

日測協認定オキュペイショナル ハイジニスト養成講座コース8

工学的対策の基礎（作業環境，一般環境）

Course 8

監修のことば



(公社)日本作業環境測定協会は、認定オキュペイショナルハイジニストについて、わが国の多くの専門家のお力を頂いて平成 15 年からカリキュラムの策定に着手し、引き続いて養成講座テキスト(化学物質等のリスクアセスメント・リスクマネジメントハンドブック)の編集作業を行い、平成 20 年 3 月から養成講座が開始された。

当初は、93 時間の養成講座を A~E コースの 5 つに編成して実施していたが、受講のしやすさ等を考慮し 12 コースに再編成して現在に至っている。

養成講座テキストとして編集した初版の内容について、法令の改正や統計の更新など、一部見直しの必要が生じたことから、新たな養成講座用テキストを作成することとし、足掛け 4 年を費やしてようやく新版のテキストがここに完成するに至った。

新版では、持ち運びの便宜や使いやすさを考慮し、コースごとの分冊とした。

認定オキュペイショナルハイジニスト制度は、安全衛生における欧米の自律的管理の潮流がわが国にも影響を及ぼすことになることを前提に、英国や米国における専門家をめぐる状況も勘案して、適切な自律的管理の実践のためには、事業者における意識変化とともに、わが国においても事業者を実務面から支援する専門家が必要であり、それは、法令に定める有資格者ではなく、より包括的・分野横断的に労働衛生を理解し、実践できる専門家であるという見通しから着手したものである。

近年、安全衛生分野の自律的管理は、化学物質管理などを中心に少しずつ歩を進めつつある。労働災害の防止という観点から見れば、自律的管理への移行が即労働災害の減少に直結するような短絡的な図式ではないにしても、さまざまな作業に対するリスクアセスメントとそれに基づくリスクマネジメントが徐々に浸透すれば、事業者の意識も受動的で形式的なものから、労働者の安全・健康に対する経営者の責任の自覚という観点で変わってくることになるのではないかとと思われる。

認定オキュペイショナルハイジニストを志し養成講座を受講する皆様もこのところ増えており、協会は、不断に養成講座の質的改善に努め、わが国のオキュペイショナルハイジニストを牽引する人材を少しでも多く全国に輩出できればと努力している。

新版のテキストがその橋渡しをしてくれることを願うものである。

令和 5 年 12 月

編集委員長
北里大学名誉教授 相澤好治

目 次

監修のことば	i
第 1 章 工学的対策の基礎（作業環境，一般環境）	1
1.1 化学工学の基礎知識	1
1.1.1 物質収支	1
1.1.2 エネルギー収支	4
1.1.3 伝熱	5
1.1.4 拡散	10
1.1.5 ガス吸収	13
1.1.6 気液平衡	18
1.1.7 吸着	20
1.1.8 調湿・乾燥	27
1.1.9 抽出	32
1.1.10 膜分離	32
第 2 章 流体工学の基礎	38
2.1 流れの状態を表わす指標	38
2.2 管内の流れ	41
2.3 吸排気により生じる流れ	46
2.4 流速，流量の測定	47
第 3 章 物質の移動現象	51
3.1 分子の熱運動と拡散	51
3.2 拡散と流体の移動	54

第4章 粉体工学の基礎	56
4.1 粒子径と粒子径分布	56
4.2 流体中での粒子挙動	61
4.3 粒子と他物体との相互作用	65

第1章 工学的対策の基礎（作業環境，一般環境）

本章では，リスク評価，リスク管理に関連する作業環境だけでなく，一般環境を考える上でも必要な工学の基礎として，物質，すなわち，原子，分子を集団として扱い，その集団の空間的位置移動を扱う流体工学と，複数種の物質の混合状態の中で特定物質に着目し，その着目物質の位置の移動を扱う移動現象の化学工学的取り扱いについて概説する．また，粉じん，すなわち，微小固体（＝粒子状物質）の集合体の取扱いに関連して，その基礎である粒子径の定義と分布の表し方，環境中での粒子の移動現象として重要な動力学，および，粒子と他物体との相互作用を概説する．

1.1 化学工学の基礎知識

化学工学は物質の化学的変化，またはある種の物理的変化を伴う製造工程の開発と応用を取り扱う工学の一分野である．化学工業における原料から製品にいたる一連の工業生産の工程は複雑であるが，これを分解すれば，粉碎，混合，蒸発，蒸留，乾燥などの単位操作（Unit operation）と種々の化学反応工程（反応速度論）の組み合わせと見ることができると。

化学物質を取り扱う作業環境でも，種々の化学物質が，混合，蒸発，拡散，乾燥などを経て作業環境中に放出されるので，化学工学の知識は作業環境管理および作業管理にも大いに役立つ．例えば，混合有機溶剤が蒸発すると環境中にどのような濃度分布が生じるかを予測するには，気液平衡の理論や，物質移動係数の概念があれば理解しやすいし，吸着操作は，防毒マスクの吸収缶，固体捕集装置，空気清浄装置等に応用されている．また，パッシブサンプラーは，拡散現象を応用しているが，拡散も化学工学の重要な単位操作の1つである．さらにガス吸収理論は，スクラバーとして空気清浄装置に利用されている．このように，化学工学の単位操作として用いられる手法は，労働衛生の現場で広く応用されている．ここでは，労働衛生管理，特に作業環境管理，作業管理を遂行する上で有用と考えられる化学工学の知識の概略について述べる．

1.1.1 物質収支

ある孤立系内の物質の質量は，系内でどのような物理的・化学的変化が起こっても，変

化に関係なく一定である。これが質量保存の法則で、物質収支の基本原則であり、一般的に次のように表すことができる。

$$\text{蓄積量} = (\text{系に入る量}) - (\text{系から出る量}) \quad (1.1)$$

このような式を物質収支式または連続の式という。定常状態では時間的な蓄積はないので、式 (1.1) の左辺は 0 となる。

物質収支は工学に限らず、物質を扱う場合の基本的な考え方であり、労働衛生や室内環境等の分野でも、換気量の計算などを行う場合に重要である。例えば、図 1.1 に示すような作業環境において作業室内（容積 V ）の空気が完全混合である（濃度分布がない）と仮定すれば、室内の汚染物質（濃度 C ）を含む空気を流量 Q の新鮮空気で換気する場合、室内空気と換気により出で行く空気の濃度は等しいので、次のような物質収支式がなりたつ。

$$-V \frac{dC}{dt} = Q(C - C_0) \quad (1.2)$$

ただし、 C_0 は入口の空気中の汚染物質の濃度で、無視できる場合には $C_0 = 0$ となる。

式 (1.2) は左辺が容積 V の部屋の濃度変化で、プラスであれば蓄積量であるが、汚染物質の発生がない場合の換気においては、濃度は経時的に減少するので符号はマイナスとなっている。一方、右辺はこの部屋に入ってくる物質の量と出で行く量の差である。 $C_0 = 0$ とし、初期の室内濃度を C_{in} 、境界条件として、 $t=0$ で $C=C_{in}$ として式 (1.2) を積分すると、環境中の有害物質の濃度 C は次式のようなになる。

$$C = C_{in} \exp\left(-\frac{Q}{V}t\right) \quad (1.3)$$

これは、汚染物質の濃度が時間とともに指数関数的に減少することを示している。

化学反応を伴う場合、あるいは生成、消滅がある場合には、これらの項を考慮して式 (1.1) を次のように拡張する。

$$\text{蓄積量} = (\text{流入量}) - (\text{流出量}) + (\text{生成量}) - (\text{消失量}) \quad (1.4)$$

例えば図 1.1 のモデルにおいて、室内において毎時 F で蒸発が発生しているとする、式 (1.2) は、生成量 F が加わるので、

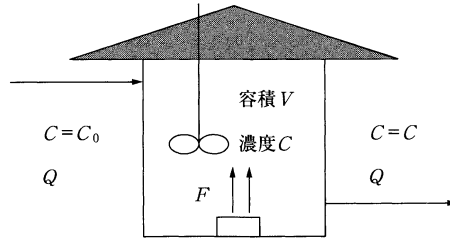


図 1.1 完全混合物資収支のモデル

$$V \frac{dC}{dt} = Q(C - C_0) + F \quad (1.5)$$

これを初期条件として、 $t=0$ で $C=C_{in}$ 、 $C_0=0$ として解くと、以下のようにになる。

$$C = \left(C_{in} \frac{F}{Q} \right) \exp\left(-\frac{Q}{V}t\right) + \frac{F}{Q} \quad (1.6)$$

この式も汚染物質は、初期濃度 C_{in} から経時的に減少するが、時間がたつと濃度はどこまでも低くならず、 F/Q に近づくことを示している。この式は、労働衛生の分野では、内部で有害物質の発生が考えられる作業環境、あるいは換気扇のある喫煙室内のたばこ煙の経時変化を計算するのに使われる。

このほか、反応槽内で物質が全く混合せずに層流になって1方向に移動しながら反応するとするモデルを栓流 (Plug flow) モデルという (図 1.2)。この場合、物質は図の左側から入り、全く乱れることなく、流速分布もなしに層流状態で右側から出で行くというモデルである。完全混合モデルと栓流モデルは実際の反応器あるいは室内の流体の移動モデルとしては両極端であり、実際のプラント等では完全混合モデルと栓流モデルの中間の状態になっている。

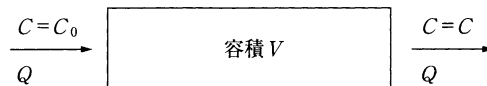


図 1.2 栓流モデル