

REPORT

外気処理用防カビフィルター 効果の現場検証とその解析

外気取り入れフィルターの選定と保守管理のポイント

某食品工場の包装室内のエアコンおよび包装機器周辺で大量のカビが発生するトラブルが起こった。その原因を調査する中で、カビ発生の原因が外気処理のフィルターにあることが想定されたため、フィルター捕集率と機能が異なる3種類のフィルターを用いて追跡調査を行った。その結果、防カビ機能付き捕集率90%のフィルターがカビ拡散と発生抑制に有効であることが分かった。そこで本報では、これら一連の現場検証結果とカビ抑制のメカニズムおよびフィルターの選定法について解説する。



NPO-HACCP 実践研究会
理事 主幹研究員
宮地 洋二郎

Yojiro Miyachi
[プロフィール]

1943年生まれ、福岡県出身。67年日本無機株式会社入社後、フィルターユニット部でフィルターや環境機器の開発設計に従事。その後CR設計・施工のエンジニアリング部門(子会社)を立ち上げ、代表取締役就任。退社後、2010年より現職。HACCPのPRや講演などの活動を行っている。



(株)ピースガード カビアドバイザー
高橋 紘

Hiroshi Takahashi
[プロフィール]

1942年生まれ、東京都出身。73年中央設備エンジニアリング株式会社入社後、食品プラント部門の設立(統轄部長)、常務取締役・東京本店長などを経て独立し、2004年(株)ヒロ・コンサルティング設立。11年より現職。食品関連工場のカビアドバイザーとして活動を続けている。



日本無機株式会社
フィルタユニット部 設計課
茅嶋 健太郎

Kentaro Kayashima
[プロフィール]

1989年生まれ、福岡県出身。2014年日本無機株式会社入社後、エアフィルターを中心に設計開発業務に従事。17年に上市した食品分野向け防虫対策フィルターユニットの開発を担当。

カビ発生の原因究明に向けた調査方法

原因究明調査は、カビが発生した包装室関連事項について行った。当該工場の生産品は穀類加工製品で、包装室(容積700m³)の温湿度環境は目標値として温度約20℃、湿度約50%RHであった。

包装室関連の諸設備の外気処理ユニット、空調機器、生産機器類の見取り図を図1に示す。外気処理ユニットのフィルター構成は前置フィルターとし

て捕集率(質量法)82%の不織布製フィルターを、最終フィルターとして捕集率65%(計数法0.7μm)の低圧力損失のミニプリーツ型中高性能フィルターであった。

定量的な検証調査は図1に示す外気取り込み系統周辺の空気質環境、外気処理フィルターユニットと①その取り入れ口、②③室内への吹き出し口、および④室内の浮遊菌と落下菌などをエアサンプラーにて測定評価した。その結果、外気環境状態は図2に示すように高濃度のカビ胞子を含む浮遊菌が存

在し、また外気処理用フィルターには捕集率65%の中高性能フィルターが取り付けられているにもかかわらず、室内の浮遊菌にはクロカビや赤色酵母が見られ、これらが飛散し各機器表面にカビの発生が確認された。

カビ発生要因は外気環境とリンクしないフィルターの性能選定違いと保守管理不備と推定されたため、捕集率と機能の異なる3種類のフィルターを用いて、それぞれのフィルターによる給気口と室内環境変化について追跡調査することにした。

フィルターの性能別環境改善の追跡調査結果

今回、カビ発生要因は中高性能フィルターと推定されたため、捕集率が65%のフィルターと90%のフィルター、また防カビ機能を付加した90%の防カビフィルターの3種類について継続追跡調査した。その結果をまとめて表1に示す。

① 65%フィルター

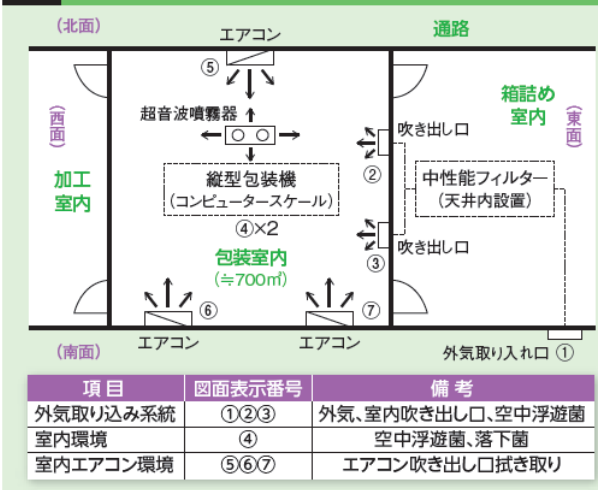
新品交換後初期の段階では室内給気口で60個/100ℓ、室内中央の浮遊

表1 中高性能フィルター性能別カビ効果追跡調査結果

フィルター 入れ替え と交換 年月	フィルター 仕様分類	外気 カビ 数	室内 給気口 Σ①②			外気処理用中高性能 フィルターの室内 給気の変化コメント
			室内 給気口 Σ①②	室内 中央 (浮遊菌)	室内 中央 (落下菌)	
2016年 10月	65%中高性能 フィルター 使用	無限 大∞	60個	50個<	4個	新規交換後でもす ぐにカビが多く出る (外気濃度に効率が 対応できず)
2017年 11月	同上	∞	100個<	50個<	50個>	1年経過後で既にカ ビ汚染限界を超える
2018年 1月	90%中高性能 フィルター 使用	∞	3個	0個	1個	極めて清浄である
2018年 10月	同上	∞	30個	14個	1個	10カ月後には多くの カビが侵入し始める
2018年 11月	防カビ90% 中高性能フ ィルター使 用	∞	5個	5個	0個	交換後は極めて清 浄
2019年 5月	同上	∞	3個	5個	0個	6カ月後の追跡調 査でも極めて清浄
2019年 9月	同上	∞	14個	6個	0個	10カ月後も極めて 清浄
2019年 11月	同上	∞	15個	2個	0個	1年後の追跡調査 で若干カビ菌が見 られるが、清浄範囲
2019年 11月	防カビ90% 新規フィル ター交換	∞	11個	5個	0個	新品交換後も極め て清浄

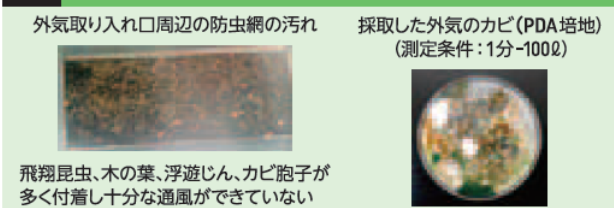
○宮地洋二郎、磯ピースガード 高橋絳共同作成

図1 現場調査・包装作業室内の平面図



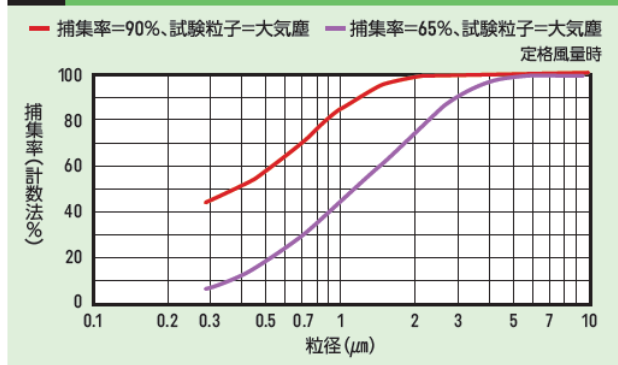
○磯ピースガード作成

図2 外気中の浮遊菌環境状態



○磯ピースガード作成

図3 65%と90%フィルターの粒径別捕集率 (初期)



○日本無機機作成

菌は50個/100ℓ以上だった。使用開始から約1年後には給気口で100個/100ℓ以上に増大するとともに赤色酵母も発生した。一方、室内中央の落下菌も50個近くまで増大したことは、いったん捕集されたカビ胞子がフィルターろ材の中で繁殖成長し、ろ材の下流側に達し、それが放出されたものと推定され、外気環境濃度が高い場合には捕集率65%の中高性能フィルターでは不十分であることが分かった。

② 90%フィルター
捕集率をグレードアップした90%フィルターは、初期段階では通過するカビ胞子は少なく、65%のときに見られ

た赤色酵母は検出されなかった。これは図3に示す粒径別捕集率のチャートから明らかのように、粒径が約2〜3μm程度の赤色酵母では、65%フィルターの捕集率が約84%に対して、90%フィルターでは約99%と高いために、ほぼ捕集されたものと思われる。しかし、使用後約10カ月たつと給気口から約30個/100ℓのカビ菌が検出された。

フィルターの寿命については、一般的に中高性能フィルターの場合、浮遊菌での評価(環境濃度にもよる)は1〜1.5年くらいとされているが、カビの多い外部環境の場合、防カビ処理をしていない90%フィルターは10カ月以内での交換メンテナンスが必要であることも分かった。これは、捕集されたカビが生きているためにろ材内で成長し、圧力損失が上昇し、かつカビの再飛散が起るためである。

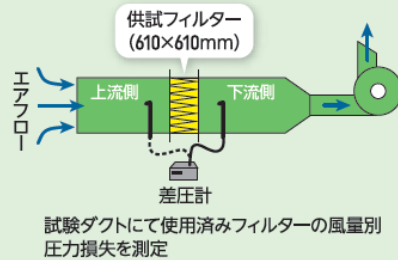
③ 90%防カビフィルター
使用開始6カ月、10カ月、1年後の給気口と室内浮遊菌の測定結果は表1の通り。外気環境の浮遊塵埃やカビ菌類が高濃度であるにもかかわらず、室内の浮遊やカビ菌数も少なく、かつ変化も見られなかった。さらに落下菌に至っては室内への汚染侵入が少なくなった。これは防カビ薬剤の効果により、ろ材内でのカビ増殖が抑制され、下流側への移行を抑制していたものと考え

使用済み防カビフィルターの
分析調査結果

調査を行った某食品工場から1年間

られ、実菌を用いた一連の試験でそれが証明された。性能を維持管理するためにメンテナンス時期を知ることが重要だが、防カビフィルターは約1年ごとの交換(ただし1カ月ごとの圧力損失確認は必要)で十分機能継続できることも、この調査で分かった。

図4 使用済みフィルターの圧力損失測定結果



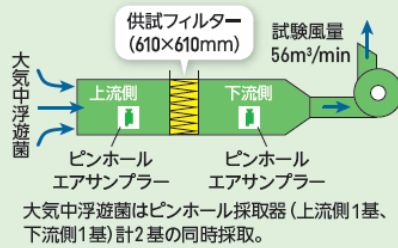
No.	試験風量 (m³/分)	圧力損失 (Pa)		
		初期性能	試験体 A	試験体 B
1	28	-	38.4	40.2
2	42	-	68.7	72.3
3	56	94	109.4	113.0
4	70	-	157.3	160.0

測定の結果、1年使用したフィルターは定格風量時の初期圧力損失と比較して15~20%の圧力損失増であることが分かった。

No.	項目	試験体 A	試験体 B
1	使用期間	2018.11.10 ~ 2019.11.13	
2	外観		
3	圧力損失 (Pa) at 56CMM	109	113

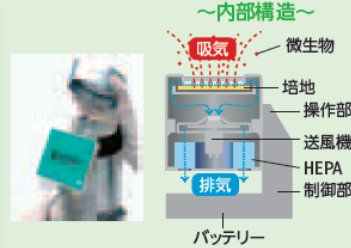
○日本無機機作成

図5 フィルターからのカビ飛散評価



区分	測定器	流量	採取時間
空中浮遊菌	ピンホール採取器	100ℓ/min	2.5min

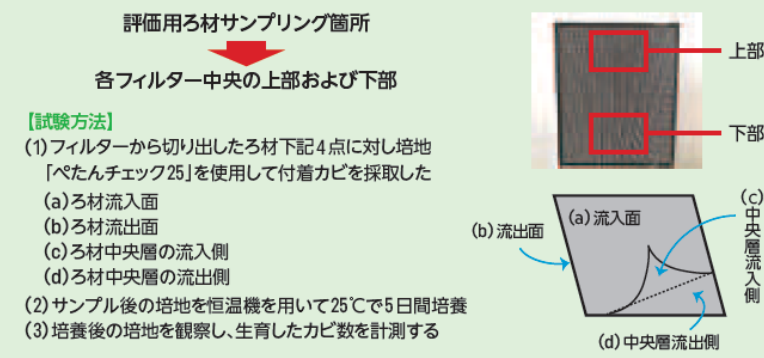
区分	培地	培養条件
真菌用	ポテトデキストロース	25℃、7日間



評価: カビ飛散は認められず
➡ 防カビ効果あり

出典: (株)ピースガード

図6 使用済みフィルターのカビ付着分析



- 【試験方法】
- フィルターから切り出した材下記4点に対し培地「べたんチェック25」を使用して付着カビを採取した
 - (a)ろ材流入面
 - (b)ろ材流出面
 - (c)ろ材中央層の流入側
 - (d)ろ材中央層の流出側
 - サンプル後の培地を恒温機を用いて25℃で5日間培養
 - 培養後の培地を観察し、生育したカビ数を計測する

○日本無機機作成

使用した捕集率90%防カビフィルターを回収し、各種評価を実施した。圧力損失測定▼結果を図4に示す。90%防カビフィルターの初期圧力損失は94Paであることから、1年間の使用によりフィルターの圧力損失は15~20%上昇していることが分かった。

カビの飛散(生物学的評価)調査▼結果を図5に示す。フィルター下流側でサンプリングした培地においてカビは確認されなかったことから、防カビ剤の効果は持続しており、下流側への飛散を抑制していると考えられる。フィルターろ材の防カビ効果調査▼効果を確認するために、フィルターろ材(流入面、中央層の流入側、中央層の流出側、流出面)に「べたんチェック25」培地を使用して図6に示す試験方法でカビの存在確認試験を実施した。その評価結果は図7・表2に示すように、サンプリングしたろ材面全てにおいてカビの存在を確認した。菌数で比較する

と、流入面では無数のカビが存在しているが、下流面では9個/25cm以下であった。中央層ではサンプリングした箇所によってカビが無数に確認されたが、防カビ剤の効果によりカビの生育が阻害されたためと考える。カビの存在確認試験▼カビの存在が確認されたことから、防カビろ材に捕集されたカビは死滅することなく、生育していない状態で存在していることが分かる。これにより、防カビ剤の効果

図7 使用済みろ材の付着カビの培地写真

No.	試験体	採取箇所	(a) 流入面	(c) 中央層流入側	(d) 中央層流出側	(b) 流出面
1	A	上部				
2		下部				
3	B	上部				
4		下部				

○日本無機機作成

表2 使用済みろ材の付着カビ付着結果

No.	試験体	採取箇所	(a) 流入面	(c) 中央層流入側	(d) 中央層流出側	(b) 流出面
1	A	上部	∞	3	4	3
2		下部	∞	∞	∞	2
3	B	上部	∞	3	12	9
4		下部	∞	22	12	1

- ①いずれのサンプルからもカビは確認された。
- ②無数にカビが確認された流入面に対して、流出面は1~9個と少数であった。
- ③ろ材中央層には防カビ剤が散布されており、捕集されたカビ菌は死滅はしていないが、防カビ剤の影響を受けて生育しない状態で存在していることが分かった。
- ④流出側でカビ菌を確認した結果は、フィルター交換前にフィルター下流側雰囲気のエアサンプリングにより得られた表1の結果と相関が見られた。

○宮地洋二郎、日本無機機作成

表3 エアフィルターとは

定義	効率評価(質量法)
空中に浮遊している微小粒子やガス状汚染物質など汚染物をろ過によって除去し空気を浄化する装置。対象となる粒子径や粒子捕集効率によって、粗じん用・中性能・高性能(HEPA・ULPA)フィルターなどがある。	<p>粗じん用エアフィルター 主として粒径が5μmより大きい粒子の除去に用いるエアフィルター</p> <p>中高性能フィルター 主として粒径が5μmより小さい粒子に対して中程度の粒子捕集率を持つエアフィルター</p> <p>高性能フィルター 主として粒径が0.3μmの粒子に対して99.97%以上の粒子捕集率を持ち、かつ初期圧力損失が245Pa以下の性能をもつエアフィルター</p>

○筆者作成 JIS Z 8122「コンタミネーションコントロール用語」より引用

表4 各種エアフィルターの捕集率の比較

項目	フィルター				
	粗じんフィルター	中性能フィルター	高性能フィルター	HEPAフィルター	
適用粒径(μm)	5以上	5以下	5以下	0.3	
測定法による粒子捕集率(%)	計数法	0~2	40~50	60~70	99.97
	計数法 at 0.7μm	5~10	60~85	90~95	100
質量法	細菌	40~70	90~95	100	-(100)
	真菌	10~50	50~80	90~95	100

参考：防虫ネットと飛翔昆虫の通過率

16メッシュ：24% → 注意 防虫ネットはあくまでも体長数mm単位の飛翔昆虫の捕虫用であって、外気に含まれる微粒子や微生物の捕集は全く効果がない。

フィルター効率値は測定法によって異なる → 数値を誤解しないこと！

出典：メッシュフィルター効率はベストロジー学会(1997)講演要旨集、そのほかは日本無機機

捕集率だけで選定しない

が失活した後は、ろ材内でカビが生育し、フィルター下流側により多くのカビを飛散する結果を招くと考えられ、フィルターの交換時期としては1年程度の周期で行うのが適当であると想定する。

フィルターの選定は、定義(表3)と各種フィルターの捕集率(表4)を把握し、適したものを選択しなければ

ならない。表4に示す測定法の違いについては下記の通りである。

計数法 ▼ フィルター上下流の粒子数をパーティクルカウンタで計測し、その粒子の個数比によりフィルターの捕集率を算出する方法

質量法 ▼ フィルターに供給した試験粉じん質量に対し、フィルターが捕集した粉じん質量を計測し、その質量比から捕集率を算出する方法

ここで重要なのは、フィルターの測

定法を無視した効率値だけの選定をしないことである。効率値は表4に示すように各測定法により捕集率が異なるので、これを無視して誤解して選定するととんでもない問題が発生するため、注意が必要である。

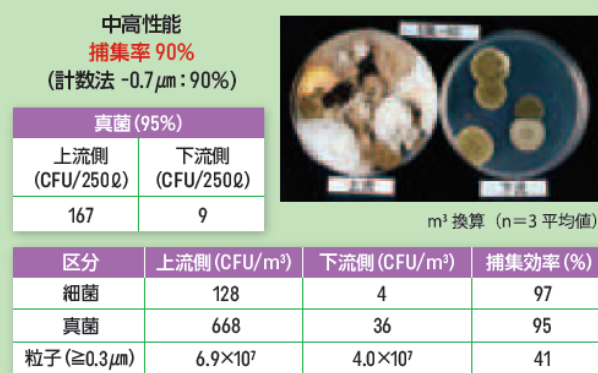
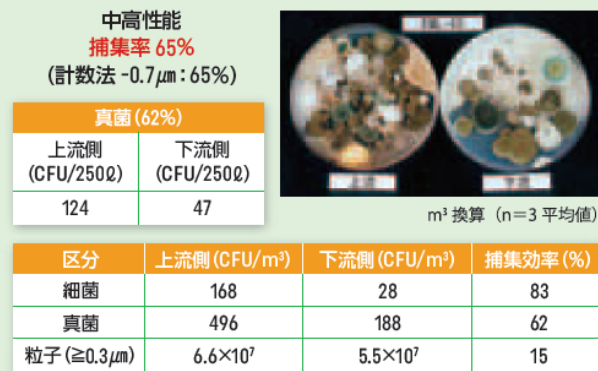
また、選定に当たり使用する施設内、周辺の空中浮遊菌環境を事前に調査することも大切である。これらは業者任せでなく、製品に対する室内清浄度製造条件や品質維持の要件を認識するこ

防カビフィルターと生物学的性能検証

とと、それに応じた自主実態調査の一環として自らが関心を持って調査することが重要である。

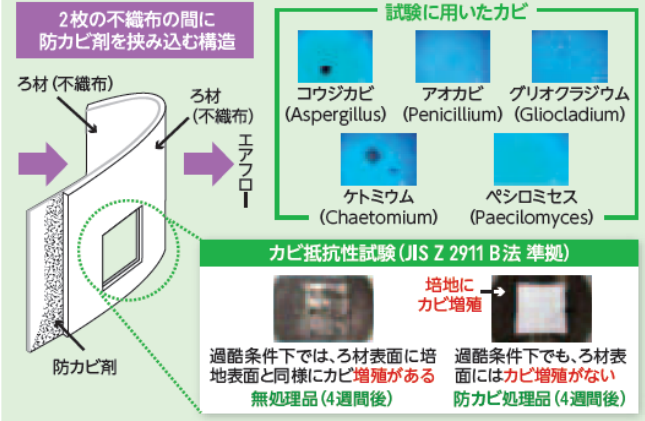
フィルターは空气中に浮遊する塵埃や微生物を効率よく捕集するが、まれにいったん捕集された微生物(特にカビ)は特殊な環境下ではろ材内部で増殖して菌糸が繁殖し、ろ材を貫通して

図10 中高性能フィルター別真菌の効率試験



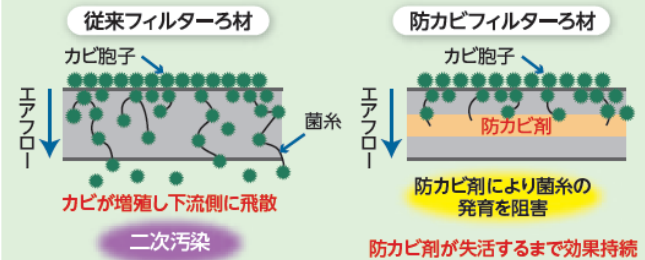
○日本無機株式会社

図8 防カビフィルターのろ材の構造と試験結果



○日本無機株式会社

図9 カビの増殖と防カビフィルターのメカニズム



○日本無機株式会社

飛散して二次汚染を起こすことがある。カビ胞子の成長を促す環境には「栄養源・酸素・温湿度・水分・pH」などが挙げられる。使用時間経過とともにろ材内で胞子が発芽し菌糸を伸ばし、多量のカビへと成長してろ材内に残存し、成長した胞子がフィルター下流側から飛散し、二次汚染を誘発するのがカビ拡散のメカニズムであり、特に室内の取り入れ空気環境が著しく汚染されている場合は顕著に表れる。

図8に防カビフィルターのろ材構造とその効果、図9にカビの増殖と防カビメカニズムについて示す。

一方、フィルターの生物学的性能検

証についての公表データは少ないが、食品工場で用いられるフィルターの検証データについて、日本無機株式のデータを引用し、図10に65%中高性能フィルターと90%フィルターの真菌(カビ)捕集率、またこれらデータをまとめた一覧表を表5に示す。

食品施設用防カビフィルターは、低圧力損失で高効率を有するろ材に安全な防カビ剤を挟み込むことで、捕集したカビ菌糸や胞子の増殖を速やかに抑制し、下流側への二次汚染を起こさずとなく室内の環境改善を図ることができる。なお、フィルターは低圧力損失が理想的であることから、既設フィル

**現場試験から分かった
カビが発生しにくい
食品工場づくり**

これまでの現場検証を通じて分かったのは、カビが発生しやすい工場と発生しにくい工場の違いを認識することの重要性である。最後に、筆者の経験を通じて得たカビが生えにくい工場づくりに向けたポイントを紹介する。

ターを防カビフィルターと入れ替え交換する場合は、フィルターサイズ（特に厚さ）、風量、圧力損失および既設設備のファン能力の検討を十分に行うことが重要である。

表5 空中浮遊微生物の捕集効率まとめ

グレード	フィルタ	ろ材材質	捕集率(メーカー保証値)			浮遊微生物捕集率(%)
			質量法	計数法 at 0.7 μ m	計数法	
粗じん	A	ポリエステル モダアクリル	57			13~34
	B	ポリエステル	76			29~49
	C		82			21~50
中高性能	D	ポリエステル		65		62~83
	E			90		95~ \approx 100
HEPA	F	ガラス繊維			99.97	\approx 100

① 質量法では捕集率がかなり低い ② 計数法で同程度 ③ 計数法より高い捕集率を示す

最終フィルター
粗じんフィルターの場合▶ 空中浮遊菌は半分から9割程度は通過する。
中高性能フィルターの場合▶ ほぼメーカー保証値(計数法)の性能となる傾向
HEPAフィルターの場合▶ メーカー保証値以上の性能発揮

↓

食品工業の加工・放冷・充填・梱包工程のフィルターは防カビタイプで90% 中高性能以上のフィルターを推奨

○日本無機株式会社

カビが発生しにくい

環境づくり▶ カビの生育条件である栄養源、温度(20℃以上)、湿度(80%以上)、酸素、pHの五つの要素を把握し、環境改善を図る。

「汚染防止4原則」の順守▶ 浮遊微生物や有害物質を「侵入させない、増やさない、拡散させない、除去する」システムの構築。フィルターは適切な選定と維持管理で侵入を防ぐ重要なツールであり、特に外気処理対策には重要である。

製造業種別の分析▶ 製造業種上から自社工場の特徴をよく理解しておく。

建築と設備から見た分析▶ 建築に影響を及ぼす「外乱現象」(気温、湿度、気圧などの環境を構成する物理要因のこと)を分析し、微生物そのものでなく微生物の侵入経路(建築物、空調設備、廃棄設備、衛生設備を介して侵入すること)をよく理解し対策を検討する。

工場をつくる際には業者任せにしない▶ 設計計画に着手する際に、製造に関する諸条件をしっかりと設計士や建築業者に伝え、注意すべき点を議論する。

業者任せにしない。設計計画に着手する際に、製造に関する諸条件をしっかりと設計士や建築業者に伝え、注意すべき点を議論する。