

作業環境測定のための

デザイン・ サンプリングの実務

—C・D 測定編—

公益社団法人 日本作業環境測定協会



まえがき

我が国における有害物に係る作業場の作業環境測定は、労働安全衛生法第2条の定義によれば「空気環境について行うデザイン、サンプリングおよび分析」です。すなわち、作業場所の空気中の有害物の濃度を知ることであり、得られた測定値を推測統計学に基づいて処理し、単位作業場所の空気中の有害物濃度の分布状況を推測してこれを管理濃度と比較の上、管理区分を決定し、作業環境の良し悪しを評価する、というものです。

この目的に沿うデザイン・サンプリングの方法として、作業環境測定基準によりA測定が導入され、B測定とともに単位作業場所の測定に40有余年用いられてきました。

このたび、一定の指定作業場における作業環境測定に、従来からのA・B測定に加えて、労働者を原則5名以上選定して試料採取機器等をその身体に装着し、労働者とともに単位作業場所をランダムに移動する「移動測定点」による原則全作業時間の時間荷重平均値を測定値とする「C測定」が新たに導入され、またB測定に相当するD測定が新たに導入されました。

C・D測定は、労働者に試料採取機器等を装着してサンプリングを行いますが、A・B測定同様労働安全衛生法第2条の定義による作業環境測定であり、従って有害物の空気環境濃度の測定であり、特定の労働者のばく露の程度を測定することを目的に行う「個人ばく露測定」とは異なります。

C・D測定は、測定から評価に至る基本的な考え方および測定値の処理の方法はA・B測定と共通ですが、一方、デザイン、サンプリングの詳細および作業場所における作業環境測定士の業務の内容は、かなり異なったものとなります。

このガイドブックは、C・D測定の適用の意義と具体的なデザイン、サンプリングの方法およびサンプリング機器の取扱等ならびにC・D測定において特に必要となる事前調査項目や作業環境測定士が関与する範囲等、C・D測定を的確に実施するために必要な事柄について詳述しています。

A・B測定がそうであったように、C・D測定も作業環境測定士の皆様の様々な現場への適用を通じた知見・経験の蓄積により、その方法が磨かれるものと考えます。その出発点としてこのガイドブックが作業環境測定士の皆様の参考となることを心から願うものです。

令和2年7月

(公社)日本作業環境測定協会

第2版へのまえがき

このガイドブックは、令和3年4月1日から一部の作業場所に係る作業環境測定に適用されたC・D測定について、その意義と具体的なデザイン、サンプリングの方法およびサンプリング機器の取扱等ならびにC・D測定において特に必要となる事前調査項目や作業環境測定士が関与する範囲等、C・D測定を的確に実施するために必要な事柄について詳述していますが、当協会がすでに作業環境測定士の登録を行っている方々を対象に実施した「特例講習」の経験を踏まえて、記述内容がさらに的確なものとなるよう、このたび若干の説明の追加等を行い、また、特例講習の実施が令和3年3月末をもって終了したことから、特例講習に関する記載を削除しました。

本書が作業環境測定士をはじめ関係者の皆様に広く活用され、C・D測定の理解と的確な実施に資することを望むものです。

令和3年10月

(公社)日本作業環境測定協会

目 次

第 I 章 個人サンプリング法の目的と特性

1.1 個人サンプリング法の特性と個人サンプリング法を労働安全衛生法第 65 条の測定に加える理由	8
(1) 作業環境測定と個人ばく露測定の検討の経緯	8
(2) 個人サンプリング法の検討の経緯	10
1.2 個人サンプリング法の選択の基準	11
1.3 対数正規分布による近似と単純無作為抽出法による母集団の推計について	13
(1) 作業環境測定における推測統計学の利用	13
(2) 個人サンプリング法の場合	14
1.4 A・B測定と C・D測定	15
(1) C・D測定とは	15
(2) A・B測定と C・D測定の比較	15

第 II 章 個人サンプリング法のデザイン

2.1 測定対象作業場所・測定対象物質の決定	18
2.1.1 「作業環境測定基準」に定められた個人サンプリング法の測定対象作業場所等	18
2.1.2 A・B測定, C・D測定の選択	19
2.2 単位作業場所の範囲の設定	19
2.3 均等ばく露作業の労働者の選定	19
2.3.1 均等ばく露作業について	20
2.3.2 均等ばく露作業と単位作業場所	20
2.4 C測定	21
(1) 均等ばく露作業と単位作業場所の決定	21
(2) C測定の実施	21
(3) 均等ばく露作業が複数ある場合	22
2.4.1 C測定対象労働者の選定	22
2.4.2 C測定の実施方法	22
2.5 D測定	23
2.5.1 D測定が必要な作業	23
2.5.2 D測定対象労働者の選定	23
2.5.3 D測定の実施方法	23
2.6 測定実施日と測定時間帯の設定	23
2.6.1 測定実施日	23

4 目 次

2.6.2 測定時間帯	24
2.7 その他デザインに当たっての留意事項	24
2.7.1 作業環境測定士の関与の範囲	24
2.7.2 測定時の安全上の配慮	24

第Ⅲ章 個人サンプリング法によるサンプリングの方法

3.1 事前調査	28
3.2 測定実施日までに決めておくべき事項	29
3.3 測定実施日の確認事項	31
3.4 C測定 of サンプリング	31
3.4.1 C測定 of パターン例	32
3.5 D測定 of サンプリング	35
3.6 C・D測定 of 適用例	36
(1) コバルト含有 of プレス金型 of 点検補修作業	36
(2) 硬質クロムメッキ作業	36
(3) トリレンジイソシアネート (TDI) を用いたウレタン発泡工程	37
(4) 木工製品塗装作業	38
(5) 鋳物製造工程における塗型材 of 塗布作業	39
(6) 鉛インゴットを製造する作業	39
(7) オフセット印刷作業場	40

第Ⅳ章 試料採取機器とその取り扱い

4.1 試料採取機器とその選定	42
4.2 装着方法	45
4.2.1 共通事項	45
4.2.2 ろ過捕集方法	46
4.2.3 固体捕集方法, 液体捕集方法	46
4.3 ろ過捕集方法による個人サンプリング	46
4.4 固体捕集方法による個人サンプリング	48
(1) 能動型試料採取機器 (アクティブサンプラー)	48
(2) 受動型試料採取機器 (パッシブサンプラー)	48
4.5 液体捕集方法および直接捕集方法による個人サンプリング	49
4.6 簡易測定器	51
4.7 個人サンプリング機器 of 定量下限等の確認	51
4.7.1 有機溶剤等に係る試料採取機器 of 定量下限, 破過等の確認	51
4.7.2 特定化学物質および鉛に係る個人サンプリング機器 of 定量下限の確認	53
4.8 個人サンプリング法による測定時の安全の確保	55

4.8.1	化学物質の危険有害性等の確認	55
4.8.2	吸引ポンプの防爆性能	56
4.8.3	その他の爆発・火災防止に関わる注意点	56

第V章 測定結果の評価方法

5.1	C測定の結果の取り扱い	60
5.2	D測定の結果の取り扱い	61
5.3	管理区分決定の手順	61
5.4	測定結果の検討	61

第VI章 個人サンプリング法のデザイン・サンプリングおよび結果の評価の実際例 (演習問題)

6.1	演習問題 1	64
6.2	演習問題 2	64
6.3	演習問題 3	65
6.4	演習問題 4	66
6.5	演習問題 5	67
6.6	演習問題 6	67
6.7	演習問題 7	68
6.8	演習問題 8	68

第VII章 付 録

7.1	作業環境測定に関する法令の体系と概要	72
7.2	令和2年の改正のポイント	74
7.2.1	令和2年に改正された省令，告示	74
7.2.2	測定方法の新たな選択肢	74
(1)	個人サンプリング法による測定を誰に行わせるか	75
7.2.3	作業環境測定士関係	75
(1)	今後，作業環境測定士資格を取得する者	75
(2)	既に作業環境測定士資格を取得している者	76
7.2.4	作業環境測定機関関係	77
(1)	登録証の書換え	77
(2)	機器・設備の整備	77
7.2.5	その他	77

6 目 次

7.3 関係条文	78
(1) 労働安全衛生法（抄）	78
(2) 労働安全衛生法施行令（抄）	78
(3) 作業環境測定法（抄）	79
(4) 作業環境測定法施行令（抄）	81
(5) 作業環境測定法施行規則（抄）	81
(6) 作業環境測定基準（抄）	83
(7) 作業環境評価基準（抄）	84
(8) 作業環境測定士規程（抄）	86
7.4 個人サンプリング法による作業環境測定及びその結果の評価に関するガイド ライン	88
7.5 「金属アーク溶接等作業」の個人サンプリングによる測定	102
7.6 作業環境測定の記録のモデル様式	105

第I章

個人サンプリング法の目的と特性

1.1 個人サンプリング法の特性と個人サンプリング法を労働安全衛生法第 65 条の測定に加える理由

個人サンプリング法は、労働者に個人サンプラー（試料採取機器）を装着して行う作業環境測定の方法である。個人サンプラーを用いた測定ではあるが、欧米で行われている個人ばく露測定とは異なり、A・B 測定と同様、作業場所の空気環境を測定・評価する方法である。わが国でも、A・B 測定では労働者のばく露の実態を十分に把握できない作業場所があることは、以前から指摘されてきており、旧労働省の時代から、作業環境測定を補完する方法として、個人ばく露測定に関する検討が何度か行われてきた。最終的には作業環境測定方法の一つとして個人サンプリング法を導入することになったわけであるが、流れを整理するため、まず、個人ばく露測定の検討の経緯を概説し、次いで個人サンプリング法の検討の経緯について述べる。

(1) 作業環境測定と個人ばく露測定の検討の経緯

作業環境測定は、労働安全衛生法（以下、「安衛法」という。）第 2 条第 4 号の定義によると、「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。」となっている。また、同法第 65 条および第 65 条の 2 においては、有害な業務を行う屋内作業場その他の作業場で、政令で定めるものについて、必要な作業環境測定を行い、その結果の評価に基づいて適切な措置を講ずることを事業者に義務付けている。

この安衛法に基づいた作業環境測定については、公正性や、測定の質および精度を担保する必要があるため、1975（昭和 50）年に作業環境測定法（以下、「作環法」という。）が制定され、安衛法第 65 条の作業環境測定対象作業場のうち政令で定めるもの（以下、「指定作業場」という。）について作業環境測定を行うときは、厚生労働省令で定めるところにより、事業場で使用する作業環境測定士に実施させることまたは作業環境測定機関に委託して実施することを事業者に義務付けている。

安衛法第 65 条の作業環境測定については、1976 年に作業環境測定基準（昭和 51 年労働省告示第 46 号）、さらに放射性物質関係を除く指定作業場については、1988 年に作業環境評価基準（昭和 63 年労働省告示第 79 号）が定められ、これにより現行の A 測定および B 測定による評価方法が確立し、現在に至っている。安衛法第 65 条および 65 条の 2 に基づく作業環境測定により、作業環境の実態が把握され、管理が不十分な作業場については環境改善を実施することでわが国の作業環境は著しく改善されてきた。しかしながら、作業場所あるいは作業内容によっては、A 測定・B 測定による作業環境測定では十分に作業環境を把握できない場合があることは当初から指摘されていたところである。

1980（昭和 55）年 6 月に「作業場における気中有害物質の規制のあり方についての検討結果 第 1 次報告書」¹⁾（作業場の気中有害物質の濃度管理基準に関する専門家会議）が公表されているが、この中で、「労働者の気中有害物質へのばく露量についての情報に関してはばく露濃度の方が優れており、環境改善のための情報については作業環境測定の方が優れている。労働者を気中有害物質による障害から守るためには、原則的には両者の情報を備えることが望ましい。しかし、わが国の法規的国内的慣行を考慮すると、行政的な濃度管理基準を設定するには、作業環境濃度を基本とし、

必要に応じてばく露濃度を併用するのが実際的である」と述べられている。その後も、労働省の委託事業として、1996（平成 8）～1998（平成 10）年度に、「個人ばく露濃度の測定に係る調査研究」（日本作業環境測定協会（以下「日測協」と略記））が行われ、その中で、個人ばく露濃度の測定が必要な作業場として、

- 1) 作業環境測定の義務付けのない屋内作業場
- 2) 作業環境測定の義務付けのない屋外作業場
- 3) 屋内、屋外における臨時作業

が挙げられた。これらの作業については、原則全員を対象として労働者の呼吸域で全作業時間サンプリングすること、測定頻度は原則 6 月以内に 1 回とすることなどが提案されたが、実施には至らなかった。ただし、屋外作業場については、その後 2002（平成 14）～2003（平成 15）年度にも厚生労働省の委託事業として「屋外作業等における測定手法に関する調査研究」（日測協）が行われ、平成 17 年 3 月に、個人サンプラーを用いた作業環境の測定、およびこれに基づく管理の方法が「屋外作業場等における作業環境管理に関するガイドライン」として公表されている。

さらに、2010（平成 22）年 7 月に出された「職場における化学物質管理の今後のあり方に関する検討会報告書」²⁾によると、「有害物の発散が 1 日に数回しかなく、それ以外は無視できるほどの低濃度となる工程が行われている作業場や、有害物が発散する区域に労働者は 1 日数回しか立ち入らず、その外部には有害物が漏洩しない作業場などについては、安衛法第 65 条に基づく A 測定および B 測定では過度に有害な作業場に評価され、設備についての改善等が求められるおそれがある一方、これらの作業場に対し、欧米等諸外国で行われている個人サンプラーによる測定を実施し 8 時間加重平均濃度で評価した場合には、健康影響が生じないレベルであることが明らかとなる場合があるとの指摘がある。また、有害物の発散源に近接して行うような作業等の場合については、A 測定および B 測定では作業環境中の濃度が過小に評価されるおそれがあるとの指摘もある。そこで、個人サンプラーによる測定について、当面は、A 測定および B 測定による測定では的確な評価が困難と思われる一部の作業を対象に、A 測定および B 測定に代わる測定として導入することについて検討する必要がある。」と述べられている。

これを受けて、2010（平成 22）年度から 2013（平成 25）年度に厚生労働省の委託事業として「作業環境における個人ばく露測定に関する実証的検証事業」（中央労働災害防止協会 以下「中災防」と略記）が行われた。この中で「個人ばく露測定に関する検討委員会」を設置し、事業場で個人ばく露測定と作業環境測定を実施し、両者の比較検討を行った。その結果、作業環境測定と個人ばく露測定は全体としてはよく相関しているが、個人ばく露測定の方が高い値が出る傾向がみられること、特に、仕上げ研磨（鋳物砂）、吹き付け塗装、アーク溶接作業では、個人ばく露測定の方が 10 倍以上高い値となることがあることが示された。

一方で、幾何平均値で比較すると、作業環境測定の方が個人ばく露測定よりも高くなるような作業条件や、その逆に、個人ばく露測定の方が作業環境測定よりも低くなるような作業条件も示された。

表 1.1 および表 1.2 に、作業環境測定と個人ばく露測定で測定値に差異が生じることがある作業の例を示す。

ただし、これらはいずれも幾何平均値の比較であり、評価値による比較ではない。

表 1.1 作業環境測定による測定値が高めとなることがある作業の例

単回作業	1日1回程度の作業
	①原料の投入作業 ホッパー等への原料の投入および仕込み作業（作業が短時間で、回数も少ない。作業前に1回の場合もある。） ②エチレンオキシド滅菌器からの被滅菌物の取り出し作業（1日1回） 作業環境測定の結果に比較し個人ばく露測定は低い値である。これは1日1回の滅菌機からの取り出し作業以外は滅菌作業が行われず、それ以外は入室しないため（短時間作業にも該当する）。
間欠作業	発散源に常に近接して作業するのではなく、必要時以外は別作業場にいる作業
	①バッチ式設備への製品または原料の投入、取り出し等作業（必要時以外は別作業場で作業をしている） ②反応器等から製品評価のための抜き取りサンプリング作業 ③エチレンオキシド滅菌機からの滅菌物取り出し作業 （取り出しの瞬間および滅菌物を仕分ける数分の短時間ばく露となる作業）
発散源とともに移動する作業（短時間）	①手吹きによる塗装作業（短時間） 短時間で作業が終了するため、8時間の個人ばく露測定では低い値になることが推測できることから、高濃度の短時間ばく露の状況を把握できない。

また、2012（平成24）年9月～2014（平成26）年2月に日本産業衛生学会産業衛生技術部会が「個人ばく露測定に関する委員会」を設置して日本における個人ばく露測定の方法について技術的側面を中心に検討し、2015（平成27）年1月に「化学物質の個人ばく露測定のガイドライン」³⁾を公表している。

(2) 個人サンプリング法の検討の経緯

厚生労働省は、第12次労働災害防止計画（2013（平成25）年度～2017（平成29）年度）において、「化学物質による健康障害防止対策」のひとつとして、個人サンプラーによる作業環境中の化学物質濃度測定の導入を検討することを明記した。これに基づき、2017（平成29）年10月に厚生労働省に「個人サンプラーを活用した作業環境管理のための専門家検討会」を設置し、個人サンプラーの導入に向けての検討を開始した。この検討会では、現行法令の中で個人ばく露測定を導入することは現状では困難であるとして、個人にサンプラーを装着する方法ではあるが、個人ばく露測定ではなく、安衛法65条に基づく作業環境測定として扱うこととした。

第13次労働災害防止計画（2018（平成30）年度～2022（令和4）年度）では、化学物質による健康障害防止対策として、「リスクアセスメントの結果を踏まえた作業等の改善」の中で、作業環境測定の実施方法に個人サンプリング法による測定方法を追加し、作業態様に応じた測定・評価方法を選択できるようにすること、および作業環境測定の結果等と特殊健康診断の結果を結びつけるなど、総合的な健康確保対策が講じられる方策を検討するとしている。厚生労働省は2018（平成30）

表 1.2 個人ばく露測定による測定値が高めとなることがある作業の例

発散源とともに移動する作業（長時間）	①手吹きによる塗装作業（長時間） 労働者自身が発散源と共に移動する作業では、塗料ミストおよび有機溶剤蒸気の跳ね返りにより労働者の呼吸域では高濃度になるが、さらにB測定が困難なため、その値は測定士によって大きく異なる。
発散源が高い（低い）作業	発散源位置がA測定の範囲（50cm～150cm）以外の場合、A測定の高さ範囲から外れる作業。
輻輳作業	同一の労働者が、複数の作業場を掛け持ちして作業する場合、それぞれの作業環境は良好でも、個人ばく露測定では高くなる可能性がある。

年 11 月に、「個人サンプラーを活用した作業環境管理のための専門家検討会報告書」を公表し、個人サンプラーによる作業環境測定の様相が示されたが、詳細事項についてはさらに検討が必要とされた。

そこで、2019（令和元）年に、「個人サンプラーを用いた測定法に係る基盤整備事業」を中災防に委託して実施し、デザイン、サンプリングさらに評価方法について詳細に検討した。また、この事業の中で、作業環境測定士に対するトライアル講習を実施し、受講者へのヒアリングを行っている。

上記の整備事業の結果を踏まえて、2020（令和 2）年 1 月 27 日に、作業環境測定法施行規則の一部を改正する省令（令和 2 年厚生労働省令第 8 号。以下「改正省令」という。）および作業環境測定基準等の一部を改正する告示（令和 2 年厚生労働省告示第 18 号。以下「改正告示」という。）が公布および告示され、令和 3 年 4 月 1 日から施行および適用されることとなった。これは、化学物質の管理や有害業務の状況等を踏まえ、指定作業場において作業環境測定を行う際のデザインおよびサンプリングとして、従来の方法に加え、当該指定作業場において作業に従事する労働者の身体に装着する試料採取機器等を用いて行う方法（以下「個人サンプリング法」という。）を新たに規定するものである。

この改正では、個人サンプリング法による測定が可能となる作業を特定するとともに、それらに係る作業場所の測定は、個人サンプリング法および A・B 測定のいずれの方法でもよく、事業者の選択にゆだねることになっている。なお、選択に当たり、衛生委員会等において過去に測定を行ったことがある場合にはその測定結果に関する作業環境測定士、産業医等の意見を踏まえて十分に審議することが望ましいとされている。

改正告示において、個人サンプリング法による作業環境測定の対象となる測定については、個人サンプリング法の特性が特に発揮できるものを先行して導入するものとして規定されたものである。個人サンプリング法による作業環境測定は、作業環境評価基準に基づき、測定値を統計的に処理した評価値と測定対象物質の管理濃度とを比較して作業場の管理区分の決定を行うものであり、いわゆる個人ばく露測定には該当しない。作業環境測定結果の記録に試料採取機器等（試料採取機器等の「等」には検知管方式による測定機器が含まれる）を装着した労働者の氏名を記載する必要はなく、A 測定と同様、当該労働者を示す番号等（例：労働者①）を用いればよいことになる。

1.2 個人サンプリング法の選択の基準

作業環境測定は、作業場の空気環境等の実態を把握するための測定であり、A・B 測定では、労働者の作業中の行動範囲、有害物質の濃度の分布状況などに基づき、作業環境中の対象物質の濃度が著しく変動しないか、変動してもランダムな範囲と想定される区域を単位作業場所として層別化し、その単位作業場所における平均的な濃度とその分布を調べる A 測定と、単位作業場所の中で、労働者が最も大きなばく露を受ける危険性が高い作業場所における濃度を知るための B 測定からなっている。同じ作業場所でも、作業によって大きく濃度が異なるようであれば、それは別の単位作業場所として測定する必要がある。

個人サンプリング法は、労働者に試料採取機器を装着して労働者の位置における作業場の空気をサンプリングする方法である。A 測定とは測定点が固定点と移動点の違いはあるが、作業場の空気