

別紙2 濃度基準値の単位に関する文献等

第1 関係文献のレビュー

1 米国産業衛生専門家会議 (ACGIH) における濃度の単位

- (1) ACGIH(2019)では、空気中の濃度の測定の際、試料が粒子状か蒸気状か、あるいは、その両方かを判断する必要があるが、多くの有害物質については、蒸気圧が非常に高いか低いかわれかであることから、その違いは明確であるとしている。しかし、化学物質の飽和蒸気圧が一定以上あるため、8時間時間加重平均ばく露限度 (TLV-TWA) に対して、粒子と蒸気の両方で有意なばく露が考えられる場合、インハラブル粒子と蒸気(inhalable fraction and vapor, IFV)との注記を付している。IFVの注記は、典型的には、飽和蒸気圧の TLV-TWA に対する比が 0.1 から 10 までの物質に付されているとしている(pp.72-73)。なお、ACGIH(2019)においては、IFVの注記がある物質についても、ppm か mg/m³のいずれかの単位を用いており、両方の単位の値を併記することはしていない。
- (2) ACGIH(2019)が引用する Prez and Soderholm (2019)によれば、ACGIHの提案文書で飽和蒸気圧の記載があるもののうち、87物質について、飽和蒸気圧が TLV-TWA の1~100倍高いとしている。これら物質は、通常、蒸気の状態で存在するが、粒子としても有意な割合で存在するため、蒸気だけ又は粒子だけをサンプリングしたとすると、ばく露を過小評価することになる、としている。
- (3) 飽和蒸気圧の TLV-TWA に対する比は、飽和蒸気圧における濃度を ppm として換算し、それを用いて計算される。例えばある物質の飽和蒸気圧が 8×10^{-3} mmHg の場合、大気圧が 760 mmHg とすると、飽和蒸気圧における当該物質の濃度は $0.008/760=0.000010=10$ ppm となる。

2 英国安全衛生庁 (HSE) における濃度の単位

- (1) 英国安全衛生庁 (HSE(2020))が定める職場のばく露限度 (WEL) では、蒸気と粒子が併存する物質についての特段の記載はないが、いくつかの物質については、蒸気と粒子の合算としての限度値と、粒子単独の限度値を分けて定めている場合がある。
- (2) 職場のばく露限度 (WEL) では、濃度の単位として、ppm と mg/m³を併用しているが、多くの物質では、そのいずれかの単位のみを規定している。蒸気と粒子の合算の限度値を定めている場合であっても、両方の単位の値を定めている物質と、そうでない物質がある。

3 ドイツ(DFG)における濃度の単位

- (1) ドイツ研究振興協会(DFG (2021))が勧告している職場の最大濃度 (MAK)において

は、室温において飽和蒸気圧が低い物質については、一定量が蒸気とエアロゾル粒子の両方に存在し得るとし、吸入ばく露の評価においては、作業工程において、蒸気とエアロゾル粒子の混合が発生し得るかを判断する必要があるとしている (pp.19-20)。

- (2) DFG(2021)では、DIN EN 13936 を引用し、室温(20℃)において、飽和蒸気圧が 100 Pa 未満で 0.001 Pa を超える物質については、試料の捕集システムにおいて、蒸気とエアロゾル (インハラブル粒子として取り扱う) を同時に測定すべきであるとしている。これらの物質には、沸点が 180℃から 350℃までの物質が通常、該当するとしている。DFG(2021)では、これら物質に「この物質は、蒸気とエアロゾル粒子として同時に存在することがある」という注記を付している(pp.19-20)。
- (3) DFG(2021)では、ml/m³(ppm)と mg/m³の両方の単位を併記している物質もあるが、多くの物質について、いずれかの単位の値のみを定めている。上記の注記の付記されている物質については、両方の単位で値が定められている。
- (4) DFG(2021)では、ppm から mg/m³ への換算には、次に掲げる算式を使用している (室温は 20℃を用いている。) (p.21)。

$$C(\text{mg/m}^3) = \text{分子量}(\text{g})/\text{モル体積}(\text{L}) \times C(\text{mL/m}^3)$$

第2 関係法令

1 管理濃度における濃度の単位

- (1) 作業環境評価基準 (昭和 63 年労働省告示第 79 号) で規定する管理濃度では、ppm か mg/m³ のいずれかの単位を採用し、二つの単位を併記することはしていない。
- (2) 管理濃度については、対象物質の飽和蒸気圧、沸点、分子量等を勘案し、最もばく露しやすい状態が蒸気か粒子かを判断したうえで定められていると考えられる。
- (3) ただし、物質ごとの測定方法を作業環境測定基準 (昭和 51 年労働省告示第 46 号) で具体的に規定しているが、蒸気を捕集できる方法と粒子を捕集できる方法 (例：液体捕集法又はろ過捕集法) が併記されている物質もあり、このような場合は、蒸気と粒子が混在する作業環境においては、蒸気を捕集する方法と粒子を捕集する方法を同時に実施する方法 (相補捕集法) により、両者を合算して濃度を測定することが可能である。

第3 考察

1 濃度基準値の濃度の単位

- (1) ACGIH(2019)では粒子と蒸気の両方で有意なばく露が考えられる場合、具体的には、飽和蒸気圧/TLV-TWA 比が 0.1 から 10 までの物質に IFV の注記を付している (pp.72-73)。また、IFV の注記がある物質についても、ppm か mg/m³のいずれかの単位を用い、両方の単位の値を併記していない。
- (2) HSE(2020)が定める職場のばく露限度 (WEL) では、蒸気と粒子が併存する物質についての特段の記載はない。濃度の単位として、ppm と mg/m³を併用しているが、多くの物質では、そのいずれかの単位のみの値を規定している。
- (3) DFG (2021)が勧告している職場の最大濃度 (MAK) においては、DIN EN 13936 を引用し、室温(20°C)において、飽和蒸気圧が 100 Pa 未満で 0.001 Pa を超える物質については、試料の捕集システムにおいて、蒸気とエアロゾル (インハラブル粒子として取り扱う) を同時に測定するべきであるとしている。これらの物質には、沸点が 180°Cから 350°Cまでの物質が通常、該当するとしている。DFG(2021)では、これら物質に「この物質は、蒸気とエアロゾル粒子として同時に存在することがある」という注記を付している(pp.19-20)。DFG(2021)では、ほとんどの物質に対して ml/m³(ppm)と mg/m³ の両方の単位を併記しているが、多くの物質について、いずれかの単位の値のみを定めている。上記の注記の付記されている物質については、両方の単位で値が定められている。
- (4) 作業環境評価基準で規定する管理濃度では、対象物質の飽和蒸気圧、沸点、分子量等を勘案し、最もばく露しやすい状態が蒸気か粒子かを判断したうえで ppm か mg/m³のいずれかの単位を採用し、二つの単位を併記することはしていない。ただし、作業環境測定基準で規定する物質ごとの測定方法の中には、蒸気を捕集できる方法と粒子を捕集できる方法 (例：液体捕集法又はろ過捕集法) が併記されている物質もあり、このような場合は、蒸気を捕集する方法と粒子を捕集する方法を同時に実施する方法 (相補捕集法) により、両者を捕集した上で合算して濃度を測定することができる。
- (5) 以上を踏まえると、室温において、蒸気とエアロゾル粒子が同時に存在する物質については、空气中濃度の測定に当たっては、濃度の過小評価を避けるため、蒸気と粒子の両者を捕集する必要がある。蒸気によるばく露がばく露評価に与える影響は、濃度基準値が飽和蒸気圧と比較して相対的に小さいほど大きくなるため、蒸気と粒子の両方を捕集すべき物質は、原則として、飽和蒸気圧の濃度基準値に対する比 (飽和蒸気圧/濃度基準値) が 0.1 から 10 までの物質とすべきである。当該比率が 0.1 より小さい場合は、粒子によるばく露が支配的となり、10 より大きい場合は、蒸気によるばく露が支配的になると考えられるからである。ただし、作業実態において、粒子や蒸気によるばく露が想定される物質については、当該比が 0.1 から 10 までに該当しなくても、蒸気と粒子の両方を捕集すべき物質として取り扱うべきである。
- (6) 当該物質の濃度基準値の単位については、複数の単位の基準値があることによる測定及び分析における混乱を避けるため、管理濃度と同様に、ppm か mg/m³のいずれれ

かの単位を採用すべきである。ただし、技術上の指針で定める予定の個別物質ごとの標準的な測定方法において、当該物質については、蒸気と粒子の両方を捕集すべきであることを明記するとともに、標準的な捕集方法として、蒸気を捕集する方法と粒子を捕集する方法を併記するとともに、蒸気と粒子の両者を捕集する方法（相補捕集法）を規定すべきである。

- (7) さらに、当該技術上の指針において、ppm から mg/m³ への換算式（室温は 25°C をとする。）を示し、事業場の作業環境に応じ、当該物質の測定及び管理のために必要がある場合は、濃度基準値の単位を変換できるように配慮すべきである。

参考文献

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) (2019) 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.

Carlos Perez & Sidney C. Soderholm (1991) Some Chemicals Requiring Special Consideration when Deciding Whether to Sample the Particle, Vapor, or Both Phases of an Atmosphere, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 6:10, 859-864.

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.

作業環境測定基準（昭和 51 年労働省告示第 46 号）

作業環境評価基準（昭和 63 年労働省告示第 79 号）