

# 作業環境測定のための 機器分析の実務

特定化学物質・金属類・有機溶剤

## まえがき

作業環境中に有害な因子が存在する場合には、これらの有害因子がどの程度存在し、そこで働く労働者がこれらにどの程度さらされているのかを把握し、その結果に応じた作業環境の改善措置等を講じることが必要です。

これは、労働衛生管理を進めるために必要な三つのアプローチである作業環境管理、作業管理および健康管理のうち、最も基本的かつ重要な「作業環境管理」の中核をなすプロセスです。

そして、この作業環境管理を適切に行うための入り口である「作業環境中の有害物の気中濃度」を正しく把握することが、作業環境測定役割となります。

作業環境測定は、労働安全衛生法第2条において「作業環境の実態を把握するため空気環境その他の作業環境について行うデザイン、サンプリングおよび分析（解析を含む）をいう」と定義されています。

そして、その科学的、客観的な実施方法を担保するために、同法第65条第1項に規定する作業環境測定は、厚生労働大臣が定める「作業環境測定基準」に従って行うべきこととされています。

これらの作業環境測定を的確に実施するために、「作業環境測定基準」に則して『作業環境測定ガイドブック』が当協会から刊行されています。

『作業環境測定ガイドブック』は、作業環境測定法施行規則別表の「作業場の種類」に従ってそれぞれ「鉱物性粉じん・石綿・RCF」「電離放射線関係」「特定化学物質関係—金属類を除く—」「金属類」「有機溶剤関係」および「温湿度・騒音・酸欠等関係」に関するものが刊行されています。

今回、このうち、化学物質関連の「特定化学物質関係—金属類を除く—」「金属類」「有機溶剤関係」の3種類のガイドブックについて、相互に見られる記述の重複をなくし、全体として記述内容の整理を行う目的で見直しを行い、相互に共通する部分が特に多い「測定方法に関する総論部分」をまとめ、『作業環境測定のための機器分析の実務〔特定化学

物質・金属類・有機溶剤』』として本書を新たに編集しました。

本書が、これまで同様、作業環境管理に携わる各位に広く活用され、作業環境測定および評価の技術水準等の一層の向上に寄与することを期待いたします。

終わりに、今回の改定作業に委員としてご尽力いただいた皆様、参考意見をいただいた皆様に深甚なる感謝の意を表します。

2019年6月

(公社)日本作業環境測定協会

## 〈改訂の概要について〉

- (1) ガイドブック3（特定化学物質関係—金属類を除く—）、4（金属類）および5（有機溶剤関係）の「I 測定法総論」のうち、各種分析方法（原子吸光分析法、ガスクロマトグラフ分析法など）に関する記述について、新たに『作業環境測定のための機器分析の実務 [特定化学物質・金属類・有機溶剤]』として1冊にまとめ、併せて記述内容について見直しを行ったこと。
- (2) また、これに伴い、ガイドブック3・4・5の「I 測定法総論」のうち、「試料の捕集方法」についてはガイドブック0（総論編）に相当する記述があり、ほぼ重複していることから、ガイドブック0（『作業環境測定のデザイン・サンプリングの実務』に改題予定）にまとめることとし、新たに編集した『作業環境測定のための機器分析の実務 [特定化学物質・金属類・有機溶剤]』からは、「試料の捕集方法」に関する記述を削除したこと。

## 改訂作業に係る専門家委員会委員

委 員 長	清水 都夫（上智大学名誉教授）
委 員	飛鳥 滋（(公社)日本作業環境測定協会 専務理事）
〃	板橋 豊（北海道大学名誉教授）
〃	宮部 寛志（立教大学理学部教授）
〃	山本 裕右（駒澤大学名誉教授）
〃	米澤 宣行（東京農工大学工学部教授）

(五十音順)

## 改訂作業に係る作業環境測定機関による分科会委員

委 員 長	齋藤 誠（(株)テトラス）
委 員	相澤 和幸（(公財)北海道労働保健管理協会）
〃	内納 大典（(一財)上越環境科学センター）
〃	氣田 明治（(株)MC エパテック東日本事業所）
〃	津上 昌平（(株)日立産機ドライブ・ソリューションズ）
〃	渡辺 良輔（中部労働衛生）
オブザーバー	和田 豊仁（(株)島津製作所 分析計測事業部）

(五十音順)

## 目 次

まえがき	i
<b>1 分析についての一般的事項</b>	<b>1</b>
1.1 通則的事項	1
1.2 試薬	4
1.3 精製水	5
1.4 標準ガスおよび標準液	6
1.4.1 拡散セルによる標準ガスの調製	6
(1) 装置	7
(2) 装置の概略とその操作	8
(3) 濃度の計算	9
(4) 拡散速度式と要素	10
1.4.2 パーミエーションチューブによる標準ガスの調製	10
(1) 装置	11
(2) 装置構成の概略とその操作	12
(3) 濃度の計算	13
(4) パーミエーション速度	14
(5) その他	14
1.4.3 その他の方法による標準ガスの調製	15
1.4.4 標準液の調製	15
<b>2 分析法の種類</b>	<b>17</b>
2.1 吸光光度分析法	17
2.1.1 原理	17
2.1.2 装置	18
2.1.3 定量操作	19
2.1.4 測定上の注意	19

---

2.2 蛍光光度分析法	20
2.2.1 原理	20
(1) 利 点	21
(2) 欠 点	21
2.2.2 装 置	21
(1) 蛍光光度計	21
(2) 分光蛍光光度計	22
2.2.3 定量操作	22
2.2.4 測定上の注意	23
(1) 溶 媒	23
(2) pH	24
(3) 粘 性	24
(4) 溶液中の浮遊粒子	24
(5) ラマン線	24
(6) 光分解	25
(7) 温 度	25
(8) 濃 度	25
(9) 溶存酸素	26
(10) スリット幅	26
(11) 二次光	26
(12) 試料液用蛍光セル	26
2.3 原子吸光分析法	27
2.3.1 原理と特徴	27
(1) 原 理	27
(2) 原子吸光分析法の特徴	27
2.3.2 装 置	28
(1) 光 源	29
(2) 原子化装置	30
2.3.3 試薬および容器	32
(1) 試 薬	32
(2) 容器およびその洗浄法	32
2.3.4 試料の前処理	33

---

2.3.5	ろ過捕集後の試料からの測定対象金属の溶出	34
(1)	塩酸-過酸化水素による溶出法	34
(2)	乾式灰化-塩酸-過酸化水素による溶出法	34
2.3.6	有機溶媒抽出	35
(1)	抽出法の操作	35
(2)	有機溶媒抽出法の特徴	36
(3)	抽出操作上の注意事項	36
2.3.7	定量操作	37
(1)	試料液, ブランクおよび標準液の調製	37
(2)	操作手順	37
(3)	検量線	38
(4)	バックグラウンド吸収とその補正	38
2.3.8	測定上の注意	40
(1)	機器に関して	40
(2)	操作に関して	41
(3)	その他	42
(4)	よく遭遇するトラブルとその点検	43
2.4	誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP-AES 法)	44
2.4.1	原理	44
2.4.2	装置	45
(1)	試料導入部	45
(2)	励起源部・発光部	45
(3)	分光測光部	47
(4)	観測方向	47
2.4.3	試薬および容器	48
2.4.4	試料の前処理	48
2.4.5	ろ過捕集後の試料からの測定対象金属の溶出	48
2.4.6	定量操作	48
(1)	試料液, ブランクおよび標準液の調製	48
(2)	装置の調整	48
(3)	測定操作	48
2.4.7	測定上の注意点	49

---

(1) 干 渉 .....	49
2.5 誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS 法) .....	51
2.5.1 原 理 .....	51
2.5.2 装 置 .....	51
(1) ICP 部 .....	51
(2) インターフェース部 .....	53
(3) 質量分析 (MS) 部 .....	53
2.5.3 試薬および容器 .....	54
(1) 試薬等 .....	54
2.5.4 試料の前処理 .....	54
2.5.5 定量操作 .....	55
(1) 装置の調整 .....	55
(2) 測定操作 .....	55
2.5.6 測定上の注意 .....	56
(1) 物理的干渉 .....	56
(2) 分光学的 (スペクトル) 干渉 .....	56
(3) 非分光学的干渉 .....	58
2.6 ガスクロマトグラフ分析法 .....	58
2.6.1 原 理 .....	59
2.6.2 GC 分析の基礎 .....	59
(1) 分離機構 .....	59
(2) 分離能 .....	59
2.6.3 ガスクロマトグラフの概要 .....	62
(1) キャリアガス .....	62
(2) カラム槽およびカラム .....	64
(3) 試料導入部 .....	66
(4) 検出器 .....	71
(5) 自動制御とデータ出力 .....	74
2.6.4 分析操作 .....	75
(1) カラムコンディショニング (エージング) .....	75
(2) キャリアガス流量の設定 .....	75
(3) 温度の設定 .....	75



---

(4) 検出器の作動	76
2.6.5 定性分析	78
2.6.6 定量分析	78
2.6.7 ガスクロマトグラフ分析用シリンジの使い方	79
(1) ガスタイトシリンジ	79
(2) マイクロシリンジ	80
2.6.8 測定上の注意点	83
(1) ノイズ	83
(2) 検量線	83
(3) 試料導入量	83
2.7 高速液体クロマトグラフ分析法	84
2.7.1 原理	84
(1) 吸着作用による分離 (吸着クロマトグラフィー)	84
(2) 分配作用による分離 (分配クロマトグラフィー)	84
(3) イオン交換作用による分離 (イオン交換クロマトグラフィー)	85
(4) サイズ排除作用を利用した分離 (サイズ排除クロマトグラフィー)	85
2.7.2 HPLC の概要	85
(1) 移動相 (溶離液)	85
(2) 送液ポンプ (ポンプ)	86
(3) 試料導入部	86
(4) カラム	86
(5) 検出器	87
2.7.3 分析操作	88
(1) カラム	88
(2) 試料の導入	88
(3) 移動相流量の設定	89
(4) カラム恒温槽	89
(5) 定性分析	89
(6) 定量分析	89
2.7.4 操作上の注意点	89
2.8 検知管と同等以上の性能を有する測定機器	91

---

<b>3 定量下限</b> .....	92
3.1 吸光光度分析法における定量下限 .....	92
3.2 蛍光光度分析法, 原子吸光分析法, ガスクロマトグラフ分析法, 高速液体 クロマトグラフ分析法, 誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP-AES 法) および誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS 法) における定量下限 .....	92
3.3 定量下限の求め方の例 .....	93
3.3.1 ガスクロマトグラフ分析法 (アクリロニトリル, 直接捕集法) .....	93
3.3.2 原子吸光分析法 (カドミウム, フレーム法) .....	93
3.3.3 ガスクロマトグラフ分析法 (トルエン, 固体捕集法) .....	93
<b>4 付 録</b> .....	95
4.1 作業環境測定対象物質の物性 .....	95
4.2 物理量と単位および基本物理定数 .....	101
さくいん .....	103

# 1 分析についての一般的事項

## 1.1 通則的事項

作業環境測定業務全般を通じ、次の各項目についての理解が重要である。

- 1) 作業環境における温度は 25 ℃、圧力は 1 013 hPa を標準としている。空気および有害物質の気体を理想気体とみなすと、上記標準状態における有害物 1 mol の体積は、24.47 L となる。
- 2) 空気中に存在する有害物質の存在量は、質量濃度または分率で表す。質量濃度は、空気の単位体積中に存在する有害物質を質量で表す。単位としては  $\text{mg m}^{-3}$  が多用される。分率には百万分率 ( $10^{-6}$ ) が多用され ppm で表される。
- 3) 質量濃度の単位として多用される  $\text{mg m}^{-3}$  を体積百万分率 (ppm) に換算するためには、次のように有害物質の質量を物質量に換算したのち、これを上記標準状態における体積に変換する。ここで、M は有害物質のモル質量 ( $\text{g mol}^{-1}$ ) を表す。

空気中に存在する有害物質が気体である場合には、質量濃度 ( $\text{mg m}^{-3}$ ) よりも、体積百万分率 (ppm) で表すことが多い (体積百万分率は、百分率 (%) の 1 万分の 1 の単位であり、1 % = 10 000 ppm である)。

質量濃度で表された濃度を体積百万分率濃度に変換するには、まず有害物質の質量 (mg) に  $10^{-3}$  を乗じて g に変換したうえでこれが何モルに当たるかを換算し、次にこれが上記標準状態で占める体積として求める。

例えば、ある気体の有害物質の 1 モルが Mg、質量濃度が  $A \text{ mg m}^{-3}$  であるとき、これを ppm に変換するには、次のように行う。

- ① 当該物質  $A \text{ mg}$  が上記標準状態で占める体積 (mL) を求める。

当該物質  $A \text{ mg}$  が標準状態で占める体積 (mL)

$$\begin{aligned}
 &= \{(A \times 10^{-3})/M\} \text{ mol} (A \text{ mg のモル数}) \times 24.47 \text{ L mol}^{-1} (1 \text{ モルが占める体積}) \\
 &= (24.47 \times (A \times 10^{-3})/M) [\text{L}] \\
 &= (24.47A/M) \times 10^{-3} \times 10^3 [\text{mL}] \\
 &= (24.47A/M) [\text{mL}]
 \end{aligned}$$

- ② この体積が、 $1 \text{ m}^3 (= 10^6 \text{ mL} = 100 \text{ 万 mL})$  の体積中に存在しているので、その

## 2 分析法の種類

### 2.1 吸光光度分析法

吸光光度分析法は、発色した試料液に（可視部の）特定の波長の光（作業環境測定に用いるのは通常可視光）を当て、吸収された光の割合を測定して（吸光度測定）試料中の測定対象物質の濃度を求める方法である。試料液が無色であったり、その吸光度が極めて小さい場合には、適当な発色試薬を加えて化学反応を起こさせ、着色液としたのち吸光度測定を行い、濃度を求める。吸光光度分析法は重量分析や容量分析に比べて、感度が良く、操作も簡単であり、また、再現性もよいので、微量分析に広く利用されている。

発色に用いられる試薬には無機試薬と有機試薬があるが、有機試薬のほうが種類も多く、使用も圧倒的に多い。

なお、無色の溶液でも、紫外部に吸収のある二重結合などを持つ有機物や亜硝酸イオン、硝酸イオンなどを含む場合は、紫外部の光の吸収の割合を用いて測定する紫外吸光光度法を用いることができる。すなわち、吸光度測定に用いられる光の波長範囲は、可視部（400～800 nm）のみでなく、紫外部（200～400 nm）や近赤外部（800～3 000 nm）にも及び、通常200～1 000 nm の波長範囲が利用される。

#### 2.1.1 原理

試料液に単色光を当てたとき、入射光の強さを  $I_0$ 、透過光の強さを  $I$  とすれば、吸光度  $A$  は、式 (2.1) で表される。

$$A = \log \left( \frac{I_0}{I} \right) \quad (2.1)$$

いま、試料液の濃度を  $c$ 、光路長を  $l$  とすれば、式 (2.2) となる。

$$A = \varepsilon c l \quad (2.2)$$

$\varepsilon$  は比例定数であり、吸光係数と呼ばれる。なお、濃度の単位を  $\text{mol L}^{-1}$  光路長の単位を  $\text{cm}$  とした濃度  $C$ 、光路長  $l$  のときの  $\varepsilon$  をモル吸光係数という。すなわち、吸光度は試料液の濃度に比例（ベールの法則）するとともに、光路長の長さにも比例する（ランベルトの法則）。両者を合わせて、一般的にこの関係はランベルト-ベールの法則と呼ばれている。