は提案している。図4に提案イメージを示す。

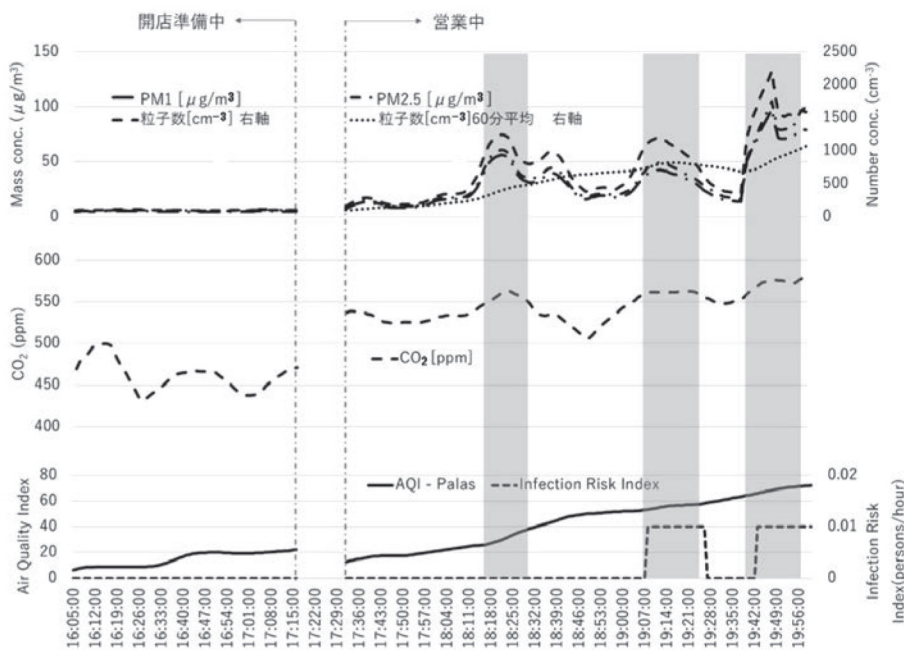


図3 鉄板焼き屋でのモニタリング

（ここでは便宜的に粒子数60分平均を示している。感染リスク指数式の「一定時間のエアロゾル濃度（C<sub>60</sub>）」の一定時間が60分とは限らない。）

## ● おわりに

本稿ではCO<sub>2</sub>濃度のみならず、粒子濃度が計測可能なPALAS社のAQ



図4 使用提案イメージ

Guardについて紹介した。独自の感染リスク指数を導入しており、上記使用例に加え、あらゆる屋内環境での使用が期待される。人々の安全や快適性を求められる昨今、このような装置を使用頂ければ幸いである。

#### ＜参考文献＞

- (1) Morawska, L. and Milton, D. K : "It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19", *Clinical Infectious Diseases*, 71(9), pp.2311-2312(2020)  
<https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
- (2) Palas GmbH, AQ Guard data sheet
- (3) Rudnick, S.N. and Milton, D.K : "Risk of indoor

airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration", *Indoor Air*, 13(3), pp.237-245. (2003)

<https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.00189.x>

(4) CITEAIR project

<http://citeair.rec.org/home.html>

(5) Palas GmbH, Press release, May 10, 2021

<https://www.palas.de/en/blog/2021-05-10/Endlich+wieder+unvergeessliche+Kinomomente>

(6) Palas GmbH website

<https://www.palas.de/en/blog/2021-09-13/Unser+AQ+Guard+an+der+Uni+Stuttgart>

<https://www.palas.de/en/blog/2021-09-13/Unser+AQ+Guard+an+der+Uni+Stuttgart>

#### 筆者紹介

##### 濱 尚矢

東京ダイレック㈱ 経営管理本部  
企画開発部 部長

##### 船戸浩二

東京ダイレック㈱ 技術本部  
本部長