

ばく露測定における試料採取時間等に関する文献等

目次

第 1	関係文献のレビュー	2
1	米国安全衛生庁 (OSHA) /米国労働安全衛生研究所 (NIOSH) における試料採取時間と試料数 (8 時間加重平均の基準)	2
2	OSHA/NIOSH における試料採取時間と試料数 (短時間ばく露基準・天井値) ...	3
3	OSHA/NIOSH における試料採取時間と試料数 (非定常作業時)	3
4	英国安全衛生庁 (HSE) における試料採取時間と試料採取数	4
5	米国産業衛生専門家協会 (AIHA) の標準手法における試料採取時間と試料数 ...	4
第 2	関係法令	5
1	特化則 (金属アーク溶接等作業関係) における呼吸用保護具の選定関係規定	5
第 3	考察	5
1	濃度基準値と比較するための試料空気の採取時間 (8 時間加重平均値)	5
2	濃度基準値と比較するための試料空気の採取時間 (15 分間加重平均値)	7
	参考文献	8

第1 関係文献のレビュー

1 米国安全衛生庁 (OSHA) / 米国労働安全衛生研究所 (NIOSH) における試料採取時間と試料数 (8時間加重平均の基準)

(1) 8時間の時間加重値の基準値の遵法を測定するための空気試料の採取時間について

では、NIOSH(1977)では、①8時間の1つの試料 (full period sample)、②8時間の複数の連続した試料 (full period consecutive samples)、③8時間未満の連続した試料 (partial period consecutive samples)、④短時間ランダムサンプリング (grab samples) の4種類があるとしている (Fig.3.1.参照)。

(2) この中で、8時間の複数の連続した試料が最良であるとしている。NIOSHは、試料採取と分析のばらつき係数の合計 (total coefficients of variation) が0.05から0.1であることを求めている。それを前提として、遵法を判断できる能力を考えると、8時間を2分割した試料が最も費用対効果が高いとしている (p.40)。

Fig.E-1によれば、ばらつき係数(CV_T)が0.05として、試料数が2であれば、基準値の94%程度を下回っていれば、ばらつきを考慮しても、環境濃度が基準値を超えないことを明らかにできるからである (p.83)。

(3) 次に最良なものは、8時間連続1試料であるとしている。ばらつき係数(CV_T)が0.05であれば、2サンプルと比較してほぼ同じ精度で判断が可能であるとしている。

(4) 8時間未満の連続試料については、次の選択肢となるとしている。仮に、ばらつき係数が0.1であり、測定値の幾何標準偏差(GSD)を2.5とした場合のランダムサンプリングと同等の評価能力を持つためには、8時間の少なくとも70% (5.5時間) は採取しておく必要があり、それができなければ、ランダムサンプリングの方がよい、としている (p.41, p.86)。専門家の判断により、測定しない時間の推測を行うこともあるが、その場合は、作業内容に関する信頼できる知識が必要であるとしている (p.40)。

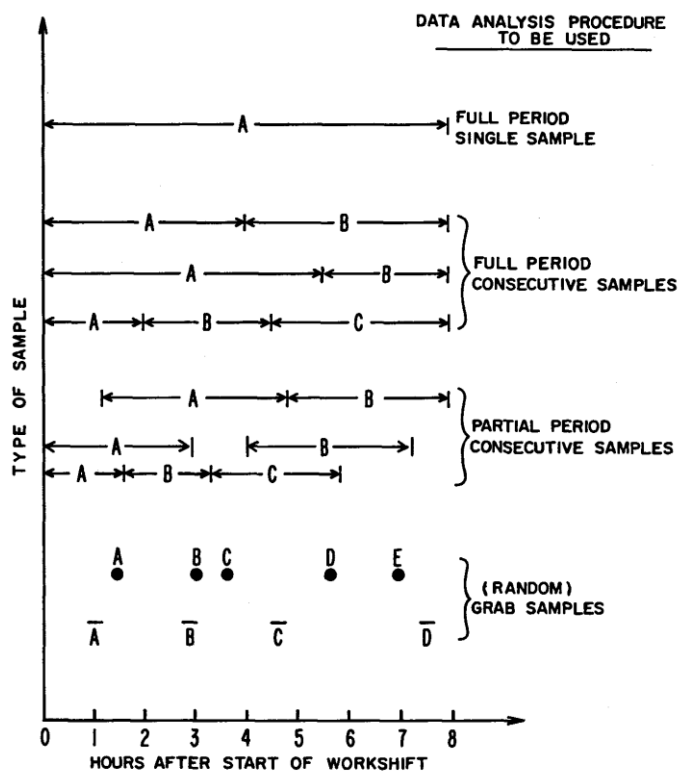


Figure 3.1. Reference chart of types of exposure measurements that could be taken for an 8-hour average exposure standard.

(5) なお、一般的な時間加重平均

(TWA) の考え方は、同一作業場所において、ばく露時間（測定時間）が異なる複数の測定値がある場合に、それらの平均値を求めるための方法であり、当然、ばく露時間の合計が8時間でない場合は、その分子を適切に変更する必要があるものである（ $TWA = (t_1C_1 + t_2C_2 + t_3C_3) / (t_1 + t_2 + t_3)$ ）。

(6) ランダムサンプリングは、最も望ましくない方法であるとしている。比較的、一日当たりのばく露が一定の作業であっても、8～11の試料数が必要であり、仮に、複数の作業場所で作業する場合は、各作業場所において同様の試料数が必要であるとしている（p.41）。

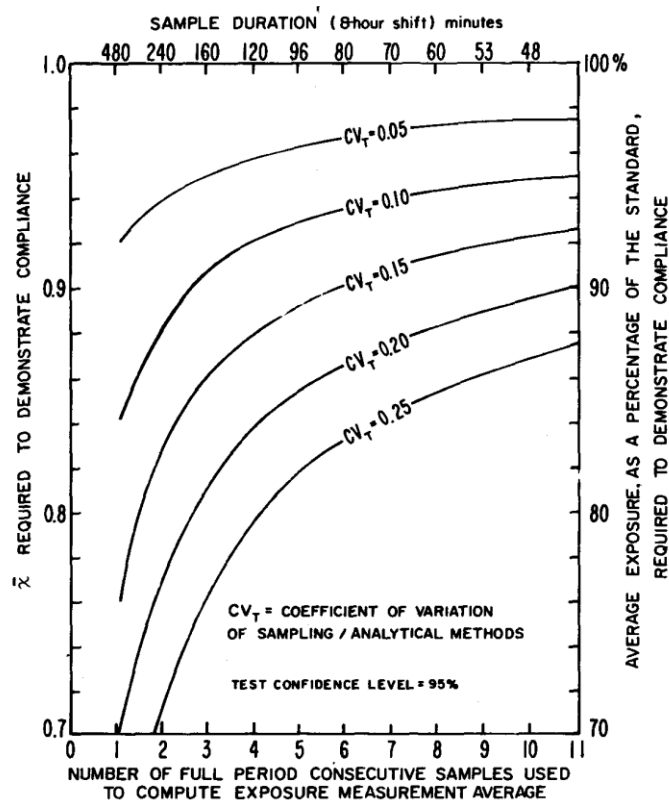


Figure E-1. Effect of full period consecutive sample size on compliance demonstration when test power is 50%.

2 OSHA/NIOSH における試料採取時間と試料数（短時間ばく露基準・天井値）

(1) OSHA 規則 CFR 1910.1000(b)(2) Table Z-2 においては、最大ばく露時間（物質ごとに5分～30分が指定されている）を超えて最大ピーク値を超えてはならないとしている。また、天井値については、いかなるときもそれを超えてはならないとしている。NIOSH/OSHA 共同基準遵守プログラムにおいては、Table Z-1 が規定する天井値については、8時間の作業シフトにおけるいかなる15分間においても、超えてはならない値として定義されている（NIOSH (1977) p.42）。

(2) NIOSH(1977)においては、天井値と比較するための試料は、ランダムサンプリングではなく、最も濃度が高くなることが推定される時間に採取されるべきとしている。試料採取は、労働者の呼吸域において15分間（あるいは、合計15分間の連続した複数の試料）を採取すべきとし、同一作業シフトにおいて、少なくとも3回測定すべきであるとしている。3回測定する理由は、測定誤差や測定の失敗に対応するためであり、評価は、最も高い測定値で行うべきとしている（p.42）

3 OSHA/NIOSH における試料採取時間と試料数（非正常作業時）

(1) 非正常作業（例えば、月に1度の実験室での作業やメンテナンス作業等）における試料採取については、NIOSH(1977)では、天井値が設定されているような急性の毒性影響があると見込まれる化学物質を扱う場合は、試料採取の優先順位が高いとしている。

(2) 試料採取の頻度については、専門家による判断が必要であるとしている。

4 英国安全衛生庁（HSE）における試料採取時間と試料採取数

- (1) HSE (2006)では、個人ばく露測定においては、全ての可能性のあるばく露のばらつきを含めた評価を行うための代表測定(representative measurements)と、最もばく露が高い時間に実施する最悪の場面の測定(worst-case measurements)があるとしている(p.18)。
- (2) 採取する試料の数としては、HSE (2006)では、最悪の場面の測定では、均等ばく露グループの少なくとも5分の1の労働者を測定すべきとしている。代表測定の場合は、均等ばく露グループの人数が10人未満の場合は、5人を測定すべきとしている(p.18)。
- (3) 試料採取の時間については、HSE (2006)では、基準値の種類（8時間平均か、15分間平均か）に応じ、ばく露全体（8時間基準であれば8時間）を測定すべきとしている。一方で、濃度のばらつきが最小限である、継続的でよく管理された工程の場合は、8時間よりも短い時間とすることができるとしているが、そのような場合でも、測定時間は高いばく露の時間を含む作業シフト（あるいは8時間）の25%を含めるべきとしている(p.19)。HSE (2006)は、測定されない時間の存在は、ばく露測定の信頼性に対する深刻な弱点となるため、作業内容の慎重な観察が必要であると強調している(p.19)。
- (4) HSE (2006)では、急性影響のある物質の測定においては、ピーク値と短時間（15分間）の測定を行い(p.17)、測定時間にピークばく露が含まれるようにする必要があるとしている(p.19)。

5 米国産業衛生専門家協会（AIHA）の標準手法における試料採取時間と試料数

- (1) 試料の採取時間については、AIHA(1998)では、「通常、活動の完全な1サイクルを最低限とする」、「多くの場合、特に、労働衛生基準への遵法の判定のために行われる場合は、シフト全体の時間の労働者の呼吸域をサンプリングすることが望ましい」(p.121)としている。例外として、「工程が自動化されているか、作業日を通じて労働者のばく露が比較的均一である自動化・密閉化された作業」という限定的な場面上げている。さらに、AIHA(1998)では、サンプリング時間について、一つの8時間のサンプルか、合計8時間となる複数の連続したサンプルが最良であるとし、短時間又は瞬間的なサンプルは、シフト全体のばく露を評価するために、推定や外挿が必要となることから、最も望ましくないとしている(p.123)。
- (2) AIHA(1998)では、短時間ばく露限度(STEL)や天井値が設定されている場合は、連続した短時間サンプリングの値を使用して8時間の時間平均を計算すべきとしている。さらに、STELは15分間のばく露に基づいているため、通常の状態ではサンプリング時間は15分間を超えてはならず、「天井値」である趣旨から、サンプリング時間は可能な限り短くすべきとしている(p.125)。

- (3) 試料数については、AIHA(1998)では、明確なルールはないとしつつも、測定結果が基準値より非常に高かった場合は、対策が必要であることを判定するには一つの試料で十分であり、測定値が基準値近辺である場合は、3から5の試料を採取することが作業工程の分析には望ましいとしている(p.121)。
- (4) AIHA(1998)では、工学的対策の評価のためには、対策が実施されているときとされていない時の2回の試料採取で十分としている。一方で、様々な作業に従事している労働者の日常の平均ばく露を特定するためには、50～100程度の試料が必要であるとしている。必要な試料数の判断は、十分な経験を積んだ専門家が行うべきとしている(p.122)。

第2 関係法令

1 特化則（金属アーク溶接等作業関係）における呼吸用保護具の選定関係規定

- (1) 金属アーク溶接等作業を継続して行う屋内作業場に係る溶接ヒュームの濃度の測定の方法等（令和2年厚生労働省告示第286号。以下「溶接ヒューム測定等告示」という。）では、試料空気の採取の時間については、「当該採取を行う作業日ごとに、労働者が金属アーク溶接等作業に従事する全時間」とされている。施行通達では、「溶接ヒュームの濃度の測定を断続的に行ったために複数の測定値がある場合は、測定時間に対する時間加重平均により、金属アーク溶接等作業に従事した全時間の溶接ヒュームの濃度を評価すること」とされている。また、Q&A（令和2年2月17日）では、「組立や塗装作業等、溶接と関係ない作業は測定時間に含めない。測定値は、測定時間に対する時間加重平均値とする」としている。
- (2) 特化則改正時の措置検討会報告書（厚労省2020）においては、測定時間の短縮（作業環境測定基準では、2時間を超える繰り返し作業の場合は、2時間を下回らない範囲で測定時間の短縮を認めている）については、同じ作業場で作業環境測定を6月に1回繰り返すことを前提としているため、（繰り返し測定を前提としない）溶接ヒューム濃度測定の場合は測定時間の短縮を認めないことが妥当としている(p.39)。

第3 考察

1 濃度基準値と比較するための試料空気の採取時間（8時間加重平均値）

- (1) NIOSH(1977)では、8時間の時間加重値の基準値の遵法を測定するための空気試料の採取時間については、①8時間の1つの試料、②8時間の複数の連続した試料、③8時間未満の連続した試料、④短時間ランダムサンプリングの4種類があり（Fig.3.1.）、8時間の複数の連続した試料が最良であるとしている。遵法を判断できる能力を考えると、8時間を2分割した試料が最も費用対効果が高いとし、次に最良

なものは、8時間連続1試料であるとしている(p.40)。8時間未満の連続試料については、次の選択肢となるが、8時間の少なくとも70% (5.5時間)は採取しておく必要としている(p.41, p.86)。ランダムサンプリングは、最も望ましくない方法であるとしている(p.41)。

- (2) HSE(2006)では、ばく露全体(8時間基準であれば8時間)を測定すべきとしている。一方で、濃度のばらつきが最小限である、継続的によく管理された工程の場合は、8時間よりも短い時間とすることができるとしているが、測定時間は高いばく露の時間を含む8時間の25%を含めるべきとしている。測定されない時間の存在は、ばく露測定の信頼性に対する深刻な弱点となるため、作業内容の慎重な観察が必要であると強調している(p.19)。
- (3) AIHA(1998)では、通常、活動の完全な1サイクルを最低限とする、特に、労働衛生基準への遵法の判定のために行われる場合は、シフト全体の時間の労働者の呼吸域をサンプリングすることが望ましい (p.121)としている。例外として、工程が自動化されているか、作業日を通じて労働者のばく露が比較的均一である自動化・密閉化された作業という限定的な場면을上げている。さらに、AIHA(1998)では、サンプリング時間について、一つの8時間のサンプルか、合計8時間となる複数の連続したサンプルが最良であるとし、短時間又は瞬間的なサンプルは、シフト全体のばく露を評価するために、推定や外挿が必要となることから、最も望ましくないとしている(p.123)。
- (4) 短時間作業である金属アーク溶接等作業における測定については、溶接ヒューム測定等告示では、試料空気の採取の時間については、当該採取を行う作業日ごとに、労働者が金属アーク溶接等作業に従事する全時間とするとされている。施行通達では、溶接ヒュームの濃度の測定を断続的に行ったために複数の測定値がある場合は、測定時間に対する時間加重平均により、金属アーク溶接等作業に従事した全時間の溶接ヒュームの濃度を評価するとされている。また、Q&Aでは、組立や塗装作業等、溶接と関係ない作業は測定時間に含めず、測定値は、測定時間に対する時間加重平均値とするとしている。
- (5) 以上から、ばく露が8時間濃度基準値以下であることを確認するという趣旨を踏まえ、空気試料は、労働者の呼吸域から採取する必要がある。空気試料の採取の時間については、NIOSH(1977)、HSE(2006)、AIHA(1998)が共通で述べているように、8時間の1つの試料か8時間の複数の連続した試料とする必要がある。短時間の連続した試料や短時間ランダムサンプリングは望ましくない。
- (6) 例外として、AIHA(1998)では、作業日を通じて労働者のばく露が比較的均一である自動化・密閉化された作業という限定的な場면을挙げているが、HSE(2006)が述べているように、測定されない時間の存在は、ばく露測定の信頼性に対する深刻な弱点となるため、測定されていない時間帯のばく露状況が測定されている時間帯と均一であることを、過去の測定結果や作業工程の観察等によって立証することが求められる。この場合であっても、HSE(2006)が述べているように、測定時間は高いばく露の時間を含めて、少なくとも2時間(8時間の25%)を超える試料である必要がある。

(7) 短時間作業が断続的に行われる場合や、同一労働日で化学物質を取り扱う時間が短い場合には、8時間の試料を採取することが困難である。この場合は、作業の全時間の試料を断続的に採取し、作業実施時間外のばく露がゼロの時間を加えて8時間加重平均を算出するか、作業を実施しない時間を含めて8時間の測定を行って、8時間加重平均を算出する。この場合、8時間加重平均濃度と8時間濃度基準値と単純に比較するだけでは、短時間作業の作業中に8時間濃度基準値をはるかに上回る高いばく露が許容されるおそれがある。それを防ぐため、短時間濃度基準値が設定されている場合は、15分間の時間加重平均濃度を測定することで急性毒性の影響を評価する必要がある。短時間濃度基準値が設定されていない場合は、別途15分間の試料を採取し、15分間平均値が8時間濃度基準値の3倍を超えていないことを確認する方法が考えられる。なお、一日の作業時間が8時間の3分の1より短い場合は、溶接ヒューム測定等告示のように、測定した時間に応じて時間加重平均濃度を算出し、その値と8時間濃度基準値を比較する方法も考えられる。

2 濃度基準値と比較するための試料空気の採取時間（15分間加重平均値）

- (1) NIOSH(1977)においては、天井値と比較するための試料は、最も濃度が高くなることが推定される時間に採取されるべきとしている。試料採取は、労働者の呼吸域において15分間（あるいは、合計15分間の連続した複数の試料）を採取すべきとし、同一作業シフトにおいて、少なくとも3回測定を行い、評価は、最も高い測定値で行うべきとしている(p.42)。
- (2) HSE (2006)では、急性影響のある物質の測定においては、ピーク値と短時間（15分間）の測定を行い(p.17)、測定時間にピークばく露が含まれるようにする必要があるとしている(p.19)。
- (3) 試料数については、AIHA(1998)では、測定結果が基準値より非常に高かった場合は、対策が必要であることを判定するには一つの試料で十分であり、測定値が基準値近辺である場合は、3から5の試料を採取することが作業工程の分析には望ましいとしている(p.121)。
- (4) 以上を踏まえ、労働者のばく露が短時間濃度基準値以下であることを確認するための測定は、最もばく露が高いと推定される労働者（1人）について、最もばく露が高いと推定される作業時間の15分間に測定を実施する必要がある。また、測定については、測定誤差や測定失敗を防ぐ観点から、同一作業シフト中に少なくとも3回程度実施し、最も高い測定値で評価を行うことが望ましい。ただし、同一作業シフト中の作業時間が15分程度以下である場合は、1回で差し支えない。

参照文献

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) (2018) TLVs and BEIs based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH, Cincinnati, USA. pp. 3-5, pp. 7-8
- American Industrial Hygiene Association (AIHA) (1998) The Occupational Environment – Its Evaluation and Control. Eds. Dinardi, SR. AIHA Press.
- Control of Substances Hazardous to Health Regulation (COSHH) 2002 No.2677 Health and Safety
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (2021) List of MAK and BAT Values 2021, Report 57, Bonn, Germany
- Health and Safety Executive (HSE) (2020) EH40/2005 Workplace exposure limits (Forth Edition 2020) TSO, Norwich UK.
- Health and Safety Executive (HSE) (2006) Monitoring strategies for toxic substances (second edition) HSE
- Health and Safety Executive (HSE) (2013) Control of substances hazardous to health. The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (as amended) Approved Code of Practice and guidance. (sixth edition)
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1977) Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. Eds. Leidel, NA. Busch, KA. Kynch, JR. CDC, Ohio. USA
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) CFR 29.1910.
- 金属アーク溶接等作業を継続して行う屋内作業場に係る溶接ヒュームの濃度の測定の方法等（令和2年厚生労働省告示第286号）