

資 料

化学物質の個人ばく露測定ガイドライン

平成 27 年 1 月

日本産業衛生学会 産業衛生技術部会

個人ばく露測定に関する委員会

目次

はじめに	A14
要旨	A15
用語・略語	A16

第 1 章	「化学物質の個人ばく露測定のガイドライン（産業衛生技術部会）」の目的と背景	A16
1.	背景と対象範囲	A16
2.	個人ばく露測定の背景	A17
2-1	国内外の既存の方法	A17
2-2	個人ばく露測定の一般的な特徴	A17
第 2 章	個人ばく露測定の方法	A18
1.	個人ばく露測定の進め方の概要	A18
1-1	個人ばく露測定の全体像	A18
1-2	個人ばく露測定を行う者	A19
2.	事前調査の目的と方法	A20
2-1	事前調査の概要とその重要性	A20
2-2	ばく露の推定	A21
2-3	ばく露の区分（管理区分）	A22
3.	測定計画の立案	A22
3-1	同等ばく露グループの設定	A22
3-2	測定の要否と優先順の判断	A23
3-3	サンプル数	A24
3-4	測定時間の設定（8 時間測定）	A24
3-5	測定時間の設定（短時間測定）	A25
3-6	被測定者の選定	A26
3-7	サンプリングの方法と条件の設定	A26
4.	測定と分析	A27
4-1	測定と分析の方法	A27
4-2	簡易測定法とその活用	A27
4-3	測定中の記録と観察	A28
5.	測定値の評価と判定	A28
5-1	測定値の取扱い方	A28
5-2	統計指標値の算出	A29
5-3	短時間の測定値の取扱い	A29
5-4	ばく露限界値（8 時間）	A30
5-5	ばく露限界値（短時間）	A30
5-6	結果の評価とばく露の区分	A30

6.	リスク低減措置	A31
6-1	対策の策定と優先順位	A31
6-2	健康管理との関係	A31
7.	報告	A32
8.	フォローアップ（対策実施、再評価・測定）	A32
8-1	対策の実施、確認と変更管理	A32
8-2	再評価・測定	A33
9.	個人ばく露測定の実際	A35
第 3 章	個人ばく露測定の特徴と活用（まとめ）	A35
1.	専門家の役割と責任	A35
1-1	統括管理者と測定担当者	A35
1-2	個人ばく露測定に関わる専門家の倫理と責任	A36
2.	個人ばく露測定の特徴と労働衛生における意義	A36
2-1	個人ばく露測定の特徴	A36
2-2	個人ばく露測定の社会的効果と今後の展望	A38
3.	おわりに	A39
【補足資料】		A40
補足資料 1	欧米の個人ばく露測定と評価の方法	A40
補足資料 2	国内の個人ばく露測定と評価の方法	A43
補足資料 3	作業環境測定と個人ばく露測定の関係	A43
補足資料 4	欧米のばく露測定法における測定要否の判断	A43
補足資料 5	作業場での事前調査における留意事項	A43
補足資料 6	実際の事業場での SEG あたり作業人数（事例）	A44
補足資料 7	同等ばく露グループ（SEG）法と最大値法の比較	A44
補足資料 8	ばく露評価における測定要否の判断（事例）	A45
補足資料 9	実作業場でのサンプル数（8 時間測定、短時間測定）（事例）	A46
補足資料 10	NIOSH の方法におけるサンプル数	A47
補足資料 11	サンプリング時間が 8 時間未満の場合の 8 時間平均濃度への換算	A47
補足資料 12	ばく露の変動要因の詳細	A48
補足資料 13	昼休みなどのサンプリングの有無と 8 時間時間加重平均値の算出	A48
補足資料 14	測定点数が 5 個未満の場合の 95 パーセンタイル値 (X_{95}) の算出法	A49
補足資料 15	8 時間のばく露限界値についての追加的な説明	A49

補足資料 16	TLV-STEL の設定がない物質の 短時間ばく露限界値の考え方 ……	A49
補足資料 17	短時間のばく露限界値についての 追加的な説明 ……	A50
補足資料 18	管理区分 2B で対策を必須とする理由 ……	A50
補足資料 19	管理区分の区分けについての解説 ……	A50
補足資料 20	個人ばく露測定と作業環境管理の対応 ……	A51
補足資料 21	個人ばく露測定と健康管理の関係 ……	A51
補足資料 22	個人ばく露測定結果の報告 ……	A52
補足資料 23	再評価・測定頻度の決定における 判断の要因 ……	A52
補足資料 24	個人ばく露測定の事例 (8 時間測定, 試験作業, 有機溶剤) ……	A52
補足資料 25	個人ばく露測定の事例 (8 時間測定, 塗装作業, 有機溶剤) ……	A54
補足資料 26	個人ばく露測定の事例 (8 時間測定, 塩化ビニルコンパウンド製造, 鉛系粉じん) ……	A54
補足資料 27	個人ばく露測定の事例 (短時間測定, サンプリング作業, 化学物質) ……	A56
補足資料 28	個人ばく露測定の事例 (短時間測定, タンクローリー積込作業, ガソリン) ……	A57
補足資料 29	オキュペイショナルハイジニスト ……	A58
補足資料 30	個人ばく露測定に伴う事業主の負荷 ……	A59
補足資料 31	欧米諸国における産業衛生技術の 発展と個人ばく露測定 ……	A59
日本産業衛生学会 産業衛生技術部会 「個人ばく露測定に関する委員会」委員名簿 ……		A60

化学物質の個人ばく露測定のガイドライン (産業衛生技術部会)

平成 27 年 1 月

日本産業衛生学会 産業衛生技術部会
個人ばく露測定に関する委員会

【はじめに】

本文書「化学物質の個人ばく露測定のガイドライン (産業衛生技術部会)」(以下,「本ガイド」)は,日本産業衛生学会産業衛生技術部会の「個人ばく露測定に関する委員会」が,個人ばく露測定を行なう際の手引きとして作成したもので,同委員会の活動結果をまとめた報告書に相当する。

ここ数年,リスクアセスメントの推進の動きに合わせて個人ばく露測定の重要性が増している。また,行政においても個人ばく露測定(個人サンプラーを用いた測

定)の導入検討のための準備が進められつつあり,そう遠くない将来に個人ばく露測定が正式に法制度の中に取り込まれる可能性がある。このような動きを踏まえて,日本産業衛生学会産業衛生技術部会では「個人ばく露に関する委員会(以下,委員会)」を 2012 年 11 月に臨時の委員会として立ち上げた。

委員会の目的は,産業衛生技術部会が個人ばく露測定に関する「実用上のガイドライン」を作成し,日本産業衛生学会会員と社会に対して提案し推奨することであった。ここで「標準法」,「基本手順」などでなく「実用上」の「ガイドライン」という緩い言い方をすることには意味がある。個人ばく露測定については,海外では複数の主要な方法が提案され,その内容が必ずしも手順の細部まで規定し切れていないケースが多々あるように,その技術的内容は比較的複雑で,ばく露測定時の様々な局面に応じて多くの選択肢や判断要素がある。従って,本ガイドの内容を過度に固定化したり「教科書」のように扱うことなく,あくまで基本的な考え方を参照するための「ガイドライン」とし,これをもとに現実の状況に応じて合理的に判断してリスクアセスメント・マネジメントを進めて頂きたいと考えている。合わせて,本ガイドは理論を整理したものではなく,作業現場で役立つ実践的な内容を目指した点も強調したい。

委員会が取扱った個人ばく露測定の対象範囲は,全ての化学物質と全ての作業場とした。また法制度上の規定や方法は議論の対象としていない。従って,本ガイドの内容は,既存の特定の法令を遵守したり,その代替法とするためのものではなく,全ての化学物質に関する一般的なリスクアセスメント・マネジメントの一手段として使うことを念頭に置いたものである。

委員会では,リスクに基づく合理的・科学的な管理を基本とすること,実用性を適切に考慮し実践的で実行可能な提案を行うこと,個人ばく露測定に関する内外の既存の方法,情報を広く視野に入れることを議論の進め方の方針とした。また,個人ばく露測定の方法の詳細を必要以上に規定し過ぎず,測定を行う者の判断・裁量の余地を適切に残すことを適宜考慮した。個人ばく露測定ではそもそも多くの選択肢や判断要素があり得ることとともに,その実施者に判断・裁量の自由度を与えることで,短期的には訓練や熟練を強いる結果になり得るものの,中長期的には技術的な蓄積や専門性の強化につながるものが想定される。また,事業主にとっては,良質な測定実施者を確保して育成し,その者を通して作業場のリスクを合理的,自主的,主体的に管理することがインセンティブとなる。従って,判断・裁量を活用した合理的な個人ばく露測定の進め方は,結果として我が国の労働衛生管理全体の向上に大きく貢献しうると考えたものである。

委員会では2012年11月から2014年2月まで10回にわたる会議を開催するとともに、電子メール等を通じて特に個別の論点に関する詳細な議論も行った。

本ガイドでは、その本文に個人ばく露測定を進めるにあたっての基本的な方法や考え方を述べた。また、理解を促進するための技術的解説や参考情報、事例、統計的な根拠等は31項目の「補足資料」として後半に別途まとめた。

本ガイドが個人ばく露測定の普及、ひいては国内の労働衛生管理の一層の向上のために少しでも役立てれば幸甚である。本ガイドをお読みいただく皆様には、趣旨、内容を是非ご理解いただくとともに、積極的に活用していただくようお願いしたい。

最後に、委員会に任意で参加いただき貴重な助言を頂いた麻布大学名誉教授、中明賢二先生と、十文字学園女子大学教授、田中茂先生にお礼を申し上げます。

平成 27 年 1 月

日本産業衛生学会 産業衛生技術部会
個人ばく露測定に関する委員会
委員長 橋本晴男
東燃ゼネラル石油株式会社
産業衛生部長

【要旨】

本「化学物質の個人ばく露測定のガイドライン（産業衛生技術部会）」（以下、「本ガイド」）は、日本産業衛生学会産業衛生技術部会の「個人ばく露測定に関する委員会」が、個人ばく露測定の手引きとして作成したもので、同委員会の活動をまとめた報告書に相当する。

近年のリスクアセスメントにおける個人ばく露測定的重要性の高まり、および行政における個人サンプラーを用いた測定の導入の準備等の動きを背景に、産業衛生技術部会は2012年11月に「個人ばく露測定に関する委員会（以下、委員会）」を組織し、2014年2月までに会議を10回開催した。委員会の目的は、個人ばく露測定に関する実践的なガイドラインを作成し、日本産業衛生学会会員と社会に対して提案することであった。

本ガイドの個人ばく露測定の範囲は、一般的なリスクアセスメント・マネジメントの対象となる全ての化学物質と全ての作業場であり、法制度上の規定や方法に関わるものではない。本文中では個人ばく露測定の基本的な方法と考え方を提示し、また技術的な解説、統計的な根拠、実作業場での事例等を30余項の「補足資料」として後半にまとめ、理解の促進を図っている。

本ガイドでは、個人ばく露測定を、狭義の「測定」ではなく、「ばく露の評価と管理」を進める総合的なプロ

セスとして大局的に認識し、その段階的な進め方を、作業場の事前調査からフォローアップ（対策の実施や再評価・測定）までの9つのステップとしている。これは大きくは、「事前調査」、「（狭義の）測定」、「リスク低減措置」の3つの段階となる。プロセス全体を包括的に監督し実施する者を「統括管理者」、補助者として測定の実務を行う者を「測定担当者」と定義する。

事前調査は作業場の全般状況の把握、評価対象とする化学物質と作業者の選定、ばく露の推定などから成り、重要な位置づけにある。ほぼ同等のばく露を受ける作業者群を「同等ばく露グループ」として設定し評価・測定の対象とする。

事前調査の結果に基づき、原則として測定に進むが、状況により測定を行わない選択肢もある。測定のサンプル数は基本は5点以上、測定時間は1シフト測定の場合8時間が原則だが、状況によりサンプル数や時間の削減が可能である。被測定者は同等ばく露グループ内からランダムに選び、ばく露の日間変動や作業者変動について測定後に数値調整するようなことは行わない。また、必要に応じて、短時間（基本は15分間）の測定を並行して行う。

測定結果から統計的な指標値（算術平均値と分布の95パーセンタイル値）を算出し、ばく露限界値と比較してばく露の区分（管理区分）を評価する。管理区分は、状況が良い方から「1A、1B、1C、2A、2B、3」の6区分である。管理区分「1A、1B、1C」は作業環境測定の第1管理区分、「2A、2B」は第2管理区分、「3」は第3管理区分に相当する。管理区分2Bと3では「対策を行う」、管理区分2Aでは「更なるばく露低減措置に努める」とし、法定の作業環境測定よりも厳しい管理とした。第1管理区分相当を1A、1B、1Cと細分化したのは、その結果を再評価・測定の頻度などに合理的に反映するためである。ばく露限界値はACGIH-TLVまたは日本産業衛生学会の許容濃度の低い方を用いる。

評価の結果に基づき、統括管理者は必要なリスク低減措置を作業場の管理者に勧告する。その優先順位は、作業環境管理、作業管理、次いで健康管理（適宜）である。

一定期間後に作業場の「再評価（作業場の再調査）」および「再測定」を行う。これらの基本の頻度は、再評価は6月～2年、再測定は6月～3年であり管理区分が良いほど長い。更に状況により、再評価だけで再測定をしないこと、頻度を一定期間まで更に長くすることも可能である。また、作業場に何らかの変更があった場合、統括管理者がその都度再評価を行う仕組み（変更管理）を導入し、再評価・測定の間隔を延ばした場合の安全を担保している。

本ガイドによる個人ばく露測定には多くの特徴がある。作業者の呼吸域の気中濃度をばく露限界値と比較し

て健康リスクが直接評価できることは最大の長所である。また、作業の多様性（近接、移動、間欠作業など）に適応しやすいこと、簡易測定法（検知管やリアルタイムモニター）を事前調査に機動的に活用できること、作業場の状況に応じ測定の有無、その内容（サンプル数、測定時間など）、再評価・測定の頻度等を統括管理者が判断し選択できることなどの長所がある。この結果、総合的に見て、リスクに応じた合理的な管理が可能な仕組みとなっている。なお、統括管理者には専門的な知識と判断力のための十分な教育と、裁量・判断を適切に行うための職業倫理の遵守が必要となる。

以上の仕組みにおいては、統括管理者は裁量・判断と創意工夫により管理を合理的に進めることができるため、自らの技術を高めるインセンティブが生ずる。事業主には、作業場の管理レベルの改善により評価・測定の負荷が減るため、統括管理者を育成、活用しリスクを自主的、主体的に管理するインセンティブとなる。これらのインセンティブにより、統括管理者の教育の仕組み、大学、大学院レベルの専門教育課程、資格認定制度、良好事例や高リスク事例の共有のための学会活動等が活発になり、その結果として、欧米諸国に存在するような技術専門職群（オキュペイショナルハイジニスト）が社会的な機能として確立されていく可能性がある。事業主にとっては、「法令で定められたことのみを行う」という受け身の姿勢から、「リスクを自ら管理する」という自律的な姿勢の醸成に繋がると考えられる。

本ガイドによる個人ばく露測定は「専門家を中心として作業場のリスクアセスメント、マネジメントを合理的に進めるための基本的な方法」に相当する。この手法を実践し広めることは、国全体の労働衛生の枠組を変革し管理全般を総合的に強化できる可能性を秘めていると考えられる。

本ガイドが今後、個人ばく露測定の理解と普及、ひいては国内の労働衛生管理の一層の向上のために少しでも役立てれば幸甚である。本ガイドをお読みいただく皆様には、是非ご理解と積極的なご利用をお願いしたい。

【用語、略語】

個人ばく露測定：作業者の呼吸域でばく露を測定することに関する行為の全体（調査、計画、測定、評価、対策など）をいう。

リスクアセスメント：

リスクを評価すること。

リスクマネジメント：

（リスクアセスメント結果に基づき）リスク低減措置を行うこと。

作業環境測定：労働安全衛生法第 65 条に基づく作業環

境測定をいう。

同等ばく露グループ：

ほぼ同等のばく露を受けている作業者のグループ。

統括管理者：個人ばく露測定全体を管理する者。

測定担当者：統括管理者の下で測定の実務（測定、分析等）のみを行なう者。

管理区分：個人ばく露測定の結果の評価のために設定したばく露の大きさに関する区分。

変更管理：作業場や作業に変更があった場合、それによる影響に関してリスクアセスメント、マネジメントを行うこと。

SEG：同等ばく露グループ（Similar Exposure Group）

AM：算術平均値（Arithmetic Mean）

GM：幾何平均値（Geometric Mean）

GSD：幾何標準偏差（Geometric Standard Deviation）

X₉₅：対数正規分布の上側 95 パーセンタイル値

OEL：ばく露限界値（Occupational Exposure Limit）

ACGIH：アメリカ産業衛生専門家会議（American Conference of Governmental Industrial Hygienists）

TLV：閾限界値（Threshold Limited Value）

TWA：時間加重平均値（Time Weighted Average）

STEL：短時間ばく露限界値（Short Term Exposure Limit）

log：底が 10 の対数を示す

ln：底が e の対数を示す

第 1 章 「化学物質の個人ばく露測定のガイドライン（産業衛生技術部会）」の目的と背景

1. 背景と対象範囲

ここ数年、個人ばく露測定に関する議論が国内で盛んになってきている。2006 年に労働安全衛生法改正に伴い、「化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」が出され、危険有害性のある全ての化学物質のリスクアセスメントが努力義務となった。また 2014 年には通知対象物質（640 物質）のリスクアセスメントが義務化されることになった。個人ばく露測定は化学物質の健康リスクアセスメントの最も基本的な手段なので、このような動きの下では個人ばく露測定の重要性が高くなる。2010 年には、厚生労働省による「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」の

報告書において、個人ばく露測定（個人サンプラーを用いた測定）の導入が提言された。また、2013 年からの第 12 次労働災害防止計画においても「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」が定められた。更に、厚生労働省は 2010 年度から 4 年間にわたり、個人ばく露測定に関する検討を中央労働災害防止協会に委託して進めた。この一環として、個人ばく露測定を行うための基本要素を盛り込んだ手引書が作成され、それに基づく講習会が全国各地で複数回開催された。

このように現在は、そう遠くない将来のうちに個人ばく露測定が正式に法制度の中に取り込まれる可能性がある状況にある。これを踏まえ、日本産業衛生学会産業衛生技術部会が「個人ばく露に関する委員会（以下、委員会）」を組織し、そこで検討した結果を取りまとめたものが「化学物質の個人ばく露測定のガイドライン（産業衛生技術部会）（以下、本ガイド）」である。

本ガイドにおいて個人ばく露測定の対象とする範囲は、全ての化学物質と全ての作業場である。即ち、法定の作業環境測定の対象となっている物質やそれら物質を取り扱う屋内の作業場を範囲に含むと共に、それ以外の全ての物質と、屋外作業場を含む全ての作業場を対象範囲としている。また、法制度上の規定や方法は対象としておらず、任意の化学物質に関し、一般的なリスクアセスメント・マネジメントの一手段として個人ばく露測定を行なう位置付けである。

2. 個人ばく露測定の背景

2-1 国内外の既存の方法

欧米では、個人ばく露測定とその結果の評価がリスクアセスメントの基本的な手段と位置づけられているため、化学物質のばく露評価法については多くの提案がなされている¹⁾。それらの中で、基本的なものの 1 つが、1977 年に米国 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH 労働安全衛生研究所) が提案したものである²⁾。1991 年には American Industrial Hygiene Association (AIHA 米国産業衛生協会) がばく露評価法を制定し、その後 1998 年および 2006 年に改訂している³⁾。また 1995 年には Comité Européen de Normalisation (CEN 欧州規格委員会) は作業場における化学物質のばく露評価法を欧州規格として制定している⁴⁾。さらに 2011 年には British Occupational Hygiene Society (BOHS 英国労働衛生学会) と Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiene (NVvA オランダ労働衛生学会) が共同で新しい評価法を公表している⁵⁾。（補足資料 1 参照）

わが国では、作業環境濃度の定期測定が法的に定められているため、個人ばく露測定とその評価法の検討

はあまりなされてこなかった。このため、比較的最近になって、いくつかの評価法が提案されるようになった¹⁾。2005 年に、厚生労働省が「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（平成 17 年 3 月 31 日、基発第 0331017 号）」を制定した⁶⁾。また 2005 年には、日本産業衛生学会の作業環境測定検討委員会が、個人ばく露濃度評価も含めた気中濃度測定・評価法を提案している⁷⁾。（補足資料 2 参照）

2-2 個人ばく露測定の一般的な特徴

安全や環境に関するリスクアセスメントを行う場合、一般にリスクを「ハザード（事故）の重大性」と「事故の発生確率」の積で表わし、各々の要因を評価してリスクを見積る。化学物質の健康影響に関するリスクアセスメントの場合には、これらに対応した要因として、「（化学物質の）有害性の大きさ」と「ばく露量」を評価し、これらを組み合わせてリスクを見積もることになる。ここで、「有害性の大きさ」として健康に関する安全性の指標値である「ばく露限界値」を用い、「ばく露量」として作業者の呼吸域で環境空気を測定する個人ばく露測定の結果を用いることは、最も代表的で基本的な方法とされている^{8,9)}。ばく露限界値は、その濃度までの環境下であれば 1 日 8 時間、週 5 日、長い年月にわたりばく露されてもほとんどすべての労働者に健康影響を生じない値（ACGIH-TLV-TWA の定義）であり、疫学的または毒性学的な根拠に基づき設定されている。このばく露限界値と比較されるべき値は個人ばく露測定の結果（呼吸域の気中濃度）である。従って、個人ばく露測定は作業者のリスクを直接、正しく評価できる方法であり、健康のリスクアセスメントには不可欠の手段である。このような背景から、個人ばく露測定は欧米で従来から広く用いられてきており、ばく露量の評価法としてグローバルスタンダードとなっている。なお、生物学的モニタリングの結果を生物学的ばく露指標と比較することも健康リスクアセスメントのもう一つの基本的な方法であるが、生物学的ばく露指標が定められている物質の数が少ないためその利用には制約がある。

一方、わが国では作業環境測定が法令で定められているため、作業場の測定としては場の測定が専ら用いられ、個人ばく露測定はあまり普及していなかった。法定の作業環境測定が国内の作業場の環境向上に果たした役割については異論がないが、場の測定は本来、発生源の探知や設備の有効性の確認のための測定であり、また欧米では事実上、個人ばく露測定を行うべきケースでの簡易的な代替手法として使われることが多く、個人ばく露測定に比較して利用される機会が少ない。また、法定の作業環境測定では、サンプル数やサンプリング時間など測定の方法が詳細に規定されていることから、わが国で

は「測定」というと、定められた方法に従って粛々と行なうもの、という意識が強い傾向もあるかもしれない。

個人ばく露測定では、作業者の呼吸域で連続的に測定することから、作業者の動きや作業の多様性（移動、間欠、複数作業等）に対応しやすい。また、測定対象物質が原則としてばく露限界値を持つ物質全て（約 1,000 種類弱）と多く、対象とする作業場に関しても格別の制約がない。またリスクや状況に応じて、測定を行うかどうか、測定の方法（サンプル数、測定時間など）、再測定までの間隔などについて幅広く裁量・判断を行い合理的にリスクアセスメントとマネジメントを進めることができる。即ち、作業環境測定の場合とその進め方や考え方が大きく異なる。また、このために一定程度熟練した専門家が測定の全体を統括し、随時判断しながら進める必要があり、そのような専門家は海外ではオキュペイショナルハイジニスト（米国などではインダストリアルハイジニスト）と呼ばれる。

欧米では米、英、豪など、法令でばく露限界値を設定し、労働者のばく露をその値以下に抑えるよう規定している国が多い。この理由で、事業主がオキュペイショナルハイジニストを使って個人ばく露測定によりばく露を評価し、その結果に応じてリスク低減措置を行うことが行われてきたために、個人ばく露測定が広く利用され発展してきた。

個人ばく露測定と作業環境測定の結果の相関性については従来から様々な検討がなされている。一般的には、個人ばく露測定の測定値のほうが高い結果を与えている。この理由は基本的には、個人ばく露測定では作業者の動きに追従して比較的濃度の高い空気をサンプリングしていることが多いためと推定できる。これに関する詳しい説明を補足資料に示す。（補足資料 3 参照）

ばく露の分布については、個人ばく露測定の場合、作業環境測定の場合と同様に対数正規分布するとされており、国内における過去の多くの測定結果によって裏付けられている¹⁾。また、2-1 項で紹介した欧米のばく露評価法も全てこの考え方によっている。そこで本ガイドにおいてもこの考え方に従うこととする。

引用文献

- 1) 熊谷信二．統計学の基礎から学ぶ作業環境評価・個人ばく露評価．東京：労働科学研究所，2013.
- 2) Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Occupational exposure sampling strategy manual (NIOSH Publication No. 77-173) . Washington, D.C: Government Printing Office, 1977.
- 3) American Industrial Hygiene Association. A strategy for assessing and managing occupational exposures, Bullock WH and Ignacio JS, ed, 3rd ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2006.
- 4) CEN. European Standard EN689:1995. Workplace atmospheres – Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy. Brussels: Comité Européen de Normalisation, 1995.
- 5) British Occupational Hygiene Society, Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne. Testing Compliance with Occupational Exposure Limits for Airborne Substances. [Online]. <http://search.yahoo.co.jp/search?p=Testing+Compliance+with+Occupational+Exposure+Limits+for+Airborne+Substances.&fr=my-top-cm&toggle=1&cop=&ei=UTF-8>
- 6) 日本作業環境測定協会．作業環境測定ガイドブック「0」総論編．東京：日本作業環境測定協会，2010.
- 7) 日本産業衛生学会・作業環境測定検討委員会．作業環境測定検討委員会報告．産業衛生学雑誌 2005; 47: A74-6.
- 8) 労働衛生のしおり，平成 26 年度．東京：中央労働災害防止協会，2014：249-8.
- 9) 桜井治彦．許容濃度等のばく露限界値．小木和孝ほか編．産業安全保健ハンドブック．川崎：労働科学研究所，2013: 560-3.

第 2 章 個人ばく露測定の方法

1. 個人ばく露測定の進め方の概要

1-1 個人ばく露測定の全体像

本ガイドで使用する「個人ばく露測定」という語は、「測定」単独の狭義の意味ではなく、「ばく露の評価と管理」を進める総合的なプロセス（全体像）のことを指す。狭義の「測定」は「個人ばく露測定」全体の中の一部に位置づけられる。

個人ばく露測定の全体のプロセスを図 2.1 に示す。これは、個人ばく露測定の代表的な進め方であり、その全体を「ばく露の評価と管理」または「リスクアセスメントとマネジメント」と言い換えることができる。ここでは作業場の事前調査から始まり、フォローアップ（対策の実施や一定期間後の再評価・測定など）までの 9 つのステップ（単位手順）に分けている。これらは、「事前調査（ステップ 1）」、「狭義の測定（ステップ 2～6）」、「リスク低減措置（ステップ 7～9）」として、大きく 3 つのステージ（段階）に区分することができる。

個人ばく露測定を進めるに当たり、「事前調査」、「測定（狭義）」、「リスク低減措置」の順に進めて行く流れ（図 2.1, フロー A）は一つの基本となる。

ここで、最終的な目的はリスクを適切に管理すること、すなわち「リスク低減措置（ステージ 3）」である。「測定（狭義）」そのものが目的ではない。従って、測定せずにリスクが管理できるのであれば「測定」のステージは省略できる。これが、もう一方の選択肢、「事前調査」から「リスク低減措置」に直接至る流れ（図 2.1,

フロー B) である。即ち、個人ばく露測定は、事前調査の結果次第で「測定（狭義）」がなくても成立する。これが先に述べた、狭義の「測定」は個人ばく露測定の全体の中の一部である、という意味である。

一方で、法定の作業環境測定では原則として必ず測定を行うことになっている。作業環境測定（場の測定）は、広く見れば個人ばく露測定と同様に「リスクアセスメントとマネジメント」の一つの手段であるので、本来、測定前の作業場の調査結果に基づいて必要な場合に測定し（図 2.1, フロー A）、そうでない場合には測定しない（フロー B）、という 2 つの選択肢があってもよい。ところが法令で定められているために原則として必ず測定することになる。このために、第 1 管理区分がずっと続いた場合でも、所定の測定を定期的に繰り返さざるを得ないような状況が起きる（注：後章で述べるように、本ガイドでは特に良好な管理が続いた場合、専門家が適切な頻度で作業場を再調査することで再測定の一部を省略可能としている）。このような背景から、作業環境測定の場合とはもすれば「測定を行う」ことを固定化して考える可能性があるが、個人ばく露測定においては、発想を柔軟にする必要がある。

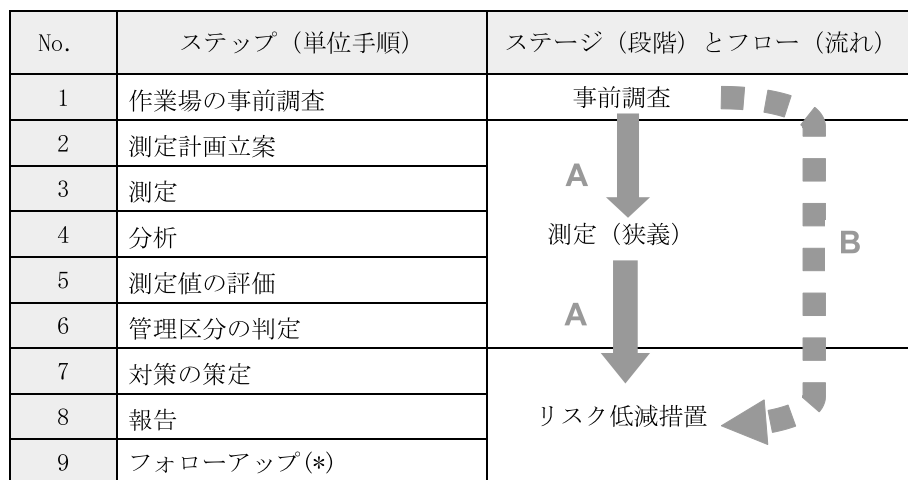
欧米のばく露評価法においても、測定要否の判断

を同様に行う。補足資料 1 で述べたように、NIOSH, AIHA, 欧州規格のいずれのばく露評価法でもまず事前調査を行い、その結果を踏まえて必要な場合に測定を行う進め方となっている。これについては、更に補足資料に整理した。（補足資料 4 参照）

1-2 個人ばく露測定を行う者

個人ばく露測定の全体のプロセス（図 2.1 におけるステップ 1～9）を進めるには、それを包括的に監督する者が必要であり、その者を「統括管理者」と定義する。個人ばく露測定では一般的に、責任者が一人で全ステップを進めて行けるので、通常の場合、統括管理者は全プロセスを自ら実施することも可能である。統括管理者は事前調査を行い、その結果に基づいて測定を計画し、測定結果を判定し、必要なリスク低減措置を作業場側に勧告する。従って、統括管理者には専門的な知識と判断力が求められる。

また、統括管理者の指示・監督の下で、測定の実務（図 2.1, ステップ 3～6）を行う補助者がいても良い。ここではその者を「測定担当者」と呼ぶ。測定担当者には、測定（狭義）、分析、結果の評価に関する専門知識が必要である。



(*) 対策実施、再評価・測定など。

図 2.1. 個人ばく露測定全体のプロセス

表 2.1. 作業場の事前調査の目的（決定すべき重要事項）

順序	決定すべき重要事項	一般的なタイミング
1	評価対象とする化学物質	作業場訪問前、及び訪問時
2	同等ばく露グループ（SEG）	作業場訪問時
3	ばく露の有無とその程度（ばく露推定） （SEG 毎、化学物質毎、8 hr/ 短時間別）	
4	測定の要否	作業場訪問時、または訪問後
5	必要なリスク低減措置の候補案	

なお、統括管理者、測定担当者共に、事業場の内部の者か外部の者かを問わない。

2. 事前調査の目的と方法

2-1 事前調査の概要とその重要性

個人ばく露測定の最初のステップである「事前調査」は、フロー A と B (図 2.1) のどちらに進むかの判断においても、またフロー A における測定計画を立案する上でも非常に重要である。

事前調査の主な目的（決定すべき重要事項）を表 2.1 に整理した。まず始めに、作業場の有害因子（ここでは化学物質）の調査に基づき、評価の対象とする化学物質を決める。次に、評価と管理の対象となる「同等ばく露グループ (SEG)」を設定する。なお、SEG に関しては 3-1 項で詳しく説明する。次いで SEG ごと、及び対象化学物質ごとに、8 時間（1 シフト）におけるばく露の有無、およびその程度を推定する。必要に応じて短時間での作業についても同様に推定する。この結果に基づいて、測定の可否を決定する。更に、管理に関して現状の改善が必要と予想された場合には、後日のために、可能

なりリスク低減措置の候補案を考案しておく。

事前調査は実際の作業場で行うことが基本となる。可能な場合は現地調査前に予備的な文書調査などをしていくと効率的である。

表 2.2 に事前調査の主な方法と調査の内容を整理した。作業環境測定においても作業場の事前調査は重要なので、測定士の多くは事前調査に関して慣れていると思われる。基本的な調査の方法は作業環境測定の場合とほぼ同様であり、作業場を訪問する前の事前の情報の入手、作業場での文書、記録の調査、作業場の管理者からの聞き取り、必要に応じた他の産業衛生専門職（作業環境測定士、衛生管理者、産業医等）からの聞き取り、作業場の観察などから成る。図 2.2 のような記録様式を準備しておくことと事前調査を効果的、効率的に行うことができる。

表 2.2 の調査内容の例は、作業環境測定士にとっては見慣れた事項が多いかもしれない。但し、個人ばく露測定における事前調査では、その調査内容や着眼点が作業環境測定の場合と大きく異なる部分がある。特に「決定すべき重要事項」（表 2.1 の 5 項目）は非常に重要で特

表 2.2. 作業場の事前調査の方法と調査内容（下線は決定すべき重要事項）

方法	調査内容の例 (*1)
情報の事前入手 (文書情報など)	作業場での一般調査内容の一部
作業場での一般調査 (文書、記録など)	事業場・作業場の組織 生産工程 主要取扱い化学物質とその SDS 過去のばく露評価・管理の記録 過去の測定結果（作業環境測定などを含む） 特殊健康診断の記録 過去の事故、苦情等の記録
作業場の管理者からの聞き取り (*2)	評価対象とする化学物質 職場での作業分担 (SEG の設定) 代表的な作業と手順（取扱い物質、頻度、時間等） ばく露の有無、ばく露やその懸念のある作業 過去の事故、苦情等 非定常作業
作業場の観察	工程、取扱い物質、作業状況全般 発生源の状況（取扱い量、温度、囲い等） 有害物質の伝播の状況（全体換気、局排、気流等） 作業方法（作業の変化、移動、近接作業、皮膚吸収、保護具等） 整理整頓（汚染した器具、ウエス、廃棄物等） 作業員へのヒアリング（ばく露の実感、懸念等） ばく露の有無とその程度（有害因子毎、8 時間 / 短時間毎） 測定の可否 ばく露の主な原因（発生源、拡散状況等） 必要なリスク低減措置の候補案（作業環境管理対策を含む）

*1: 代表的な例を示したもので、これらが全てでなく、また必ず行うことでもない。

*2: 必要に応じ、事業場の作業環境測定士、衛生管理者、産業医等からも聞き取りを行う。

徹的な着眼点であるため、次項以下で詳しく説明する。

作業環境測定の場合には測定の対象物質が法令により決まっている。一方、本稿の個人ばく露測定の場合は、評価対象とする化学物質を選別し選択しなければならない。作業場に存在する化学物質は意外に多く、例えば作業員 10 人程度の作業場に、その量や使用頻度はともかくとして数十種類以上の化学物質が存在するようなことは良くある。調査で得た情報をもとに、これら物質の中から有害性とばく露の可能性に応じて評価対象とする物質を選択する。

明らかにばく露がない、または有害性が低い化学物質はこの段階で対象から排除してよい。この例としては、有害性の低い水溶液、沸点の高いオイル類、発じんのない固体、極めて少量の物質、閉鎖系でのみ扱われる物質、などがありうる。こういった初期段階の粗い分別（スクリーニング）においては、状況に応じて簡易的なリスクアセスメント手法（コントロールバンディング）を適宜利用することもできる。ここで排除された物質は、簡単な理由とともに事前調査の記録の一部として残しておく。

ここで残った化学物質（少なくともばく露の「可能性」がある物質）を対象に、更に事前調査（表 2.1 の順序 2 以降の事項）を続ける。

なお作業場での事前調査時の留意事項を更に別途整理した。（補足資料 5 参照）

2-2 ばく露の推定

ここでは、「測定しない（図 2.1, フロー B）」選択肢も念頭に置いて調査を行う観点から、「ばく露の推定」は極めて重要である。

8 時間（1 シフト）のばく露推定を例にとると、ある同等ばく露グループ（SEG）に対し、評価対象の化学物質ごとに（例：取扱う 3 種類の化学物質を対象とするのであれば各物質毎）、まずばく露の有無、およびばく露の程度を推定する。即ち、「SEG－化学物質」の組合せごとに推定する（図 2.2 参照）。なお、呼吸用保護具を使用している場合は、呼吸用保護具が無いと仮定してばく露を評価する。評価の結果は後日、その呼吸用保護具の適切性の判断にも活用する。

次いで、調査の結果、短時間作業でのばく露を評価する必要が生じた場合は、問題があると思われる短時間作業に関しても上記と同様にばく露を推定する。即ち、短時間ばく露に関しては、「SEG－化学物質－短時間作業」の組合せごとにばく露を推定することになる。

ばく露を推定する際は、「ばく露の区分（管理区分）」を事前に定めておき、あるばく露がどの区分に該当するかを推定すると進めやすい。表 2.3 に本ガイドが推奨する「管理区分」を示す。この区分の詳細は、第 2 章 2-3 項と 5-6 項で説明する。

職場： 製造 A 課	聞き取り調査対応者名： ○○
SEG 名： 製品 B 仕上工程	調査日： △△
SEG 構成人数： 8 人	調査者： □□

化学物質	作業・ばく露の状況（8hr）									
	作業内容	取扱量（L）	作業時間（H）	個別作業	作業頻度	保護具	特記事項	ばく露の有無	ばく露の程度	測定要否区分
トルエン										
ホルムアルデヒド										
1,2-ジクロロプロパン										
...										

図 2.2. 作業場調査の記録様式（例、8 時間ばく露用）

ばく露の推定における根拠とその例を表 2.4 に示す。この中で特に重要なものは過去の評価・測定結果である。調査対象とする SEG そのもの、または類似した作業場の過去のデータがある場合、それに基づいた判断の信頼性は一般に比較的高い。当然ではあるが、これらの活用時は、それらのデータと現在の SEG の状況との相関を十分吟味することが前提となる。

簡易測定法は、事前調査におけるばく露推定の非常に有効な手段であり、積極的に活用することを推奨する。簡易測定法の詳細については第 2 章 4-2 項で述べる。ばく露モデリング（シミュレーション）の結果も状況により利用できることがある。また、物質が密閉系で取り扱われているというような「常識的な」判断も活用できる。

ばく露の推定に基づいて判断をする場合には、それぞれの情報の信頼性の程度に応じて、推定の「安全マージン（余裕代）」を確保すべきであり、例えば、「測定条件を簡略化する」「測定をしない」といった判断をする場合には、ばく露の推定結果がばく露限界値より一定程度低い場合に限るなどの考慮を行う。

ばく露を推定した場合、その根拠を簡潔に記録しておくべきである（図 2.2 参照）。ばく露の評価は測定やリスク低減措置の有無に直結する重要な事項であり、評価者には、その能力の範囲においてこれを誠実に履行する責任がある。文書としての記録は、この責任を明確にし、後日必要があった場合にきちんと説明するために役立つ。

当初はばく露を推定することは難しいかもしれない。統括管理者に測定の経験があまり無い場合、または判断に自信が持てない場合は基本的に測定することが勧められる。またこういった場合に、簡易測定をまず行うことは有効であることが多い。作業場でのばく露推定と測定の経験を積むに従い、類似の作業場や作業に関する推定が次第に容易に行えるようになり推定の精度も上がってくる。

表 2.3. 管理区分とその解釈

管理区分	定義		解釈 (判定)
1A	$X_{95} < OEL$ かつ	$X_{95} < (OEL \times 10\%)$	極めて良好
1B		$AM < (OEL \times 10\%)$	十分に良好
1C		$(OEL \times 10\%) \leq AM$	良好
2A	$AM \leq OEL \leq X_{95}$ かつ	$AM \leq (OEL \times 50\%)$	現対策の有効性を精査. 更なるばく露低減に努める
2B		$(OEL \times 50\%) < AM$	リスク低減措置を行う
3	$OEL < AM$		リスク低減措置を速やかに行う

(OEL : ばく露限界値. AM : 算術平均値. X_{95} : 対数正規分布の 95% 上限値)

表 2.4. ばく露の推定における根拠とその例

根拠	例
過去の評価・測定結果	対象 SEG での過去の結果
代替データ	類似した作業場や SEG の過去の結果 対象 SEG の他の化学物質での結果 場の測定 (作業環境測定など) の結果
簡易測定の結果	検知管 直読機器, リアルタイムモニタリング機器
ばく露モデリング	ばく露シミュレーション
作業場の状況 (経験に基づく判断)	設備 (排気・換気装置) 作業状況 (発生源, 距離, 作業内容など)
常識的な判断	取扱い物質量が極めて小さい 密閉系, またはほぼ密閉系での取扱い

2-3 ばく露の区分 (管理区分)

本ガイドでは, 管理区分を表 2.3 のように計 6 区分とする。

まず, 管理区分を 1, 2, 3 と大きく 3 区分に分ける。この分け方は作業環境測定での管理区分 1, 2, 3 と同じで, 統計的な意味もほぼ同等である。管理区分 3 は明らかに不適切な状態であり, 速やかなリスク低減措置が求められる。管理区分 2 を更に 2 つに分割し, 管理区分 3 に近い管理区分 2B ではばく露低減策を必須としている。管理区分 1 を更に 3 つに分割し, その「良好度」に差を付けている。これは, その良好度合いに応じて再評価・測定頻度などを合理的に選択するためである。管理区分の算出, 各区分の意味, 区分に応じた対応方法等の詳細などについては, 後の 5-6 項で触れる。

ばく露の推定の段階で 6 区分のどれかに当てはめることは, 特に経験が少ない場合に困難かと思われる。この場合は, 3 通りの管理区分 (区分 1, 2, 3) を用いても良く, または「大」「中」「小」「極小」等の区分でも良い。

ばく露の程度がよくわからず推定できない場合 (注: これはばく露が大きすぎず小さすぎず, 即ちグレーゾーンであることが多い) には, 「推定できず」と記録して

おき後に優先的に測定の対象とする。

3. 測定計画の立案

3-1 同等ばく露グループの設定

本ガイドでは, ばく露評価や測定の対象を「同等ばく露グループ (SEG)」とする。SEG はばく露がほぼ等しいと推定される者の集団である。職場の作業者をグループ化して SEG とし, そのばく露の全体的な状況 (ばく露の平均値や分布) を評価し, その結果に基づき SEG 毎に必要な対策を行う。

基本的には, 職場の組織構成に従い, 類似の作業を行っている作業員 (ほぼ同等のばく露を受けていると想定される者) を層別化して SEG とする。この層別化の概念はややわかりにくいかもしれないが, 作業場の作業員全員のばく露を一人一人評価するケースを出発点とし, それでは余りに手間がかかりすぎるので, ばく露がほぼ同等の作業員をグループ化すると考えてよい。

同じ職場の同じ職位の作業員であっても, 実際に異なる作業を行っている場合があるので, 職場の管理者から十分に作業の実情を聞き取る必要がある。SEG の大きさ (構成人数) は一般には 3 人～数人程度が多いと思わ

表 2.5. 推定された管理区分に応じた測定の要否と優先順

管理区分	測定の要否, 優先順
1A	優先順更に低. 測定をしない場合もある
1B	優先順低. 測定をしない場合もある (根拠の信頼性が高い場合に限る)
1C	測定 (優先順中)
2A	測定 (優先順高)
2B	測定 (優先順高). または対策を行う
3	即刻対策を行う. または測定して確認 (優先順高) (保護具で当座の対応を行った場合など)

れるが, 1～2 人の SEG もあれば, 数十人などの大きな SEG もあり得る. また作業場管理者や事務スタッフなどばく露をほとんど受けない作業者を, 職場組織 (例: 課) の単位などでまとめ 1 つの SEG としておくことも良い (この場合, この SEG のばく露を「極小」として以降の測定は行わないことが可能である). このようにすると, ある職場でのばく露評価が進んだ時に, 結果として全ての労働者がもれなくばく露評価の対象となる.

一旦 SEG を設定した後に, 必要に応じて SEG を再設定 (細分化, 再構成など) することがある. 典型的には, ばく露測定を行った結果, 得られた幾何標準偏差値 (*GSD*) が過剰に大きく, その原因が SEG の不適切な設定, 即ち本来ばく露が異なる SEG が一緒になっていることに起因する場合がある. このような場合, 判断基準を *GSD* 値で「3.0」とし, *GSD* がこの値を超えた場合は SEG の妥当性を確認することが勧められる (必ずしも SEG を再設定するという意味ではない).

実際の事業場における SEG の設定, および SEG 当たりの作業人数の事例を補足資料 6 に示す. この例では SEG 当たりの構成員数は 1～5 名程度が多い. (補足資料 6 参照)

なお, 本稿では SEG 単位でばく露評価を行うこととするが, 個人ばく露測定の方法の中にはこの他に, 作業場の最大ばく露者を選んで測定する方法がある. この方法に関しては, 参考までに補足資料で解説する. (補足資料 7 参照)

3.2 測定の要否と優先順の判断

事前調査の結果に基づいて測定の要否と優先順を判断する. 統括管理者に測定の経験があまり無い場合, またはばく露の推定結果に自信が持てない場合などは基本的に測定することが勧められる. 推定されたばく露の管理区分に応じた測定の要否や優先順の考え方を表 2.5 に示す.

実際の作業現場において「測定をしない」判断をするケースは主に, 推定された「ばく露が高い場合」と, 同じく「低い場合」の 2 通りがある.

「ばく露が高い場合」とは, 管理区分 3 または 2B のばく露レベルが相当する (表 2.3, 2.5). 推定されたばく露が高い場合で測定をしないと判断するケースを表 2.6 に示す. ばく露が高く, かつ比較的容易に改善可能な対策があった場合, 統括管理者は直ぐに測定するのではなく, まず作業場の管理者に対策を勧告し, 迅速に, 可能であればその場で即座に改善を行うことは重要な選択肢の一つである. 仕切り板を設ける, 発散源に蓋をする, 作業位置を風上側に変更する, 等の例が考えられる. 測定にはコストが掛かり, また特に (真の) ばく露がばく露限界値に近い場合には, 両者の大小を統計的に証明するために必要なサンプル数は非常に多くなる. 従って, 「ばく露限界値を超えていないことを証明するための測定に費用を掛けるより, ばく露低減に金を使う方が合理的」という考え方が欧米で知られている¹⁾. 容易な対策はすぐに行い, その後に確認のための測定をする方が合理的である.

更には, 極めてばく露が大きく緊急の対応を要する場合があり得る (表 2.6). 例えば, 目視で粉じんの発生が極めて大きいようなケースである. ばく露が明らかに大きいのに, その状況を放置して測定を行うようなことは, 倫理的に許されない. 繰り返すが, 個人ばく露測定の目的はリスクの抑制であって, あるがままの状態 (ばく露がある悪い状況) を測定すること自体が目的ではない.

以上のように対策を行なった場合は, 措置の後に改めてばく露を評価する. また, ばく露が大きいと推定されるが早急なリスク低減措置ができず, かつ測定を行う場合, 暫定的措置として呼吸用保護具を使用して対処することもある.

「ばく露が低い場合」とは, 管理区分 1C, 1B, 1A のばく露レベルが相当する (表 2.3, 2.5). ばく露がこのレベルと推定された場合, 測定の優先順は 1C, 1B, 1A の順に低くなる.

「ばく露が高くも低くもない場合」は管理区分 2A 程度に相当し, いわば「グレーゾーン」の状況である. この場合は測定の優先順は高い. 実際のばく露が 2B 以上 (リ

表 2.6. ばく露が高い場合に「測定しない」判断をするケースとその例 (*)

状況・場合		例
容易な対策によりばく露が低減できる	作業環境管理対策	開放されている発散源に蓋をする 簡単な仕切り板、カーテンなどを設ける 有機溶剤類の容器（発散源）をドラフトチャンバー内に移す
	作業管理対策	作業位置を風上側に変更する 汚染した器具、ウエス、廃棄物等を片づける
極めてばく露が大きく緊急の対策を要する		粉じんの濃度が目視で明らかに大きい 臭気が非常に強い 閉所で大量の蒸気の放散がある

* 一般的には、対応を取った後にばく露を再評価し、必要に応じ測定する。

スク低減措置を要する）の可能性があり、それが不明確な状況だからである。

実際の作業場でのばく露評価における測定要否の判断結果の事例を補足資料 8 に示す。この事例では全ての評価（管理区分の判定）件数のうち 9 割以上が推定によるものとなっており、測定を行うことは必ずしも多くなく、ばく露の推定が重要な手段であることがわかる。（補足資料 8 参照）

3-3 サンプル数

ある同等ばく露グループに関して、8 時間（1 シフト）の測定を行う場合の適切なサンプル数については様々な説があり、統計的な正確性を求めるとその数は相当多くなる。本ガイドでは、サンプル数は 5 点またはそれ以上を推奨する。欧米の個人ばく露測定方法では、推奨される最小のサンプル数は 5～6 点が多い^{2,5)}。

一方で、実際の作業場で測定されるサンプルの数は比較的小さい。補足資料に示すある事業場の事例では、サンプル数が 4 以下の測定が全体の 4 割強を占めている。これは、サンプル数が少なくとも、判断が可能なケースが多いことを示す。（補足資料 9 参照）

例えば、事前調査に基づいてばく露が小さいと予想し、その確認のために 5 点未満の少ないサンプル数で測定するケースがある。この場合、測定結果の精度は劣るが、ばく露が十分小さいのであれば大きな問題はない。逆に、ばく露を慎重に判断する場合、例えば推定したばく露が管理区分 2A 程度（グレーゾーン）であったり、評価結果によって多額の設備投資が必要となる場合などでは、サンプル数を最低 5 点は確保し、場合によってはそれよりも増やして正確な評価を行うことがある。このように、基準のサンプル数に必要以上にこだわらず、状況によって柔軟に判断し人的・金銭的資源を有効に使うことは、統括管理者が常に意識すべきことである。

なお、今でも時折引用される米 NIOSH のばく露測定方法では、非常に多くのサンプル数を要求しており現実的でない。（補足資料 10 参照）

短時間の測定を行う場合のサンプル数については、基本的には 8 時間測定と同様に考えられ、本ガイドではサンプル数 5 点以上を推奨する。但し、実際に測定されるサンプルの数は一般に 8 時間の場合より更に小さいようである。補足資料に示す実際の事例では、サンプル数が 4 以下の測定が全体の約 9 割を占めている。（補足資料 9 参照）

なお、サンプル数が 5 点未満でも、サンプル数が 5 点以上の場合と同様にばく露の評価（管理区分の判定）を行えるようにしている。これについては、5-2 項で述べる。

3-4 測定時間の設定（8 時間測定）

8 時間（1 シフト）の測定を計画する場合、作業を行う（ばく露を受ける）時間の全てを測定することが原則である。これは、事前調査では 1 日内の作業の変化などが十分把握できない可能性があるためで、特に、その同等ばく露グループに対する初回の測定では、8 時間（またはできるだけ近い時間）とすることが望ましい。また、1 日内の作業内容に時間的な変化がある事がわかっている場合も同様である。

一方、測定時間を 8 時間よりも短くすることが可能な場合がある。次の 3 通りの状況に応じ、対応することができる。

① 作業（ばく露）時間が限定されており、それ以外のばく露が無い（または極めて小さい）ことが事前調査で十分確認されている場合、作業の時間帯だけを測定し、それ以外のばく露はゼロと見なすことで良い。

② 作業（ばく露）が長時間あり、その時間における工程や作業内容が「同一」で、時間的変動が小さいことが事前調査で「十分確認されている場合」、作業時間（例：8 時間）より短い時間を測定し、測定していない時間帯のばく露は測定した時間帯と同じとしてよい。この場合の測定時間は長いほど好ましいが、可能であれば 4 時間以上、少なくとも原則 2 時間を推奨する。

③ 作業（ばく露）が長時間あり、その時間における作業内容が「ほぼ同一」だが、時間的変動が小さいと判

断できない, または「十分確認されていない場合」, 測定時間は長いほど好ましいが, その最小の測定時間は前記と同様, 可能であれば4時間以上, 少なくとも2時間を推奨する。

上記③の場合, 測定時間が短いほど結果の信頼性が落ちることに留意すべきで, 特に結果の判定が「グレーゾーン」(管理区分2A程度)の時に, 注意が必要である。具体的には, 例えば短時間測定し(例:2時間), その結果が管理区分2B(ばく露低減策を行う)に近い2A(ばく露低減策に努める)であったとする。この場合, 結果の信頼性が高くないので, 真の管理区分は2Bである可能性がある。従って, この場合には次のような対応を取ることができる。

- (ア) 時間を長くして追加の測定を行う。
- (イ) 安全を見て管理区分を「2B」とする
- (ウ) 測定値(生の値)に一定の係数を掛けて, 安全側に評価する。測定値が2~4時間の範囲であれば, 係数として「2.0倍」とする考え方がある。これについては補足資料で詳しく説明する。(補足資料11参照)

また一方, 短い時間で測定した結果, ばく露が小さい場合(管理区分1A, 1B), または大きい場合(管理区分3)であれば, 少々結果の信頼性が落ちてても判断の不確実性に伴うリスクが小さいとの考察が可能で, 結果をそのまま利用することもできる。

なお, 上記②③で最小測定時間を原則2時間としたが, これを適用するには, 作業時間を通して作業状況が「同一」または「ほぼ同一」であるとの事前調査結果が大前提であることを強調しておく。また(ウ)の方法(係数を掛ける)に常時機械的に従うことは避け, 統括管理者の判断により, 状況に応じ合理的な対応を柔軟に取ることが望ましい。

また, 事前に計画する測定時間は, 事前に推定したばく露の程度(管理区分)とも関係する。例えば事前調査で, ばく露が十分小さいと推定した場合(管理区分1A, 1Bなど)は, 短時間の測定でも目的が達成される可能性が高い。一方, これより大きいばく露(管理区分1C, 2A, 2Bなど)が推定される場合には, 精度を高めるために長めの測定時間を確保するという考え方がとれる。

作業時間が8時間を超える場合には, 8時間を超えたその作業時間(例:10時間)を測定することが原則である。この場合, 評価の基準値には8時間ばく露限界値を換算して用いるが, その方法については5.4項で後述する。また, 測定時間を短縮する場合(例:10時間より短くする)の考え方の原則は, 8時間測定の場合と同様(本項で述べた通り)とする。

作業場における現実的な問題として, 昼休みのような休憩時間や作業途中での事務作業のように, 8時間作業

の途中でばく露のない時間帯があった場合に, サンプリングを続ける(サンプラーを外す)かどうかという問題がある。この場合, 特にサンプラーを外す必要はないが, 休憩の邪魔になったり, 破損や汚染などの恐れがある場合は適宜外す。アクティブサンプラーの場合は, 一般に外すことが多い。外した時間帯の取扱いについては5.1項で述べる。

3-5 測定時間の設定(短時間測定)

短時間のばく露測定(ばく露評価)は急性の健康影響の防止を主目的に行われるもので, 8時間の測定と同様に重要である。短時間の測定を計画するケースは主に次の3つがある。

- ① 測定前の事前調査で, ばく露が大きいと予想される短時間作業が見出されたケース。短時間の測定を8時間測定と並行して行う場合と, 短時間測定だけを行う場合がある。
- ② 8時間の測定結果でばく露が大きく, その原因として短時間の特定の作業が疑われるケース。
- ③ 8時間の測定結果ではばく露が小さいが, その後の調査で短時間作業での高ばく露が疑われるケース。

上記①のように, 8時間測定は必ず行わなければならないということはない。例えば8時間の中の主な作業(ばく露)が特定の短時間であったり, 同じ短時間作業の繰返しである場合, その短時間のみを測定し, 8時間測定は省略することが可能である。一般的な事業場における個人ばく露測定を考えると, 評価を開始した当初はまず8時間の測定, および初期の調査で見出された代表的な短時間作業が主な測定対象となるであろう(ケース①)。しかし年月が経ち評価・測定・対策が進むにつれ, 8時間の測定は少なくなり, ケース③のような短時間作業に関する測定が多くなる傾向がある。短時間の作業は数が多く頻度もまちまちなので, 初期の調査では見落とされ, 現場調査を繰返すことで新たに見出されることが多い。

短時間測定の測定時間は, その結果を短時間ばく露限界値(TLV-STEL等)と比較することを念頭に設定する。TLV-STELの定義は, 「超えてはならない15分間時間加重平均ばく露濃度」である。そこで, (短時間の)作業中における最大の「15分間時間加重平均ばく露濃度」を把握することを目的に測定を行う。従って, 作業時間が15分以下であれば作業時間の全体を, 15分を超える場合は, その作業の中で最もばく露が高いと推定される15分間の作業を測定する。

作業時間が15分を超える場合でばく露が最大の時間帯が推定できない時, または作業中のばく露がほぼ一定と考えられる時は, 作業の全体(例:30分の作業であれば30分間)を測定することも選択肢となる。この場

合、得られた時間平均濃度（この例では 30 分間の平均濃度）を、作業時間内における 15 分時間加重平均値の最大値と見なし、短時間ばく露限界値（STEL）を基準値として評価を行う。このようにする理由は、得られた測定データからは測定時間内のばく露の変動に関して知るべきがないためである。

天井値（TLV-C または日本産業衛生学会最大許容濃度）を持つ物質について短時間の測定を行う場合は、ばく露がピークと考えられる時間帯における数分間程度以上の時間を測定する。ここで、例えばデータロガー付きのリアルタイムモニターで測定すると、最大瞬時値（瞬時的な最大ばく露）を測定することができる。この瞬時値を天井値と比較することは一般に行わない。天井値はこのようなリアルタイムモニターのない時代から設定されているもので、最大瞬時値との比較は想定されておらず、一般に 1 分間程度などの短時間での測定はされていない。TLV-C については、ごく短時間のばく露で強い刺激性がある物質を除き、15 分間の測定でも良いとされている⁶⁾。また日本産業衛生学会が定める最大許容濃度では「最大ばく露濃度を含むと考えられる 5 分程度までの短時間」の測定としている⁷⁾。

3-6 被測定者の選定

被測定者は同等ばく露グループ（SEG）に属するある日の勤務者の中からランダムに選ぶ。この際、監督者や被測定者に当日の作業予定を確認し、非定型的な仕事をする予定者は測定対象としない。測定日数の選び方（1 日測定か複数日か）に関する特別の制約を設けない。作業者の選び方（何人以上測定する等）に関しても制約は設けないが、推奨するサンプル数が計 5 点以上であることと対応させて 5 人以上を推奨する。

例えば、以下のような判断が考えられる。予測された管理区分が 2A あるいは 2B の場合は、SEG が 5 人以上なら原則 5 人以上とし、SEG が 5 人未満ならば全員を測定する。一方、管理区分 1 あるいは 3 の場合は、少数の測定でも適切に判断できる場合がある。また、もしも SEG の中でばく露に差がみられる時は、過小評価を避ける意味で、高めの作業者を選択する。

法定の作業環境測定においては、作業場の環境の日間変動を考慮して、原則 2 日間の測定を求めている。但し実際には運用上の理由から 1 日だけの測定のケースが多い。この場合は、得られた幾何標準偏差に日間変動分に相当する幾何標準偏差（ $\sigma_D=1.95$ 、計算上用いる値は 0.084）を加算して 2 日間測定における幾何標準偏差を推定する。この結果、評価に使用する第一評価値（95 パーセンタイル値）や第二評価値（算術平均値の推定値）は 1 日測定のデータから求めた各相当値より大きくなる。本ガイドでは、このような数値調整を推奨しない。

個人ばく露測定の測定値には日間変動とともに、作業者に関する変動がある。SEG 内の作業者の 8 時間平均ばく露濃度の変動は、次の 3 通りに整理される。

- ① 作業者間変動：長期間のばく露の平均値の作業者間での変動
- ② 日間変動 I：作業環境が日々変動すること起因する変動（作業環境測定でいう日間変動に相当）
- ③ 日間変動 II：作業者自身の作業動作や移動経路の日々の変動に起因する変動

ここで、個人ばく露測定では被測定者と測定日の選び方によって、反映される要因が異なるので、これらを測定値に十分反映できるような測定計画を常に立てることはやや困難である。また、被測定者数が限られた場合や 1 日測定の場合に作業環境測定のような数値調整を行うことが難しい。従って、本ガイドでは、被測定者の選定にあたって作業者や測定日に関して特別の制約を設けず、また、測定が 1 日であったり、1 人を複数回測定した場合などでも数値による調整等を行わないこととする。以上の変動要因に関しては補足資料で詳しく解説する。（補足資料 12 参照）

但し、作業者や測定日による変動があることは事実なので、可能な範囲で異なる日や人について測定することが望ましい。

また、①～③の変動要因が全て拾えていない条件では、その結果の信頼性が下がっていることに留意すべきで、特に結果の判定が「グレーゾーン」（管理区分 2A 程度）の時に注意が必要である。これは先に述べた、8 時間測定で測定時間が短い場合（3-4 項）に酷似しており、変動要因を十分拾った場合には管理区分が変わってくる可能性がある。従って、このような場合は 3-4 項で述べた事と同様な慎重な判断や、必要に応じた追加的な対応を考慮する必要がある。追加で測定を行うことも選択肢に入る。屋外作業では日間変動 I が特に大きくなる傾向があるので更に留意する。

また、変動要因が十分拾えていない条件で測定した場合、ばく露が十分小さい（管理区分 1A, 1B）、または明らかに大きい（管理区分 3）結果であれば、それをそのまま利用できる。一方、事前調査でこれらの中間のばく露（管理区分 1C, 2A, 2B）が推定される場合には、変動要因をできるだけ拾うように測定を計画するという考え方がとれる。これらも 3-4 項と同様である。

なお、海外の個人ばく露測定の方法では本ガイドと同様に、日間や作業者間の変動について、測定後に数値調整することは行われていない^{2-5, 8, 9)}。

3-7 サンプルングの方法と条件の設定

測定対象物質の推定気中濃度とサンプルングの時間とから、分析に必要な試料量が確保できるよう、また捕集

材の破過や再拡散などが起きないように、サンプリングの方法、捕集材の種類およびサンプリング速度などを計画する。対象物質のばく露限界値にもよるが、可能であればばく露限界値の1/10程度の気中濃度まで測定できるようにサンプリング速度や時間を設定することが望ましい。特に短時間の測定でばく露限界値が小さい時はパッシブサンプラー（有機溶剤類に対する代表的なサンプリング速度は30～40 ml/min程度）でなくアクティブサンプラー（同じく200 ml/min以上等）を用いる場合がある。

なお、パッシブサンプラーでは気中物質の吸着剤層への拡散にやや時間がかかるため、一般に数分間以下の短時間の測定には適さない。使用可能な最少時間はサンプラーの形状等により異なるので、各サンプラーの使用説明書を参照する。

4. 測定と分析

4-1 測定と分析の方法

本ガイドでは測定（サンプリング機器、器具や手法）と分析の方法については詳しく扱わないが、ここではその考え方の概要に関して述べる。

個人ばく露測定では、ばく露限界値と比較することになるので、1日（8時間）測定の場合、サンプリング時間は8時間が基本となる。作業環境測定とはサンプリング時間が大きく異なりそれより長いため、作業環境測定ガイドブックの方法がそのまま個人ばく露測定に使用できるとは限らないことに注意が必要である。また、作業者の呼吸域をモニターするので、サンプラーは携帯可能で、できる限り作業の負担にならないことが条件になる。ただし、現実には8時間連続して同じ作業を行わない場合も多いことや、時間を短縮したサンプリングや分割サンプリングもできることから、ばく露評価をする上では8時間を単一のサンプラーで連続測定できることは必ずしも必要条件ではない。以下に述べるマニュアルでは、基本的に8時間測定にはばく露限界値の濃度の物質を含む空気を4時間（240分）以上捕集できるような条件が設定されている。ただし、短時間ばく露限界値（STEL）と比較する場合には基本的に15分間、天井値（C）の測定の場合はもっと短い時間でのサンプリングもあり得るので、測定の種類に応じて最適のサンプリング条件を選択する必要がある。

わが国では、個人ばく露測定は規定されていないため、測定にあたっての公定法やきちんとしたマニュアル等は存在しないが、欧米にはサンプリングおよび分析法のマニュアルがある。米国NIOSH¹⁰⁾はNIOSH Manual of Analytical Method（以下NMAM）を、また、OSHA¹¹⁾はSampling and Analytical Method（以下SAM）を公表しており、それぞれ、約600物質につ

いてのサンプリングおよび分析法がまとめられている。いずれもそれぞれのウェブサイトから無償で閲覧およびダウンロードできる。

NMAMには約600物質が掲載されているが、わが国で管理濃度が設定されている物質のうち、アクリルアミド、アルキル水銀化合物、3,3'-ジクロロ-4,4'-ジアミノジフェニルメタン（MBOCA）、 β -プロピオラクトンについては掲載されていない。ただし、アクリルアミドおよびMBOCAについては、SAMに測定法が記載されている。サンプリング方法は基本的には、わが国の作業環境測定で使用されているろ過捕集方法、固体捕集方法、液体捕集方法が中心であるが、ガス状物質については、小型、軽量で作業者の負担が少ないため、パッシブサンプラーも汎用されている。

また、最近では各種センサーを内蔵したリアルタイムモニター（直読式機器）も市販されている¹²⁾。これらは補助的な測定器として有用であり、詳しくは4-2項を参照されたい。

個人ばく露測定に限らないが、爆発の危険性があるところでは、ポンプは防爆機能が必要になる。パッシブサンプラーは防爆の必要がないので、広く使用することができる。

4-2 簡易測定法とその活用

簡易測定法とは、その場で対象物質の気中濃度を簡易的に測定する方法のことを指す。サンプリング後に分析操作が必要な固体捕集法や直接捕集法に比べると、簡易測定法は結果が短時間に得られる特徴がある。そのために、作業の様子を観察しながら、直接その場で対象物質の空気中濃度を測定することは、前項で述べたばく露の推定に非常に有効な手法である。ただし、その精度や適用限界について理解をしたうえで適切に用いなければならない。

化学物質の簡易測定法の代表例としては、ガス検知管が挙げられる。国内では、作業環境測定にも用いられていることから簡易測定法の主流となっている。ガス検知管を用いる場合、まず、測定精度が低い問題がある。JIS K 0804では目盛範囲の1/3以上で、指示値の±25%、目盛範囲の1/3以下では指示値の±35%と規定されている。また、検知管充填物の化学変化による色変化を見るため、色の境界部分が読み取りにくく、個人差が生じることも誤差要因となる。更に、気中の共存化学物質により指示値が影響を受ける可能性がある。

簡易測定法としては、いわゆる「ガス検知器」のように測定機器から数字を直接読み取るリアルタイムモニター（直読式機器、Direct-Reading Instrumentsとも呼ぶ）もある。これらリアルタイムモニターの長所はガス検知管に比べ、感度が高く、反応が早く、測定時間が短

いことである。データロガー（電子的記録装置）の内蔵により、測定濃度の時間変化を連続記録し後から解析できる機種があり、ばく露がピークとなるタイミングやばく露原因の特定、対策の検討などに非常に有効である。

化学物質の測定では、接触燃焼式（可燃性ガス）、定電位電解式（一酸化炭素、硫化水素等の毒性ガス）など、様々なセンサーを用いたガス検知器が入手可能である。粉じんに関してはレーザー光散乱式相対濃度計などが使用できる。また、光イオン化検知器（Photo Ionization Detector, PID）などの特殊センサーを用いた揮発性有機化合物（VOC）用のリアルタイムモニター（VOC モニターと呼ばれることがある）は、多種の VOC や炭化水素類などの測定に用いられる。これは、作業中のスポット測定はもとより、作業場の巡視時や、有害物質の発生源や拡散状況が不明な場合における空間的なガスの探知に特に有効性を発揮する。

リアルタイムモニターを用いる第一の注意点は、正しい校正である。測定対象物質の標準ガスを用いて校正することで、正確な測定値を求めることができる。他の注意点としては、センサーが経時的に劣化して表示値が変化すること、混合物を分離・定量することができないこと、共存物質の影響があり得ることなどがあり、ばく露濃度の定量に際してはこれらを考慮し慎重に使用する必要がある。

PID センサー等を用いた VOC 測定機器の場合、感度が物質によって大きく異なるため、気中物質が単一である場合には校正ガスに対する補正係数を読み値に掛けることで正確な測定値が求められる。共存物質があった場合は、共存物質の比率を推定してばく露の概略レベルを推定することも状況により可能となる。

本ガイドにおいては、簡易測定法を測定前の「事前調査」の一方法と基本的に位置付けている。但し、リアルタイムモニターを用い、その定量性を確保しかつデータロガーを併用して結果を連続記録する等の場合は、個人サンプラーによる測定と同等以上の正確かつ詳細な測定データを得ることができるので、このような場合に限り「正規の」測定として扱うことができる。

簡易測定法全般に共通する注意点として、まず、簡易測定の目的、即ち調査の対象が短時間の高ばく露なのか定常作業での平均的ばく露なのか等を明確にする必要がある。また、一般に限られた短時間内での測定となるため、ばく露濃度が作業中に大きく変化する環境では、測定するタイミングによって、得られる結果は大きく異なる。従って、適宜複数回の測定を行って精度を上げたり、ばく露の時間的変動を調べることも選択肢となる。以上に加えて、測定中の作業の観察結果などを合わせて、総合的な観点からばく露濃度の推定に役立てるようにする。

簡易測定法を自由に活用できることは個人ばく露測定に

とり重要なツールであり、この結果を他の調査情報と合わせれば、正規の測定をするまでもなく実質的なばく露の評価ができるケースは相当多いと予想される（特にばく露が十分小さい場合等）。特に、大学や企業の研究室では多種多様な化学物質を不定期かつ間欠的に用いる特徴があるので、簡易測定法を機動的に適用することは有効と考えられる。また、個人ばく露測定を開始することが人材面等で困難な中小の事業場では、簡易測定による結果をばく露のスクリーニング評価と解釈することもできる。この場合、その後の詳しい評価を必要に応じ進めるべきではあるが、何もしないよりはるかに価値がある。

4-3 測定中の記録と観察

各被測定者には測定中の簡単な行動記録を書いてもらう。事前に記録用紙を作成しておき測定開始時に手渡し測定後に回収する。この記録の目的は、測定中の非日常的な作業や異常現象（異常なばく露、漏洩、サンプラーの汚染など）の確認であり、被測定者にはそれらがあった場合には必ず記録するように伝えておく。従って、作業内容に関しては大きな流れを記録することで良く、それ以外の事細かな事項を記録する必要はない。

測定を行う者が測定中に作業を観察するかどうかは状況により判断する。長時間（8 時間等）の測定の場合、高ばく露の原因となる一部の作業の特定、発散源の調査、作業者間の差の要因の調査等について、作業中の観察が有効となる場合がある。一般には測定中にずっと観察し続ける必要はない。短時間のばく露測定の場合は、時間的な制約も小さいことから、急性の健康影響をもたらすような一部の高濃度のばく露を見出す等の目的で、測定中の観察が勧められる。

タイムスタディとは、測定中に観察者が作業者の動きを継続的に観察し記録することを指す。個人ばく露測定をタイムスタディに結びつけて発想する人は多いようだが、タイムスタディは非常に手間がかかるため、例えば 8 時間の測定時間中にずっとタイムスタディを行うようなケースは極めて限定される。ばく露測定の観察時に、特に必要な場合にタイムスタディを行う。

現在ではタイムスタディに代わって、データロガー付きリアルタイムモニター（PID 機器や粉じん計等）を使った連続記録を用いることができる（前項を参照）。更に、作業中に撮影したビデオ画像をこの記録と同期させて、作業の変化に伴うばく露の変化を視覚的に捉えることも行われており、ばく露源の同定や教育目的に活用できる。

5. 測定値の評価と判定

5-1 測定値の取扱い方

得られた測定結果についてまず外れ値（他と大きく異

なる高値や低値)の有無を確認する。外れ値があった場合、ばく露測定時の行動記録を見たり、被測定者に測定時の状況を再確認する。測定中にサンプラーを誤って落としたり汚したりした、他の作業者と異なる特別の作業に関わった、予定が変わって作業がなかった、など外れの原因が明白な時にはその値を異常値とし以降の解析には使用しない。このような異常値は時々発生する。一方、原因を特定できない外れ値は暫定的にデータとして用いる。外れ値が、ある作業者特有の行動やクセに起因するケースもあり得るので、状況によりその作業者を再測定して確認することもある。

測定・分析の結果、一部のサンプルの濃度が極めて低く、「定量下限値以下」または「検出せず (ND, またはゼロ)」といった結果が提示されることがある。このような場合に、濃度をゼロとすると、対数正規分布に基づく計算 (X_{95} や GSD) ができない。この場合、一つの目安となる考え方として、次のように取り扱うことができる。例えば固体捕集法の場合であれば、「測定濃度の定量下限値」(単位は濃度で ppm または mg/m^3) は、分析方法によって定まる「分析の定量下限値」(単位は重量で μg 等)と測定条件(サンプリングされた体積)で決まる。測定の結果、この「『測定濃度の定量下限値以下』の濃度となった場合には、この定量下限値を測定値の仮値とし、以降の計算に用いることができる。なお、このような場合に「定量下限値/2」を測定値として扱う等の方法もある¹³⁾。

8時間ばく露限界値を評価の基準値に用いる場合は、異常値を除いた各データ(計 n 個とする)をまず各々8時間の時間加重平均値に換算する。例えば、7時間だけの作業があり、その7時間を測定し平均のばく露濃度が10 ppmであった場合、残りの1時間のばく露はゼロとして8時間値は次のように算出される。

$$10 (\text{ppm}) \times (7/8) = 8.75 (\text{ppm})$$

同等ばく露グループの平均的な作業時間が8時間以下の場合でも、一部の作業者の作業が延び、測定時間が8時間以上となる場合がある。この場合は、便宜的にそのデータだけに関して、ばく露濃度を8時間に「圧縮」して、8時間の時間加重平均値を算出する。例えば、1人だけ作業が9時間に延び、その9時間を測定し平均のばく露濃度が10 ppmであった場合、8時間時間加重平均値は次のようになる。

$$10 (\text{ppm}) \times (9/8) = 11.25 (\text{ppm})$$

昼休みのような休憩時間や作業途中での事務作業のように、8時間の途中でばく露のない時間帯があった場合には、その時間帯でサンプラーを外す、外さないによらず無視してよい。即ち、その時間帯にサンプリングを続けていたと仮定して計算してよい。これは、その時間を測定時間から差し引いても、引かなくても結果に変わり

がないためである。詳しくは補足資料で説明する。(補足資料 13 参照)

平均的な作業時間が8時間を超える場合 (T 時間とする。例: 10 時間) には、測定データを T 時間の時間加重平均値に換算して、統計指標の算出に用いる。また、 T 時間に対応するばく露限界値を設定し評価の基準値に用いる。この方法は 5-4 項で述べる。

5-2 統計指標値の算出

算出された8時間の時間加重平均値(計 n 個)を用いて、次の3つの数値を求める。

- ① 算術平均値 (AM): n 個のデータから直接算出する(算術平均値を算出する通常の方法)。作業環境測定の場合は、得られたデータから幾何平均値および幾何標準偏差を算出し、これら2つの値を基に算術平均値の推定値を計算するが、これとは方法が違うことに注意願いたい。
- ② 対数正規分布の上側 95% 値 (X_{95}): 算出法は作業環境測定の第1評価値の場合と同じである。

$$\log (X_{95}) = \log (GM) + 1.645 \times \log (GSD)$$
(GM : 幾何平均値)
- ③ 幾何標準偏差 (GSD)

測定で得たサンプルの数 (n) が4点以下の場合は、表 2.7 に示す方法で取り扱う。算術平均値については、 $n=2 \sim 4$ の場合はそのデータから算出し、 $n=1$ の場合は測定値をそのまま算術平均値として扱う。対数正規分布の95%値は算術平均値の3倍値とする。この理由は、対数正規分布で「 GSD 」が例えば2~3の場合(実際によくある GSD の範囲)、「 X_{95} / AM 」比が2.5~3.3程度の値となるので、近似値として3倍値を用いるものである。詳しい説明を補足資料に示す。(補足資料 14 参照)

5-3 短時間の測定値の取扱い

短時間の測定値も基本的に8時間(1シフト)測定と同様に取扱う。まずデータ中から異常値を除く。

短時間ばく露限界値(TLV-STEL, 15分間の許容ばく露濃度)を評価の基準値に用いる場合は、測定時間が15分以下の時は、各データを15分間の時間加重平均値に換算する。一方、測定時間が15分を超えた測定値

表 2-7. サンプル数 (n) が4以下の場合の対応

$n =$	算術平均値 (AM)	対数正規分布の上側 95% 値 (X_{95})
1	その値を AM とする	AM の 3 倍値とする ($AM \times 3 = X_{95}$)
2	サンプルデータから そのまま算出する	
3		
4		

は特に換算せずそのまま用いる（この理由は 3-5 項を参照）。

天井値（TLV-C）または日本産業衛生学会の最大許容濃度値を評価の基準値に用いる場合は、測定時間に関わらずデータを換算せずそのまま用いる。

以上のようにして得たデータ（ n 個）を用い、算術平均値（ AM ）、対数正規分布の上側 95% 値（ X_{95} ）、および幾何標準偏差（ GSD ）を 8 時間測定と同様に算出し評価に用いる。

なお、短時間のばく露測定を行った場合で測定時間が相当長いケース（例：稀ではあろうが 1 時間以上等）では、短時間ばく露限界値は超えないが 8 時間ばく露限界値を超える事もあり得る。従って、この場合は、測定値を 8 時間の時間加重平均値にも換算し、8 時間ばく露限界値を基準値とした評価も合わせて行っておく必要がある。

5-4 ばく露限界値（8 時間）

本個人ばく露測定ガイドでは、ばく露限界値の定めがある化学物質をまず主に測定の対象とする。

8 時間の測定結果の評価の基準となるばく露限界値は、日本産業衛生学会の許容濃度と米国産業衛生専門家会議（ACGIH）の TLV-TWA 値の原則として低い方の値を採用する。この考え方は、厚生労働省による「化学物質のリスク評価検討会」でも採用されている考え方である。

日本産業衛生学会値や ACGIH 値がない場合、他の国際的に認知されているばく露限界値、例えば英国の職場ばく露限界値（Workplace Exposure Limit : WEL）、ドイツの最大職場濃度（Maximale Arbeitsplatz-Konzentration : MAK）、米国産業衛生協会（AIHA）の職場環境ばく露レベル¹⁴⁾（Workplace Environmental Exposure Levels : WEELs、約 120 物質）などを参照することができる。

ばく露限界値が設定されていない化学物質の場合は、原則として測定対象とならないが、動物実験などによる毒性学的データ、例えば無毒性量（NOAEL）などがわかっている場合は、それをもとにばく露限界値を推定することが可能な場合がある¹⁵⁾。これに関しては本ガイドではこれ以上取扱わないので、事業主および統括管理者の責任の下に適切な情報源を参照し判断していただきたい。

8 時間を超える作業に関する測定結果については、8 時間ばく露限界値を補正して使用する。この方法を補足資料に示す。（補足資料 15 参照）

混合有機溶剤など、類似の毒性影響を持つ化学物質が複数存在する場合には、それらを合算して換算した濃度を基準値と比較する必要がある。この方法を補足資料に示す。（補足資料 15 参照）

5-5 ばく露限界値（短時間）

短時間の測定結果の評価の基準には、ACGIH の短時間ばく露限度（TLV-STEL）がある物質についてはこれを用いる。TLV-STEL は、「8 時間時間加重平均ばく露濃度がたとえ TLV-TWA 以下であったとしても、超えてはならない 15 分間時間加重平均ばく露濃度」と定義されている。

ACGIH の天井値（TLV-C）または日本産業衛生学会の最大許容濃度値がある物質については、それらの値を評価の基準に用いる。両方の値がある場合は 8 時間値と同様に原則として低い方の値を採用する。TLV-C は「作業によるばく露のいかなる部分においても超えてはならない値」、最大許容濃度は「常時この濃度以下に保つこと」とそれぞれ定義されているが、実用上は共に「最大の瞬時値」を意味していない。これは既に 3-5 項で述べた通りである。

TLV-STEL 値や天井値等がない物質については、原則として 8 時間ばく露限界値の 3 倍値を STEL 相当値として用いることとする。この 3 倍という値は、ばく露濃度の 1 日内での変動の大きさから導かれたもので、その変動を抑えることで高濃度ばく露による健康影響を防止するという考えによる。（補足資料 16 参照）

なお、ACGIH は超過限度値（Excursion Limits）を定めている。超過限度値とは、TLV-TWA 値の 3 倍値と 5 倍値のことで、ACGIH は TLV-STEL 値のない物質についてこれらを用いたばく露の管理を定めている。本ガイドでは、これらの使用は推奨しない。この説明、および TLV-STEL 値に関する追加的な説明を補足資料に示す。（補足資料 17 参照）

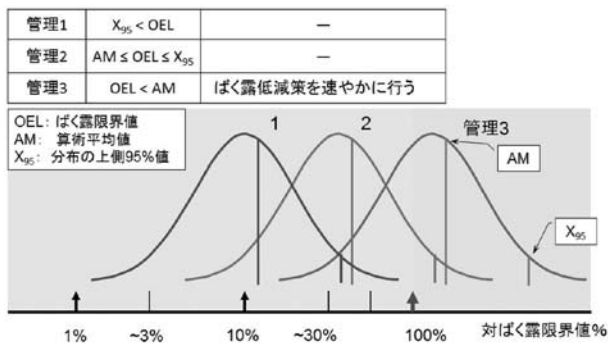
5-6 結果の評価とばく露の区分

測定データから得た算術平均値（ AM ）、対数正規分布の上側 95% 値（ X_{95} ）をばく露限界値（ OEL ）と比較することにより、結果の判定を行う。ここでは、表 2.3 のように管理区分を計 6 区分として結果を判定する。

大きくは、管理区分を 1, 2, 3 と 3 区分に分ける（図 2.3）。管理区分 2 を更に 2 つに分割し、管理区分 2B ではばく露低減策を必須としている（図 2.4）。管理区分 1 を更に 3 つに分割し、その「良好度」に差を付けている（図 2.5）。

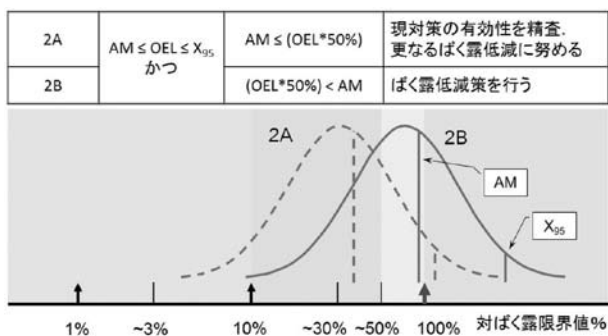
大きな分け方での管理区分 2 の場合、その中の管理区分 3 に近い状態では、作業者の半数近くがばく露限界値を超えている状況となる。この状態は本来好ましくなく、リスク低減措置を行う必要がある。（補足資料 18 参照）

欧米の近年のばく露評価法（AIHA 法、EU 法）においても、「 $OEL \leq X_{95}$ 」の条件を「要対策」としている²⁻³⁾。従って、管理区分 2 を「 OEL の 50%」を境に



(注: AM/X_{95} 比を約3として図示)

図 2.3. 管理区分 1 ~ 3 の定義



(注: AM/X_{95} 比を約3として図示)

図 2.4. 管理区分 2A, 2B の定義

管理区分 2A, 2B と分け、管理区分 2B ではばく露低減策を必須とした (図 2.4)。サンプル数が 5 程度の場合は、その結果の信頼性がそれほど高くなく、また既に述べたように、サンプルの取り方により日間や作業員間の変動要因を拾いきれないことがある。管理区分 2B を設けることは、結果としてそのような信頼性に関わる懸念に対する安全策ともなる。

大きな分け方での管理区分 1 は「 $X_{95} < OEL$ 」が基本の条件となるが、欧米の近年のばく露評価法では、この中を細分化し、厳密に解釈することが多い。例えば AIHA 法では、管理区分 1A と同等の条件を「高度に管理されている (highly controlled)」とし、ほぼ管理区分 1C に相当する条件を「一応管理されている (「uncontrolled」でない)」としている²⁾。ここではこういった考え方を取り入れ、1A ~ 1C と 3 区分した (図 2.5)。以上の 6 区分の分けについての追加的な解説を補足資料に示す。(補足資料 19 参照)

以上の管理区分は、個人ばく露測定計画時などに、統括管理者がリスクに応じた判断を行う時の拠り所として活用できる。例えば、再測定までの間隔を初回測定時の管理区分に応じてきめ細かく変えることができる。これについては 8.3 項で述べる。また、既に述べたよう

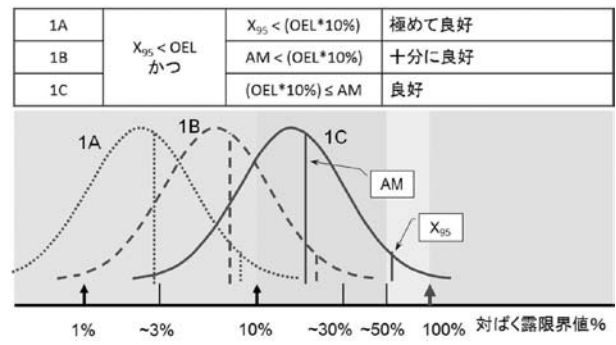


図 2.5. 管理区分 1A, 1B, 1C の定義

に、事前調査でのばく露推定による管理区分が良好な時 (例: 管理区分 1A, 1B, 1C) は、その区分に応じてサンプル数を減らしたり測定を短い時間で行うように計画し、その結果が推定通り良好であった場合はそれで十分、といった進め方がとれる。

6. リスク低減措置

6-1 対策の策定と優先順位

決定された管理区分に応じてリスク低減措置が必要となる。統括管理者は原則として、ばく露評価・測定の結果を作業場の管理者に報告し、対策の策定を勧告する立場にある。一方、勧告を受け対策を策定し実施する責任は作業場の管理者側にある。また、統括管理者は報告、勧告を行うに留まらず、専門家としての知識、経験を生かし、作業場の状況に合致し効果的で合理的な対策案を考案し、それをアドバイスすることで積極的に職場管理者を支援することが望まれる。なお、対策案は、職場管理者および作業員の意見も取り入れて、実現性の高いものを考案することが重要である。また、これを報告書の作成前に行い、報告書に盛り込むことが望ましい。

ばく露防止対策の優先順は作業環境管理、次いで作業管理となる。これに合わせて、健康管理、周知・教育を適宜行う (表 2.8)。また、保護具は「最後の手段」である。この優先順は、労働衛生管理の基本であり、評価や測定の方法 (個人ばく露測定、場の測定、その他) によらない。国内では近年この考え方が広く周知されており¹⁶⁾、また欧米においてもこの概念は長らく確立され浸透している。

時折、「個人ばく露測定を行った場合は作業管理を行う」と言われることがあるが、このような考え方は誤りである。個人ばく露測定の場合であっても優先順は作業環境管理、次いで作業管理で変わらない。(補足資料 20 参照)

6-2 健康管理との関係

リスク低減措置の一つとして、必要に応じて産業医に

表 2.8. リスク低減措置の優先順位

優先順	対策	内容（例、丸数字は優先順）	
1	作業環境管理	① ② ③ ④	有害物質の使用中止、有害性の少ない物質への転換 運転条件の変更、取り扱う化学物質等の形状等の変更 密閉化、遠隔操作、隔離 局所排気装置、全体換気
2	作業管理	① ② ③	作業姿勢、動作、位置等の最適化 汚染器具・用具の管理、作業場の 3S 保護具（注：最後の手段）
3 （適宜実施）	周知・教育	① ② ③	SDS の配備、容器のラベル 有害性、作業方法等に関する教育 マニュアル、手順書
4 （適宜実施）	健康管理	① ②	健康状態の確認、適正配置 緊急時、異常なばく露時の健康状態の確認

よる健康管理を行う（表 2.8）。有機溶剤や特定化学物質等に対する特殊健康診断の進め方は法令で定まっているので、ここではそれ以外の、リスクに基づいて行う健康状態の確認について述べる。

個人ばく露測定は健康リスクの大小を判定するための最も基本的で重要な手段であり、個人ばく露測定によるばく露評価の結果、ばく露が高いと判断された同等ばく露グループ（SEG）に対して健康管理（健康状態の確認、バイオロジカルモニタリング（可能な場合）、継続的監視など）を行うことは、リスクに基づく合理的な進め方と言える。

例えば、初めて個人ばく露測定（8 時間測定）を行った SEG のばく露が大きい（管理区分 2B または 3）ことが判明した場合、SEG に属する作業員全員の健康状態の確認を早急に行うことが勧められる。この場合、並行して恒久的なリスク低減措置を所定の優先順（表 2.8）により進めることも当然必要である。また、8 時間ばく露で管理区分 2B や 3 が継続している SEG に対して定期的な健康状態の確認を行うことも勧められる。本来これらの管理区分では、作業環境管理や作業管理によるばく露低減措置が図られるべきであるが、特別の事情により呼吸用保護具を用いて作業に従事していること等があり得る。この場合、呼吸用保護具の防護係数、装着の有無（必要時に必ず装着しているとは限らない）、装着の適切さ、および使用中の密着性の低下などの影響によりその保護は完全でないため、安全のために健康状態の確認を行うという考え方である。

一方、リスクに基づく合理的な判断に立てば、ばく露が小さい SEG（管理区分 1C ～ 1A など）に対しては積極的な健康管理を行う意義は小さい。

個人ばく露測定と健康管理に関する追加の説明を補足資料に示す。（補足資料 21 参照）

7. 報告

測定の報告は一般には統括管理者から作業場の管理責任者に宛てて文書で行う。内容は測定の目的、方法、測定結果、結果の評価と判定、対策の勧告、対策案の提案などからなる。欧米では特別に定型化して流布している報告書様式のようなものは特にないが、実用上、各企業やコンサルタントが基本の様式を作成することはある。なお、作業環境測定の場合は作業場の見取り図を付けることが多く、これの作成にかなり時間を要すると言われるが、個人ばく露測定の場合は特に必要がない限り付けないで良い。必要に応じて、作業場の写真や配置図の写し等を利用しても良い。要は、実用重視の簡潔な報告書を報告者が考えながら作成することで良い。必要以上の詳細な様式を設定したために、記入に却って時間を要したり、考えることなく機械的に欄を埋めたり、といった事態になることは避けたい。

個人ばく露測定の結果は被測定者個々人にも報告することが推奨される。作業員は自身のばく露の実情を知りたいと考えていることが多く、それを知ることで、作業上のルールを守る、職場の衛生管理に積極的に参加するといった意識の向上や、統括管理者や事業主との信頼関係構築の点で意義がある。ばく露測定のレベルが高かった場合は、その対策を含めて周知、説明する必要がある。

個人ばく露測定の報告に関する追加の説明を補足資料に示す。（補足資料 22 参照）

8. フォローアップ（対策実施、再評価・測定）

8-1 対策の実施、確認と変更管理

対策を実施する責任は作業場の管理責任者にある。計画した対策が必ず実施されるようにするためには、統括管理者が勧告した事項を、安全衛生委員会や労働安全衛生マネジメントシステム（運用されている場合）など事業場の既存の仕組みに組み込んでその課題とし、対策の

表 2.9. 管理区分と再評価・測定の頻度（8 時間ばく露）
（カッコ内は、状況判断により変更可能な範囲を示す）

再評価 / 再測定	管理区分（前回評価）					
	3	2B	2A	1C	1B	1A
再評価	6 月 *	6 月 *	6 月 (6 月～1 年)	6 月 (6 月～2 年)	1 年 (1～3 年)	2 年 (2～3 年)
再測定	6 月 * (6 月～1 年)	6 月 * (6 月～1 年)	6 月 (6 月～2 年)	1 年 (1～3 年)	2 年 (1～3 年)	3 年 (1～5 年)

* リスク低減措置を行うことが優先であり、この頻度で再評価・測定を行うことは特別な場合に限る。本文を参照。

完了まで監視する、といった対応が有効である。統括管理者は、報告書発行後、適切な間隔の後に、作業場に勧奨した対策が実行されているかを適宜確認する。対策が進まない場合は、その督促や支援を行う。

一旦対策が取られた後、作業場に何らかの「変更」があった場合には、その変更に基づいて、必要な対応を行う。これを「変更管理」という。変更管理とは、使用している化学物質の変更、新規物質の導入、設備の改造、工程や手順の変更などがあった場合、その変更に関連するリスク（ここではばく露）を再評価し、必要な対応を行うことをいう。ここで、変更管理に関わる包括的な責任、即ち変更を監視し、変更に伴うリスクアセスメントやマネジメントを行わせ、完了させる責任は作業場の管理者にある（最終的には事業主）。統括管理者は作業場の管理者から変更に関する情報の提供を常に受け、変更があった場合は必要に応じ専門的な見地から随時再評価・測定や対策の追加などを行う。このようにして個人ばく露測定のプロセス（図 2.1, ステップ 1～9）を繰り返すことにより、作業場の管理のレベルアップが図られる。この変更管理により、再評価・測定の間隔を一定とせず延ばした場合（次項参照）でも、安全が担保できる。なお、法定の作業環境測定の場合は、変更管理が積極的に考慮されておらず、このため例外なく定期（6 月毎など）の測定が義務付けられているとの解釈もできる。

なお、「変更管理」の概念は国内でも近年浸透しており、「化学物質による危険性又は有害性等の調査等に関する指針（平成 18 年 3 月 30 日指針第 2 号）」にも、「危険性又は有害性等の調査等」の実施時期の一つとして、「設備、原材料、作業方法、作業手順などの変更時」とされている。

8.2 再評価・測定

個人ばく露測定全体のプロセスを進め、対策の実施までを行った後（図 2.1, ステップ 1～8, およびステップ 9 の前半）、一定の期間において統括管理者が作業場を再度評価して、ばく露状況に変化はないか、対策が有効に維持されているか等を確認する。

ここで、「再評価」と「再測定」を分けて捉える。再評価とは、統括管理者が作業場を観察し、管理者にヒアリングして、SEG のばく露を再推定し、前回の評価・測定結果と比較することをいう。この観察やヒアリングの行為は（初回の）「作業場の事前調査」に類似している。また、再測定とは、必要と判断された場合に再度測定することをいう。まず再評価し、その結果を踏まえ、再測定の要否を決めることもできる。再評価・測定を行った場合はそれぞれの結果を記録しておく。

原則として定期的に再評価や再測定を行う。その頻度は、前回のばく露評価・測定時の管理区分、およびその他の要素により変わる。この考え方の具体例を表 2.9 に示す。管理区分 3, 2B または 2A の場合、再評価、再測定の基本頻度は 6 月となる。管理区分 1C, 1B または 1A の場合、再評価の基本頻度は区分に応じて 6 月～2 年であり、再測定の基本頻度は同様に 1 年～3 年である。このように、管理区分が良いほど再評価・測定までの間隔を長く設定してあり、これによりリスクに応じた合理的な管理が可能となり、また事業主にとっては管理レベルを向上させるインセンティブに繋がると考えられる。

また、この表では基本的な間隔を示すとともに、状況により変更可能な頻度の範囲をカッコ内に示している。ただし、頻度を変更する場合は、その理由を明確にして文書で残しておくことが必要である。更に、特別な状況によっては、このカッコ内の範囲を超える（長く、または短く）ことも例外的にあり得ると考えられる。以上の仕組みにより、第 1 管理区分が長年継続した場合でも定期的に規定の測定を行い続けるという、作業環境測定でよく起こるような状況を避けることができる。

管理区分 3 または 2B の場合は、リスク低減措置を行うことが求められているので（表 2.3）、できるだけ早期に対策を実施することが原則である。この場合、対策後速やかに再評価、または再測定を行い、その結果に基づいてその後の再評価・測定の頻度を定める。即ち、管理区分 3 または 2B の場合に単に「6 月後に再評価・測定」とすることは原則として不適切であり、これは例えば、時間を要する大がかりな設備対策が計画され、一時的に

呼吸用保護具を使用して作業を行っているような場合に 6 月後に再評価・測定し、その状況が妥当かを確認するような特別の状況に限定される。

比較的「悪い」管理区分（区分 3, 2B, 2A）の場合には測定の頻度が短くなるものの、測定を頻繁に行うこと自体は本来の管理の目的ではなく、管理状況が悪いことへのペナルティでもない。理由があっても作業場のばく露が高い場合、どんなに測定頻度を上げてても悪いものは悪く、何も改善されない。即ち、悪い管理状況をそのままにして再測定にエネルギーを費やすより、ばく露の低減策を行うことが優先されるべきである。この意味から再評価時には、新規や追加の対策ができないかを改めて検討することが望ましい。同時に、現状のリスク低減措置の確認や徹底、例えば局所排気装置の維持管理や、呼吸用保護具に依存せざるを得ない場合はその適切な管理（ばく露に対する防護係数の適切性、吸収缶の交換頻度、マスクのフィットテスト等）を行う。

再評価、再測定ともに、変更可能な頻度の範囲がある（表 2.9, カッコ内の頻度）。管理区分 1B または 1A の場合、再評価についてはこの幅は 3 年まで、再測定については 3～5 年まで拡大されている。この範囲の使い方としては、初回（または前回）の評価・測定時に「次回の再評価は a 年後、再測定は b 年後）」のように設定してもよく、また「次回の再評価は a 年後」とし、a 年後の再評価結果に応じてその時の測定要否を決めても良い。

このような「頻度の判断」については、次の①、②の 2 つの要因をもとに統括管理者が SEG の今後のばく露リスクを総合的に考察して決定する（表 2.10）。

- ① 初回（前回）の管理区分
- ② ばく露リスクに関わる諸要因
 - （ア）取扱い物質の有害性の程度
 - （イ）管理区分の信頼性

即ち、初回（前回）決定した管理区分（①）により変更可能な頻度の範囲は定まる（表 2.9）が、そこに②の

要素を更に加えて、頻度を決定する。ここで、管理区分の信頼性（イ）とは、前回決定された管理区分の信頼性、今回の評価・測定結果の信頼性、管理区分が今後継続されることの信頼性の全てを含むものである。統括管理者が再評価・測定の頻度を決定した場合には、その根拠を明確にし文書で記録しておく。決定する頻度は、表 2.9 で示す範囲のうちの長い方の頻度で常に良いわけではない。状況によっては、過去の頻度よりも今後の頻度を短くすることもあり得る。初回の管理区分が 3 または 2B の場合は、そもそもリスク低減措置が必須なので、②の要素の寄与は大きくなく、最短間隔（6 月）で再評価・測定を行う必要性が高い。

管理区分 1B または 1A の場合に限り、状況により、簡易測定（4.2 項）を再「測定」の方法として扱ってよい。また、特別の理由がある場合（例：取扱い量が非常に少なく全てが作業場に拡散してもばく露限界値を超えない、等）は、表 2.9 の頻度（カッコ内の頻度）を超えてもよい。但し、目に見えない経年的な設備の劣化などがあり得るため、長期間（5～10 年等）全く測定（簡易測定を含む）を行わないことは好ましくない。

以上の判断を適切に行うためには特に統括管理者の経験、熟練度が必要である。経験、熟練度が十分でない場合は、表 2.9 の基本頻度（カッコ外の頻度）に従い、経験を積むにつれ頻度を柔軟に決定することが望ましい。上記の①、②を合わせた判断に関しての補足的な説明を補足資料に示す。（補足資料 23 参照）

表 2.9 は 8 時間（1 シフト）ばく露に関する再評価・測定の頻度を示すもので、短時間作業に関するばく露の頻度を示すものではない。短時間作業の場合は作業時間や頻度の因子が加わることもあり、再評価・測定の頻度を定めることは困難である。管理区分の悪い作業ほど高い頻度とする事を原則とした上で、統括管理者が適切に判断することとする。

表 2.10. 再評価・測定頻度の決定における判断の要因

判断の要因	代表的な内容
① 初回（前回）の管理区分	—
② ばく露リスクに関わる諸要因	
（ア）取扱い物質の有害性の程度	毒性（発がん性等）、ばく露限界値など
（イ）管理区分の信頼性（*）	統括管理者の熟練度・経験 測定精度（サンプル数、測定時間など） 過去の測定回数（データの集積） 参照した代替データの質と量（類似 SEG の結果等） 設備対策の有効性（局所排気装置等） 取扱い物質の量（例：極少量） 取扱い物質の揮発性（例：ごく小さい）、等

* 前回決定された管理区分の信頼性、今回の評価・測定結果の信頼性、管理区分が今後継続されることの信頼性の全てを含むもの。

9. 個人ばく露測定の実際

実際の作業場で本ガイドの手順に従って個人ばく露測定を行なったモデル的な事例を以下の補足資料に示す。(補足資料 24～28 参照)

- 補足資料 24. 8 時間測定 (試験作業, 有機溶剤)
- 補足資料 25. 8 時間測定 (塗装作業, 有機溶剤)
- 補足資料 26. 8 時間測定 (塩化ビニルコンパウンド製造, 鉛系粉じん)
- 補足資料 27. 短時間測定 (サンプリング作業, 化学物質)
- 補足資料 28. 短時間測定 (タンクローリー積込作業, ガソリン, 15 分を超える測定)

引用文献

- 1) Bullock WH and Ignacio JS. A strategy for assessing and managing occupational exposures, 3rd ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2006: 99-100.
- 2) Bullock WH and Ignacio JS. A strategy for assessing and managing occupational exposures, 3rd ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2006.
- 3) CEN. European Standard EN689: 1995. Workplace atmospheres—Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy. Brussels: Comité Européen de Normalisation, 1995.
- 4) DiNardi SR. The Occupational Environment—Its Evaluation and Control. 3rd Ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2011.
- 5) Ramachandran G. Occupational Exposure Assessment for Air Contaminants. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- 6) DiNardi SR. The Occupational Environment—Its Evaluation and Control. 3rd Ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2011: 61, 162.
- 7) 許容濃度等の勧告 (2014 年度). 産業衛生学雑誌. 2014; 56: 163.
- 8) Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Occupational exposure sampling strategy manual (NIOSH Publication No. 77-173). Washington, D.C: Government Printing Office, 1977.
- 9) British Occupational Hygiene Society, Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne. Testing Compliance with Occupational Exposure Limits for Airborne Substances. [Online]. <http://search.yahoo.co.jp/search?p=Testing+Compliance+with+Occupational+Exposure+Limits>
- 10) National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH Manual of Analytical Methods. NIOSH, <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/method-a.html>.
- 11) Occupational Safety and Health Administration: Sampling and Analytical Methods. <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc.html>
- 12) OSHA: Technical Equipment: On-site Measurements. OSHA Technical Manual (OTM). https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_ii/otm_ii_3.html#Introduction

- 13) Hewett P. Analysis of Censored Data. Bullock WH and Ignacio JS. A strategy for assessing and managing occupational exposures, 3rd ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2006: 415-21.
- 14) AIHA: Workplace Environmental Exposure Levels® (WEELs®), <https://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/WEELs/Pages/default.aspx>
- 15) 桜井治彦. 許容濃度等のばく露限界値. 小木和孝ほか編. 産業安全保健ハンドブック. 川崎: 労働科学研究所, 2013: 560-3.
- 16) 労働衛生のしおり, 平成 26 年度. 東京: 中央労働災害防止協会, 2014: 251-2.

第 3 章 個人ばく露測定の特徴と活用 (まとめ)

1. 専門家の役割と責任

1-1 統括管理者と測定担当者

統括管理者は, 個人ばく露測定のプロセス全体 (図 2.1, ステップ 1～9) を包括的に統括し推進する者であり, 様々な場面で裁量と判断が求められる. また, リスク低減措置を職場管理者に勧告し, ばく露低減対策に関して専門的見地から積極的に支援する立場である. 即ち, 統括管理者はリスクアセスメントとマネジメントを統括する者といえることができ, 欧米の産業衛生技術の専門家であるオキュペイショナルハイジニストに近い位置付けの役割と言える. オキュペイショナルハイジニストに関する説明を補足資料に示す. (補足資料 29 参照).

従って, 統括管理者にはその責務を果たすための専門的な知識と判断力が必要で, そのための十分な教育を要する. 本ガイドで述べた個人ばく露測定の進め方そのものの教育がまず必要である. 次いで, 化学物質の有害性や毒性学, 具体的な測定手法, 簡易測定法やリアルタイムモニター, 工学的改善対策, 保護具等に関する知識も必要となる. また, 労働衛生に関わる姿勢としては, 問題の発見でなく「問題解決型」の機能を果たすことが求められる.

また, 統括管理者の監督の下で測定の実務 (図 2.1, ステップ 3～6) を行う「測定担当者」もその役割に応じた教育を受ける必要がある. ここで, 作業環境測定士は既に一定の知識を持つため, その者が個人ばく露測定に関するある特定の教育を受けた上で, 資格の類別に応じた物質の測定に従事することは好適と考えられる.

わが国で今後個人ばく露測定を進展させるために, 以上の専門家教育のためのカリキュラム, 方法, 運営機関等を早期に整備する必要がある.

なお, 統括管理者, 測定担当者共に一旦教育を終えた後も継続的教育が必要と考えられる. 必要な教育の範囲が幅広く, また化学物質の有害性情報や測定技術等も日進月歩しているため, 初期教育だけでは必ずしも十分に

はない。合わせて、学会、研究発表会などの機会を通じて、自ら経験や知見を積極的に発信するとともにそれらを共有し切磋琢磨することが強く推奨される。国内ではこれまで個人ばく露測定が広く行われてきたとはいえ、多様な作業場における経験の蓄積は、国内の産業衛生技術の共有財産となり、統括管理者や測定担当者の育成に役立つ。

1-2 個人ばく露測定に関わる専門家の倫理と責任

個人ばく露測定を進めるうえでは、専門家による裁量・判断の自由度が多々あり、その責任は重い。従って、職業上の倫理に関する十分な理解と遵守が求められる。職務遂行上の主な倫理事項を表 3.1 に示す。

これらはオキュペイショナルハイジニストに求められる倫理とほぼ同様である。例えば日本作業環境測定協会¹⁾、米産業衛生評議会 (ABIH)²⁾、国際オキュペイショナルハイジニスト協会 (IOHA)³⁾ ではオキュペイショナルハイジニストの職業上の倫理が厳格に規定されており、参考にできる。

統括責任者や測定担当者には個人ばく露の評価・測定をその能力の限りにおいて正確、誠実、倫理的に実施し、記録を残し、作業場管理者に的確に報告する責任がある。裁量、判断を行う局面においては、その判断の根拠を明確にし、記録しておくべきである。一方、その報告を受けて内容を理解し、適切な管理対策を行い労働者のばく露を抑制する責任は事業主にある。このため、万一労働者に健康障害が発生した場合、一般論として、統括責任者や測定担当者がその責務を適切に果たしている限り、主な責任は事業主に帰属すると考えられる。

個人ばく露測定に関する倫理上の問題の代表的な可能性として、再評価・測定の間隔がある。本ガイドではこの間隔に柔軟性を持たせることで、より効率的なリスク管理が可能になり、事業主にとっては管理レベルを向上させるインセンティブになると考えているが、そこには倫理上の懸念の余地が生ずる。現行の作業環境測定を実

施する際にも見られることであるが、測定時に、事業主や作業場の管理責任者が作業者に指示して、化学物質の使用量を減らしたり、窓を開けたりして、気中濃度を通常より低くすることがあると聞く。管理区分が良好な場合は評価・測定の間隔を長くできる制度になると、そのような不正をするインセンティブにもなりうる（例えば、管理区分 1A であれば、再測定は 3 年後（基本）なので、測定費用をかなり抑えることができる）。したがって、統括管理者は、このような事態も念頭に置いておく必要があり、その責務遂行上の倫理の遵守が重要となる。同様に、事業主にとっても不正の防止や管理上の倫理の遵守は極めて重要であり、そのための事業主に対する施策や周知、啓蒙などが必要と考えられる。

2. 個人ばく露測定の特徴と労働衛生における意義

2-1 個人ばく露測定の特徴

個人ばく露測定の特徴を整理してみる。測定方法としての技術的な特徴、および制度・運用上の特徴がある。

表 3.2 に測定技術としての特徴を示す。参考までに、場の測定の特徴も表中に併記している。個人ばく露測定は、作業者の呼吸域で測定しその結果をばく露限界値と比較することから、直接健康リスクが評価できる点が最大の長所であり、健康のリスクアセスメントの中核的な方法である。また個人ばく露測定には作業時間を含めた評価ができること、作業の多様性（近接、移動、間欠作業など）に適応しやすいといった利点もある。このため、場の測定で有害物濃度が高くても、作業者がその場にいる時間がごく短く、結果として場の測定が個人ばく露測定より過大評価になるケースが生じたり、逆に場の測定で有害物濃度が低くても作業者が他の場所で高いばく露を受けており、場の測定の方が過小評価になるケースが生じたりすることがあることは、良く指摘されることである。発生源に関しては、個人ばく露測定の場合、別途述べたように（補足資料 20）、作業場の観察結果などを加えて特定ができるケースが実際は多い。

表 3.1. 個人ばく露測定に関わる専門家の職務遂行上の主な倫理事項

1. 労働者の健康と福利を守ることを第一の使命とする
2. 法令、政策、社会規範及び倫理基準を遵守する
3. 雇用主、顧客、労働者又は公衆に対し、利益相反の原因となり得る行為を回避する
4. 利益相反が、雇用主、顧客、労働者又は公衆の本来の目的（健康と福利の達成）を妨げること、および専門的判断に影響を及ぼすことを避ける
5. 専門的かつ客観的な判断に基づき、最良の努力に基づく良質な業務を提供する
6. 自らの知識、技術、経験その他に基づく専門的能力の限界をわきまえ、その範囲で業務を行う
7. 業務の遂行においては、適切な安全衛生の手続きを遵守する
8. 業務上知り得た秘密を守る。ただし、その秘密が反社会的な内容である場合、またはその秘密の秘匿が労働者若しくは公衆の健康と福利を損なう可能性がある場合を除く

参照：ABIH Code of Ethics、日本作業環境測定協会オキュペイショナルハイジニスト倫理規定（引用先は第 3 章引用文献 1）、2）。

表 3.2. 個人ばく露測定の特徴—「測定技術」について
(参考として場の測定の特徴も併記)

項目	個人ばく露測定 (呼吸域測定)	場の測定
「健康リスク」の直接評価	可能 (*1)	不可能
作業時間の寄与	あり	なし
作業者の動き, 作業の多様性への対応 (近接, 間欠, 複合等)	可能	困難
測定が困難なケース (狭あい, 危険等)	ほぼなし	時折あり
作業者への負担 (サンプラーの重量等)	時折あり	なし
発生源の特定	一般に可能 (*2)	一般に可能

注: 上記は, 8 時間測定 / 短時間測定, 及び A 測定 / B 測定を行うことを前提.

*1: 測定結果をばく露限界値と比較することにより可能.

*2: 一般には作業場の観察結果等と合わせて特定する (補足資料 20 参照).

表 3.3. 個人ばく露測定特徴—「制度・運用上」について
(参考として作業環境測定の特徴も併記)

項目	個人ばく露測定 (本ガイド)	作業環境測定 (法定)
目的	リスクアセスメント	作業環境管理
測定対象物質	多数 (*1)	指定物質 (90 種強)
対象の作業場	全て	屋内のみ (*2)
測定対象の層別化	同等ばく露グループ (SEG)	単位作業場所
簡易測定法	広く活用できる	検知管が一部使用できる
測定の方式	8 時間測定, 短時間測定	A 測定, B 測定
測定時間 (8 時間, または A 測定)	8 時間 (基本), 2 時間まで短縮可能	1 点 10 分以上, 全体で 1 時間以上
サンプル数 (同上)	5 (基本), 1 ~ 4 点も可能	5 以上
統計評価値	算術平均値, 95 パーセンタイル値	算術平均値の推定値, 95 パーセンタイル値
管理の区分	6 区分	3 区分
測定者の管理対策 策定への関与	強く推奨される	求められていない
報告書の様式	特に定めない	モデル様式
作業場の変更管理	実施する	その概念がなく実施せず
再評価, 再測定	再評価と再測定 管理が良好なほど頻度軽減	定期測定 (一部軽減制度がある)
実施者	統括管理者, 測定担当者	作業環境測定士
測定の進め方	判断・裁量の余地が多い	規定手順に従う
測定の容易さ	知識, 経験, 熟練を要す	比較的容易
事業主の負荷	経年的に低下	ほぼ一定
リスクに応じた合理的な管理	できる	困難
事業主へのインセンティブ	大きい	極めて小さい

*1: 原則としてばく露限界値がある物質. 概略 1,000 種程度.

*2: 屋外作業場は作業環境管理ガイドライン (基発第 0331017 号) の対象.

表 3.3 に制度・運用上の特徴を示す。参考までに、作業環境測定の特徴も表中に併記している。個人ばく露測定は測定対象物質が多く（ばく露限界値を持つ化学物質として約 1,000 種類）、対象とする作業場の制約がない。測定対象については、作業者を層別化し同等ばく露グループ（SEG）を設定する。

個人ばく露測定では、簡易測定法（検知管やリアルタイムモニター）を作業場の事前調査の一手段として自由に活用できる。これは大きなメリットで、簡易測定法をばく露のスクリーニング評価法と捉えることができ、機動的に用いることでばく露測定の効率化や研究室のような不定期・間欠作業への対応、中小の事業場のレベルアップなどに貢献できる。

測定結果の評価の基本的な方法は、算術平均値と 95 パーセンタイル値を利用する点で作業環境測定に類似しているが、個人ばく露測定では管理の区分を 6 区分としており、特に作業環境測定における第 2 管理区分の第 3 管理区分に近い側（管理区分 2B、ばく露限界値を超える作業者の割合が 10～40% 程度ありうる区分）を「対策が必要」としている点に特徴がある。

再評価・測定に関しては特筆すべき特徴がある。再評価と再測定を分け、それぞれの基本的な頻度と共に変更可能な範囲を設けている。管理区分が良好なほど頻度が低くなるので、事業主にとりばく露低減対策を行うことの大きなインセンティブとなる。また、同一の管理区分でも経年的な安定度等に基づく統括管理者の判断により頻度の緩和の余地がある。更に、再評価・測定の前提として作業場の変更管理を行うことを求めており、これにより設備や作業内容の変化に伴うリスクの抑制が担保されている。

測定の進め方全体については、個人ばく露測定は事前調査や再評価に基づいて推定した SEG のリスクに応じて、測定の有無、測定方法（サンプル数、測定時間など）、再測定の頻度など裁量の自由度があり、合理的にリスクアセスメントとマネジメントを進めることができる。

測定の容易さについては、個人ばく露測定を行う統括管理者には判断・裁量の余地があり、また管理対策の策定への関与も積極的に求められることから、一定の知識、経験、熟練が必要となる。

事業主にとっての負荷（人件費や経費の負担）に関しては、個人ばく露測定を開始した当初は、測定サンプル数がやや多めで時間が長めになること、および統括管理者の経験や過去の測定実績の不足などのために、事業主側の負担がやや大きくなる可能性があると考えられる。しかし、管理区分の良化により再評価・測定の頻度を下げられること、および統括管理者の熟練や類似作業場でのデータの蓄積等により、統括管理者の判断による測定や再測定の効率化が期待できることから、例えば 1～3

年程度の短期間にその急激な軽減が予想できると思われる。これに関する詳しい考察を補足資料に示す。（補足資料 30 参照）

以上を総合すると、リスクに応じた合理的な管理ができるかどうかという観点から個人ばく露測定に明確な特長が認められる。事業主にとってはリスクアセスメント・マネジメントの手段として個人ばく露測定を選択することが大きなインセンティブになると推定される。

2-2 個人ばく露測定の社会的効果と今後の展望

個人ばく露測定においては、統括管理者が裁量・判断を活用し創意工夫することにより作業場のリスクアセスメントやマネジメントを合理的に進めることができる。従って、統括管理者にとっては自らの技術を磨き判断力を高めるインセンティブが生ずる。創意工夫の余地がなく決められた通りに実施するだけの状況下では、このようなインセンティブは生じない。また、事業主にとっては、作業場の管理状態を改善すれば評価・測定の負荷が減ること、および良質な統括管理者を確保してその判断力をフルに活用することでその促進が図れることから、統括管理者を育成すること、および統括管理者を通して作業場のリスクを自主的、主体的に管理することがインセンティブとなる。

上記の 2 通りのインセンティブにより、様々な社会的な展開が予想できる。まず、統括管理者および測定担当者の教育の仕組みが必要となる。当面は講習会などが考えられるが、更には大学、大学院レベルの専門教育課程の必要性が高まると考えられる。並行してこのような技術者の資格制度（認定など）も必要になると予想される。また、創意工夫しながら作業場の管理を進める上では他の事業場における知見や事例、特に評価や管理上の良好事例や、逆に高リスク作業の事例等を相互に報告し共有することの重要性が高まるため、関連した学会活動が活発になるであろう。このような技術的な蓄積に伴い、我が国の産業衛生技術全般のレベルが上がり、その蓄積を様々な広報メディアを通じて関連の技術者に還元し、更には、行政や事業主への情報提供や啓蒙の機能を果たせる可能性がある。一方、事業場内においては、統括管理者を通して主体的に作業場の管理を行うことを通し、統括管理者の責任と発言力が高まり、たとえ法的な規定がなくとも統括管理者のリーダーシップの下に問題点に関してリスク低減措置が取れる機会が増すと予想される。また、事業主にとっては、上記のような主体性のある管理を経年的に継続する中で、「法令で定められたことのみを行う」という受け身の姿勢から、「リスクが大きい場合は自ら対策を取る」という自律的な姿勢が醸成されていくと考えられる。

前項で述べたように、個人ばく露測定には測定技術面

と制度・運用面の特徴がある。個人ばく露測定に基づくインセンティブや社会的な波及効果を期待するためには、個人ばく露測定の制度・運用面での特徴、特に裁量、判断を伴った柔軟な進め方が活用される必要がある。これは、管理手法として見ると、達成すべき成果を示し、それに至る過程は実施者に任せるという手法（成果基準、または性能基準ともいう）に相当する。一方、上記と逆に、実施すべきことを詳細に規定する管理手法（仕様基準という）が取られると、決められた通りに実施するだけの状況となりインセンティブや社会的効果は期待できない。即ち、個人ばく露測定の長所を社会の中で真に生かすためには、測定技術面だけでなく、制度・運用面の特徴を十全に活用することが求められる。（ただし、制度や運用面での柔軟性は、効率的な管理を達成するために重要である反面、意図的に悪用される可能性もあり（第3章1-2項参照）、事業主や統括管理者はこれを念頭に置き、それを防止する必要がある。）

米、英、豪などの欧米諸国のばく露管理に関する法制度はこの成果基準の考え方が取られており、その下で専門家の裁量、判断を伴う個人ばく露測定が広く利用されてきた。この結果、ここ約40年余の間にオキュベシヨナルハイジニストまたはインダストリアルハイジニストという専門技術者集団が各国で大きく伸長し、重要な社会的機能として国全体の労働衛生レベルを高めてきた。これは上で述べた個人ばく露測定による社会的な波及効果が正に現実化した事例である。この詳細を補足資料に示す。（補足資料31参照）

このように、個人ばく露測定の適切な活用により、国内全体の化学物質管理のレベルアップが可能になると予想される。これは化学物質だけでなく、物理、生物、人間工学的等の全ての労働衛生上の有害要因の管理に波及し得る。物理的因子（騒音、放射線等）の多くは、ばく露の基準値を持つため、個人ばく露測定の方法は基本的な考え方として適用が可能である。その他の有害因子には直接適用はできないが、本ガイドで示した個人ばく露測定とは「専門家を中心として作業場のリスクアセスメント、マネジメントを合理的に進めるための基本的な方法」であり、この考え方自体は応用が可能である。即ち、本ガイドで示す個人ばく露測定を推し進めていくことで、究極的には国の労働衛生管理全般を強化することが可能となり得る。

以上のように、個人ばく露測定（本ガイドで示した全体プロセス）は単なる測定の一技術ではなく、国全体の労働衛生を変革できる潜在力を秘めた「問題解決法」と捉えることができ、これを適切に活用することは労働衛生の「パラダイムシフト（思考の枠組みの大転換）」に繋がる可能性があると考えられる。

3. おわりに

本ガイドで繰返し述べたように、化学物質のリスクアセスメントとマネジメントにおいて、個人ばく露測定はリスクを評価するための最も基本的で中心的な方法、いわば「王道」である。我が国では個人ばく露測定の実施は従来非常に限定的であったが、今後広く普及、活用されていく必要がある。

本ガイドでは、個人ばく露測定を狭義の測定として単独で捉えず、リスクアセスメントとマネジメントの進め方のプロセスとして大局的に認識した。その上で、そのプロセスの各要素に関して基本となる進め方や判断基準を具体的なガイドラインとして示した。また、統括管理者という専門性を備えた責任者を設定し、その裁量・判断の自由度を適切に確保し、リスクに応じてある程度精緻にも、あるいは簡易的にも進めることができるようにした。また、こういった進め方による個人ばく露測定の普及は、個々の作業場のより効果的な管理だけでなく、ひいては国内全体の労働衛生レベルの総合的な向上にもつながり得ることを述べた。

今後、個人ばく露測定が正式に法制度の中に取り込まれる可能性があると思われるが、行政機関においてその制度設計が進められる際、本ガイドの内容、特に専門家の裁量・判断を伴った合理的な進め方を参考にしていたできれば誠に幸甚である。

本ガイドは、現時点で一旦取りまとめられ公開されるが、これは「初版」であり将来的に適宜改訂していくことを含みとしている。我が国では個人ばく露測定に関する蓄積は未だ多くなく、今後の諸検討に伴い、その実績や経験をもとにより良いガイドに進化することを期待したい。この意味で今後、特に実践経験に基づいた貴重なご意見を是非賜りたいと考えている。

国内で労働衛生に携わる関係各位には、本「化学物質の個人ばく露測定のガイドライン（産業衛生技術部会）」を個人ばく露測定の進め方の一つの基本（ベース）としてご理解いただき、積極的なご利用を是非お願いしたい。個人ばく露測定がその長所を踏まえて今後国内で広く普及、活用されていくことを希望したい。

引用文献

- 1) 日本作業環境測定協会認定オキュベシヨナルハイジニスト倫理規程。日本作業環境測定協会。[Online]. 2013. <http://www.jawe.or.jp/kousyu/level/ohcodeofethics.html>
- 2) American Board of Industrial Hygiene Code of Ethics. American Board of Industrial Hygiene. [Online]. 2007. <http://www.abih.org/sites/default/files/downloads/ABIHCodeofEthics.pdf>
- 3) IOHA Code of Ethics. International Occupational Hygiene Association. [Online]. 2012. <http://www.ioha.net/assets/files/IOHA%20Code%20of%20Ethics%202012.pdf>

【補足資料】

補足資料 1 欧米の個人ばく露測定と評価の方法

欧米では、個人ばく露測定と評価がリスク評価の基本的な手段と位置づけられているため、化学物質のばく露評価法については多くの提案がなされている¹⁾。

(1) NIOSH の評価法

個人ばく露評価法の中で、基本的なものの1つが、1977年に米国 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH 労働安全衛生研究所) が提案したものである²⁾。米国では法的に個人ばく露濃度の基準値である Occupational exposure limit (OEL) (米国の労働安全衛生法では「Permissible Exposure limit (PEL)」と呼ぶ) が定められているが、NIOSH の評価法は、その基準値に適合しているかどうかを判断するために、どのような測定を行い、そして測定値をどのように評価すべきかを示したものである。公表後30年以上が経過し、既に古くなった感は否めないが、その後に提案された様々な評価法の参考になっている。

まず事前調査により、化学物質の物理化学的性質と毒性、使用量と使用条件、作業方法と作業位置、排気・換気などに関する情報を収集する。次に、化学物質の使用量、作業場の換気速度および安全係数などを基に、作業者のばく露濃度を推定する。また、ばく露と関連があると考えられる作業者の自覚症状や他覚症状も調査する。その結果、ばく露濃度がアクションレベル未満と推定され、かつ作業者にばく露と関連した症状が見られなければ、その後に工程などの変更がない限りこれで終了となる。アクションレベルは PEL の概ね 0.5 倍の値である。一方、ばく露濃度がアクションレベル以上と推定されるか、作業者にばく露と関連した症状が認められれば、ばく露濃度の測定を行わなければならない。なお、上記の「アクション (レベル)」はリスク低減措置を要求するとの意味ではないことに注意願いたい。

ばく露濃度測定の対象者は作業グループの中の最高ばく露者である。最高ばく露者が予測できなければ、同等リスクグループ (原文では “homogeneous risk group”) の中から一定数を無作為に選択する。こうして選択された作業者のばく露濃度を測定した結果、最高ばく露者 (無作為に選択した場合は、その中の最高ばく露者) のばく露濃度がアクションレベル未満の場合は、工程の変更や換気方法の変更などがない限り、それ以降はばく露濃度の測定をしなくてもよい。一方、最高ばく露者のばく露濃度がアクションレベル以上の場合は、作業グループの中でアクションレベル以上のばく露を受ける可能性のある作業者を選択し全員のばく露濃度を測定しなければならない。その結果、ばく露濃度が PEL を超えている者がいる場合は、改善対策を実施した上

で再測定する。それでも PEL を超える者がいる場合は、ばく露濃度が PEL 以下になるまで、対策と測定を繰り返し実施する。ばく露濃度が PEL 以下であるがアクションレベルを超えている場合は、ばく露濃度の測定を定期的に実施する。そしてばく露濃度が2回連続してアクションレベル未満になれば、工程の変更や換気方法の変更などがない限り、それ以降はばく露濃度の測定をしなくてもよい。

(2) AIHA の評価法

1991年には American Industrial Hygiene Association (AIHA 米国産業衛生協会) がばく露評価法を制定し、その後1998年および2006年に改訂している³⁾。まず事前調査により、化学物質、作業場、作業者などに関して必要な情報を収集する。次いでばく露評価であるが、まず収集した情報を基に同等ばく露グループ (原文では “similar exposure group”) を編成する。次に初回ばく露評価を行い、さらに必要であれば、ばく露濃度測定を行ってばく露状態を判定する。適合と判定されれば、その後はその状態が維持されていることの確認のため定期的なばく露評価を行う。一方、不適合と判定されれば、改善対策を実施して再評価を行う。また、判定不可の場合は2つの選択ができ、さらにばく露濃度測定などにより情報を収集して適合あるいは不適合の判定ができるまで再評価を繰り返すか、あるいは改善対策を実施して再評価を行う。

NIOSH の評価法を参考にしているが、測定値を OEL と単純に比較するのではなく、ばく露濃度分布の95%値を OEL と比較するという考え方であり、95%値が OEL 以下の場合も、その大きさにより3つの管理区分に分類している。

(3) 欧州規格 (EN 689-1995) のばく露評価法

1995年に Comité Européen de Normalisation (CEN 欧州規格委員会) は作業場における化学物質のばく露評価法を欧州規格として制定している⁴⁾。まず、事前調査により、作業場、作業者、化学物質に関して必要な情報を収集する。次いで、ばく露評価に進むが、この部分は初期調査、基礎調査および詳細調査に分かれる。初期調査では、作業場と作業者の情報を基にばく露の有無を判断する。基礎調査では、高ばく露作業に注目し、過去の測定データ、同等の工程での測定データ、あるいは定量的データ (有害物質の使用量、作業場の気積など) を基に算出した値などを用いて、ばく露濃度を推定する。そしてばく露が OEL よりも高いと判断されれば改善対策を実施して再評価を行う。一方、OEL よりも十分低く、かつ長期間持続すると判断できれば、報告書を作成して終了である。また OEL よりも十分低いと言えないか、

あるいはその持続性は保証できないと判断されれば詳細調査に進むことになる。

詳細調査では、作業者をばく露が同程度のグループ（原文では“homogeneous exposure group”）に分類し、各グループから無作為に測定対象者を選択して個人ばく露濃度を測定する。測定値を基に、ばく露が *OEL* よりも高いと判断されれば改善対策を実施して再評価を行う。*OEL* よりも十分低く、かつ長期間持続すると判断できれば、報告書を作成して終了である。*OEL* よりも十分低いとは言えないか、あるいはその持続性は保証できないと判断されれば、定期測定を実施することになる。

この評価法では、測定値と *OEL* を単純に比較するだけではなく、*OEL* 以下であっても、その大きさにより異なる評価になっている。おそらくばく露濃度の日間変動や作業者間変動を考慮しているものと思われるが、その理論的根拠は記載されていない。また、全体の枠組みを制定しているが、測定結果の具体的な評価手法として唯一のものは制定せず、公式手順の例を提示するに留めている。

(4) 英国労働衛生学会およびオランダ労働衛生学会のばく露評価法

2011 年に British Occupational Hygiene Society (BOHS, 英国労働衛生学会) と Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiene (NVvA, オランダ労働衛生学会) が共同で新しい評価法を公表している⁵⁾。この評価法はばく露評価の全体を示すものではなく、測定値を用いた判定手法を示すものである。この評価法の特徴は、日間変動と作業者間変動を評価手順の中に組み込む数式を提案している点である。

引用文献

- 1) 熊谷信二. 統計学の基礎から学ぶ作業環境評価・個人ばく露評価. 東京: 労働科学研究所 2013.
- 2) Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Occupational exposure sampling strategy manual (NIOSH Publication No. 77-173). Washington, D.C: Government Printing Office, 1977.
- 3) Bullock WH and Ignacio JS. A strategy for assessing and managing occupational exposures, 3rd ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2006.
- 4) CEN. European Standard EN689:1995. Workplace atmospheres—Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy. Brussels: Comité Européen de Normalisation, 1995.
- 5) British Occupational Hygiene Society, Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiene. Testing Compliance with Occupational Exposure Limits for Airborne

Substances. <http://search.yahoo.co.jp/search?p=Testing+Compliance+with+Occupational+Exposure+Limits+for+Airborne+Substances.&fr=my-top-cm&toggle=1&cop=&ei=UTF-8>

補足資料 2 国内の個人ばく露測定と評価の方法

わが国では、作業環境濃度の定期測定が法的に定められているため、個人ばく露濃度の評価法の検討はあまりなされてこなかった。このため、比較的最近になって、いくつかの評価法が提案されるようになった¹⁾。

(1) 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

2005 年に、厚生労働省が「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（平成 17 年 3 月 31 日、基発第 0331017 号）」を制定した²⁾。このガイドラインは、屋外作業では、自然環境の影響のため作業環境の時間的な変化が大きいことや、作業に移動が伴うこと、あるいは作業が比較的短時間であることなどから、屋内作業場で行われる定点測定を前提とした作業環境測定が適用できないために、制定されたものである。

まず対象化学物質を取り扱う作業者全員（専門家の判断により人数を減らすこと可）に個人サンプラーを装着し、気中濃度が最大になる時間帯を含めて 10 分以上継続して呼吸域の化学物質をサンプリングする。評価は、各測定値を管理濃度あるいは基準濃度（管理濃度等）と比較することにより行い、いずれかの測定値が管理濃度等を超えていれば、施設、設備、作業工程、作業方法の点検を行い、その結果に基づき、改善対策を行うことになっている。

上記のように、呼吸域の気中濃度を測定するので、個人ばく露濃度の評価法の一つと考えられるが、管理濃度と比較するように規定されていることからわかるように、位置づけは屋外作業における作業環境評価である。

(2) 日本産業衛生学会の作業環境測定検討委員会の評価法

2005 年に、日本産業衛生学会の作業環境測定検討委員会が、個人ばく露濃度評価も含めた気中濃度測定・評価法を提案している³⁾。この評価法は 1 次スクリーニングと 2 次スクリーニングとで構成されている。1 次スクリーニングの目的は、より詳細な測定を伴う 2 次スクリーニングの実施の必要性を判断することである。まず、同一の作業を行う作業者グループの中で最高ばく露者 1 人を選び、その呼吸位置においてもっとも高くなると考えられる時間帯の気中有害物質濃度を測定する。測定値がアクションレベル (*AL* 値、許容濃度の 0.3 倍) を超えれば、2 次スクリーニングを実施する。測定値が *AL* 値以下の場合は、定期的に 1 次スクリーニングを

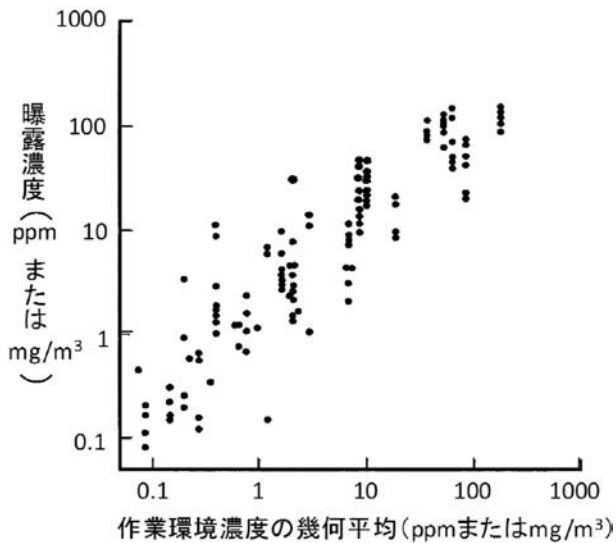


図 補-3.1. 作業環境濃度の幾何平均とばく露濃度の関係¹⁾
(トルエン, メチルエチルケトン, 酢酸エチル, イソプロピルアルコール, 鉛ヒューム, 鉱物性粉じん, 溶接ヒューム, 石綿, アクリロニトリル, スチレン, 塩化ビニル, ベンゼン)

繰り返し, その状態が一定の期間連続すれば, 1 次スクリーニングの実施頻度を減少させることができる。

2 次スクリーニングの目的は, 現状の作業環境が適切であるか否かを判断することである。まず, 同一の作業を行う作業者グループから一定数の作業者を選択する。その際, 高濃度ばく露者が推定できる場合は必ず選択し, 推定できない場合は無作為に選択し, 個人ばく露濃度を測定する。サンプリング時間は 2 時間以上とする。測定値が許容濃度を超えた場合には, 作業環境改善を実施し, 再度 2 次スクリーニングを行う。測定値が許容濃度以下であるが, AL 値を超える場合は, 2 次スクリーニングを定期的に繰り返す。測定値が AL 値以下の場合, 1 次スクリーニングを定期的に繰り返す。なお, 作業環境測定基準および作業環境評価基準に基づく測定と評価が行われておれば, 2 次スクリーニングの結果として利用できる。

引用文献

- 1) 熊谷信二. 統計学の基礎から学ぶ作業環境評価・個人ばく露評価. 東京: 労働科学研究所 2013.
- 2) 日本作業環境測定協会. 作業環境測定ガイドブック「0」総論編. 東京: 日本作業環境測定協会, 2010.
- 3) 日本産業衛生学会・作業環境測定検討委員会. 作業環境測定検討委員会報告. 産業衛生学雑誌 2005; 47: A74-76.

補足資料 3 作業環境測定と個人ばく露測定の関係

気中濃度測定には作業環境測定と個人ばく露測定の 2 つの方式があるが, これらの測定を同じ作業場において同時に実施した場合に 2 つの濃度の関係がどのようになるかについては多くの調査が行われている。

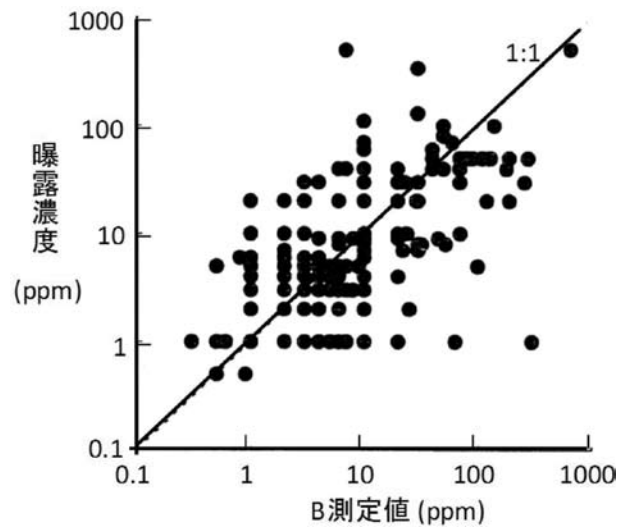


図 補-3.2. B 測定値とばく露濃度の関係²⁾

表 補-3. ばく露濃度が管理濃度を超える作業者 (%)

	第 1 管理区分	第 2 管理区分	第 3 管理区分
有害物質 ³⁾	3.5	26.6	65.9
有機溶剤 ⁴⁾	4.0	12.8	36.5
鉛 ⁵⁾	11.0	21.4	30.0

図補-3.1 は作業環境濃度の幾何平均と個人ばく露濃度の関係を示したものであるが, 全体として個人ばく露濃度の方が高い傾向にある。両者の差が大きいケースでは, 10 倍の違いがあり, 作業環境濃度から個人ばく露濃度を決定できるほど緊密な関係はない。

また, 図補-3.2 は B 測定値と最高ばく露者の個人ばく露濃度の関係を示したものであるが, 個人ばく露濃度が B 測定値よりも高いケースが 31% ある。B 測定値とは単位作業場所の中でもっとも濃度が高いと考えられる作業位置と時間であるはずだが, 実際の測定では作業の妨げになるために B 測定時に測定者が作業者に近づけないなどの理由により, このようなケースが発生すると考えられる。

表補-3 は, 各管理区分ごとに作業者の個人ばく露濃度が管理濃度を超える割合を示している。第 1 管理区分では 3.5 ~ 11.0% の作業者が管理濃度を超えている。つまり「よく管理されている」と判断される第 1 管理区分においても, 個人ばく露濃度が管理濃度を超える作業者(多くの場合, ばく露限界値を超える作業者と言い換えることができる)が少数ではあるが存在していることがわかる。

以上より, 2 つの測定はそれぞれが固有の役割を持っていると言える。作業環境測定は, 作業場内のどのあた

表 補-4. 欧米のばく露測定法における測定要否の判断基準 1-3)

測定法	判断項目（定性的な判断）	「測定要」の条件（*1）
NIOSH	(a) 環境中への有害物質の放出がある (b) 作業員のばく露 $\geq$ アクションレベル（*2）	(a), (b) の両方が該当する場合
AIHA	ばく露評価の結果（定性的または簡易測定）. (a) ばく露が許容できない（すぐ改善を行う） (b) ばく露が許容できる	(a), (b) 共に該当せず、ばく露の許容可否が判断できない場合
欧州 EN689	基本調査を実施した結果、 (a) ばく露がばく露限界値より大きい（すぐ改善を行う） (b) ばく露がばく露限界値より十分小さく安定して維持される	(a), (b) 共に該当しない場合

*1: この条件に該当しない場合「測定不要」となる

*2: 許容ばく露限界値（PEL）の 50% のこと。なお、この「アクション」はリスク低減措置を要求する意味ではないことに注意。

りの気中有害物質濃度が高いのか知ることができる点が特徴である。一方、個人ばく露濃度は、作業者が体内に取り込む有害物質の量の指標になり得るため、現在の作業環境で働いても健康影響が発生しないことを確認することができる点が特徴である。

引用文献

- 1) 中央労働災害防止協会. 個人ばく露量測定の方法論に関する研究報告書. 東京：中央労働災害防止協会, 1978.
- 2) 山室堅治, 小堀衛, 菅野誠一郎, 櫻井治彦. 有機溶剤業務の作業環境濃度とばく露濃度の関係について. 第 47 回日本労働衛生工学会講演集 2007: 58-9.
- 3) 奥重治. 作業環境の管理基準の妥当性について. 作業環境 1984; 5: 56-60.
- 4) 鶴飼博彦. 拡散型サンプラーの作業現場への適用. 労働衛生工学 1991; 30: 20-6.
- 5) 滝沢顕彦, 浦島幸昌, 工藤光弘, 松村博, 郡義夫, 石塚久美, 蓮沼秀信. 鉛取扱作業場の環境調査に関する一考察, その変遷事例と現状の問題点について. 作業環境 1988; 9: 58-66.

補足資料 4 欧米のばく露測定法における測定要否の判断

欧米の主な個人ばく露測定法として, NIOSH (米), AIHA (米), EN689 (欧) の方法がある¹⁻³⁾. これらの方法のいずれもが, 基本的に図 2.1 の 3 段階, 即ち「事前調査」, 「(狭義の) 測定」, 「リスク低減措置」から構成されており, 更にその進め方として, 「事前調査」の結果に応じて測定の要否を決定する. 即ち, 測定は必須ではない. 各方法で定めている測定要否の判断基準を表補-4 に整理した. いずれの測定法でも, ばく露が十分小さい場合に「測定不要」となる. また AIHA および欧州の方法では, ばく露が大きい場合にも「測定不要(すぐ改善を行う)」の選択肢が取れる.

引用文献

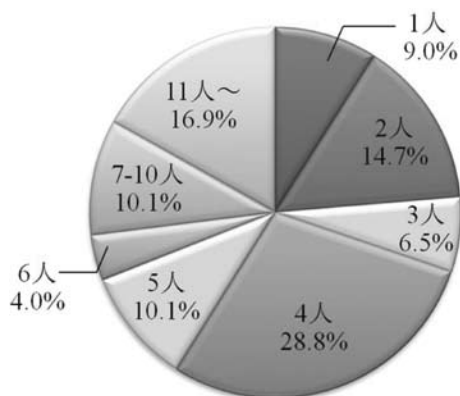
- 1) Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Occupational exposure sampling strategy manual (NIOSH Publication No. 77-173). Washington, D.C: Government Printing Office, 1977.
- 2) Bullock WH and Ignacio JS. A strategy for assessing and managing occupational exposures, 3rd ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2006.
- 3) CEN. European Standard EN689:1995. Workplace atmospheres—Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy. Brussels: Comité Européen de Normalisation, 1995.

補足資料 5 作業場での事前調査における留意事項

統括管理者が作業場の調査, 特に現場観察を行う際は, 「リスク低減措置」を念頭に置きながら進める. 第 2 章 1-1 で述べたように, 「個人ばく露測定」の目的は「測定(狭義)」ではなく「リスク低減措置」である(図 2.1). 従って, 作業場である程度のばく露が予想された時には, リスク低減措置が必要となる場合に備え, ばく露の主な原因, およびリスク低減措置の候補案(仮の案でよく複数でも良い)を可能な範囲で考察, 考案し記録しておく.

なお, 法定の作業環境測定の場合, 作業環境測定士には作業場のリスク低減措置を勧奨する責任が法令上定められていない. 一方, 本ガイドの場合, 統括管理者には, 必要時に作業場の管理者にリスク低減措置を勧告する責任がある. この違いを意識して, 対策に関するアンテナを高くしておく必要がある.

作業場の事前調査において, もう一点強調しておきたいことは, 作業場の管理者や作業者からの「生の声」の重要性である. 特に作業場の管理者(課長, 係長, 班長, 主任など)からは, 懸念のある化学物質や作業, ばく露の有無, 過去の事故や苦情の事例などの重要な情報をで



全 SEG 数：約 300
全作業者数：約 2000 人

図 補-6. SEG の構成作業者数（国内製造業 A 社）

きる限り得たい状況にある。作業場の管理者の多くはその職場の大ベテランであって、作業の内容を熟知しており、作業場の問題点について個人の経験や意見を豊富に持っていることが多い。聞き取りの際には、管理者にばく露評価の目的（最終的には作業者の健康障害を防止すること）を十分伝え、「本音」の意見を率直に出してもらうよう、積極的な協力を依頼する必要がある。この意味から、統括管理者のコミュニケーション能力が重要である。また、出された意見は一般に尊重すべきで、特に「臭いがひどい」、「危ない」といった切実な意見に関しては、最優先で評価や対応を進めるべきである。作業場の作業者から直接意見を聞いた場合も同様である。

作業環境測定の前調査で聞き取りを行う場合には、測定を前提とした単位作業場所のデザインを目的とすることが多いため、作業場の工程、設備、作業者の行動範囲などに関する「客観的な」内容に着目することが比較的多いと思われる。これに対して個人ばく露測定の聞き取りの場合は、より突っ込んで、管理者や作業者からの「主観的な」意見にも注目し、それらを掘り下げるような工夫が大切である。

補足資料 6 実際の事業場での SEG あたり作業者数（事例）

図補-6 に、実際の作業場（国内 A 社、石油・石油化学品製造業）における、同等ばく露グループ（SEG）の構成作業者数を示す¹⁾。これは、数か所の事業場の計約 2000 名の労働者を約 300 の SEG に分けたもので、構成員 1～5 名の小さな SEG が全体の約 7 割を占める。また、構成員数の単純平均値は SEG 当たり約 7 名弱となる。SEG の大きさは比較的小さく、作業の内容に応じて、比較的丁寧に小分けして設定されていることがわかる。

引用文献

- 1) 中原浩彦：欧米の実施手法の実際。日本産業衛生学会第 16 回産業衛生技術専門研修会。[Online]. 2013. <http://jschoe.umin.jp/senmon16/130516.html>

補足資料 7 同等ばく露グループ（SEG）法と最大値法の比較

同等ばく露グループ（SEG）を基本単位としてばく露評価を行う方法（同等ばく露グループ法、SEG 法）は、「包括的評価法（Comprehensive assessment）」とも呼ばれ、近年の欧米の個人ばく露測定の理論やガイドラインでは標準的な方法とされ、欧米の産業界で広く使われてきている¹⁻³⁾。この方法の特徴は、ばく露の評価・測定の結果を SEG 構成員個々人のものとせず、「その職位集団（SEG）のばく露」と捉え、リスク低減措置も個人でなく SEG を対象に行うことである。具体的には、例えばある一人のばく露がばく露限界値を超えた場合、その結果だけに基づいて、その原因が個人的なものであるとか、その SEG のばく露が許容できないとかといった判断をしない。ある一人のばく露が高かった場合、まず大前提として、それが異常値（測定上のトラブルなど）でないか、およびその作業者が他と異なった特異な作業を行っていないか、などの確認を行う。この確認で問題がない場合、その高いばく露は、その SEG の通常のバラツキの範囲内と判断する。そして、その高い値でなく SEG 全体のばく露の平均値や分布、具体的には算術平均値や 95% 上限値を用い、それらをばく露限界値と比較して、その SEG のばく露の許容可否を判断する。

例えば、ある SEG について、その真のばく露分布の 95% 上限値（作業環境測定でいう第 1 評価値）がばく露限界値と同等な場合を仮定すると（注：この場合、ばく露の管理区分は 1C に最も近い 2A であり、ばく露として比較的小さいと言える）、統計的に 20 点測定したサンプルのうち 1 点はばく露限界値を超えることが考えられる。従って、測定した n 点の測定値にばく露限界値以上の値が仮に含まれていたとしても、その数値だけで判断しないということである。その高いばく露者に対してのみ健康診断を行う、または作業管理対策を行う、というような対応も一般に取らない。

上記の測定方法と異なり、得られた測定値の中の最大値で判断する、という NIOSH の古典的な方法がある⁴⁾。作業場で最大のばく露者が推定できるのであればその者 1 名を測定する、また最大のばく露者が不明ならば全作業員からランダムサンプリングして測定しその中の最大値で判断する、というものである。この方法は米国では、米国労働安全衛生法の要求事項である「全ての作業員のばく露をばく露限界値以下にすること」に従うための直接的で簡便な手段として用いられてきた（英、オースト

ラリアなどでも同様である)。この方法は「法適合評価法 (Compliance assessment)」とも呼ばれる。

最大値法の特徴は、実施が簡単なことである。最大のばく露者が推定できるならば、1 点の測定で済む。また、それが推定できない場合でも、2、3 点などの少数、更には 1 点だけを測定しても違法ではない。ランダムサンプリングすべき測定数は法では決められておらず、また仮に事業場の立入り監査で指摘されても、「その 1 点を最大ばく露者と推定した」と主張することもできるかもしれない。米国では、この方法は中小企業などを中心に現在でも広く使われていると言われる。法令に従っており、かつ簡便であるためと考えられる。本来は、包括的評価法のような丁寧な評価や、もう少し数の多いランダムサンプリングが、より正確な評価、ひいては作業者の健康確保のためには望ましい。しかし、このような少数の測定でも、何もしないよりははるかに良い。この意味で、最大値法はそれが用いられている国では作業場管理レベルのボトムアップに役立っている、と見ることもできる。

最大値法の弱点は、事業主にとり、サンプル数を増してより丁寧な評価をしようというインセンティブに繋がらないことである。サンプル数を増すほどサンプル中の最大値がばく露限界値を超える確率が高まるためである。

以上のように、最大値法にはいろいろと問題点があるため、それに代わる方法として、SEG 法が提案されその使用が広まってきたものである。SEG 法と最大値法の比較を表補-7 に整理した。この 2 法は、作業者のばく露をばく露限界値より低く抑えるという一般目標においては共通だが、その直接の目的、即ち自主的なリスク評価・管理か、法令への適合か、という点で根本的な違いがある。

また、これら 2 法は、測定の前にまずばく露の推定を行いそれに基づいて必要に応じ合理的に測定する、という思想の点では共通している。更に、その内容は全く相

反するわけではなく、本ガイドで採用している SEG 法においても、最大値法の利点を事実上活用できる場合がある。例えば、SEG 法において、作業場での調査の結果、1 人の作業者が確実に最大のばく露を受ける（そのような業務に従事している）と推定された場合、この作業者を 1 つの SEG（構成員 1 人）とし、まずそのばく露を優先的に測定する。その結果、そのばく露レベルが十分小さい場合には、他の全ての作業者（SEG）のばく露も同様に小さいと推定でき、測定が省略できる可能性がある。これは、結果として最大値法と同じ進め方になる。

引用文献

- 1) Bullock WH and Ignacio JS. A strategy for assessing and managing occupational exposures, 3rd ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2006.
- 2) CEN. European Standard EN689:1995. Workplace atmospheres—Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy. Brussels: Comité Européen de Normalisation, 1995.
- 3) British Occupational Hygiene Society, Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne. Testing Compliance with Occupational Exposure Limits for Airborne Substances. [Online]. <http://search.yahoo.co.jp/search?p=Testing+Compliance+with+Occupational+Exposure+Limits+for+Airborne+Substances.&fr=my-top-cm&toggle=1&cop=&ei=UTF-8>
- 4) Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Occupational exposure sampling strategy manual (NIOSH Publication No. 77-173). Washington, D.C: Government Printing Office, 1977.

補足資料 8 ばく露評価における測定要否の判断 (事例)

図補-8 に、実際の事業場（国内 A 社、石油・石油化学品製造業）で行われたばく露の評価結果に関して、その方法の類別（測定の有無）を示す¹⁾。ここで 1 件のばく露の評価とは、「SEG-化学物質」（または「SEG-化学物質-作業」）の 1 つの組合せに対してばく露の管理区

表 補-7. 測定の戦略—同等ばく露グループ法と最大値法の比較

	同等ばく露グループ (SEG) 法 (包括的評価法)	最大値法 (法適合評価法)
測定の主目的	作業者のばく露抑制 (自主的なリスク評価・管理)	法令への適合
測定のコスト	比較的大きい	一般に小さい
欧米での使用実績	使われている (大～中事業場に多い)	使われている (中小事業場に多い)
サンプル数増加の インセンティブ	あり (ばく露評価の精度が高まる ため)	なし (最大値がばく露限界値を 超える可能性が増すため)
提案されたガイドライン	AIHA 法 ¹⁾ , EU 法 ²⁾ , 英蘭法 ³⁾	NIOSH ⁴⁾

図 補-8. ばく露評価・測定の方法の分類 (国内製造業 A 社)

	測定	簡易測定	推定	評価計
件数(件)	250	50	3950	4250
割合(%)	5.9	1.2	92.9	100

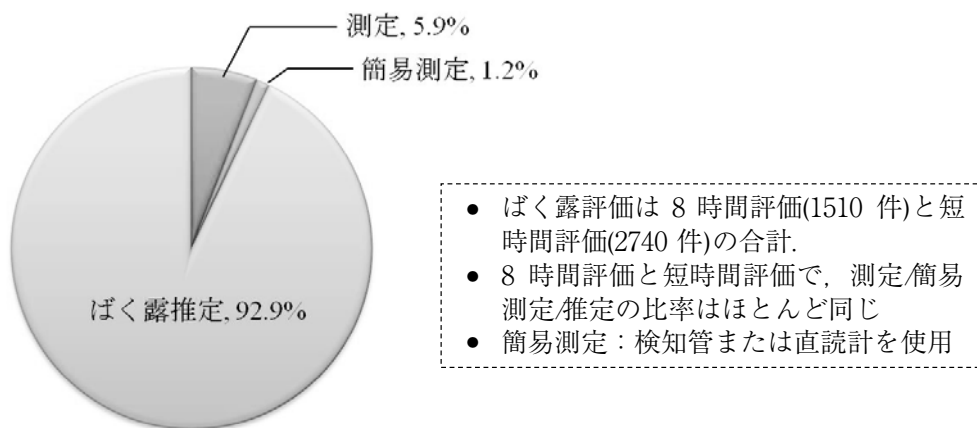
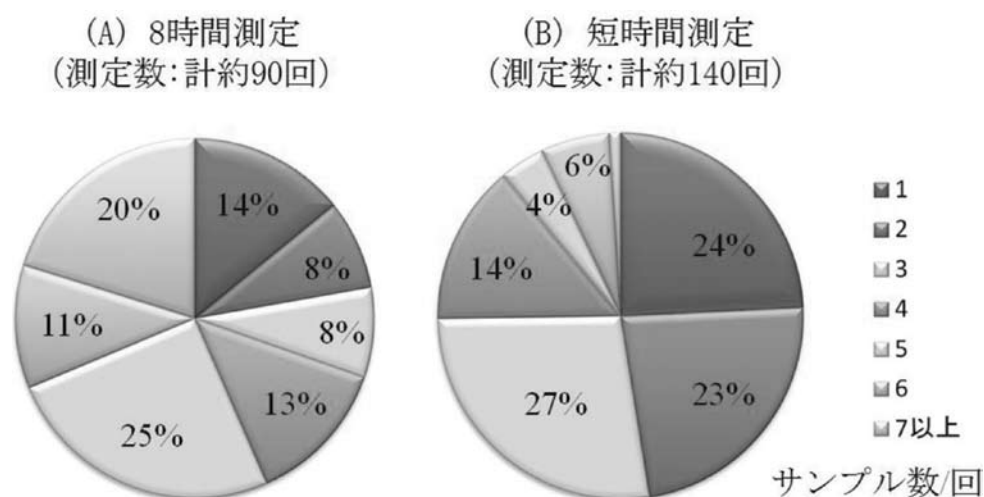


図 補-9. 測定 1 回あたりのサンプル数 (国内製造業 A 社)



分 (但し本ガイドの区分とは異なる) を判定することをいう。8 時間ばく露, 短時間ばく露に関わらず, 「推定 (測定なし)」で評価した割合が 9 割を超えている。これは, ばく露の推定が如何に重要で有効かを示している。

但し, 注釈をつけると, この事業場では化学物質のばく露評価を 10 年以上継続的に積み重ねており, 評価が進むに従い, あまりばく露が大きくない対象も比較的網羅して評価された結果, 推定による評価が相対的に多くなった面がある。一般に, ある作業場を新規に評価する場合は, ばく露が大きいと推定される対象から優先的に評価するので, 「測定」の割合が当初は比較的多くなると考えられる。いずれにしても, 測定を行うことは必ずしも多くなく, ばく露の評価を効果的, 効率的に進める

ためにばく露の推定が重要な手段であることがわかる。

引用文献

- 1) 中原浩彦: 欧米の実施手法の実際, 日本産業衛生学会第 16 回産業衛生技術専門研修会, [Online], 2013. <http://jsoh-ohe.umin.jp/senmon16/130516.html>

補足資料 9 実作業場でのサンプル数 (8 時間測定, 短時間測定) (事例)

図補-9 (A) に, 実際の作業場 (国内 A 社, 石油・石油化学品製造業) で行われた 8 時間測定に関して, 測定 1 回あたりのサンプル数を示す^{1,2)}。本ガイドでは最小サンプル数として 5 点を推奨したが, サンプル数が 4

以下の測定が全体の 4 割強と多い。

短時間測定の場合のデータを図補-9 (B) に示す^{1,2)}。測定されたサンプル数は 8 時間の場合より更に小さく、4 点以下の測定が全体の約 9 割を占めている。短時間測定の方がサンプル数が少ないのは、一般に短時間の作業では作業員数が少ないこと、作業が測定毎に比較的一定していること、および測定者が作業全体を観察することが多いために、測定者がサンプルの信頼性が高いと考える傾向にあること等の理由かと推定される。

引用文献

- 1) 中原浩彦, 後藤敏明, 新井幹郎, 泉井誠一, 橋本晴男: 定性評価と個人ばく露測定を組み合わせ化学物質のリスク評価結果の総括。産業衛生学雑誌 2013; 55 (臨時増刊号), 589.
- 2) 中原浩彦: 欧米の実施手法の実際。日本産業衛生学会第 16 回産業衛生技術専門研修会。[Online]. 2013. <http://jschoe.umin.jp/senmon16/130516.html>

補足資料 10 NIOSH の方法におけるサンプル数

米国 NIOSH (労働安全衛生研究所) によるばく露測定法¹⁾ (1977 年) は、国内で現在でも良く引用される。その概要は補足資料 1 (1) で説明した。この方法では、ランダムサンプリングを行う場合のサンプル数に関し、統計的な信頼性を根拠に、作業場内の作業員数が例えば 10 人であれば 9 点、20 人であれば 13 点と、極めて大きい数を推奨している。この考え方は、作業員中の上位 10% の高ばく露者を 90% の確率でサンプリング対象に含むことを目的としたもので、あくまでも最高ばく露者の発見に視点が置かれており、本ガイドにおける同等ばく露グループ内のランダムサンプリングと目的が異なる。このサンプル数は、多すぎて非現実的であり、現実の作業場では現在はいったん考え方はほぼ用いられていないと考えられる。なお、この NIOSH の文書は今でも国内で時折引用されるが、内容が古く、現在では現実的でない概念が他にも含まれているので注意することが望ましい。

引用文献

- 1) Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Occupational exposure sampling strategy manual (NIOSH Publication No. 77-173). Washington, D.C: Government Printing Office, 1977.

補足資料 11 サンプリング時間が 8 時間未満の場合の 8 時間平均濃度への換算

本ガイドでは、サンプリング時間は原則 8 時間であるが、様々な理由によってそれが困難な場合は、2 時間以上確保すればいいこととした。したがって、サンプリン

グ時間が 8 時間未満の場合には、8 時間平均濃度への換算が必要になる。

換算には次の 3 つの方法が考えられる。

- ① サンプリング時間帯以外は対象作業がないケースでは、対象作業がない時間帯のばく露濃度を 0 と仮定して 8 時間平均濃度を算出する。
- ② サンプリング時間帯とそれ以外の時間帯に「同一」の作業が行われる場合で、時間的変動が小さいと判断できるケースでは、両時間帯のばく露濃度を同一とみなす。
- ③ サンプリング時間帯とそれ以外の時間帯に「ほぼ同一」の作業が行われるが、時間的変動が小さいと判断できないケースでは、測定値に表補-11 の換算係数を掛けて 8 時間平均濃度に変換する。

表補-11 の換算係数の根拠は次のようである。測定していない時間帯のばく露濃度がどの程度かを推定するためには、ばく露濃度の時間的変動（この場合は日内変動）の大きさを知る必要がある。つまり GSD の大きさである。産業現場での調査によると、有機溶剤作業員の 1 時間平均ばく露濃度の日内変動は 1.1 ~ 6.7 であり、その 90% 値は 3.4 であった¹⁾。そこで、1 時間平均ばく露濃度の GSD をこの値と仮定する。次に、平均化時間が異なる場合の GSD を Larsen の変換式²⁾ で求める。この変換式は一般大気中の化学物質濃度のデータ解析から得られたものであり、産業現場に適用できることが確認されている³⁾。

$$GSD(T_2) = e^{\left(\ln GSD(T_1) \sqrt{\frac{\ln(T_{tot}/T_2)}{\ln(T_{tot}/T_1)}} \right)}$$

ここで、 T_1 および T_2 はそれぞれ 2 つの平均化時間、 T_{tot} は全観察時間、 $GSD(T_1)$ および $GSD(T_2)$ はそれぞれ T_1 時間および T_2 時間平均濃度の幾何標準偏差である。この式に、 $T_1=1$, $T_{tot}=8$, $GSD(T_1)=3.4$ を代入すると、次式が得られる。

$$GSD(T_2) = e^{(\ln 3.4) \sqrt{\frac{\ln(8/T_2)}{\ln(8)}}}$$

次に、 T_2 時間平均濃度の日内分布の幾何平均 $GM(T_2)$ を T_2 時間サンプリングで得られた測定値と同値と仮定し、この分布の幾何標準偏差を $GSD(T_2)$ と仮定して、算術平均 AM を算出する。

表 補-11. 換算係数

サンプリング時間	換算係数
1~2 時間	2.0
2~4 時間	1.5
4~6 時間	1.2

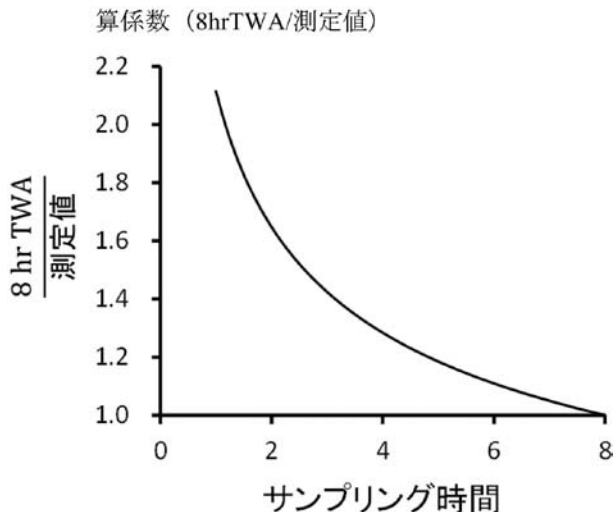


図 補-11. サンプリング時間が8時間未満の場合の換算係数 (8hrTWA/測定値)

$$\log AM = \log GM(T_2) + 1.151 (\log GM(T_2))^2$$

このAMが8時間平均濃度である。図補-11にサンプリング時間と $\frac{8\text{hr TWA}}{\text{測定値}}$ の関係を示す。表補-11の換算係数はこの図を基に決定した。

引用文献

- 1) Kumagai S, Matsunaga I. Within-shift variability of short-term exposure to organic solvent in indoor workplaces. Am Ind Hyg Assoc J 1999; 60: 16-21.
- 2) Larsen RI. A new mathematical model of air pollutant concentration averaging time and frequency. J Air Poll Control 1969; 19: 24-30.
- 3) Kumagai S, Matsunaga I. Changes in the distribution of short-term exposure concentration with different averaging times. Am Ind Hyg Assoc J 1995; 56: 24-31.

補足資料 12 ばく露の変動要因の詳細

- (1) 同等ばく露グループ (SEG) 内の個人ばく露濃度の変動要因

SEG内の作業者の8時間平均ばく露濃度の変動は作業者間変動と日間変動に分けられる。ここで、作業者間変動とは、各作業者の日間分布 (1人の作業者における日々の8時間平均ばく露濃度の集合) の幾何平均の作業者間の変動のことである。SEGとは同等ばく露者の集合であるから、本来は各作業者の幾何平均は同一であるはずであるが、実際には完全には一致しない。一方、日間変動はさらに作業環境が日々変動することに起因する変動 (日間変動I) と作業者自身の作業動作や移動経路の日々の変動に起因する変動 (日間変動II) に分けられる。したがって、SEG内の作業者の8時間平均ばく露濃度の変動は、作業者間変動、日間変動Iおよび日間変動IIの3つに分類できる。

産業現場での調査から得られたデータを基に、それぞれの変動の大きさの中央値 (産業現場における代表値) を算出すると、屋内作業の場合は、作業者間変動が $GSD_W=1.3$ 、日間変動Iが $GSD_{DI}=1.3$ および日間変動IIが $GSD_{DII}=1.7$ であり、屋外作業の場合は、作業者間変動が $GSD_W=1.4$ 、日間変動Iが $GSD_{DI}=2.9$ および日間変動IIが $GSD_{DII}=1.7$ である。また、それらの変動を合わせた総変動、つまりSEG内の作業者の8時間平均ばく露濃度の変動 GSD_{SEG} は、屋内作業では1.9、屋外作業では3.4となる。

(2) 個人ばく露評価における日間変動の取り扱い

作業環境評価では、1日測定の場合は日間変動を含めた評価を行うため、定数 $GSD=1.95$ ($\log 1.95)^2=0.084$) を用いる。同様に、個人ばく露評価において定数を用いて日間変動を含めた評価が可能であろうか。例えば10人のSEGの個人ばく露評価をする場合、測定日と測定対象者の選定が測定値の変動にどのように影響するかを考えてみる。方法① 5人をランダムに選択し同一日に測定する。方法② 5人をランダムに選択し、1日目は3人を2日目は2人を測定する。方法①の場合は、測定値の変動に作業者間変動および日間変動IIが含まれる。一方、方法②の場合は、測定値の変動に作業者間変動、日間変動Iおよび日間変動IIの3つが含まれる。このように、個人ばく露評価では、測定日と測定対象者の選定によって、測定値の変動に含まれる変動要因が変わってくる。このため個人ばく露評価では単純な数値調整は行わないことにした。ただし、本文で述べたように、測定結果がばく露限界値に近い場合は、別の日にはばく露限界値を超える可能性があるため、再測定をすることも選択肢となる。

補足資料 13 昼休みなどのサンプリングの有無と8時間時間加重平均値の算出

昼休みのように、8時間作業の途中でばく露のない時間帯があった場合に、その時間帯にサンプラーを外す (サンプリングを停止する) かどうか、およびその時間帯を8時間時間加重平均値の計算時に除外するかどうかは結果に影響を与えない。これについて実例で説明する。

ある1日において、午前中に3時間の作業、昼休みが1時間、午後4時間の作業、という勤務形態を考える。①昼休みにサンプラーを付けていた場合、および、②昼休みにサンプラーを外した場合、の2ケースを考察する。

まず、どちらのケースでも正味の作業 (ばく露) は変わらないので、サンプラーに捕集された有害物質総量は同じである。次に①、②の8時間の時間加重平均ばく露

値を各々求める。

① 全測定時間（サンプラーの装着時間）は8時間である。サンプラーの分析値（捕集された有害物質量）から、時間平均の気中有害物濃度を算出する際には、平均化時間として8時間を用いる。この時間平均気中有害物濃度を仮に10 ppmとする。この場合、測定時間がちょうど8時間なので、8時間の時間加重平均ばく露値は10 ppmとなる。

② 全測定時間（サンプラーの装着時間）は7時間である。サンプラーの分析値（捕集された有害物質量）から時間平均の気中有害物濃度を算出する際の、平均化時間は7時間となる。捕集された有害物質量は①と同じなので、この捕集時間平均気中有害物濃度は次になるはずである。（②の場合は、採取された大気量が①の7/8なので濃度が高い。）

$$10 \text{ (ppm)} \times (8/7) = 11.4 \text{ (ppm)}$$

8時間のうち、ばく露がない時間が1時間あるので、8時間時間加重平均ばく露値は次のようになる。即ち、結果は①と同じである。

$$11.4 \text{ (ppm)} \times (7/8) = 10.0 \text{ (ppm)}$$

上記の結果から、昼休み等のばく露のない時間帯については、その時間帯のサンプラーの着脱によらず、その時間帯にサンプリングを続けていたと仮定して計算してよいことがわかる。

補足資料 14 測定点数が5個未満の場合の95パーセンタイル値 (X_{95}) の算出法

一般に幾何標準偏差は次式で算出する。

$$\log GSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log c_i - \log GM)^2}{n-1}}$$

ここで、 C_i = 測定値である。ただし測定点数が少ない場合は、 GSD の計算値には大きな誤差が含まれている。そこで、測定点数が5個未満の場合は、産業現場における GSD_{SEG} の中央値を用いることにする。対数正規分布においては、 $\log \frac{X_{95}}{AM} = -1.151 (\log GSD)^2 + 1.645 \log GSD$ が成り立つ。 GSD_{SEG} の中央値は、屋内作業では1.9、屋外作業では3.4なので、上式に代入すると、それぞれ $X_{95} = 2.3 AM$ および $X_{95} = 3.5 AM$ が得られる。したがって、 $X_{95} = 3 AM$ とする。

補足資料 15 8時間のばく露限界値についての追加的な説明

8時間を超える作業に関する測定結果については、8時間ばく露限界値を補正して使用する。この補正方法はいくつかあるが、簡単な方法として OSHA モデルと Brief & Scala モデルによる補正式がある¹⁾。

OSHA モデル

$$OEL (T \text{ 時間}) = OEL (8 \text{ 時間}) \times 8/T$$

Brief & Scala モデル

$$OEL (T \text{ 時間}) = OEL (8 \text{ 時間}) \times 8/T \times (24-T)/16$$

例えば8時間のばく露限界値 ($OEL (8 \text{ 時間})$) が10 ppmである場合、「10時間のばく露限界値 ($OEL (10 \text{ 時間})$)」は OSHA モデルでは8.0 ppm, Brief & Scala モデルでは7.0 ppmとなる。なお、OSHA モデルを使用する際には、感作性がある物質では補正を行わないことや、蓄積性がある物質では1週間の労働時間を用いた補正式を用いるなどの制約がある。

混合有機溶剤など、同じ標的臓器や器官に対する類似の毒性影響を持つ化学物質が複数存在する場合には、それらを合わせた影響を考慮する必要がある。この場合、次の式により、各化学物質の濃度とばく露限界値との比を加算した値 (C) を混合物の濃度とし、ばく露限界値を「1.0」としてこれを基準に結果の評価を行う。

$$C = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} \dots\dots$$

C_i : 化学物質 i の濃度

T_i : 化学物質 i のばく露限界値

C : 混合物の濃度 (無単位)

混合物に対するばく露限界値 = 1.0

引用文献

- 1) Robert L. Harris. Patty's Industrial Hygiene, Fifth edition vol. 3. John Wiley & Sons, Inc., 2000: 1811-25.

補足資料 16 TLV-STEL の設定がない物質の短時間ばく露限界値の考え方

ACGIH は、短時間ばく露による健康影響に関する情報が十分ある化学物質については、15分間平均濃度に対するばく露限界値、TLV-STEL を設定している。これは8時間平均ばく露濃度が TLV-TWA 以下であっても、勤務中のどの15分間の平均ばく露濃度も超えてはならない基準である。一方、TLV-TWA は設定されていても、TLV-STEL が決められていない化学物質も多い。このようなケースでは、短時間ばく露の評価をどうすればいいであろうか。これらの化学物質は短時間ばく露による健康影響に関する情報が不十分なために、TLV-STEL が設定されていないのであるから、健康影響を基に短時間ばく露限界値を設定できない。そこで、ばく露濃度の日内変動を抑えることで、高濃度ばく露による健康影響を予防するという考え方がでてくる。

産業現場での調査によると、有機溶剤作業者の15分間平均ばく露濃度の日内変動の幾何標準偏差 (GSD) は1.1～8.4であり、中央値は2.3であった¹⁾。ところで、8時間ばく露濃度は32個の15分間平均ばく露濃度の算

術平均である。この 32 個が対数正規型に分布すると仮定すれば、15 分間平均ばく露濃度の最高値はこの分布の 97% 値 ($\times 100$) に相当する。対数正規分布においては、および $\log AM = \log GM + 1.151(\log GSD)^2$ なので、 $\log \frac{X_{95}}{AM} = -1.151(\log GSD)^2 + 1.88 \log GSD$ が成り立つ。この式に $GSD = 2.3$ を代入すると、 $X_{97} = 3.4 AM$ の関係が得られる。つまり、15 分間平均ばく露濃度の変動の GSD が産業現場の中央値程度であれば、15 分間平均ばく露濃度の最高値は 8 時間平均ばく露濃度の 3.4 倍となる。そこで 15 分間平均ばく露濃度の最高値を TLV-TWA の 3 倍以下にするように、短時間のばく露を管理することとした。

引用文献.

- 1) Kumagai S, Matsunaga I. Within-shift variability of short-term exposure to organic solvent in indoor workplaces. Am Ind Hyg Assoc J 1999; 60: 16-21.

補足資料 17 短時間のばく露限界値についての追加的な説明

ACGIH は TLV-STEL の定めのない物質について「超過限度値 (Excursion Limits)」を設定している¹⁾。超過限度値とは、TLV-TWA 値の 3 倍値と 5 倍値をいい、その定義を「8 時間のばく露が TLV-TWA を超えない前提の下で、1 労働日のうち合計 30 分までは TLV-TWA 値の 3 倍値を超えてよい、但しどのような時間においてもばく露が 5 倍値を超えてはならない」としている。これは本来、1 日内のばく露の変動を抑え短時間のばく露を一定の範囲に留める上で意味がある定めと思われる。しかし、米国で本委員会委員が専門家多数を調査したところ、TLV-TWA 値の 3 倍値を超えた時間を合算することが現実的でなく、米国の作業場では全くと言ってよいほど認知されておらず使用もされていないことが確認された。従って、本ガイドでは超過限度値を用いることは推奨しない。

TLV-STEL に関して、念のため追加的な説明を一点加えておく。ACGIH の TLV を記載した書籍 (TLVs and BEIs) には、TLV-STEL の説明として、次の記述がある。

「Exposures above the TLV-TWA up to the TLV-STEL should not be longer than 15 minutes…」¹⁾

日本語にすると、「TLV-TWA 値を超え TLV-STEL は超えないばく露が 15 分を超えてはならない」となる。従って、測定 (作業) 時間が 15 分を超えた場合は、ばく露濃度を TLV-STEL でなく TLV-TWA 値を基準値 (上限) として比較する必要がある。つまり TLV-STEL を基準値とできるのは測定時間が 15 分以内の場合に限られることになる。これに関しては上記同様に米の専門

家多数に確認したが、このような解釈はされておらず作業現場でも使われていない。従って、測定時間が 15 分を超えた場合でも STEL 値を基準値に用いることでよい。

引用文献

- 1) American Conference of Governmental Industrial Hygienists: 2014 TLVs and BEIs. 2014; 3-6.

補足資料 18 管理区分 2B で対策を必須とする理由

管理区分 2B とは、「 $0.5 \times OEL < AM \leq OEL$ 」かつ「 $OEL \leq X_{95}$ 」を意味する (図 2.4)。図補-18 は、管理区分 2B において、個人ばく露濃度が OEL を超える割合 (R) を、 $\frac{AM}{OEL} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ および 1.0 のケースについて示している。ここで R は 5% から 50% の範囲に入ることがわかる。実際の産業現場では、SEG のばく露濃度分布の GSD は 2 ~ 3 程度なので、 R は概ね 10% から 40% の範囲である。これは SEG 内の作業者の個人ばく露濃度の 10 ~ 40% が OEL を超えていることを示しており、このためばく露低減対策が必須とした。

一方、管理区分 2A とは、「 $AM \leq 0.5 \times OEL$ 」かつ「 $OEL \leq X_{95}$ 」を意味する (図 2.4)。この場合、 R は $\frac{AM}{OEL} = 0.5$ のケース (図補-18) よりも小さくなるので、概ね 5% から 10% の範囲である。これは SEG 内の作業者の個人ばく露濃度の 5 ~ 10% が OEL を超えていることを示しており、このためばく露低減の努力が必要とした。

補足資料 19 管理区分の区分けについての解説

第 2 章、図 2-3 ~ 2-5 では X_{95}/AM 比をほぼ 3 ($GSD = 2 \sim 3$ 程度において実際に良くある値) として図示している。これらの図を見ると、例えば X_{95} をばく露限界値の 100% と比較すること (管理区分 1C と 2A の境界) は、

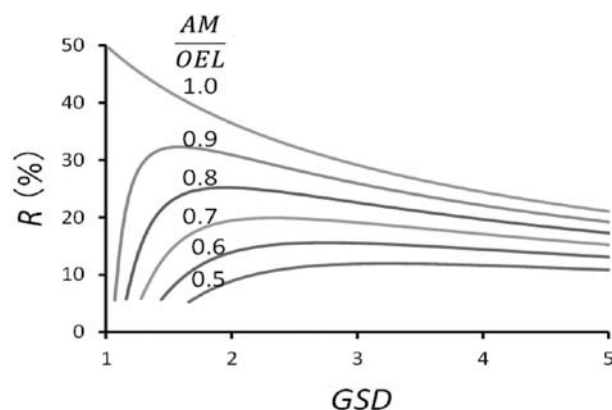


図 補-18. 管理区分 2B において個人ばく露濃度が OEL を超える割合 ($R, \%$) (OEL = ばく露限界値, AM = 算術平均値, GSD = 幾何標準偏差)

AM をばく露限界値の 30% と比較することにはほぼ等しい。同様に、 X_{95} をばく露限界値の 30% と比較することは、AM をばく露限界値の 10% と比較すること（管理区分 1B と 1C の境界）にはほぼ等しく、 X_{95} をばく露限界値の 10% と比較すること（管理区分 1A と 1B の境界）は、AM をばく露限界値の 3% と比較することにはほぼ等しい。こう考えると、管理の区分を定める場合に、AM と X_{95} のどちらを使用しても結果としては大きな違いはないことがわかる。本ガイドの管理区分の定義では AM と X_{95} の両方を用いているが、これは既に国内で定着している作業環境測定での区分方法を生かしたものである。

補足資料 20 個人ばく露測定と作業環境管理の対応

「作業環境測定を行った場合は作業環境管理を行う」という概念があり、更にこれとの対比で、「個人ばく露測定を行った場合は作業管理を行う」と言われることが時折ある。個人ばく露測定と作業管理を必要以上に固定的に結び付けるこのような考え方は適切でない。

前者の概念は原則としては妥当だが、例えば短時間の作業に関して B 測定により問題が判明した場合、状況によっては作業管理（作業の位置の変更、保護具の使用等）で対応する場合もあるであろう。

後者の「個人ばく露測定を行った場合は作業管理を行う」は明らかな誤りである。個人ばく露測定は作業者の動きに追従して評価をすることから、作業管理に関する対応策を発見し実施できる可能性が比較的高いという特徴がある。但し、対策の優先順位はあくまでもまず作業環境管理、次いで作業管理であり、評価や測定の方法によらず、この原則を外してはならない（表 2-8）。

ここで、個人ばく露測定によって「作業環境」の良否が判断できるのか、という疑問があるかもしれない。場の測定は、作業場内のばく露分布や発生源の直接的な調査に役立つことがある。一方で個人ばく露測定の場合は被測定者が動くため、一般にこのような直接的な評価は難しい。しかし、ベテランの作業環境測定士などであれば既に経験している通り、作業場の事前調査時や作業中の観察により、発生源や物質の拡散状況が実際判断できるケースが非常に多い。作業場の事前調査における着眼点として、作業場の観察によるばく露の主な原因（発生源、拡散状況等）、および作業環境管理対策案を含むリスク低減措置の候補案の検討を挙げているのはこのような意味がある（表 2-2 参照）。ある程度熟練した技術者の常識的な観察力と判断力があれば、わざわざ場の測定を行うまでもないということである。作業場の観察時に簡易測定法を活用し、発生源や拡散状況を調べることも作業環境の良否の判断の重要な手段となる。更に、時間の経過で作業環境や発生源が変化するような場合には、それに合わせた短時間の個人ばく露測定や分割サンプリ

ング法などが作業環境の良否の判断に役立つ。

また、ばく露測定の結果が判明した後に、必要に応じて作業場を再度観察したり、簡易測定を行って発生源などを特定することも、作業環境を評価するための選択肢となる。これは対策策定のための検討の一環と解釈できる。この際、発生源や拡散状況等がどうしてもわからず、作業環境管理対策が立てられない場合に、場の測定を追加的に行うことはあり得るが、実際にはそのようなケースはあまりないと思われる。

補足資料 21 個人ばく露測定と健康管理の関係

「個人ばく露測定は健康管理と結びついている」と言われることがある。これに関しては、人や状況により解釈の仕方が様々で注意が必要である。

有害因子による健康障害は、「有害因子（ハザード）→ばく露→有害因子の体内への侵入→標的臓器→健康障害」の流れで起こる。この流れが起きているかをその「上流」の「ばく露」の部分でチェックすることが個人ばく露測定である。そして、測定の結果をばく露限界値（健康に関するリスク判断の基準値）と比較し、健康リスクが高いと判断された場合に特殊健康診断等の健康管理を適宜行う、ということは健康リスクの評価と管理の重要な基本である。この意味で、「個人ばく露測定と健康管理は強い結びつきがある」と整理できる。これを、「個人ばく露測定は健康リスクを監視するための最適な手段の一つである」と表現することもでき、事業主に個人ばく露測定の実施を勧める場合にこのような説明が納得感を得やすい、と聞くことができる。

但し、個人ばく露測定を行なった場合に健康管理が常に最優先のリスク低減措置ではなく、またリスク低減措置として専ら健康管理を行う訳でもない。「個人ばく露測定と健康管理の結びつき」を必要以上に固定化して捉えることは適切でない。

ところで、現在の法定の特殊健康診断（有機溶剤、特定化学物質、鉛など）は、それら物質の「取扱い業務に常時従事する労働者」全てに対して行うよう定められており、リスクでなくハザードに基づく管理となっている。作業上のリスク（ばく露）をまず評価し、それに基づき必要な者に特殊健康診断を行うことが本来合理的と考えられる。

リスクに応じた健康管理対策の別の例としては、特定の高ばく露者に対する健康管理がある。例えば、ある SEG に関して、SEG 全体のばく露は低いが特定の作業員 1 名だけのばく露が高かったとする。その原因が特別の作業への従事にあると判明した場合、その作業員に対して健康状態の確認を行うことが勧められる。また別の例として、化学物質の漏洩や事故などによる緊急的なばく露を受けた場合、作業員へのヒアリング等からそのば

く露の程度を推定するとともに、その結果に基づき必要に応じて迅速に健康状態の確認等の臨時の健康管理を行う必要がある。

補足資料 22 個人ばく露測定結果の報告

職場管理者に宛てた報告書には、個人ばく露測定の結果を原則として被測定者名入りで書く。作業場の管理責任者にとり、誰がどんなばく露を受けたかを知ることが重要である。即ち、職場を熟知している管理者が特定の作業者の高いばく露の原因（特定の作業等）を推定できたり、作業者に直接確認して原因を調査できる。他方、報告書の内容を職場内で公開する場合、即ち衛生委員会での報告や職場での掲示などの際には個人名は通常必要なく、伏せることがよいと考えられる。

このように、個人別のばく露測定結果は必要な場合と範囲においてのみ公開する。但し、個人ばく露測定の結果は健康診断結果のような「医療情報」ではないので、必要以上に厳重な管理をしなくてよいと考えられる。一方、被測定者本人には測定結果を報告することが、信頼関係を築く上でも、その後の対策への積極的な参加を促す上でも重要である。

補足資料 23 再評価・測定頻度の決定における判断の要因

再評価・測定の頻度は原則として一定の範囲内で変更可能である（本文、表 2.9）。この頻度は、次の①、②の2つの要因をもとに SEG の今後のばく露リスクを総合的に考察して決定する（本文、表 2.10）。

- ① 初回（前回）の管理区分
- ② ばく露リスクに関わる諸要因
 - （ア）取扱い物質の有害性の程度

		①初回(前回)管理区分					
		3	2B	2A	1C	1B	1A
②ばく露リスクにもとづくリスク	大						
	中						
	小						
		リスク小・頻度（間隔）大					

図 補-23. 再評価・測定の頻度決定の概念図

（イ）管理区分の信頼性

この進め方は、図補-23 の概念で整理できる。即ち、①と②の要素をマトリックス上で捉え、これらの組合せで今後のばく露リスクを判定する。

図では、右下ほど総合的なリスクが小さくなるので、再評価・測定の頻度（間隔）を最も広く取ることができる。ここで、「②ばく露リスクに関わる諸要因にもとづくリスク」が「大」の場合は、各管理区分（①）におけるもっとも短い再評価・測定頻度が適用される（例：管理区分 1A であれば 2 年毎の再評価、3 年毎の再測定。本文の表 2.9 参照）。

補足資料 24 個人ばく露測定の事例（8 時間測定、試験作業、有機溶剤）

A 社の B 工場（石油化学製品製造）の品質試験課において個人ばく露測定を行なった。この課では、課長以下 18 名が製品の品質試験を行っている。勤務時間は日勤のみで原則 8 時間である。作業場の様子を図補-24 に示す。

まず統括管理者が作業場の事前調査を行った。最も多く使用されているトルエンを対象に個人ばく露測定を行なうこととした。課内の組織、作業の分担、作業内容等を課長と課の技術スタッフからヒアリングするとともに、作業場内を観察した。その結果、同等ばく露グループ（SEG）を表補-24.1 のように A～D の 4 つに分けた。SEG-A は、いくつかの化学製品、半製品の物理試験を主に行っており、その過程でトルエンの使用がかなり多く、ばく露（8 時間ばく露）が「大」と推定した。SEG-B は、化学製品のガスクロマトグラフによる分析が主業務であり、トルエンのばく露を「中」と推定した。SEG-C（水質試験担当）は同じ部屋の片隅で作業を行っており、直接トルエンを取扱うことは無い。但し、部屋全体に溶剤臭が若干あることからばく露を「小」と推定した。SEG-D（管理スタッフ）は、1 日のほとんどが別の事務室における事務作業で、作業場に立ち入る時間は



図 補-24. 対象作業場（試験室）

表 補-24.1. SEG の分けとばく露の推定

SEG	名称	人数	作業内容	トルエン 取扱い	ばく露の 推定
A	試験 A チーム	8	石油化学製品の物理性状試験 (密度, 沸点, 引火点等)	有	大
B	試験 B チーム	5	同じくガスクロマトグラフ等 機器分析が中心	有	中
C	環境試験チーム	3	排水の水質試験が主. 試験室 内の一隅での作業.	無	小
D	管理スタッフ	2	課長と技術スタッフ. 日に 2 ~ 3 回試験室に立ち入るのみ	無	極小

表 補-24.2. 測定の計画

SEG	サンプル数 (1 日目 + 2 日目)	測定日数
A	5 (3+2)	2 日
B	5 (3+2)	2 日
C	2	1 日
D	測定せず	—

表 補-24.3. SEG-A の測定データ

作業者 *	測定時間 (分)	測定値 (ppm)	8-hr TWA (ppm)
1	360	2.4	1.8
2	380	18.7	14.8
3	300	13.4	8.4
4	420	7.6	6.7
5	340	4.2	3.0

*1,2,3 は 1 日目に測定. 4,5 は 2 日目に測定.

表 補-24.4. 評価結果と管理区分の判定

SEG	AM (ppm)	X_{95} (ppm)	GM (ppm)	GSD	管理区分
A	6.9	21.3	5.4	2.3	2A
B	4.0	11.1	3.2	2.1	1C
C	1.0	3.0	—	—	1B
D	—	—	—	—	1A (推定)

* トルエンのばく露限界値は, 20 ppm (ACGIH-TLV-TWA)

1 日に 2 ~ 3 回で合計時間は 30 分以下のため, ばく露は SEG-C よりさらに低く「極小」と推定した.

以上の結果に基づいて, 統括管理者が測定計画を立案した (表補-24.2). SEG-A, B はサンプル数を 5 とし 2 日間で測定した. SEG-C は念のため確認する目的で, 簡易的にサンプル数は 2 で 1 日の測定とした. SEG-D の測定は今回は行わず, もし SEG-C のばく露がある程度大きかった場合に測定することとした. また, ヒアリングの結果, 各 SEG の作業内容は 1 日を通して大きくは変わらず, 短時間で特にばく露が大きい作業はないということだったので, 短時間のばく露測定は行わなかった.

測定の当日, 統括管理者が朝一番の課内ミーティングで, 測定の趣旨や注意事項を簡単に説明した. 課長は事前にその日定常的な作業を行う者の中から各 SEG の被測定者を選定した. 作業開始前に, 統括管理者が各

被測定者の胸元にパッシブサンプラーを装着した. また, 作業記録用紙を被測定者に配布した. 統括管理者はその後作業の様子を短時間確認した後, 作業場を離れた. 1 日の作業が全て終了したタイミングで, 統括管理者が予め説明し依頼をしておいた課の技術スタッフが被測定者からサンプラーを回収し, サンプラーへのキャップ (密封), サンプリング終了時刻の記録, 作業記録用紙の回収を行った. 翌日, 同様に SEG-A, B に対して残りの測定を行った. サンプラーの装着, 回収等は課の技術スタッフが行った.

統括管理者はサンプラーを外部の分析機関に提出し, 分析を依頼した. また, 作業記録の内容を確認し, 異常な現象や格別な非定常作業が無かったことを確認した.

統括管理者は分析結果をもとに, 8 時間平均ばく露を算出した. SEG-A の測定データを表補-24.3 に示す. 各 SEG についてデータを統計的に評価して, 管理区分

を判定した。その結果を表補-24.4に示す。トルエンのばく露限界値は、20 ppm (ACGIH-TLV-TWA) と 50 ppm (日本産業衛生学会許容濃度) のうち、前者を使用した。SEG-D については、SEG-C の管理区分が 1B であり、SEG-D の作業場の滞在時間が SEG-C の 1/10 程度であることから判断して、管理区分を 1A と推定した。

SEG-A は管理区分 2A であったため、統括管理者が対策の余地を検討した。作業場には局所排気装置が十分な数が設置され、作業場観察時にその性能も確認済みであった。一方、ドラフトチャンパー外のテーブルにはトルエンや廃液の容器、作業時に使ったウエス等が多数置かれ、またいくつかの作業がこのテーブルで行われていた。そこで、容器等をできる限りドラフトチャンパー内に収納すること、および可能な作業をドラフトチャンパー内で行うように変更することを課長に提案し合意を得た。また、今後作業に何か変更がある場合は随時統括管理者に連絡をもらうよう伝達した。

統括管理者は測定報告書を課長宛に発行した。合わせて、被測定者全員に別途各人の測定結果を文書で報告した。その後、統括管理者は課内の安全会議に招かれ、今回の測定結果と対策、およびトルエンの SDS と有害性に関して課員に説明、教育した。

再評価・測定については、この作業場では今回の測定が初めてで、かつ統括管理者の経験が浅いことを踏まえ、SEG-A、B については 6 月後に行うこととした。その結果が今回と同等以上であればその後の再評価・測定の頻度は緩和できる可能性があると考えた。SEG-C は 1 年後に再評価・測定する予定としたが、SEG-A、B の 6 月後の結果が良好であれば測定を簡易測定で行う可能性があると考えた。

補足資料 25 個人ばく露測定の事例 (8 時間測定、塗装作業、有機溶剤)

作業環境測定機関が塗装会社 B 社から個人ばく露測定の依頼を受けた。まず、統括管理者が作業場の事前調査を行った。作業場は前処理作業場と塗装作業場に分かれていた。表補-25.1 に作業内容と使用化学物質を示す。前処理作業場では、3 人の作業者がトルエンを含ませた布で被塗装物の表面の汚れを拭き取り、塗装作業場に運んでいた。塗装作業場では 1 人の作業者が、塗料とシンナーを混合して粘度を調整して塗装機に注入し、次に水洗ブース (外付式局所排気装置) の前の回転テーブルに被塗装物を設置して塗装していた。塗装後は乾燥機に入れて加熱し、乾燥後取り出していた。塗料に含まれる有機溶剤はトルエンとキシレンであり、シンナーはトルエンであった。なお、いずれの作業場にも壁に換気扇が設置されていた。就業時間は 8 時から 17 時 (実作業の始

まりと終わり) であり、昼休みは 1 時間であった。

前処理作業では、使用されたトルエンは全て蒸発すること、局所排気装置が設置されていないことから、ばく露を「大」と推定した (表補-25.1)。塗装作業では、使用されたトルエンとキシレンの大部分が蒸発すること、局所排気装置は設置されているが、発生源からフードまでの距離が遠いことから、ばく露を「大」と推定した (表補-25.1)。

同等ばく露グループ (SEG) は、前処理作業 3 人を SEG-A、塗装作業 1 人を SEG-B とし、それぞれトルエンばく露濃度、トルエンおよびキシレンばく露濃度を測定することとした。対象者はいずれの SEG も全員とし各人とも 2 日間測定することとした (表補-25.2)。

測定当日は事業場に到着後、通常作業が行われていることを確認した上で、パッシブサンプラー (活性炭) を作業者の襟元に装着して呼吸域の空気をサンプリングし、終業時の 1 時間前にサンプラーを外してキャップで密閉した。なお、昼休みはサンプラーが邪魔になるので、外してキャップで密閉した。初回測定のサンプリング時間は原則 8 時間であるが、作業環境測定機関から当該事業場までの往復の時間が必要であり、結果としてサンプリング時間は 330 ~ 347 分間 (昼の休憩時間を除く) となった。工場長および作業者に確認したところ、サンプリング前後の時間帯の作業は、サンプリング時間帯の作業と同様であるとのことであった。サンプラーを作業環境測定機関に持ち帰り、翌日に二硫化炭素で脱着後、ガスクロマトグラフにて分析した。

測定結果を表補-25.3 および表補-25.4 に示す。サンプリング時間は 8 時間未満であるが、サンプリングした時間帯とサンプリングしていない時間帯のばく露濃度には大きな差はないと仮定し、8-hr TWA は測定値と同値とした。トルエンの評価には、ACGIH の TLV-TWA である 20 ppm と日本産業衛生学会の許容濃度である 50 ppm のうち低い 20 ppm を、キシレンの評価には、ACGIH の 100 ppm と日本産業衛生学会の 50 ppm のうち低い 50 ppm を用いた。評価結果を表補-25.5 に示す。SEG-A については、トルエンの AM は 18 ppm、 X_{95} は 75 ppm であり、管理区分 2B と判定された。SEG-B については混合ばく露として評価すると、AM は 2.5、 X_{95} は 7.5 (測定値が 2 個なので、AM の 3 倍とした) であり、管理区分 3 と判定された。このため改善案を作成して事業場に提案し、改善後、その効果を確認するために再測定を行うこととした。

補足資料 26 個人ばく露測定の事例 (8 時間測定、塩化ビニルコンパウンド製造、鉛系粉じん)

作業環境測定機関が塩化ビニルコンパウンドの製造会社 C 社から鉛の個人ばく露測定の依頼を受けた。まず、

表 補-25.1. SEG の区分けとばく露の推定

SEG	名称	人数	作業内容	有機溶剤取扱い	ばく露の推定
A	前処理作業者	3	被塗装物の汚れの拭き取り	トルエン	大
B	塗装作業者	1	水洗ブースの前で吹付塗装	トルエン, キシレン	大

表 補-25.2. 表 補-25.2 測定計画

SEG	サンプル数 (1日目+2日目)	測定日数
A	6 (3+3)	2 日
B	2 (1+1)	2 日

表 補-25.3. SEG-A の測定データ

測定日	作業者	測定時間 (分)	測定値 (ppm)	8-hr TWA (ppm)
			トルエン	トルエン
1	1	347	10	10
	2	345	2	2
	3	345	16	16
2	1	330	7	7
	2	330	35	35
	3	330	39	39

表 補-25.4. SEG-B の測定データ

測定日	作業者	測定時間 (分)	測定値 (ppm)		8-hr TWA (ppm)		混合評価
			トルエン	キシレン	トルエン	キシレン	
1	1	347	69	26	69	26	3.97
2	1	330	19	5	19	5	1.05

表 補-25.5. 評価結果と管理区分の判定

SEG	AM (ppm)	X ₉₅ (ppm)	GM (ppm)	GSD	管理区分
A	18	75	12	3.03	2B
B	2.5	7.5	-	-	3

統括管理者が作業場の事前調査を行った。工程は大きく3つに分かれ、①粉末状の塩化ビニルポリマー、顔料およびステアリン酸鉛（安定剤）をミキサーで混合し、②ロール機で加熱混練して帯状のシートにし、③裁断機でペレット状にしたものを袋詰めする。混合作業者、ロール作業者および袋詰作業者はそれぞれ2人、2人および1人であった。ミキサーには外付式局所排気装置が設置されており、作業場には壁に換気扇が設置されていた。就業時間は8時から17時（実作業の始まりと終わり）であり、昼休みは1時間であった。

混合作業では、粉末状のステアリン酸鉛を取り扱うため発塵が多く、局所排気装置が設置されているものの、十分に吸引されていない様子であったため、ばく露を「大」と推定した（表補-26.1）。ロール作業では、ミキサーで混合されたものを加熱混練するため、最初は発塵するが、時間とともに粘性が増して発塵しなくなるので、ばく露を「中」と推定した（表補-26.1）。袋詰作業

では、既にペレット状になっており、ばく露を「小」と推定した（表補-26.1）。

同等ばく露グループ（SEG）は、混合作業者2人をSEG-A、ロール作業者2人をSEG-B、袋詰作業者1人をSEG-Cとした。測定対象者はSEG-Aは2人、SEG-Bは1人、SEG-Cは1人とした。（表補-26.2）。測定当日は事業場に到着後、通常作業が行われていることを確認した上で、フィルターをセットしたホルダーを作業者の襟元に装着し、携帯用吸引ポンプを腰に装着して呼吸域の空気をサンプリングし、終業時の1時間前に外して、フィルターを密閉容器に保管した。なお、昼休みはサンプラーが邪魔になるので外した。初回測定のサンプリング時間は原則8時間であるが、作業環境測定機関から当該事業場までの往復の時間が必要であり、結果としてサンプリング時間は350～360分間（昼の休憩時間を除く）となった。工場長および作業者に確認したところ、サンプリング前後の時間帯の作業は、サンプリング時間帯の

表 補-26.1. SEG の分けとばく露の推定

SEG	名称	人数	作業内容	ばく露の推定
A	混合作業者	2	粉末状の塩化ビニルポリマー、顔料およびステアリン酸鉛（安定剤）をミキサーで混合する	大
B	ロール作業者	2	ロール機で加熱混練して帯状のシートにする	中
C	袋詰作業者	1	裁断機でペレット状にしたものを袋詰めする	小

表 補-26.2. 測定計画

SEG	サンプル数	測定日数
A	2	1 日
B	1	1 日
C	1	1 日

表 補-26.3. 表 補-26.3 SEG-A, B, C の測定データ

SEG	作業者	測定時間 (分)	測定値 (mg/m ³)	8-hr TWA (mg/m ³)
			鉛	鉛
A	1	350	0.06	0.06
	2	350	0.08	0.08
B	1	360	0.03	0.03
C	1	360	0.05	0.05

表 補-26.4. 評価結果と管理区分の判定

SEG	AM (mg/m ³)	X ₉₅ (mg/m ³)	GM	GSD	管理区分
A	0.07	0.21	-	-	3
B	0.03	0.09	-	-	2B
C	0.05	0.15	-	-	2B

作業と同様であるとのことであった。フィルターを作業環境測定機関に持ち帰り、翌日に 2.5M 硝酸で鉛を溶出後、原子吸光光度計にて分析した。

測定結果を表補-26.3 に示す。サンプリング時間は 8 時間未満であるが、サンプリングした時間帯とサンプリングしていない時間帯のばく露濃度には大きな差はないと仮定し、8-hr TWA は測定値と同値とした。鉛の評価には、ACGIH の TLV-TWA である 0.05 mg/m³ と日本産業衛生学会の許容濃度である 0.1 mg/m³ のうち低い 0.05 mg/m³ を用いた。評価結果を表補-26.4 に示す。SEG-A については、AM は 0.07 mg/m³、X₉₅ は 0.21 mg/m³ であり、管理区分 3 と判定された。SEG-B については、AM は 0.03 mg/m³、X₉₅ は 0.09 mg/m³ であり、管理区分 2B と判定された。SEG-C については、AM は 0.05 mg/m³、X₉₅ は 0.15 mg/m³ であり、管理区分 2B と判定された。このため改善案を作成して事業場に提案し、改善後、その効果を確認するために再測定を行うこととした。

補足資料 27 個人ばく露測定の事例（短時間測定、サンプリング作業、化学物質）

D 社の E 工場（石油精製）の製品課において短時間の個人ばく露測定を行なった。この課では、2 週間に 1

回、石油製品への添加剤であるエチル t-ブチルエーテル（ETBE）を船荷で受け入れている。ETBE は沸点 73℃ の有機溶剤であり、有害性も一般の有機溶剤と類似している。ETBE を積載した船が工場に着岸し、作業員数名が船に乗り移り、船倉のハッチ（開口部、蓋付き）を開け、船倉内の ETBE を品質試験用にサンプリングする屋外の作業がある。作業の様子を写真（図補-27）に示す。

まず統括管理者が作業場の事前調査を行った。職場の管理者によると、作業中に一定程度の臭気があるため、暫定的に半面形防毒マスク（有機ガス用吸収缶付）を着用して作業しているとのこと、早急に測定することにした。作業員が ETBE に接する機会は 1 日のうちこの作業だけなので、8 時間測定は行わず、短時間ばく露測定を行うことにした。作業員は 3 名、作業時間は 15 分弱である。ばく露は「大」と推定した。測定の計画を表補-27.1 に示す。

当日の風速は弱く、屋外での測定に適切と判断した。作業の直前に 3 名の被測定者にパッシブサンプラーを装着しサンプリングを開始した。一連の作業は、ハッチ（写真で 3 名が囲んでいる開口部分）の蓋を空け、ハッチ内に金属製のサンプリング容器（写真で右側の作業員が持っているもの）を投入し、それを引き上げ、内容物



図 補-27. ETBE のサンプリング作業（屋外，船上）

を別の容器に写し、ハッチの蓋を閉める、であった。作業直後にサンプラーを取外しサンプリングを終了した。作業中は統括管理者が作業を観察していた。

測定結果を表補-27.2 に示す。各サンプリング時間が15分未満だったので、測定値を15分時間加重平均値に換算した。この結果から統計指標を算出し管理区分を判定した。その結果を表補-27.3 に示す。ETBE のばく露限界値は、25 ppm (ACGIH-TLV-TWA) であり、TVL-STEL は設定されていないため、25 ppm の3倍値である75 ppm を短時間のばく露限界値として用いた。なお、日本産業衛生学会では許容濃度を設定していない。

管理区分は2B となった。リスク低減措置としては、この作業は短時間で頻度が比較的小さく、また船上では換気装置等の配備が非常に困難であることから、呼吸用保護具を今後も継続して使うこととした。半面形防毒マスクの防護係数は一般に10 であることから、理論的には基準濃度（ばく露限界値等）の10 倍までの環境下で使用できるので、現在のマスクで妥当と判断した。また、マスクの着用や管理の仕方、カートリッジの定期交換に関して作業員への教育、およびマスクのフィットテスト（マスクと顔面の密着性の評価）を行った。

補足資料 28 個人ばく露測定の事例（短時間測定，タンクローリー積込作業，ガソリン）

E 社の F 工場と G 工場（石油精製）の製品出荷課において短時間の個人ばく露測定を行なった¹⁾。この課では、毎日延べ約 500 台のタンクローリーでガソリン等を出荷している。空のタンクローリーが工場内の積み込み場に入り、ローリーの運転手（E 社が契約している運送会

表 補-27.1. 測定の計画

SEG	作業員数（人）	サンプル数	測定日数
A	3	3	1 日

表 補-27.2. SEG-A の測定データ

作業員	測定時間（分）	測定値（ppm）	15 分時間加重平均値（ppm）
1	12	52	41.6
2	13	68	58.9
3	12	95	76.0

表 補-27.3. 評価結果と管理区分の判定

SEG	AM (ppm)	X_{95} (ppm)	GM	GSD	管理区分
A	59	177	—	—	2B

* 短時間ばく露限界値 = 75 ppm (ACGIH-TLV-TWA 25ppm の 3 倍値)

社の従業員）がローリーの上に乗り、ガソリタンクにガソリンを注入する積込作業がある。作業の様子を写真（図補-28）に示す。

まず統括管理者が作業場の事前調査を行った。作業は、ハッチ（開口部、写真で作業員の足元の開口部分）の蓋を空け、ハッチ内にガソリン注入用配管（写真で作業員が持っているもの）を入れ、ガソリンをポンプで注入する。1 回の注入に要する時間は 3 ～ 4 分でその間作業員はハッチから 1.5 m くらい離れて監視している。注入後に注入用配管を引き上げ、ハッチの蓋を閉める。この時、注入用配管はガソリン液で濡れているが、その引き上げ時に周囲に液体が散乱しないように、バケツ状の覆いが配管の下部に被せられる。ガソリンのタンクは 1 台のローリーあたり、2 ～ 6 個あるので、この作業をタンクの数だけ繰り返して一連の作業が終了する。合計の作業時間は 15 ～ 30 分である。作業員によると、できるだけ風上から作業するようにしているが、作業中に臭気を感じることがあるとのことであった。ばく露を「中」と推定した。

この作業は毎日行われ、従事する作業員数は E 社全体で 1 日延べ 2,000 人となり非常に大規模であるため、その安全性の確認は重要である。そこで大規模な測定計画を立てた。（表補-28.1）この作業内容は作業員や事業場によらず一定なので、全てのタンクローリー運転手をまとめて一つの SEG とした（SEG の構成人数は約 2000 名）。F 工場、ある 1 日に作業員 6 名に対してこの作業の短時間ばく露測定を行う。季節的な変動を見るため、この測定を 2 月おきに 1 年間、計 6 回行う。同様の測定を G 工場でも行う。この結果、予定サンプル数は 72 個となる。風速が 5 m/s 以下で雨天でない日を測定

日とした。

測定対象物質はガソリンとベンゼンとした。ガソリンには0.5%程度のベンゼンと共に、トルエン、n-ヘキサン、エチルベンゼン、キシレンなども各々1～10%程度含まれている。過去にこれら物質の気中ばく露濃度は調べており、それらとばく露限界値の関係から、健康へのリスクはガソリン、ベンゼンに比べ非常に小さいことが確認されていたため、これら物質の測定は行わなかった。また、タンクローリーは1日のうちに、製油所での積み込みとガソリンスタンドでの積下ろしを2～3サイクル行うので、その運転手は1日に渡ってガソリン等のばく露を受ける。運転手の8時間ばく露測定は別途過去に行い、その結果は十分安全な領域であった。

ガソリンのローリー積み込作業に関しては、作業時間内でばく露が最も高い15分間を特定することが困難と判断されたので、作業時間全体を測定することにした。作業の直前（被測定者がタンクローリーに上る前）にアクティブサンプラー（活性炭捕集管と防爆型の小型ポンプ）を被測定者に着用し、200 ml/min の速度でサンプリングを行った。作業が終了し被測定者がタンクローリーから降りた直後にサンプラーを取外しサンプリングを終了した。実際の測定時間は作業時間と同じ15～30分となった。作業中は統括管理者が作業を観察していた。

測定結果を表補-28.2に示す。異常値等を除き計70サ



図 補-28. タンクローリーへのガソリン積み込み作業（屋外）

ンプルが採取できた。サンプリング時間が全て15分以上だったので、測定された各時間平均の濃度をそのまま用いて統計指標を算出し管理区分を判定した。その結果は、ガソリン、ベンゼン共に管理区分1Bであった。

なお、得られた結果を事業場別、季節別にも分析したが、格別の傾向はみられなかった。季節によりガソリンの組成を調整するので、季節（気温）の影響が表れにくかったと考察した。作業者が臭気を感じることだったが測定の結果は推定より低くなった。この理由は、ガソリンの短時間ばく露限界値がかなり大きいこと（500 ppm）と、作業者がハッチに近づく時間が短いためと考察した。

以上の結果により、現状の作業方法で基本的には問題がないと判断した。更なる安全の確保のため、全ての事業場のタンクローリーの運転手に対し、積み込み作業中は必要時以外にはハッチからできるだけ離れることを励行するよう周知した。

引用文献

- 1) 西川敏裕, 中原浩彦, 新井幹郎, 橋本晴男: タンクローリー運転手のガソリンばく露の包括的な評価. 産業衛生学雑誌 2014; 56 (臨時増刊号), 360.

補足資料 29 オキュペイショナルハイジニスト

オキュペイショナルハイジニスト (Occupational Hygienist, OH) は欧米の産業衛生技術の専門家を指し、主に欧州ではオキュペイショナルハイジニスト、北米ではインダストリアルハイジニストと呼ばれるがその意味は同じである。ここでは前者で統一する。

表 補-28.1. 測定の計画

(1) 1回の測定

SEG	SEGの構成人数 (人)	サンプル数 (被測定者数)	測定日数 (日)
A	約 2,000	6	1

(2) 測定の繰返し

測定回数と時期	年6回 (2～12月まで2月毎)
測定場所	F工場とG工場
予定総サンプル数	72 (= 6 × 6 × 2)

表 補-28.2. 評価結果と管理区分の判定

化学物質	サンプル数	最小値 (ppm)	最大値 (ppm)	AM (ppm)	X_{95} (ppm)	GM (ppm)	GSD	管理区分
ガソリン	70	2.2	160	37	121	27	2.5	1B
ベンゼン	70	0.01	0.58	0.15	0.48	0.11	2.5	1B

* 短時間ばく露限界値: ガソリン = 500 ppm, ベンゼン = 2.5 ppm.

OH の最も基本的な役割は、事業場内の産業衛生に関するリスクアセスメント、マネジメントを包括的に行うことである。対象となる有害因子（ハザード）は事業場内の化学、物理、生物、人間工学的因子全てにわたる。事業場内の産業衛生に関して、OH が工学的・技術的な側面を、産業医等の医療職が医学的な側面を管理する体制になっている¹⁾。

これ以外の一般的な OH の役割には、リスクコミュニケーション（周知、教育）、作業手順の産業衛生面からの審査、新規に導入する化学物質（その SDS を含む）の審査、大規模工事やプロジェクトの産業衛生管理、自社発行の SDS の産業衛生面での審査、緊急事態（物質の漏洩など）への対応、法令の監視や周知、労働安全衛生マネジメントシステムへの参加などが挙げられる。事業場内の産業衛生技術に関する事項を全て担当する専門家と言える。

米、英、豪などの欧米諸国では OH のための専門の大学や大学院課程、資格制度、学会、継続教育の仕組みなどが整い、重要な専門職として社会的な位置付けと評価が確立されている。OH は企業に所属する場合が多いが、コンサルタントとして独立する場合、および行政の労働衛生監督官となる場合もある。

以上のように、OH の一般的な役割は本ガイドで述べた統括管理者の役割（化学物質の個人ばく露測定を包括的に実施）を包含し、かつそれよりも広い。但し、統括管理者相当の役割は OH の役割の核となる部分でありその原点とも言うことができる。

引用文献

- 1) 橋本晴男、インダストリアルハイジニスト、小木和孝ほか編、産業安全保健ハンドブック、川崎：労働科学研究所、2013: 1194-7。

補足資料 30 個人ばく露測定に伴う事業主の負荷

ある作業場で今から個人ばく露測定を初めて行う場合を仮定し、事業主の負荷（人件費や経費の負担）を考察する。

個人ばく露測定を開始する段階では、作業場に同等ばく露グループ（SEG）を設定する。SEG 当たりの作業人数は数人以下程度の比較的少数が多いと予想され（補足資料 4 参照）、これは作業環境測定における 1 単位作業場所当たりの作業人数より一般にやや小さいと考えられる。従って、1 作業場あたりの SEG 数は作業環境測定の単位作業場所数より多いと予想される。また、初期の段階では一般に統括管理者の経験が浅くかつ過去の測定の蓄積がないため測定を簡略化するケースが限定され、SEG 当たりの測定サンプル数が比較的多くなる（基本は 5 点以上）。この結果、1 作業場あたりの総サン

プル数は作業環境測定の場合より多くなると予想される。さらに、測定時間は一般に作業環境測定より長め（基本は 8 時間又はできるだけ長い時間、少なくとも 2 時間以上）となる。これらから、個人ばく露測定に関わる当初の測定の負荷は作業環境測定の場合よりやや大きい可能性があるとの仮説が成り立つ。

経年的に見ると、個人ばく露測定の場合は、ばく露低減対策を行うことで管理区分が良化し、これにより再評価・測定の頻度（本文、表 2.9）が大きく低下することが予測される。また、統括管理者の熟練、および当該作業場や他の作業場での類似評価・測定結果の蓄積等により、統括管理者の裁量・判断による測定や再測定の効率化（測定の有無、サンプル数、測定時間等）も可能である。従って、個人ばく露測定の場合、再評価・測定が 1～3 回程度行われた後、即ち初回の測定から 1～3 年程度以降は、測定の負荷は急激に小さくなると予測される（図補-30（A）に概念図を示す）。なお、このようにして生じた統括管理者や測定担当者の余力は、短時間の作業に関するばく露の評価・測定（作業頻度が比較的小さい作業を含む）や、対象とした以外の化学物質や有害因子（化学物質以外を含む可能性がある）の評価、測定などに振り向けていくことで、より多面的なリスク管理が可能になる。以上のような経年的な変化は、本委員会の委員が所属する企業の事業場でも実際に経験されている。

一方、作業環境測定の場合は一般的に見て、測定負荷の経年的な軽減余地はかなり小さい。（図補-30（B））

なお、個人ばく露測定に付随するコストに関しては、個人ばく露測定の経年的な普及に伴い、サンプラーや分析の価格は一般的に低下していくものと推察される。

以上をまとめると、個人ばく露測定の導入は、今までそれが普及していなかった我が国においては当初は事業主側の負担をある程度増加させると考えられるが、およそ 1～3 年程度の短時日の間に負担の急激な軽減が予想されるので、長い目で見ると事業主にとっては大きなインセンティブになるとともに、リソース（人的、金銭的資源）の効率化につながり、それがより多面的なリスク管理に活用できるようになると予想できる。

補足資料 31 欧米諸国における産業衛生技術の発展と個人ばく露測定

米、英、豪などの欧米諸国の法制度では作業者の有害物質からの保護に関して、成果基準（性能基準）の考えかたを取っている。例えば、1970 年に制定された米の労働安全衛生法（OSH Act）では、許容ばく露限界値（PEL）を行政が定め、「事業所内の全労働者のばく露を PEL 以下にする」ことを法令で規定し、その達成方法を定めず原則事業主に任せている。また無警告で事

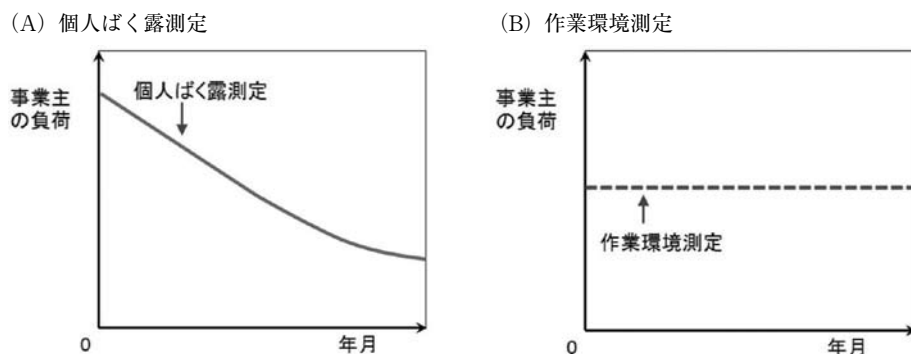


図 補-30. 測定の事業主への負荷の経年的な推移 (推定, 概念図)

業所の査察を行い、その場でばく露測定を行い違反者に高額な罰金を課すことを行う¹⁾。このために事業主は自前で専門の技術者、即ちオキュペイショナルハイジニスト (OH) を確保するか外部の OH のコンサルタントを雇うかして作業場のリスクを個人ばく露測定によって評価し対策を取る必要に迫られた。法律そのものが OH の配備を直接要求しているわけではない。この法律の制定によって、1970 年からの 10 年間で OH の数は 3 倍に激増したと言われる²⁾。

その後、米では OH に関する技術や諸制度が大きく発展した。現在では約 25 の大学・大学院に OH の教育・研究課程がある。また米国産業衛生協会 (AIHA) は約 12,000 人の会員を擁し、論文誌や専門書の発行、年次学会の開催 (数千～一万人の参加者)、独自のばく露限界値ガイド値の設定 (AIHA WEELs, 比較的使用頻度が低い化学物質約 120 種に関するばく露限界値)、インターネット等による専門的継続教育制度など極めて活発な活動を行っている。専門資格制度は米国産業衛生評議会 (ABIH, 民間団体) が運用しており、現在の資格者 (認定ハイジニスト) は約 6,000 名に上る。こういった専門家群は特に AIHA からの情報発信を通じて、行政への

働きかけ、産業界への啓発活動もおこなっており、国全体の労働衛生レベルの向上に好循環をもたらす重要な社会的機能して確立されている。

英、豪でも有害物質からの保護に関しては米と同様な成果基準の法制度を持っており、現在では米と同様に OH の教育機関、資格制度、学会等が大きく発展し労働衛生に貢献している。

このように、欧米諸国のこれまでの労働衛生の発展は、成果基準の法制度と個人ばく露測定が核にあり、そこから OH という専門技術者集団が伸長してきたことを重要な要件とする総合的な結果と解釈することができる。

引用文献

- 1) Norman M. and Napier D. Legal Aspects of Industrial Hygiene. DiNardi SR. The Occupational Environment —Its Evaluation and Control. 3rd Ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2011: 43-55.
- 2) Blunt LA. et al. History and Philosophy of Industrial Hygiene. DiNardi SR. The Occupational Environment - Its Evaluation and Control. 3rd Ed. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2011: 3-24.

日本産業衛生学会 産業衛生技術部会 「個人ばく露測定に関する委員会」委員名簿

委員長	橋本晴男	東燃ゼネラル石油株式会社 産業衛生部長
副委員長	山田憲一	中央労働災害防止協会 労働衛生調査分析センター 副所長
委員 (五十音順)	熊谷信二	産業医科大学 産業保健学部 教授
	中原浩彦	東燃ゼネラル石油株式会社 川崎工場 シニアインダストリアルハイジニスト 川崎工場統括
	名古屋俊士	早稲田大学 理工学術院 教授
	保利 一	産業医科大学 産業保健学部 教授
	村田 克	早稲田大学 理工学術院 総合研究所 招聘研究員