

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5・6

労働環境における生物学的有害因子のリスク管理
一般環境のハザード・リスク評価及びリスク管理

Course 5・6

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 11 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
--------	---

養成講座コース 5：労働環境における生物的有害因子のリスク管理

第 1 章 生物的因子の有害性発生機序	1
1.1 生物的因子による有害事象	1
1.2 微生物因子による有害事象の特徴	2
1.3 感染成立の要件	3
1.3.1 感染源（微生物）	4
1.3.2 細菌	6
1.3.3 ウイルス	8
1.3.4 真菌	11
1.3.5 原虫	11
1.3.6 プリオン	12
1.4 宿主の要因	13
1.4.1 宿主の感染抵抗性	13
1.4.2 易感染性宿主	15
1.4.3 宿主における病原体の侵入門戸と排出部位	15
1.4.4 保菌者	16
1.5 感染経路	16
1.5.1 空気感染，飛沫感染と経気道感染	16
1.5.2 接触感染と性感染症	17
1.5.3 一般担体感染と経口感染	18
1.5.4 ベクター媒介性感染と経皮感染	18
1.5.5 垂直感染－母児感染	19

第2章 生物学的因子のリスク評価の実際	20
2.1 はじめに.....	20
2.2 室内空気汚染物質としての生物学的因子の定義.....	20
2.3 微生物エアロゾルによる室内空気汚染.....	21
2.4 浮遊微生物の捕集方法.....	22
2.4.1 ろ過捕集方法.....	23
2.4.2 液体捕集方法.....	23
2.4.3 衝突法.....	23
2.5 微生物の検出における問題点.....	24
2.6 浮遊微生物による健康影響.....	25
2.6.1 真菌.....	26
2.6.2 マイコバクテリウム属菌.....	27
2.6.3 レジオネラ属菌.....	28
2.7 生物学的因子のリスク評価.....	29
2.8 終わりに.....	31
第3章 生物学的因子のリスク削減, リスク管理およびリスクコミュニケーション	32
3.1 生物学的因子のリスク削減と感染症発生リスク要因の評価.....	32
3.2 感染症成立の3要因とリスク削減.....	32
3.2.1 病原体要因とそのリスク削減.....	32
3.2.2 ヒトの要因とそのリスク削減.....	35
3.2.3 感染経路要因とそのリスク削減.....	36
3.3 労働現場での感染症発生リスク要因の点数評価とリスク管理.....	36
3.3.1 点数化の方法.....	36
3.3.2 各リスクの合計点数と残留リスク管理.....	37
3.4 リスクコミュニケーション.....	37

第4章 生物学的因子にかかる緊急リスクへの対応	39
4.1 日常的な体制づくり	39
4.2 感染症が発生した場合	40
4.2.1 病原体名が明らかな場合と不明な場合	40
4.2.2 緊急対策が必要か否か	40
4.3 特定の感染症に対する対策	41
4.3.1 インフルエンザウイルス	42
4.3.2 新型インフルエンザの場合	44
4.3.3 結核 (<i>Mycobacterium tuberculosis</i>)	44
4.3.4 レジオネラ (<i>Legionella pneumophila</i> 等)	47
4.3.5 食中毒	48

養成講座コース6：一般環境のハザード・リスク評価及びリスク管理

第1章 環境科学概論	53
1.1 環境汚染物質	53
1.2 環境リスクと安全	54
1.3 大気汚染	55
1.4 水質汚濁	58
1.5 土壌汚染	67
1.6 地球環境問題	70
1.7 環境倫理：「人新世」の時代に環境を守る生き方とは？	77
第2章 環境保健概論	79
2.1 環境汚染物質の人への影響・代謝	80
2.2 毒性試験	82
2.3 生体濃縮	83
2.4 発がん物質	86

2.5 環境保健問題の事例 90

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5

労働環境における生物学的有害因子のリスク管理

Course 5

第1章 生物的要因の有害性発生機序

1.1 生物的要因による有害事象

生物的要因には動物、植物、微生物（原虫、真菌、細菌、ウイルス）、プリオンとそれらから由来する物質が含まれる（表 1.1）。生物的要因の特徴は「自己増殖する」という点である。つまり、生物的要因は化学物質としての性状と、生き物としての「自己増殖する」という性状をあわせ持つ。したがって、生物的要因の有害性発生機序を理解するためには、物質としての有害性と増殖によって生じる有害性の変化の両面を知らなければならない。評価においては、その両面を総合的に判断しなければならない場合がある。

生物的要因が労働現場で起こす健康障害は、「労働基準法施行規則」第 35 条に次の 3 つが記載されている（表 1.2）。①動植物由来因子によるアレルギー、②微生物・プリオンによる感染症・アレルギー、③微生物の代謝産物により作り出される酸素欠乏環境で起きる酸欠症の 3 つである。このうち、動植物由来因子によるアレルギーと、酸欠症は化学物質等による疾病として扱われている。したがって、本章では微生物因子によって起きる有害事象について述べる。

微生物による有害事象、すなわち感染症は、さらにアレルギー、食中毒（「食品衛生法」）、狭義の感染症（「感染症法」）に分けられる。アレルギーとしては真菌による過敏性肺炎がある。これは吸入された真菌そのものの物質としての性状が有害事象に関係する。

表 1.1 生物的要因

動物由来	喘息・アレルギー：糞尿、毛、ふけ、貝殻 食中毒：ふぐ毒、アサリ、ホタテ貝 動物由来病原微生物（狂犬病、BSE 等）
植物由来	喘息・アレルギー：茎、芽、花粉、米ぬか、そば粉、小麦粉等、うぶ毛、胡椒、きのこ類の胞子等 食中毒：毒ゼリ、毒きのこ、ジャガイモ
微生物	原虫（栄養型細胞、嚢子） 真菌（菌糸、酵母、胞子、毒（マイコトキシン）） 細菌（栄養型細菌、芽胞、細菌毒素） ウイルス、プリオン

表 1.2 「労働基準法施行規則」第 35 条（下線およびカッコ内は筆者が追記）

<ul style="list-style-type: none"> ・化学物質等による次に掲げる疾病（生物因子の関連物質のみ抜粋） <ul style="list-style-type: none"> ① うるし等にさらされる業務による皮膚疾患 ② タンパク分解酵素にさらされる業務による皮膚炎，結膜炎又は鼻炎，気管支喘息等の呼吸器疾患 ③ 木材の粉じん，<u>獣毛のじんあい</u>等を飛散する場所における業務又は<u>抗生物質</u>等にさらされる業務によるアレルギー性の鼻炎，気管支喘息等の呼吸器疾患 ④ <u>落綿</u>等の粉じんを飛散する場所における業務による呼吸器疾患 ⑤ <u>空気中の酸素濃度の低い場所</u>における業務による呼吸器疾患 ・細菌・ウイルス等の病原体による次に掲げる疾病（⑥,⑦は筆者が追加） <ul style="list-style-type: none"> ① 患者の診療若しくは看護の業務又は研究その他の目的で病原体を取り扱う業務による伝染性疾患 ② 動物若しくはその死体，獣毛，革その他動物性の物又はぼろ等の古物を取り扱う業務による<u>ブルセラ症（汚染牛乳，皮膚の傷口から感染），炭疽病（皮膚炭疽，肺炭疽，腸炭疽）</u>等の伝染性疾患（<u>人獣共通感染症</u>） ③ 湿潤地における業務によるワイル病等のレプトスピラ症（ネズミが保有．その尿で汚染された水から感染．ヒト-ヒト感染はない） ④ ④屋外における業務による<u>つつが虫病（リッケチア．つつが虫（ダニ）によって媒介される．ヒト-ヒト感染はない）</u> ⑤ ①～④までに掲げるものの他，これらの疾病に付随する疾病その他，細菌，ウイルス等の病原体にさらされる業務に起因することの明らかな疾病 ⑥ 海外の業務による感染症．上記⑤に該当 ⑦ 医療従事者のC型肝炎，エイズ，MRSA（メチシリン耐性黄色ブドウ球菌）感染症（平成5年基発第619号，通達，平成22年基発0909第1号にて改正）
--

一方，ノロウイルス等の食中毒の一部やインフルエンザ等の感染症においてはヒトの体内に侵入した微生物が，体内で増殖し，生体反応を誘導して症状を起こすもので，増殖という側面が病態に大きく影響する．腸管出血性大腸菌による食中毒においては，経口的に侵入した細菌がヒトの体内で増殖して Vero 毒素を産生することによって起きる疾患で，増殖と毒素の物性の両面が関与する．

このように，微生物によって起きる有害性発生機序を理解するためには，各微生物の増殖の様式と物質としての特徴を理解しなければならない．

1.2 微生物因子による有害事象の特徴

微生物因子による有害事象が化学物質のそれと異なる点は感染性と伝播性（流行）である．場合によっては世界，国，地域等の集団レベルの感染拡大が起きるといふ伝播性は，化学物質には見られない特徴である．

感染（infection）とは，微生物が生体内に侵入し，定着・増殖して，生体になんらかの反応を起こした場合をいう．単に付着した場合の汚染（contamination）とは区別する．感染の結果，生体が自覚的・他覚的症状を呈した場合を発症（over infection）といい，これを顕性感染ともいう．

感染症 (infectious disease) とは、この発症した疾病のことで、感染が成立しても発症しない場合を不顕性感染という。病原体の感染症を引き起こす能力を病原性 (pathogenicity), その程度をビルレンス (virulence ; 毒力) という。

一方、生体は侵入してきた微生物を排除するための感染防御システム (host defence system) を有する。弱毒菌は生体の感染防御システムによって排除されるか殺され、不顕性感染で終わる。しかし生体の防御システムが弱ければ、健常な生体には無害な弱毒菌も病原性を発揮するようになる。このような感染を日和見感染 (opportunistic infection) といひ、病原体を日和見病原体 (opportunistic pathogen) という。

また、感染抵抗性が減弱した宿主を易感染性宿主 (compromised host) という。このように感染は病原体 (pathogen) の毒力と生体 (host ; 宿主) の感染抵抗性との相対的關係で起きる現象である (図 1.1)。

感染症の中でヒトからヒトへ伝播されるものを伝染病 (communicable disease) という。感染症の中には破傷風、レジオネラ症、多くの真菌感染症のようにヒトからヒトへの2次感染が起きないものもある。

伝染病で患者が多発することを流行といい、世界的規模の流行を汎発的流行 (pandemia), 地域に限られているものを地域流行 (endemia), 継続的に、少人数の患者が発生する場合を散発的流行 (sporadic infection) という。

流行の大きさには、病原体の数、毒力のみならず、人口密度、経済的貧困、モラル等の社会的要因、衛生状態等の環境要因、上下水道普及率、ワクチン普及率等の公衆衛生的対策の達成度等が関係している。病原体にばく露された集団の中で発症したヒトの割合を侵襲率 (attack rate) といひ、単位人口当たり (通常 10 万人当たり) の患者数を罹患率 (morbidity rate) という。

1.3 感染成立の要件

広義の感染症は感染源 (病原体), 感染経路, 宿主の 3 要因がそろった場合に成立する (図 1.1)。

発症するか否かは宿主の感染抵抗性と病原体の毒力のバランスで決まる。次にこの 3 要素について述べる。

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6

一般環境のハザード・リスク評価及びリスク管理

Course 6

第 1 章 環境科学概論

1.1 環境汚染物質

現代社会では多種多様な化学物質が利用されている。CAS の化学物質登録システム (Registry) には約 2 億件の物質が登録されている。環境省によれば、推計で約 5 万種以上の化学物質が流通しており、国内工業用途として届け出られるものだけでも毎年 300 程度新たな化学物質が市場に投入されている。このような化学物質の使用によりさまざまな製品が製造され、我々の日常生活を潤している。一方、製造および使用時に非意図的に化学物質が環境中に放出され、製品が廃棄され、焼却あるいは埋め立て処分される際に環境を汚染する。意図的、非意図的にかかわらず、環境に悪影響を及ぼす化学物質を環境汚染物質と呼んでいる (表 1.1)。

放射性物質は環境汚染物質の適用外とされてきたが、「平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」が制定され (平成 24 年 1 月 1 日より施行)、平成 24 (2012) 年 6 月 27 日に成立した原子力規制委員会設置法の附則において「環境基本法」における適用除外規定が削除され、放射性物質は法的に環境汚染物質と認定された。

近年注目されている環境汚染物質として、有機フッ素化合物 (PFAS) がある。PFAS はペルフルオロアルキル化合物およびポリフルオロアルキル化合物のことであり、4700 種類以上の人工的に合成された有機フッ素化合物群の総称である。代表的な PFA はペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) およびペルフルオロオクタン酸 (PFOA) である。PFAS は撥水剤、表面処理剤、乳化剤、消火剤、コーティング剤等に用いられてきたが、有害性や蓄積性等が明らかになってきている。米軍基地周辺等の地下水から高濃度で検出されており、環境省は令和 2 (2020) 年 5 月 28 日に PFOS と PFOA を人の健康の保護に関する要監視項目に位置づけ、公共用水域および地下水における暫定目標値 (暫定指針値) を 1 リットルあたり 50 ナノグラム ($50 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, PFOS と PFOA の合計値) に定めている¹⁾。

また、プラスチックごみが河川を通じて海洋に流れ込み、生態系の破壊を引き起こしていることから、プラスチック使用量削減が世界的な共通認識となっている。国内でも「プ

1) 厚生労働省 : <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>

プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」が令和4(2022)年4月1日から施行されている。環境に放出されたプラスチックは破砕され微細化されてマイクロプラスチックとなる。マイクロプラスチックは海洋のみならず、河川、土壌、大気等の環境媒体、ヒトの肺、糞便、血液、胎盤、母乳からも検出されており、健康影響が懸念されている。

表 1.1 代表的な環境汚染物質

無機物	二酸化硫黄、窒素酸化物、オゾン、一酸化炭素、二酸化炭素、酸、アルカリ、重金属（六価クロム、カドミウム、鉛、ヒ素、水銀等）、シアン化合物、ばいじん、アスベスト、放射性物質
有機物	塩素化炭化水素（ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等）、芳香族炭化水素（ベンゼン、トルエン、キシレン、ベンゾ（a）ピレン等）、アルデヒド類（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）、ポリハロ化合物（農薬、PCB、DDT、ダイオキシン類、フロン類等）、有機金属化合物（メチル水銀、トリブチルスズ、トリフェニルスズ等）、有機リン化合物パラチオン、マラチオン、フェントロチオン等）、界面活性剤、医薬品、有機フッ素化合物、マイクロプラスチック

1.2 環境リスクと安全

環境汚染物質には発がん性、生態毒性等を持つものが数多く存在する。これらが大気、水、土壌、食品等の媒体を経由して人の健康や生態系に影響を与える。環境汚染物質の影響を未然に防止するためには環境リスクを評価し、その結果に基づいて対策を講じていく必要がある。“未然防止（prevention principle）”とは、因果関係が科学的に証明されるリスクに対して被害を避けるために未然に規制を行う考え方であるが、欧州では“予防原則（precautionary principle）”の考え方が強い。予防原則とは、人の健康や環境に重大かつ不可逆的な影響を及ぼす恐れがある場合に、科学的に因果関係が十分に証明されない状況でも規制措置を可能にする考え方である。

環境リスクとは、環境中に排出された化学物質が人の健康や生態系に有害な影響を及ぼす可能性（エンドポイント）のことであり、化学物質の有害性とばく露量で決まる。ただし、化学物質は安全なものや有害なものに明確に分けることはできない。安全とは受け入れ不可能なリスクがないことであり、危険性がまったくない（ゼロリスク）ことではない。ばく露量は呼吸、飲食、皮膚接触等のさまざまな経路の総和である。有害性が小さい環境汚染物質に大量にばく露されたり、長期間にわたってばく露すれば悪影響があり、逆に有害性の高い環境汚染物質であっても極めて微量のばく露であれば悪影響が生じる可能性は低くなる。環境リスク低減には、環境汚染物質の排出形態、濃度とともに物理的・化学的性質を十分に考慮する必要がある。

国民の健康で文化的な生活の確保に寄与することを目的として、さまざまな環境関連法規が定められている（表 1.2）。「環境基本法」で定められる環境基準とは、人の健康を保護

するうえで維持されることが望ましい基準であり法的罰則はない。

表 1.2 一般環境リスクを低減するための環境関連法規

法律の性格			法律名	規制等の内容
基本事項を規定			環境基本法	<ul style="list-style-type: none"> 環境保全に関する施策の基本事項を規定 環境基準の設定（大気、水質、土壌等）
環境への排出に関する規制	環境媒体の体系	大気	大気汚染防止法	<ul style="list-style-type: none"> 工場・事業場に対する排出規制、総量規制 自動車排ガス規制のための許容限度の設定
			自動車 NO _x ・PM 法	大都市において、窒素酸化物および粒子状物質の排出量削減のための車両規制
		水質	水質汚濁防止法	工業・事業場に対する排出規制・総量規制
			湖沼保全対策特別措置法	指定湖沼周辺における排水規制
	土壌	土壌汚染防止法	市街地における土壌汚染に関する調査と対策	
		農用地の土壌汚染防止等に関する法律	重金属等により汚染された農用地の対策	
	特定物資の体系	ダイオキシン類対策特別措置法	<ul style="list-style-type: none"> 耐用一日摂取量および環境基準の設定 大気・水への排出規制、土壌汚染の対策 	
製造、輸入に対する規制			化学物質審査規制法（化審法）	<ul style="list-style-type: none"> 新たに製造、輸入される化学物質の審査 残留性や毒性が高い化学物質の製造規制
環境への排出移動量の届出			化学物質排出把握管理促進法（化管法）	化学物質の事業所からの排出、移動量届出（PRTR制度）、国による排出・移動量の集計

1.3 大気汚染

(1) 常時監視項目

常時監視が行われている代表的な大気汚染物質には、二酸化硫黄（SO₂）、二酸化窒素（NO₂）、一酸化炭素（CO）、光化学オキシダント（Ox）、非メタン炭化水素（NMHC）、浮遊粒子状物質（SPM）、微小粒子状物質（PM_{2.5}）がある。NMHCは、炭化水素（hydrocarbon, HC）から光化学反応速度の非常に遅いメタン（CH₄）を除いた物質群の総称であり、主成分はエチレン、プロピレン、ベンゼン、トルエンである。NMHCは浮遊粒子状物質（suspended particulate matter, SPM）の原因物質の1つであり、NO_xとともに光化学オキシダント生成の原因物質である。SPMは空気動力学径10μmの粒子を100%除去する分級装置で採取した粒子状物質である。SPMは日本独自の環境基準であり、欧米では空気動力学径10μmの粒子を50%除去する分級装置で採取した粒子状物質を意味するPM₁₀が用いられてきた。PM_{2.5}は空気動力学径2.5μmの粒子を50%除去する分級装置で採取した粒子状物質である。空気動力学径とは、大気中に浮遊しているさまざまな形や密度を有する粒子について、密度1g・cm⁻³を持つ球形粒子と同じ速度で空气中を落下すると仮定した場合の粒子径である。

大気汚染物質濃度を表す単位として、環境基準では質量濃度（mg・m⁻³、μg・m⁻³）が用いられているが、気体であれば分圧（atm）、数密度（molecule・cm⁻³）、混合比（ppbv, pptv等）、粒子であれば個数濃度（個・m⁻³）等も用いられる。