

室内空気の浮遊微小粒子測定 国際標準規格: ISO16000-34, 37 に関連する計測機器のご紹介

 **東京ダイレック株式会社**

背景 室内空気質 (Indoor Air Quality: IAQ)

ガス

- ・VOC (揮発性有機化合物)
- ・SO_x (硫黄酸化物)
- ・NO_x (窒素酸化物)
- ・CO (一酸化炭素) 他

化学的因子



シックハウス症候群

物理的因子

熱、音、光

室内空気質

室内の快適さ、
健康に影響

アレルゲン

- ・ダニ、カビ
- ・ペットの毛

生物的因子

粒子状物質

- ・微小粒子: PM_{2.5}
- ・浮遊粉じん: PM₁₀



ISO16000は
室内空気の
測定・サンプ
リングに関す
る国際規格

背景 PM_{2.5}の大気環境基準

国/機関	WHO	米国	EU	日本	中国	韓国
日平均値 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (短期基準)	25	35	未設定	35	75	50 (35)*
年平均値 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (長期基準)	10	12	20	15	35	25 (15)*
制定年 規制開始年 改定年	2006 (指針値)	1997 2013	2008 2015	2009	2012 2016	2015 (2018)*

環境省:大気環境中のPM_{2.5}の状況 <https://www.env.go.jp/council/07air-noise/y078-07/mat801.pdf>

参議院:PM_{2.5}をめぐる問題の経緯と今後の課題 http://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rippou_chousa/backnumber/2013pdf/20131001141.pdf

神奈川県:PM_{2.5}の環境基準について <http://www.pref.kanagawa.jp/docs/pf7/pm/p656058.html>

*アジア経済ニュース:PM_{2.5}の環境基準、日米並みに厳しく(2018.3.22) <https://www.nna.jp/news/show/1740821>

室内PM_{2.5}→大気環境基準をそのままあてはめることはできない

背景 室内(建築物)環境基準

- 建築物における衛生的環境の確保に関する法律(1970)
建築物環境衛生管理基準:「相対沈降径がおおむね10 マイクロメートル以下の浮遊粉じん」の量が 0.15 mg/m^3 以下 → 現状、 $\text{PM}_{2.5}$ に関する法的規制がない

$\text{PM}_{2.5}$ への関心の高まり

- 健康に焦点を当てた建築デザイン評価システム
WELL Building Standard™ (2014) → $\text{PM}_{2.5}$ のしきい値: $15 \text{ }\mu\text{g/m}^3$
- $\text{PM}_{2.5}$ 測定、サンプリングのISO制定
ISO16000-34 (2018), -37 (2019)

ISO16000各パートの内容その1

部	制定/改正年	題名
1	2004	サンプリング方法通則
2	2004	ホルムアルデヒドのサンプリング方法
3	2011	室内空気及び放散試験チャンバー内空气中的ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物の定量 －アクティブサンプリング
4	2011	ホルムアルデヒドの定量－パッシブサンプリング
5	2007	揮発性有機化合物(VOC)のサンプリング方法
6	2011	室内空気及び放散試験チャンバー内空气中揮発性有機化合物(VOC)のTenaxTA(R)吸着剤を用いた アクティブサンプリング、加熱脱離及びMS又はMS-FIDを用いるガスクロマトグラフィーによる定量
7	2007	空气中アスベスト繊維濃度測定のためのサンプリング方法
8	2007	建物内の局所平均空気齢による換気測定法
9	2006	建築材料及び家具等からの揮発性有機化合物(VOC)の放散測定－放散試験チャンバー法
10	2006	建築材料及び家具等からの揮発性有機化合物(VOC)の放散測定－放散試験セル法
11	2006	建築材料及び家具等からの揮発性有機化合物(VOC)の放散測定－サンプル採取及び保管、試験片作製方法
12	2008	ポリ塩素化ビフェニル(PCB), ポリ塩素化ジベンゾジオキシン(PCDD), ポリ塩素化ジベンゾフラン(PCDF) 及び多環芳香族炭化水素(PAH)のサンプリング方法
13	2008	(ガス状及び粒子状の)ダイオキシン類PCB及びPCDD/PCDFの定量－吸着剤含浸フィルター捕集法
14	2009	(ガス状及び粒子状の)ダイオキシン類PCB及びPCDD/PCDFの定量 －高分解能ガスクロマトグラフィー及び質量分析法による抽出、清浄化及び分析
15	2008	二酸化窒素(NO ₂)サンプリング方法
16	2008	カビの検出及び計数－フィルター法
17	2008	カビの検出及び計数－培地法
18	2011	カビの検出及び計数－衝突法(インパクト法)

ISO16000各パートの内容その2

部	制定/改正年	題名
19	2012	カビのサンプリング方法
20	2014	カビの検出及び計数－全孢子数の求め方
21	2013	カビの検出及び計数－材料からのサンプリング
22		カビの検出及び計数－分子法
23	2018	ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物濃度低減材の低減性能試験
24	2018	揮発性有機化合物濃度低減材の低減性能試験
25	2011	建築材料からの準揮発性有機化合物(SVOC)の放散測定－マイクロチャンバー法
26	2012	二酸化炭素(CO2)のサンプリング方法
27	2014	SEM(走査電子顕微鏡法)(直接法)による表面上の堆積繊維状ダストの測定
28	2012	チャンバーを用いた建材からのにおい放散測定
29	2014	VOC検出器の試験方法
30	2014	室内空気の官能検査
31	2014	有機リン化合物を基剤とする難燃剤及び可塑剤の測定－リン酸エステル
32	2014	汚染物質の発生に関する建築物の調査
33	2017	ガスクロマトグラフィ/質量分析(GC/MS)によるフタル酸エステルの定量
34	2018	浮遊微小粒子の測定計画
35		ポリ臭化ジフェニルエーテル、ヘキサブロモシクロドデカン及びヘキサブロモベンゼンの測定
36	2018	試験室を使用する清浄器による培養可能な空中浮遊菌を評価するための標準方法
37	2019	PM2.5質量濃度の測定
38	2019	室内及び試験室内空気中のアミンの定量－リン酸含浸フィルタを内蔵したサンプラでの能動サンプリング

日本規格協会 <https://webdesk.jsa.or.jp/books/W11M0070/index> (2019)

※赤字箇所は日本語訳が異なる場合がございます。

ISO 16000-34: 浮遊微小粒子の測定計画

室内空間

- 住居(リビング、寝室、仕事部屋、運動室、地下室、台所、風呂)
- 大気汚染に関する産業安全法の規制対象外の建物内の作業空間(事務所、小売店)
- 公共の建物(レストラン、劇場、映画館)
- 自動車・公共交通機関の乗客室(バス、電車、飛行機)

室内の粒子発生源

- たばこ、ロウソク、暖炉、線香
- 料理、掃除、絨毯の摩耗、家具・事務機器の使用
- 人・ペット(皮膚片・毛)、微生物(カビ・バクテリア)、花粉
- 揮発性有機物(VOC)による粒子生成
- 沈着粒子の再飛散

ISO 16000-34

6.2.3 Impactors

- 原理: 慣性衝突による粒子分級
- 特性: 基板上に捕集した粒子は粒径区間ごとに質量・化学分析可能
- 制限: 粒子の跳ね返り・再飛散 グリスの塗布で化学分析が困難に



アンダーセンノンバーブル
サンプラー AN-200
0.43~11 μm



ロープレッシャー
インパクトター LP-20
0.06~12 μm



低圧カスケード
インパクトターMAIS-10
0.03~8.6 μm



MOUDI II™ Impactors
120R,122R,125R
0.01/0.056~18 μm

ISO 16000-34

6.2.4 Differential Mobility Analyzer (DMA)



- 原理: 平衡帯電分布にしたエアロゾル粒子を電気移動度で分離
- 特性: 凝縮粒子計数器(CPC)と組み合わせることで超微小粒子の粒径分布を測定可能
- 制限: 多価帯電粒子の存在、拡散や荷電効率による粒子ロスを考慮した補正が必要



静電分級器コントロール
プラットフォーム 3082



Long DMA 3081A
10~1000 nm



Nano DMA 3085A
2~150 nm



1 nm DMA 3086
1~50 nm

ISO 16000-34

6.2.7 Oscillating microbalance

- 原理: 振動素子に粒子が沈着した際の振動数の変化で粒子質量を測定
- 特性: 個数・体積濃度からの変換不要で質量を連続的・高感度に直接測定可能
- 制限: VOCの揮発、粒子の跳ね返り・再飛散、捕集ステージの清掃



QCM MOUDI™ Impactor 140

約50 – 1,000 nmの粒子を
6段分級・質量計測可能

ThermoFisher
SCIENTIFIC



TEOM 1405

TSP/SPM/PM₁₀/PM_{2.5}/
PM₁から選択



TEOM 1405 D

PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{10-2.5}
同時計測



TEOM 1405 F

半揮発性粒子を考慮
PM₁₀/PM_{2.5}計測



TEOM 1405 DF

半揮発性粒子を考慮
PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{10-2.5}同時計測

ISO 16000-34

6.2.8 Beta radiation attenuation

- 原理: ベータ線 (^{14}C) が捕集フィルタを通過するときの減衰量から捕集粒子質量を測定
- 特性: ベータ線検出器の分解能が高く、少量の粒子捕集量でも信号が安定している
- 制限: 検出下限値まで粒子を蓄積できない超微粒子の測定などには不向き



ベータ線吸収モニター 5014i
TSP/PM₁₀/PM_{2.5}/PM₁から
選択可能(インレット交換)



ハイブリッドモニター SHARP5030i
ベータ線吸収・光散乱法による相互補正
PM₁₀, PM_{2.5}を同時測定

ISO 16000-34

6.2.10 Light scattering aerosol spectrometer

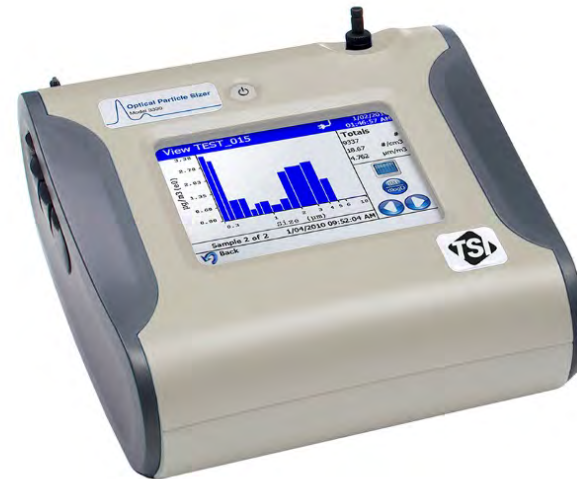
- 原理: 粒子がレーザー光を通過する際の散乱光パルス波形から個数、粒径を測定
- 特性: 連続的、高時間分解能な測定。下流でフィルタ捕集すれば組成分析も可能
- 制限: 校正に用いる単分散・球形のラテックス粒子に対する光散乱等価径



UNDERSTANDING,
ACCELERATED

OPS 3330

0.3~10 μm の範囲を最大16チャンネル測定
3,000 個/cc まで対応



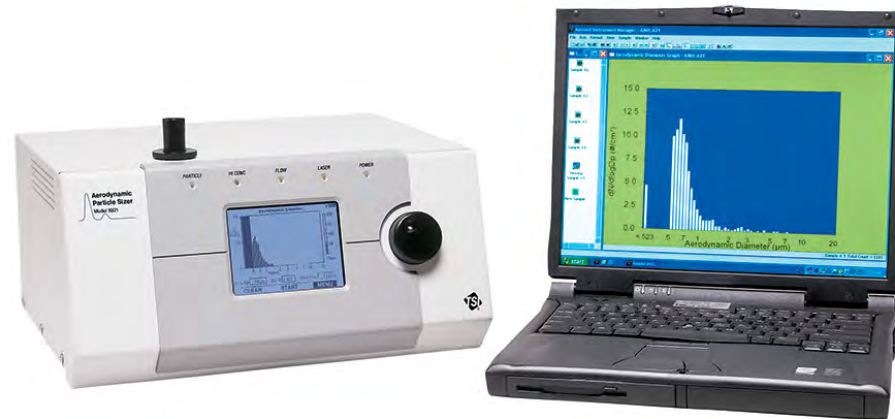
ISO 16000-34

6.2.11 Time-of-flight spectrometer

- 原理:ノズルで加速された粒子の2本のビーム間の通過時間(TOF)から空気動力学径を測定
- 特性:リアルタイムで高サイズ分解能な測定
- 制限:0.5 μm より大きな粒子に対してのみ有効



APS 3321
空気動力学径(52チャンネル)と
光散乱径(16チャンネル)を同時測定



ISO 16000-34

6.2.12 Condensation Particle Counter (CPC)

- 原理: 小さな粒子表面に蒸気を凝縮させ、光学的に検出可能なサイズまで成長
- 特性: 高時間分解能、低濃度でも高精度。フォトメトリックモードは精度は低いが高濃度に対応
- 制限: 室内でアルコールのにおい、粗大粒子による詰り



CPC 3007

粒径範囲: 10 nm ~ 1 μm
対応濃度: 0 ~ 10⁶ 個/cc

イソプロパノール

DMAと組み合わせてSMPSとして使用可能



CPC 3750

7 nm ~ 3 μm
0 ~ 10⁵ 個/cc



CPC 3752

4 nm ~ 3 μm
0 ~ 10⁷ 個/cc



CPC 3756

2.5 nm ~ 3 μm
0 ~ 3 x 10⁵ 個/cc



WCPC 3789

2.2/7 nm ~ 3 μm
0 ~ 3 x 10⁵ 個/cc



MAGIC™ Water CPC

5 nm ~ 2.5 μm
0.01 ~ 10⁵ 個/cc

水

ISO 16000-34

6.2.13 Faraday cup aerosol electrometer

- 原理:エアロゾル粒子の帯電量を計測
- 特性:粒子の密度や組成の影響が少ない拡散荷電方式
- 制限:帯電量は粒子径に大きく左右され、分布が既知でないと個数や質量への換算が困難

eFilter™

リアルタイムPMセンサー
付きのフィルターホルダー



Excellence in Particle Measurements

DePS™-OEM

OEMタイプ
電子式粒子センサー



DePS™-GO

スタンドアロンタイプ
電子式粒子センサー

粒子チャージ機能付き

エアロゾルエレクトロメーター 3068B

2~5000 nmの粒子の電荷量を
高精度にリアルタイム計測



静電分級器(DMA)
と組み合わせると
単分散粒子の
個数濃度測定が可能



ISO 16000-34

6.2.14 Fast response aerosol spectrometer

- 原理: 帯電粒子が移動度分級後に電極上で捕集された際の電流値から個数・濃度分布を測定
- 特性: サブミクロン粒子を高時間・サイズ分解能でリアルタイムに測定。放射線源不要
- 制限: エレクトロメータのノイズの問題で低濃度の測定には不向き



UNDERSTANDING,
ACCELERATED

FMPS 3091

5.6~560 nm (32チャンネル)
高時間分解能 (1秒)



ISO 16000-34

6.2.15 Low pressure impactor with electric detection

- 原理: 帯電粒子を空気動力学径ごとに電極へ衝突捕集し電流から粒径分布を測定
- 特性: 捕集粒子を秤量し電流値を質量に直接換算可能
- 制限: 動作に真空ポンプが必要。排気中のオイルミストに注意



ELPI®+
6 nm ~ 10 μm (14チャンネル)
10 Hzでデータ収集



HT-ELPI®+
180°Cまで加熱可能
高温のエアロゾルを
ダイレクト捕集



ISO 16000-37: 室内環境のPM_{2.5}質量濃度測定

異なる測定方法間の比較を容易にするために制定。

標準的な測定方法

- カットオフ径2.5 μmのインパクタを通過させフィルタに捕集、秤量

考慮・記録すべき項目

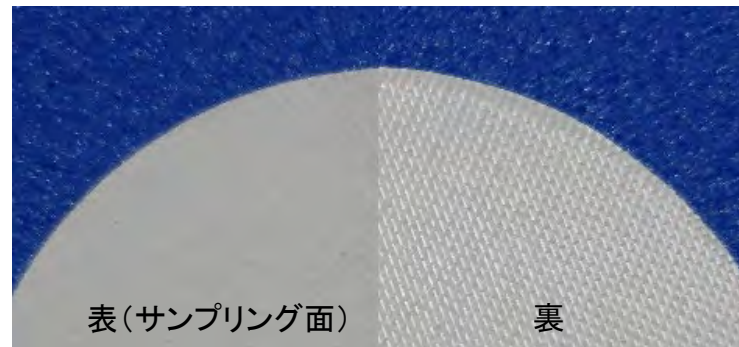
- 発生源: 人の活動や家電の稼働の有無
- コンディション: 室内の温湿度・気圧、天候、換気状況
- 粒子ロス: サンプリング中の拡散やフィルタ上での揮発
- 補完的な測定: 時間分解能の高い方法で同時測定

エアロゾルサンプリング用フィルタ



テフロン(Teflo)フィルター

- 膜材質: PTFE
フィルター径: 25* / 31 / 37 / 47* mm
(*ナンバリング付)
孔径(膜厚): 1 / 2 / 3 μm (76 / 46 / 30.4 μm)
サポートリング材質: PMP
- 膜自体が軽量で正確な質量分析が可能
 - ガス吸着が少なく、精度の高いPM計測が可能
 - 気体・有機溶媒のろ過に最適



フッ素樹脂バインダーガラス繊維フィルター: TX40HI20-WW

- 材質: フッ素樹脂加工ホウケイ酸マイクロファイバー
+ガラス繊維織布
最高使用温度: 260°C
厚さ: 178 μm
- 水溶性の残留物が除去済みで、化学分析用試料の採取が可能
 - 過酷なサンプリングにも適合
 - 吸湿度が低く強度があるため、ディーゼル排ガス中の粉じんのサンプリングに使用可能(各自動車メーカー、研究所等に多くの実績有り)



石英繊維フィルター: 2500 QAT-UP

- 材質: 純石英(バインダー不使用)
最高使用温度: 1093°C
厚さ: 432 μm
- 優れた粒子捕集効率
 - 繊維フィルターのため低圧力損失
 - 煙道中など高温でのサンプリングに最適
 - 原子吸光分析、蛍光X線分析など幅広い分野に利用可能

サイズ各種ご用意ございます。その他フィルタについてもお気軽にご相談ください。

分級器:サイクロン

個人暴露測定用サイクロン

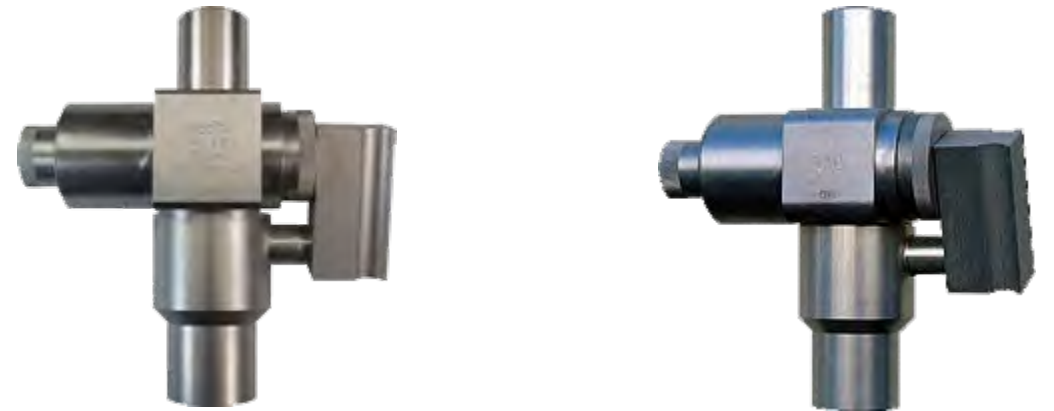


サイクロンのカットオフ径に対応するサンプリング流量[LPM]

サイクロンモデル	カットオフ径 [μm]			
	10	4	2.5	1
SCC 0.695	0.2	0.55	0.82	1.8
BGI 4	1	2.2	3.65	8.4
GK 2.05	1.19	2.64	4	9
GK 2.69	1.6	4.2	6.8	14
GK 4.162	0.25	9	14	37

2.5 μm以外のカットオフ径にも対応

環境測定用サイクロン



PM2.5 Very Sharp Cut Cyclone
(VSCC)
16.67 LPM

PM2.5 Sharp Cut Cyclone
(SCC)
16.67 LPM

 **BGI**
by Mesa Labs

可搬型ミニボリュームエアサンプラー

ポータブルサンプラ MiniVol™ TAS

- USEPA(米国環境保護庁)との共同開発製品
- 小型で耐久性があり、バッテリー駆動式(ソーラーパネルオプションあり)のため屋外にそのまま設置可能



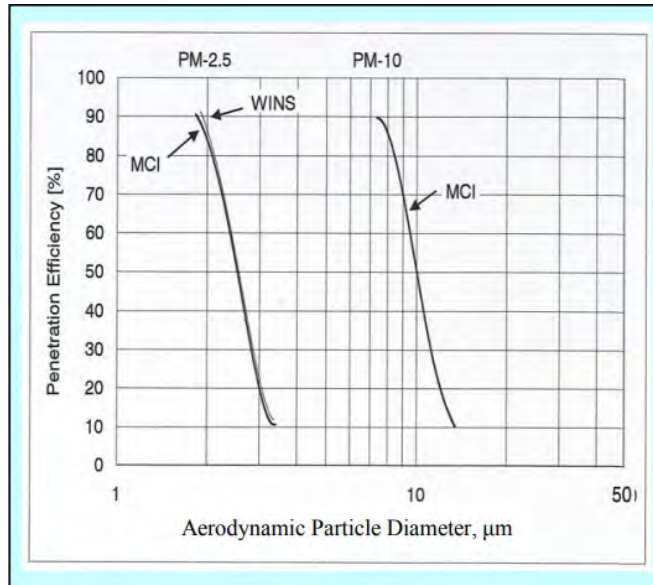
- ウィークリータイマー、積算時間計、流量制御機能内蔵
- インレットインパクトの着脱交換でPM₁₀/PM_{2.5}/TSPの切替可能
- 内蔵ポンプにより5 L/minで吸引、φ47フィルタに捕集
- 本体と付属品がひとつのケースに収納可能なコンパクト設計

AIR METRICS

FRM PM_{2.5}と同等の分級性能のサンプラー

マルチノズルカスケードインパクト(MCI)サンプラー

- FRM(米国標準測定法)と同等のPM_{2.5}分級性能
- 小型軽量で分解、組立、メンテナンスが容易
- 積算流量計付き(最大99999.9 L)



MCI PM_{2.5}, PM₁₀ 及び WINS(FRM) の分級特性





インパクト部

- フィルター径: $\phi 47 \times \phi 20$ (PM₁₀/PM_{2.5})
 $\phi 47$ (PM_{2.5}以下) mm
- 材質: アルミ
- 重量: 0.8 kg

吸引装置部

- 流量: 0 - 30 L/min (標準 20 L/min)
- 定格電圧: AC 100 V
- 定格電流: 3.0 A
- 重量: 10 kg

ご希望の流量・カット径に応じて製作できます。
可能な範囲などの詳細はお問い合わせください。

ポータブル型PM_{2.5}測定器



UNDERSTANDING,
ACCELERATED

※本装置はISO16000-34および-37には準拠していません

- 環境省認証機器との校正を行うことで、通常のハンディ測定装置を上回る精度の測定が可能！
- インパクタの取付によるPM_{2.5}カットをした粒子を測定器に導入
- インパクタの交換で容易にPM₁₀/PM₄/PM₁への切替も可能
- バッテリー式の可搬型PM_{2.5}測定器
- 0.001 mg/m³ (=1 μg/m³)からの高感度測定

DustTrak™ II Model 8530

Ø 37 mmフィルタを搭載でき、
実際の重量と測定データを比較可能



DustTrak™ II Model 8532
持ち運びやすいハンドヘルド型
リーズナブルな価格設定

短時間
測定

バッテリー
駆動

ポータブル

環境省
認証機種
に近い
応答性能

低価格

軽量・小型な壁掛け式IAQモニター

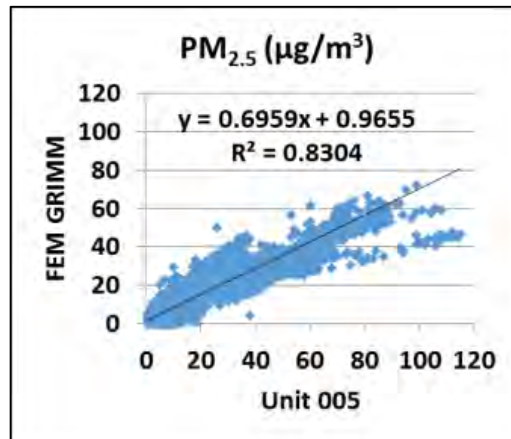


UNDERSTANDING,
ACCELERATED

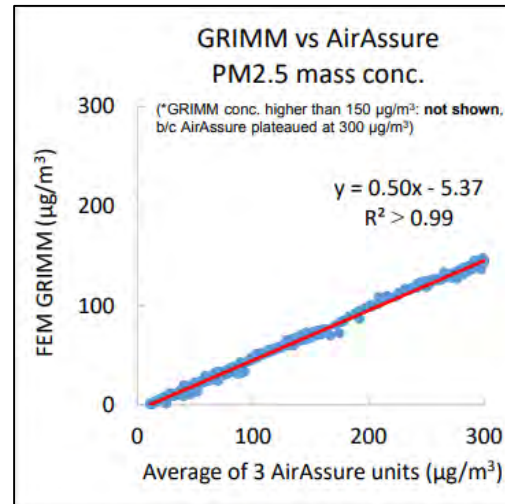
※本装置はISO16000-34および-37には準拠していません

AirAssure™ IPM2.5

- 建物内のPM_{2.5}リアルタイム測定
- 簡単操作、クイック壁掛け設置
- 濃度レベルを色段階で可視化
- AQ-SPEC*による評価



フィールドでの相関: 0.82



ラボでの相関: 0.99



*AQ-SPECとは...

SCAQMD (L.A.など米国南海岸区域を管轄する公的な大気汚染防止機関)が実施する、低価格の大気モニタリングセンサーの性能評価試験。米国連邦規格の標準測定法(FRM)や等価測定法(FEM)との相関を調査。



AQ-SPEC

South Coast AQMD Air Quality Sensor Performance Evaluation Center

<http://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/summary-pm>

<http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/field-evaluations/tsi-airassure---field-evaluation.pdf?sfvrsn=2>

<http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/laboratory-evaluations/tsi-airassure---lab-evaluation.pdf?sfvrsn=12>

エアロゾルの計測・サンプリング装置は 東京ダイレックにご相談ください

東京ダイレック株式会社 営業部

TEL:03-5367-0891 FAX:03-5367-0892

Mail : info@tokyo-dylec.co.jp

