

【産業競争力懇談会 2014年度 研究会 最終報告】

【安心・安全の実現に向けた空気浄化技術】

2015年3月5日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

1. 本研究会の基本的考え方

地球上の空気は、人類や生物が自由に活用できる資源であるが、PM2.5等の浮遊粒子や感染性物質等、様々な要因によって汚染されつつある。一方、空気に求める質や機能は、地域や国、文化などによって異なり、そこで暮らす人々が求める生活の質(Quality Of Life:QOL)によって変化する。特に先進国では、有害物質の除去に留まらず、空気に付加価値をつけて得られる新たな効果へも期待がある。

空気を浄化する技術は、建物内の空間や、有害物質が発生する出口、屋外等で、様々なものが使われているが、用途や分野毎に個別の処理技術が培われ、専用の装置の開発に留まっている。新たに顕在化した社会課題には、それに対応した技術や機器が都度開発されているのが現状である。空気の機能付加に関する技術も、専門分野に分散して基礎研究を行っている段階である。これら技術の分散化により、大きな産業には成長していない。

水資源のように、その地域やニーズに応じて関連する技術を結集し、安心・安全な空気を安定的に提供することができれば、新たな産業として成長する可能性がある。一般的に空気はその存在を知覚し難く、動きも把握し難いため、それぞれの空間に閉じ込めた上で、価値を提供すると分かり易い。例えば、車や部屋等の小規模空間からホテルや空港等の大規模空間まで、色々な空間の有害物質を計測し、除去・無害化された空気を創り、維持することで、常に安心・安全な空気の提供が可能となる。また、その空間にいる人に応じて、何らかの成分付加によって新たな付加価値が提供できれば、新産業の創出が可能となる。

その為には、環境技術やナノエレクトロニクスに代表される日本の得意な技術を中心として、様々な分野や用途に分散している技術を集約し、複合的に活用する必要がある。

本研究会では、これらの空気に関連する技術を集約し、将来に向けて活用し易くすることで、新たな産業化に向けた基盤の構築を行う。本年度は、空気に関する技術の全体俯瞰とその将来予測を行った上で、産業競争力に資する技術の議論を開始し、その基礎的な検討を行った。

2. 検討の視点と範囲

空気中の有害物質(物理的要因、化学的要因、生物的要因)に関して、現在の社会的課題と将来像を整理した。その後、様々な用途や分野に分散して現存するセンシング技術、分離・除去・分解技術をまとめて鳥瞰図を作成した。その中から主な技術を抽出し、将来の予測を行った。また、有害物質を取り除くだけでなく、空気に付加価値を付け、新たな効果を得ることについても検討した。

3. 空気に関する社会課題の鳥瞰と将来予測

空気は水のように供給されるものではなく、各々の空間に存在し、それを利用している。空気に関する社会課題を、車内や部屋から空港や屋外まで空間の大きさ別に抽出し、鳥瞰図として整理した。その上で将来的に発生しそうな課題についても議論を行った。

4. 空気に関する技術の鳥瞰と将来像

これまで空気に関する技術は業界や分野に留まっており、一元化されていなかった。本研究会では、分野や業界を超えて、空気に関する技術をまとめて鳥瞰図を作成した。その中から日本

の強みが活かせ、競争力のある産業の基盤と成り得る技術を抽出し、その将来を予測し、技術ロードマップとしてまとめた。

5. 産業競争力強化に資する技術分野のキーワード

鳥瞰図と技術ロードマップをベースに、産業競争力強化に資する技術分野と、その技術を活かして創出できる新産業の素案について議論し、次の4つのキーワードを抽出した。

5.1 感染症対策

危険性の高い感染症の脅威が大きくなっているが、それを計測可能なセンシング技術と分離・除去・分解技術の研究開発を行った上で、更に高機能な建材も含めて組み合わせ、感染症から人を守る安心・安全な快適空間を提供する。

5.2 微粒子制御

有害な空気中の浮遊微粒子に関して、人が活動する空間で適切に制御すると共に、発生源となる工場や火力発電所のばい煙等の対策技術を新興国へ展開し、地球全体の環境保全に貢献する。

5.3 空気の機能付加

空気に香りや酸素等を付加することにより、快適性や健康等へ新たな効果を得ることが可能である。本技術開発によって新産業の創出につなげる。具体的には、ストレス制御や集中力向上、農業への応用、CO₂の分離・回収と有効活用等が考えられる。

5.4 パッケージ化

汚染の原因物質は物理的、化学的、生物的等、多岐に渡り、単体のセンサーや分離・分解・除去手段で対応は限界がある。複数のセンサーや機器を含めて空間全体を制御し、運営やサービスも含めて、安全・安心で快適な空間を提供する。

これらの事業創造を実現し、わが国の産業競争力の向上を図るためには、個々の企業は個別の技術開発を行うが、基礎的な研究開発は、産官学連携での取り組みが必要となる。また、測定技術とその基準、認証組織やプロセスの制定と標準化についても同様の体制が必要である。

実用化やコストダウンは民間で行うべきものだが、国内での普及促進や海外展開においては、必要に応じて官民一体となった推進が望まれる。

6. 研究会活動のまとめと今後の取り組み

本年度は「安心・安全の実現に向けた空気浄化技術」研究会を立ち上げ、多くの有識者から知見をいただき、空気に関する課題と技術の全体像を描き、事業創造に役立つようなキーワード抽出ができた。ご講演をいただいた幅広い分野の方々、ご助言をいただいた各省庁の方々を含め、関係各位に深く感謝を申し上げます。

今年度は研究会として具体提言までは進めなかったが、次年度は提示したキーワードを中心に更に議論を深めて絞り込み、既存技術の延長で実現可能なものと、基礎研究から取り組む必要があるものとして整理した上で、具体的な目指すべき姿と狙うべき市場、実現に必要な施策、産官学の役割分担等を、具体的提言として取りまとめる予定である。オールジャパンの技術や知恵の結集により、世界に先駆けた新産業の創出が可能となると信じる。

以上

【目 次】

1.	背景	3
1.1	本研究会の基本的考え方	3
1.2	検討の視点と範囲	3
2.	社会課題と技術動向	4
2.1	空気に関する社会課題	4
2.2	空気浄化に関する技術	4
2.3	空気の機能付加	5
2.4	今後の技術の進化	5
3.	産業競争力強化に資する技術分野のキーワード	5
3.1	感染症対策	5
3.2	微粒子制御	9
3.3	機能付加	11
3.4	パッケージ化	15
4.	研究会活動のまとめと今後の取り組み	16
4.1	研究会活動のまとめ	16
4.2	今後の取り組み	16
	【付録】	17
5.	空気に関する社会課題	17
5.1	物理的要因	17
5.2	化学的要因	21
5.3	生物的要因	31
6.	空気浄化に関する技術(現状、将来像)	35
6.1	センシング技術	35
6.2	分離・除去・分解技術	56
7.	空気の機能付加	85
8.	空気に関する鳥瞰図(現状→将来)【公開対象外】	94
8.1	空気浄化に関する社会課題の鳥瞰図【公開対象外】	94
8.2	空気浄化に関するセンシング技術の鳥瞰図【公開対象外】	95
8.3	空気浄化に関する分離・除去・分解技術の鳥瞰図【公開対象外】	96
8.4	空気の機能付加の鳥瞰図【公開対象外】	97
9.	空気に関する技術ロードマップ【公開対象外】	98
9.1	技術ロードマップ(センシング)【公開対象外】	98
9.2	技術ロードマップ(分離・除去・分解)【公開対象外】	101
9.3	技術ロードマップ(機能付加)【公開対象外】	103
10.	空気に関する新事業のイメージイラスト(20シーン)【公開対象外】	104
11.	研究会活動	105

【はじめに】

空気は人類を含む生物の生存に必要な不可欠な資源だが、人口増大や経済活動の拡大およびそれに伴う人の移動の活発化によって、その汚染や感染症リスクの高まりが世界的な課題となりつつある。PM2.5 に代表される浮遊粒子や感染性物質によって人々の健康・安全・安心が脅かされており、このままでは 2030 年には大気汚染で 440 万人が死亡すると予測されている（OECD 予測）。そのため欧米では環境政策として様々な規制を実施している。

一方、空気に求める質や機能は、地域や国、文化などによって異なり、そこで暮らす人々が求める生活の質 (Quality Of Life: QOL) によって変化する。特に先進国では、有害物質の除去に留まらず、空気に付加価値をつけて得られる新たな効果も期待されている。

しかし、どの汚染源や病原体に対してどのような技術でどの範囲を浄化すべきか、どのような付加価値が実現可能か等、空気に関連した知識・リソースが一定の方向性を持って集約されているとは言いがたく、産業としての成長につながっていない現状がある。

例えば、車や部屋等の小規模空間からホテルや空港等の大規模空間まで、色々な空間の有害物質を計測、除去・無害化された空気を創り、維持することで、常に安心・安全な空間の提供が可能となる。また、その空間にいる人に応じて、何らかの成分付加によって新たな付加価値が提供できれば、新産業の創出が可能となる。

様々な空間の有害物質を計測、除去、あるいは無害化する技術に関し、分散している知識・リソースを集約し、機能材料技術、エレクトロニクスデバイス技術に代表される日本の高度な技術を活かすことで、日本の強みを活かした新たな産業として発展することを期待する。

今年度は、「安心・安全の実現に向けた空気浄化技術研究会」を立ち上げ、多くの有識者の方から知見をいただき、関連する技術を俯瞰し、主な技術の将来について議論を深めることができた。また、競争力のある産業創出に向けた技術分野の議論を開始し、事業創造に役立ちそうなキーワードを抽出することができた。今後は、更に議論を深めて具体的提言を作成し、日本発の新産業創出に向けて取り組んでいく所存であるが、関係者からの更なるご支援を賜りたい。

産業競争力懇談会
会長（代表幹事）
西田 厚聰

【研究会メンバー】

○リーダー	吉岡俊彦	パナソニック（株）
○サブリーダー	下野 健	パナソニック（株）
○メンバー	津本浩平	東京大学
	駒井章治	奈良先端科学技術大学院大学
	水谷文雄	兵庫県立大学
	安川智之	兵庫県立大学
	粟津浩一	産業技術総合研究所
	矢吹聡一	産業技術総合研究所
	櫻井美栄	（株）I H I
	山口 一	清水建設（株）
	池上教久	シャープ（株）
	杉山 信	シャープ（株）
	瀬川慎介	シャープ（株）
	西村孝司	（株）東芝
	高松伴直	（株）東芝
	齋藤秀一	東芝マテリアル（株）
	長澤敦氏	東芝キャリア（株）
	西沢正人	東芝ナノアナリシス（株）
	小塚祥二	東芝ナノアナリシス（株）
	笹本 太	東レ（株）
	浅田康裕	東レ（株）
	稲永康隆	三菱電機（株）
	西川孝司	パナソニック（株）
	鈴木正明	パナソニック（株）
	辻本 光	パナソニック（株）
事務局	藤田英樹	パナソニック（株）
	二挺木克洋	パナソニック（株）
	阪井英隆	パナソニック（株）
オブザーバー	小寺秀俊	京都大学
実行委員	有信睦弘	理化学研究所/東京大学
企画小委員	北村伸彦	トヨタ（株）
COCN事務局	中塚隆雄	

※2014年12月末まで

【本 文】

1. 背景

1.1 本研究会の基本的考え方

地球上に存在する空気は、人類や生物が自由に活用できる資源であるが、PM2.5 に代表される浮遊粒子や感染性物質等、様々な要因によって汚染されつつある。一方、空気に求める質や機能は、地域や国、文化などによって異なり、そこで暮らす人々が求める生活の質(Quality Of Life:QOL)によって変化する。特に先進国では、有害物質の除去に留まらず、空気に付加価値をつけて得られる新たな効果も期待されている。

空気を浄化する技術は、建物等の一定の閉じられた空間や、有害物質が発生する出口、屋外等で、それらを浄化する様々な技術が使われているが、用途や分野毎に個別の処理技術が培われ、専用の装置の開発に留まっている。新たに顕在化した社会課題には、それに対応した技術や機器が都度開発されているのが現状である。空気の機能付加に関する技術は、専門分野に分散して基礎研究を行っている段階である。これら技術の分散化により、大きな産業には成長していない。

水資源のように、その地域のニーズに応じて関連する技術を結集し、安心・安全な空気を安定的に提供することができれば、新たな産業として成長する可能性がある。一般的に空気はその存在を知覚し難く、動きも把握し難いため、それぞれの空間に閉じ込めた上で、価値を提供すると分かり易い。例えば、車や部屋等の小規模空間からホテルや空港等の大規模空間まで、色々な空間の有害物質を計測し、除去・無害化した空気を創り、維持することで、常に安心・安全な空間の提供が可能となる。また、その空間にいる人に応じて、何らかの成分付加によって新たな付加価値が提供できれば、新産業が創出できる。

その為には、環境技術やナノエレクトロニクスに代表される日本が得意とする技術を中心として、様々な分野や用途に分散している計測技術や、除去あるいは無害化する技術を集約し、複合的に活用する必要がある。

本研究会では、これらの空気浄化に関連する技術を集約し、将来に向けて活用し易くすることで、新たな産業化に向けた基盤の構築を行う。本年度は、空気浄化に関する技術の全体俯瞰を行い、その将来を予測した上で、産業競争力に資する技術の議論を開始し、基礎的な検討を行った。

1.2 検討の視点と範囲

空気浄化に関連する技術を掘り起し、新たな産業のベースとするために、現状の課題や技術動向を把握し、将来を予測した。

まず、空気中の有害物質（物理的要因、化学的要因、生物学的要因）に関して、現在の社会的課題と将来像を整理した。その上で様々な用途や分野に分散して現存するセンシング技術、分離・除去・分解技術をまとめて鳥瞰図を作成し、主な技術についてロードマップを作成した。また、有害物質を取り除くのではなく、空気に付加価値を付け、新

たな効果を得る活用の可能性についても検討を行った。

これらの技術鳥瞰とその進化を踏まえた上で、産業競争力に資する技術分野とその実現に向けた提言の議論を開始し、事業創造に役立つようなキーワードを抽出した。

2. 社会課題と技術動向

2.1 空気に関する社会課題

空気に関する社会課題はその原因物質により、物理的要因、化学的要因、生物的要因に大別される。

物理的要因としては、浮遊粒子状物質（SPM、PM2.5）やナノマテリアル、黄砂・火山灰等があり、化学的要因としては、燃焼ガスや排気ガス、ばい煙、各種の臭気、VOC、等がある。生物的要因としては、カビやアレルゲン、感染症を引き起こす病原体や微生物、害虫・害動物等がある。

排気ガスやばい煙等、過去から社会課題としてその解決に取り組まれているものもあるが、浮遊粒子状物質や病原体等、近年になってその影響が課題となり、対策が必要となるものが現れている。

詳細については、5. 空気に関する社会課題、8. 1 空気浄化に関する社会課題の鳥瞰図、を参照いただきたい。

2.2 空気浄化に関する技術

空気浄化に関する技術は、原因物質そのものや人体への影響度等を測るセンシング技術と、原因物質を分離・除去・分解する技術とに大別される。

物理的要因に関するセンシング技術としては、パーティクルカウンターや代替粉塵による封じ込め性能評価、多段式インパクタを用いた測定等がある。化学的要因に関するセンシング技術としては、ガスクロマトグラフ法やイオンセンサー、各種のガスセンサー等がある。生物的要因に関するセンシング技術としては、バイオセンサーやDNAアレイセンサー、ATPモニタリング等がある。

今後センシング技術が進化するにあたり、共通するキーワードとして、低価格化、高感度化、小型化、オンサイト測定、ICT融合（即時、常時モニタリング）が挙げられる。

物理的要因の分離・分解・除去技術としては、HEPA、ULPAを含むエアフィルターや、電気式集塵、サイクロン集塵、湿式集塵等がある。化学的要因に対する技術としては、吸着剤やケミカルフィルター、マスクング、光触媒を含む各種触媒、脱硝・脱硫等がある。生物的要因に対しては、UVやオゾン、抗菌・防カビ・抗ウイルス機能材等がある。

分離・分解・除去技術の進化に共通するキーワードとしては、省エネ化、高効率化、長寿命化、技術の複合化、Passive型、高速化、大量処理、微細化（ナノテクノロジー）が挙げられる。

詳細については、6. 空気浄化に関する技術（現状、将来像）、8. 2 空気に関するセンシング技術の鳥瞰図、8. 3 空気に関する分離・除去・分解技術の鳥瞰図、を参照いただきたい。

2.3 空気の機能付加

空気中の有害成分を除去するだけでなく、何らかの成分を付加することにより、人や動植物の本来機能を高めることや、新たな効果を得ることができる。具体的には、病原体への事前免疫、高濃度酸素添加、ストレス低減・集中力向上、美容・健康への応用、農業への応用等がある。その実現に必要な要素技術としては、空調のパーソナル化や香り制御等が挙げられる。

詳細については、7. 空気の機能付加、8.4 空気の機能付加の鳥瞰図、を参照いただきたい。

2.4 今後の技術の進化

俯瞰した空気に関する技術の中から、日本に強みを活かすことができ、競争力のある産業創出の基盤となる技術を抽出し、2015年から2035年までの技術の進化を予測した上で、技術ロードマップを作成した。

センシング技術においては、物理的要因に対する技術として、浮遊粒子状物質の粒子計測および成分計測、封じ込め性能評価、放射性物質の計測の4技術分野、化学的要因に対する技術として、VOC計測、作業環境改善、危険物質・不正物質検出、モニタリングの4技術分野、生物的要因に対する技術として、病原体・ウィルス、アレルゲン、高感度免疫測定、バイオセンサ・センシングの4分野を抽出し、その技術の進化を描いた。

分離・除去・分解技術では、物理的技術としては、高性能集塵や微気流の2技術分野、化学的技術としては、におい制御・脱臭、CO₂回収・処理、脱硝・脱硫、再生レス分解技術の4技術分野、生物的技術としては、触媒・ラジカル、ウィルス・微生物制御の2技術分野を抽出し、その技術ロードマップを作成した。

空気の機能付加としては、ストレス軽減、集中力向上、快適制御、動物・植物・虫、コンパクトシティ・資源の5技術分野の技術進化を描いた。

作成した技術ロードマップは、9. 空気に関する技術ロードマップ、を参照いただきたい。

3. 産業競争力強化に資する技術分野のキーワード

鳥瞰図と技術ロードマップをベースに、産業競争力に資する技術分野の議論を開始し、その技術を生かして創出できる新産業の可能性の検討と、事業創造に役立つようなキーワードの抽出を行った。また、それら実現のために必要となる施策や官民の役割分担についても検討を行った。

3.1 感染症対策

○社会課題

エボラ出血熱や強毒性鳥インフルエンザ等、危険性の高い感染症の脅威が増加しており、30年周期で起こるとも言われるアウトブレイクに対して、早期発見・早期対処によ

って、感染拡大を抑える必要がある。

3.1.1 (感染症) 原因物質センシング技術

○具体的な技術内容

感染症の原因物質は生物的要因であることが多く、そのセンシング技術としては、多数の原因物質「群」が存在する中で、その「群」のヒト等への影響推測が重要となる。

その一つとしては、小動物(あるいは微生物)の呼吸活性低下等を指標とする手法が有用であり、特定の「群」に対する高感度なセンサーや、応答性のばらつきが少ないセンサーの開発には、遺伝子組み換え小動物(あるいは微生物)の使用が不可避である。

また、空気をサンプリングし、その中に含まれるウィルス等の量を、免疫反応を利用して検出する方法も有効である。特に、低分子物質の免疫センシングには、試料中の測定対象物質と、センサー表面等に予め固定された同一物質との間の競争反応を利用する手法が有効である。その場合は、測定物質そのものをセンサーに搭載することになる。

これらの実用化に向け、センシング技術の高精度化・小型化・低価格化が、重要な技術課題となっている。

○実現した際の社会的インパクト

空港等での検査に活用することで、感染症拡大の水際防止の有用な手段となる。また、病院、介護施設、空港等の公的なスペースでの危険性の把握や、畜産施設への応用や、アレルギー検出にも展開でき、波及効果は大きい。

更に、広範囲(広域)に測定して基礎的データを得ることができれば、他の情報と併せて複合的に大気汚染の危険性を把握することができる。

具体的には、2020年までに感染症ウィルス等の間けつ測定システムの実現や、複数のウィルス計測も可能になると考えられる。更に、状況を把握するための測定装置の配置や計測間隔等、ノウハウ蓄積が可能となる。

○実現の為の提言

医学や工学等、様々な分野の有識者が知見を持ち寄る必要があり、企業や大学等が独自に研究開発をするだけでなく、複数分野や組織を横断して関係者が集結し研究を行う体制の整備が求められる。

また、遺伝子組み換え動物を用いた実験施設の整備や、測定法等の標準化、遺伝子組み換え生物の取り扱いに関するカルタヘナ法の規制緩和等も必要となる。

更に、競争反応を利用した免疫センシング技術では、測定物質そのものの利用が必要となるが、その危険性が大きい場合には様々な法規制が関連する。例えば、(感染症ではないが)麻薬のセンシングには、麻薬そのものが必要だが、麻薬取締法によって取り扱いが制限されている。研究開発を加速するためには、これらの規制改革も必要となる。

3.1.2 (感染症) 原因物質の分離・除去・分解

○具体的な技術内容

感染症の原因物質に応じて、複数の分離・除去・分解技術を組み合わせて活用するこ

とが必要となる。

分離技術としては、抗菌抗ウイルス作用を繊維構造で増幅させるシート材料（エアフィルター、マスク、防護服、建材、他）がある。分解・除去技術としては、光触媒によるパッシブ型の微生物不活化技術と微生物が付着しない建材、電解水ミスト放出による、微生物不活化技術、紫外線応用による、光分解技術等がある。また、オゾンの長期安定保存や輸送が可能な、可搬型のオゾン活用システムも有効だと考えられる。

また、気流制御のシミュレーションやその最適化によって、微粒子除去と微生物不活化の効果向上により、空間の中にいる人に対して、安心・安全な環境を提供することができる。個人の体質に合わせて個々に制御することで、パーソナル化も実現できる。

更に、空気以外の感染経路に対応する技術とも組合せも必要となる。

○実現した際の社会的インパクト

上記技術を組み合わせにより、安全・安心な空気を提供できる空間が実現できる。例えば、公共施設（幼稚園・保育園・学校・介護施設・病院等）や移動空間（飛行機、列車、バス等）での感染症リスク低減、空気感染対策が行える。また、オリンピック観客や選手用として、空港等での原因物質の除去（規制値以下の維持）にも活用できる。

更に、ヒトだけでなく家畜に対しても応用可能で、発生場所に持ち運んで滅菌・殺菌することで、家畜感染症の被害を最小限に食い止める等の展開が可能となる。

○実現の為の提言

これらの実現の為には、各種素材や分離・分解・除去技術の基礎研究や効果実証については産官学共同で取り組み、その実用化や製品開発については個々の企業で行う。

また、家畜伝染病予防法の消毒基準へのオゾン消毒の追加や、食品、農業、医療分野等への機能素材・機器の許認可、住環境空間におけるオゾン・紫外線利用等、関連する規制緩和や法整備も必要となる。

更に、医療施設・高齢者集合施設等、実空間での実証実験に基づき、空気浄化効果の評価方法や評価基準、性能認定規格等の制定を、産官学連携で行い、認定機関を立ち上げて評価体制の構築（マークの付与）する必要がある。

この統一基準（マーク）を活用して海外展開することで、日本の技術に対する「安心、安全」のイメージ確立と新産業の展開とを同時並行で行うことが可能となる。

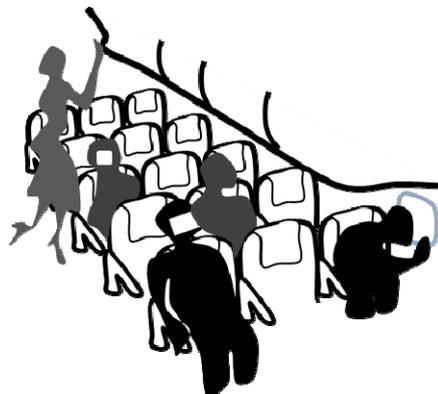


図 1 移動空間での感染症リスク低減

3.1.3 感染症対策ソリューション

○具体的な技術内容

病院、福祉・介護施設等、感染症リスクが高い空間において、複数のセンシング技術と複数の分離・除去・分解技術、更に高機能な建材も含めて組み合わせ、ソリューションとして提供することで、感染症からの安心・安全な快適空間を提供する。具体的には、空間中の微量病原体サンプリング・濃縮技術を初めとする病原体の超高感度検出技術と、次亜塩素酸水・オゾン滅菌技術等の即効性滅菌技術や光触媒技術等の継続的に滅菌可能な技術を組み合わせ、統合した微生物制御技術を実現する。

また、これらの技術を簡易化・低コスト化し、プレハブ状の簡易建屋内で実現することで、新興国でも利用可能な、安価で安心・安全な空間が実現できる。簡易であってもその地域で問題となるウィルスや細菌を確実に分離し、それらの特性に応じた除加湿等、低コストな方法で除去・分解する。

○実現した際の社会的インパクト

病院、福祉・介護施設等において、感染制御の応用による安心・安全環境が提供できる。また、感染症の水際防止を目的として、航空機・船舶にも応用でき、感染症モニタリングや防疫体制が確立できる。更に、感染症のパンデミックや生物兵器によるテロ発生時にも対応でき、低コスト化によって幅広い普及が期待できる。2020年までに日本国内に展開することで、訪日者に大きな安心・安全が提供できる。

○実現の為の提言

医学と工学等、複数分野を横断した産官学連携での研究開発により、疫学データも含めた効果検証や大規模な実証実験を行う。その実証データを活用し、ウィルス・病原菌等の検出における必要検出感度レベルの明確化や、微生物制御技術の標準化、認証組織やプロセスの確立、要件緩和された認証の新設（ex. トクホの感染予防技術バージョン）等に活用する。その後、低コスト化と簡易化等の実用化は民間中心で取り組む。

また、標準化を行った上で、日本国内での導入支援補助等と官民一体での海外展開・戦略的広報が、国内外への普及促進に効果的である。

これらの取り組みの加速には、薬事法や関連する法規制の適用緩和も必要である。

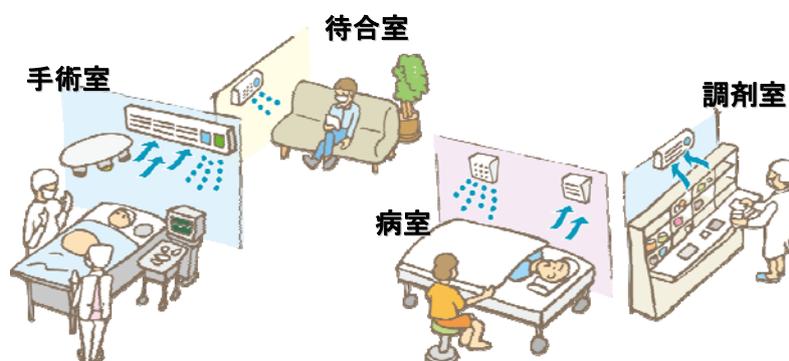


図 2 病院での感染症対策ソリューション

3.2 微粒子制御

3.2.1 ヒトに影響する微粒子の制御

○社会課題

空気中に浮遊する微粒子は、ナノ粒子等の粒子径別による人体吸入時の疫学的影響と粒子自体が持つ有害性の問題を併せ持ち、その存在も室外大気のみならず、室内空間にも及んでいる。今後、有害微粒子とされる PM2.5、ナノマテリアル、高活性物質等の計測技術とその分離・除去・分解技術が、空気質の安心・安全確保のために必要となる。

○具体的な技術内容

微粒子の分離・除去技術としては、比較的大きな室内空間では、従来の技術に加えて、高速・大容量で除じんする電気集じん技術を平面気流活用と天井面等の大壁面を利用する新しいコンセプトの技術も考えられる。それ以外にも空間の区割りや要因に応じて様々な技術が存在し、高効率化・省エネ化、低コスト化、長寿命化等、進化していく。

PM2.5 とそれより小さい粒子に関しては、粒子径別捕集技術と有害成分の測定・解析技術により室内外の状態を把握する。

産業界で活用されているナノマテリアルに関しては、気中濃度測定方法(他の空気中マトリックスとの分離技術等)の確立、高活性医薬品の取扱い施設においては、高感度検出可能な代替粒子による測定技術、医療施設内では、抗がん剤等の汚染状況を把握する環境測定技術の確立が求められる。

微粒子の計測技術によって検出粒子の人的影響度合を評価することで、分離・除去・分解手段を選択するプロセスも期待される。

各測定技術は、現場測定を可能にする装置の小型化、低コスト化、常時モニタリング化が必要である。

○実現した際の社会的インパクト

大型施設や空間における微粒子の分離・除去・分解技術と測定技術により空気質の安全が確保でき、それに伴う空気清浄機等の性能向上等が期待され安全・安心な空間創出につながる。特に東京五輪等で訪日された方へきれいな空気を提供し、体感、見える化することで、技術の海外展開の機会にもつながる。

○実現の為の提言

各分野での空気環境測定(既存技術)と代替技術の融合による小型化、センサー/モニタリング化を産学官連携で研究開発を行うと共に、分析評価方法の標準化が必要である。

実際の施設環境で実証実験を行い、分離・除去・分解技術の検証を行う。空気質と健康の相関から人体への影響を確認し、個々の微粒子制御技術の必要性を産学官連携で検証する。

また各技術開発、及びフィールド実証段階で予測される制約の規制緩和(薬事法等)も必要となる。

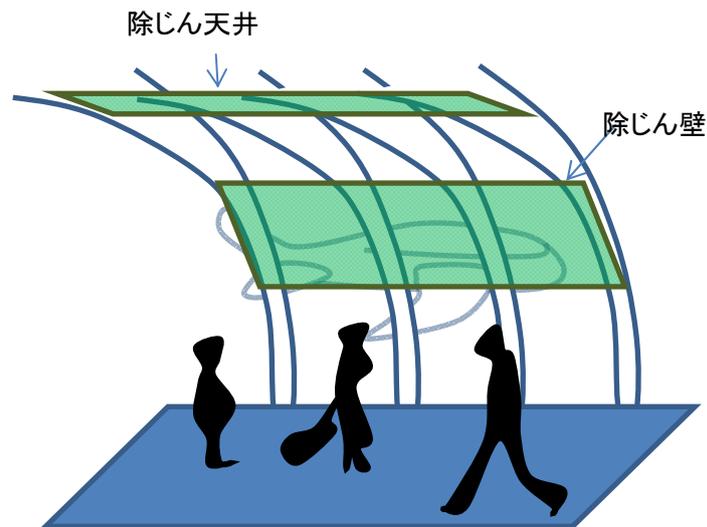


図 3 ヒトに影響する微粒子の制御例

3.2.2 工場・火力発電所のばい煙対策

○社会課題

排気ガス・ばいじんの発生源は、大きく固定発生源と移動発生源に分類でき、固定発生源としては工場や火力発電所等が挙げられる。我が国の石炭火力発電所では、大気汚染防止法の制定を経て、NOx、SOx、ばいじんに対する環境技術等が世界最高水準に達しており、欧米各国と比較しても排出量は極めて低い。しかし、大気汚染の問題は、国境、地域を跨いだ課題であり、例えば、エネルギー需要の旺盛な中国等のアジア地域から、我が国に流入する大気汚染物質が増加しており、実態調査、モニタリングや発生抑制等の対策が必要となっている。

○具体的な技術内容

石炭火力発電所においては、燃焼方法の改善によるNOx等の生成量削減のほか、PM2.5や水銀等の微量有害元素については、スプレー塔等の湿式の除去方法や触媒や吸着剤を利用する乾式の除去方法により排出を抑制することができる。また、NOxや水銀の除去に有効な脱硝触媒については、その劣化防止や低温作動による効率向上を行う。

○実現した際の社会的インパクト

中国、東南アジアやインド等、エネルギー需要の旺盛な地域にも普及拡大させることにより、大気汚染物質の発生量を削減することが可能となる。その結果、当該国・地域の環境状態の改善だけでなく、PM2.5や水銀等のように国境、地域を跨いだ汚染も抑制することができる。また、日本の優れた環境技術は世界に先駆けて浸透することができ、地球環境保全に大きく貢献することが可能となる。

○実現の為の提言

大気汚染物質の発生抑制技術や排ガス処理技術等の環境技術においては、官民一体となって日本の優れた技術を海外展開し、新興国支援の体制や法制度、支援事業、を整備する必要がある。

3.3 機能付加

3.3.1 空気質調整によるストレス制御・生産性向上

○提供する価値

実際の室内の空気環境・気流・温湿度、更にこれら空気質を可視化（見える化）し、個人に応じて適切に制御することにより、快適・癒し空間提供によるストレス制御（住環境等）や適度な緊張空間提供による生産性向上（オフィス環境等）につなげる。

また、スポーツやビジネス等のチームワークの向上にも活用する。

○具体的な技術内容

気流解析技術（シミュレーション）、位置情報技術、映像技術を組み合わせた MR (Mixed Reality) システムにより空気環境を見える化し、パーソナル空調などの個別に空気質を制御する環境を実現する。デザイン性を兼ね備えて社会浸透しやすくしたパーソナル空調用ポータブルデバイスにより、個別に様々な機能を付加することが可能になる。空気質に加え、光、音と連携することで、更に高付加価値化が可能である。

また、負荷なく疲労・ストレス状態を計測し、可視化する技術を活用することで、実環境における自己の心身状態の定量評価が可能となる。それを活用することで、個人の状態や感受性に応じた適切な空気質制御（温湿度、気流、香り等）が実現できる。

更に、社会性に介入できるような化学物質の作用機序が解明できれば応用範囲が広がる。具体的にはオキシトシン等の社会行動関連分子と呼ばれる様な分子の作用機序が解明できれば、チームワークの向上等にも応用できると考えられる。

○実現した際の社会的インパクト

パーソナル空調により個々人のストレス制御や生産性向上ができることで、家庭やオフィス等でも快適・癒し空間の需要が高まる。心身状態の定量評価が健康維持の指標として活用され、快適・癒しの需要は更に拡大する。

また、従業員の生産性向上は、日本を含む東南アジア等で、先進国の少子高齢化、及びワークライフバランス対応、イノベーション醸成と新興国の経済成長等に貢献できる可能性がある。

更に、団体スポーツのチームワーク向上への効果が明らかになれば、ビジネス等にも応用できる可能性がある。

○実現の為の提言

基礎的な研究開発および効果検証は産学官で連携して行う必要がある。具体的には、無負荷で疲労・ストレス状態を可視化するストレス計測技術やその評価技術、疲労・ストレス状態を軽減する空気質制御技術、空気質（CO2 等）・住環境（色、光等）・におい・香り・音等と人の心身状態影響の相関の検証、社会行動関連分子（オキシトシン等）の詳細な作用機序の解明等である。オキシトシンがチームワークを必要とするスポーツへの応用の効果の検証や医学連携による大規模な効果検証も必要となる。

また、計測機器や評価技術の確立後は、その標準化および性能の認証プロセスの確立が必要となる。

更に、各開発と実証段階で予測される制約（国内薬事法、欧州 REACH、建築法等）や

社会行動関連分子（オキシトシン等）の利用やスポーツ応用に関しても法整備が必要となる。

3.3.2 におい空間の制御

○提供する価値

様々な空間でのにおいを制御する。特に当該シーンに不必要なにおいの遮蔽、除外、拡散制御、及びそのシーンに必要なにおいを提供する。

○具体的な技術内容

におい（異臭、悪臭、不快臭、腐敗臭）物質や有害物質の選択的な除去技術を開発する。手段として各種構造の吸着材、分解材、無機材、有機材等による、分子化合物（硫黄系、多環芳香族系等）の除去が上げられる。また特定なにおい化合物の開発（天然化合物系の活用等）、及びその供給技術や制御技術を探る。さらに除去技術と供給技術のハイブリッド化、インテグレーション（モニタリング制御システム）化が可能か考察する。一方、材料によらない気流制御等による、設計・構造に基づくにおい遮蔽技術を検討する。別視点で、におい自体を吸着させない材料開発（におい移動の防止）も検討する必要がある。

○実現した際の社会的インパクト

空間や施設における人の不快感/不安感が低減・解消でき、リラクゼーション/快適空間の提供が可能となる。

○実現の為の提言

においはいかなる指標が健康面/メンタル面で必要であるが、個人差を伴うため企業・機関の個別判断では難しい面があり、影響度合等の基準化が必要である。また各種の空間が必要なため、産官学連携による各種におい制御技術の開発も必要となる。現状は官能検査が中心だが、客観的なにおい検出/評価技術の開発と規格化が求められる。

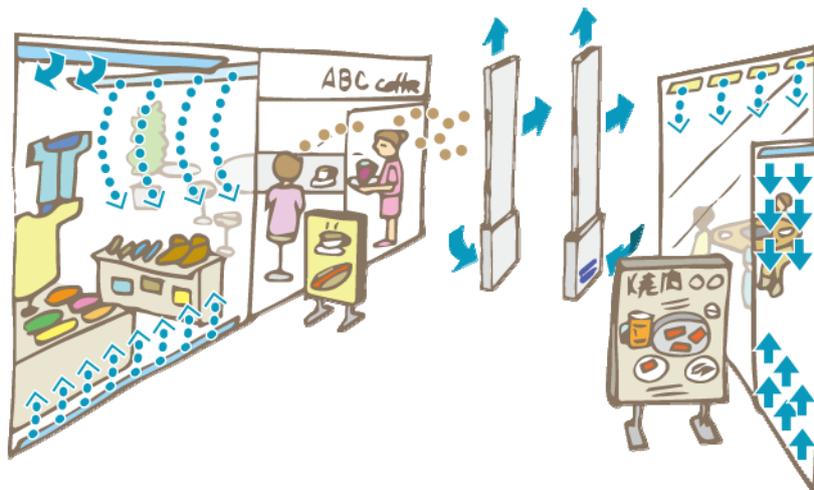


図 4 ショッピングモールにおける、におい空間の制御

3.3.3 農作物への応用

○提供する価値

空気質の制御により、農作物の収穫効率の向上・鮮度の維持・熟度の制御を実現する。さらには機能性農作物を作出する。

○具体的な技術内容

病虫害に対する忌避物質および益虫に対する誘引物質等を用いた育成環境の制御を行うことで収穫効率の向上を実現する技術を開発する。また、植物工場等において農作物を取り巻く室内環境の酸素/CO₂等のガス濃度制御の技術開発および、輸送・保管における電解機能水を用いた殺菌技術やエチレングス等の分離技術による、農作物の鮮度維持および熟度制御の技術開発を行う。更にはこれらの技術をもとに栄養価の制御を行った機能性農作物の栽培技術を開発する。

○実現した際の社会的インパクト

自給率が低い我が国にとって、食料の確保は喫緊の課題である。収穫率の向上や機能性農作物により、自給率向上だけでなく、我が国の農業を強い産業へ転換することができる。また、鮮度維持のための制御および熟度の制御により農作物を適切な状態で保管・遠距離輸送できるようになるとともに感染や腐敗による食品廃棄物の削減やコールドチェーンの低コスト化も可能となり、強い輸出産業へと発展させることもできる。

○実現の為の提言

産官学連携での、農作物育成環境制御技術およびガス濃度制御技術の開発と実証実験、さらには作出された農作物の安全性および電解機能水と微生物等の効果検証が必要となる。また、農作物周囲の空間制御に関わる農薬取締法の規制緩和や整備、上記効果が認められる空気質制御技術の認証や作製された機能性作物等の認証プロセスの確立が求められる。また、電解機能水（機器含む）の適用分野や評価技術の標準化、殺菌・熟度制御等の効果検証と性能測定方法の標準化と規格制定等については、業界の枠を超えて官民連携で取り組む必要がある。更に、海外展開に向けては官民一体で取り組むのが効果的であると考えられる。

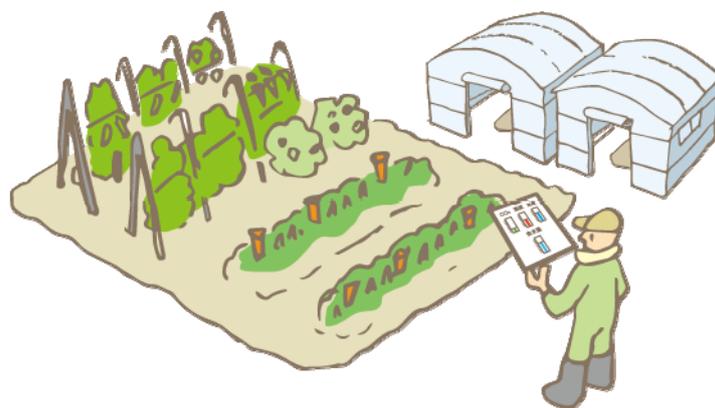


図 5 農業への応用

3.3.4 CO₂ の分離・回収と有効活用

○提供する価値

CO₂ の有効活用により、化学原料や石油やメタン回収への利用や、食品保存や健康・美容への応用も期待できる。また、現状よりも低コストで経済性が成立する CO₂ の回収・貯蔵（CCS）技術を確認し、その分離・回収技術で回収した CO₂ も、有効活用できる。

○具体的な技術内容

CCS の回収コスト低減には、CO₂ 反応に要する熱がより少ない吸収液が必要だが、高効率プロセス・高吸収性能の充填材の利用により、低反応熱のアミン系吸収液やアンモニア・炭酸カリウム系吸収液が利用可能となる。

また、CO₂ からプラスチック原料等の化学品原料や化学品の製造や、油層（貯留岩層）内への炭酸ガス等の圧入により、地下の石油の性状を変化させて原油回収率向上技術（CO₂-EOR）への応用も可能である。

更に、地下石炭層に二酸化炭素を固定化し、同時に石炭中に存在するメタンと置換し、回収することもできる（ECBM）。

食品への応用としては、食品鮮度保持及び農産物の成長促進、高栄養価の食品の創出があり、健康・美容への応用としては、炭酸水による健康・美容効果、室内 CO₂ 濃度制御による集中力向上や睡眠誘導としても活用できる。

○実現した際の社会的インパクト

吸収した CO₂ を貯蔵するだけでなく、有効利用できるようになり、空気浄化に大きく貢献する。日本の EOR 技術の開発が進めば、米国等の産油国で CCS と共に CO₂-EOR 技術の提供が広がる。

一般住環境においても CO₂ を含めた空気質のコントロールができるようになり、食の安全性や安定化および美容・健康にも有効活用できる。

○実現の為の提言

一般住環境で活用する為には、CO₂ が生体に与える影響調査が求められ、その産官学体制の整備が必要となる。また、環境毎に求められる空気質基準の標準化にも取り組む。

地球温暖化対策の為の CO₂ 削減取引への補助金があれば、活用促進に効果的である。



図 6 CO₂ の有効活用

3.4 パッケージ化

3.4.1 様々な空間におけるパッケージ化

○社会課題

空気環境は見ることができず、汚染状況やその対策効果等を把握することは難しい。また、汚染の原因物質は物理的、化学的、生物的等、多岐に渡り、単体のセンサーでの計測や一つのみ分離・分解・除去技術での処理では限界がある。

複数のセンサーや機器を含めて空間全体を制御し、設計から運営、サービスも含めて、安全・安心で快適な空間を実現することが求められている。

○具体的な技術内容

様々な原因物質に対応する複数のセンシング技術と、大風量かつ長寿命化を実現する低圧損捕集技術や微粒子濃縮および凝集粗大化技術も含めた複数の分離・分解・除去技術を組み合わせたシステム化技術により全体の最適制御を行う。また、個々の空間に応じて、建材や機器の設計・選定・設置・運営（最適制御）・サービスも含めてパッケージとして提供することで、安心・安全で快適な空間を提供する。

原因物質の有害成分評価、気流解析技術（シミュレーション）、粒子解析予測技術、熱流体解析予測技術に、位置情報技術、映像技術を組み合わせ、浄化効率や気流分布等を、実際の建築物と合わせて表示する MR（Mixed Reality）システムにより、空気環境を可視化が期待される。

更に、健康に影響を与える原因物質の安全基準を確立し、それをデータベース化することで、個々の原因物質を的確に処理することが期待される。

○実現した際の社会的インパクト

空気質改善/制御技術の応用により、快適空間を実現し、健康被害リスクを低減する。また、実際の建物内や計画・設計時から、空気環境が可視化できることで、完成時の状態や空気浄化対策の効果が確認でき、顧客満足度が向上する。更に、安全基準の明確化により、個々の原因物質を的確に分離・除去・分解を行い安全・安心な空間を提供する。

○実現の為の提言

建築工学、情報工学、機械工学、医学等の横断的な産学官連携および共同研究により、個々のセンシング技術、分離・除去・分解技術と全体制御技術の開発を行う。また、MR技術の簡易化・低コスト化および実環境での実証実験にも取り組む。

これらシミュレーションやMR技術を初めとして、様々な空間における空気浄化および快適性基準の指標化および評価プロセスの標準化、認証の統一化（マークの付与）が重要となり、それを管理・広告する組織を設立し運用していく。

更に、安心・安全な空気を提供するインフラビジネスとして、海外展開する場合は、官民が一体となって取り組むことが効果的である。

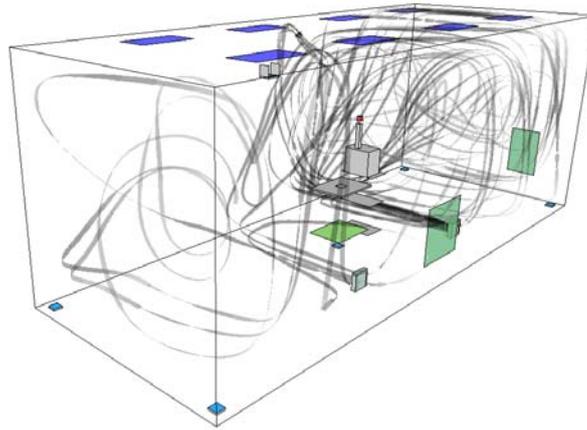


図 7 気流解析例

4. 研究会活動のまとめと今後の取り組み

4.1 研究会活動のまとめ

本年度は「安心・安全の実現に向けた空気浄化技術」研究会を立ち上げ、多くの有識者の方から知見をいただき、活動を推進することができた。

その結果、様々な分野や用途に分散していた空気浄化に関する技術を全体俯瞰し、「社会的課題」「センシング技術」「分離・除去・分解技術」「空気の機能付加」に整理した鳥瞰図を作成した。

また、その中から25の技術分野で主なものを抽出し、2035年までのロードマップを描いた上で、事業創造に役立つようなキーワードの抽出を行った。

ご講演をいただいた幅広い分野の方々、ご助言いただいた各省庁の方々を含め、関係各位に深く感謝を申し上げます。

4.2 今後の取り組み

今年度は研究会として具体的提言までは進めなかったが、次年度は提示したキーワードを中心に更に議論を深めて絞り込み、既存技術の延長で実現可能なものと、基礎研究から取り組む必要があるものとの整理した上で、具体的な目指すべき姿と狙うべき市場、実現に必要な施策、産官学の役割分担等を、具体的提言として取りまとめる予定である。オールジャパンの技術や知恵の結集により、世界に先駆けた新産業の創出が可能となると信じる。

【付録】

5. 空気に関する社会課題

5.1 物理的要因

5.1.1 温湿度管理（湿度不適合による結露）

空気中の湿度の過不足は、人の健康や快適性に障害を生じるだけではなく、生産効率の低下や物品の品質劣化など、さまざまな悪影響を及ぼす。厚生労働省が定めている建築物環境衛生管理基準では、相対湿度については40%以上70%以下と定められており、特定建築物維持管理権原者は当該基準に従って当該特定建築物の維持管理をすることが義務付けられている。

湿度不足により空気が乾燥すると、口や鼻の呼吸器系の粘膜が乾燥し、風邪などの感染に対する防御機能が低下してしまう為、風邪やインフルエンザなどのウィルスが体内に入りやすくなる。

一方、湿度が高くなりすぎるとカビ、ダニの発生の原因となり、食品の腐敗や家の柱や建材を分解する原因となる。更に高温多湿な環境は、体内の水分及び塩分（ナトリウムなど）のバランスが崩れ、体内の調整機能が破綻するなどして熱中症の原因ともなる。

【参考文献】

- ・ 厚生労働省ウェブサイト「建築物環境衛生管理基準について」
(<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>)
- ・ 厚生労働省ウェブサイト「熱中症を防ごう！」
(<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2009/06/dl/h0616-1b.pdf>)
- ・ 加湿.net ウェブサイト
(<http://加湿.net/humidity/shortage.php>)

5.1.2 アレルゲン（埃・繊維）

アレルゲンとは、アレルギー反応を引き起こす抗原物質のことで、室内塵等の吸入性アレルゲンや、刺戟性アレルゲン、食餌性アレルゲン、薬剤性アレルゲンなどに分類され、代表的症状はアレルギー性鼻炎、気管支喘息、アトピー性皮膚炎等が挙げられる。

アレルギー反応の多くは、上記アレルゲンのタンパク質または糖タンパクが原因であり、体にとって異物となるこれらの物質に対して、過敏症状を起こすことによる。アレルギー疾患患者はこうしたアレルゲンに接触しないようにすることが重要である。

【参考文献】

- ・ 武田薬品工業株式会社ウェブサイト「ハウスダストによる症状」
(http://takeda-kenko.jp/navi/navi.php?key=hausudasuto_kuchi)

5.1.3 浮遊粒子状物質（SPM、PM2.5）

SPMとは浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter)のことであり、大気中に浮遊する微粒子のうち、粒子径が10 μ m以下のものをいう。粒子状物質は主に人の呼吸器系に沈着して健康に影響を及ぼす。その大きさにより体内での挙動や健康影響が異なる。

PM2.5は大気中に浮遊する微粒子のうち、粒子径が $2.5\mu\text{m}$ 以下のものであり、肺の奥深くまで入りやすく、呼吸系への影響に加え、循環器系への影響が心配されている。

粒子状物質には、物の燃焼等によって直接排出されるものと、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)、揮発性有機化合物(VOC)等のガス状大気汚染物質が、主として環境大気中での化学反応により粒子化したものがある。発生源は、ボイラー、焼却炉などのばい煙を発生する施設、コークス炉、鉱物の堆積場等の粉塵を発生する施設、自動車、船舶、航空機等、人為起源のもの、さらには、土壌、海洋、火山等の自然起源のものがある。

【参考文献】

- ・ 環境省ウェブサイト「微小粒子状物質(PM2.5)に関する情報」
(<http://www.env.go.jp/air/osen/pm/info.html#ABOUT>)

5.1.4 アスベスト

アスベストは天然にできた鉱山繊維で石綿とも呼ばれている。その繊維は極めて細く、熱、摩擦、酸やアルカリにも強い。また、丈夫で変化しにくいという特性であることから、建材(吹き付け材、保温・断熱材など)、摩擦材、シール断熱材といった様々な工業製品に使用されてきた。しかし、吸い込んで肺の中に入ると組織に刺さり、15~40年の潜伏期間を経て、肺がん、悪性中皮腫(悪性の腫瘍)などの病気を引き起こす恐れがある。目に見えない程、細い繊維の為、気づかないうちに吸い込んでしまう可能性がある。

現在ではアスベスト製品はほぼ全廃されているが、アスベストを含む吹き付け材や断熱材等が施工された建設物の解体時に、飛散しないよう十分な対策が必要である。

【参考文献】

- ・ 環境省「私たちの環境とアスベスト」
(<http://www.env.go.jp/air/osen/law/03.pdf>)
- ・ 独立行政法人 環境再生保全機構ウェブサイト
(<http://www.erca.go.jp/asbestos/what/>)

5.1.5 高活性粉体のクロスコンタミ(高活性医薬品・ナノマテリアル)

作業環境空間では、材料のイノベーションを牽引して来たナノマテリアルに対し有害性が示唆され、2008年に厚生労働省から、安全を確保した取扱いについての指針が出された。また製薬取扱現場では、高活性医薬品の人体に対する暴露や交叉汚染が懸念され、品質リスクマネジメントの観点から管理方法が見直されようとしている。同項では、近年、発展が著しい高活性医薬品とナノマテリアルの安全と品質の視点からその測定技術の概要と課題を示す。

1) 高活性医薬品

製薬取扱現場では、高活性医薬品の患者保護を最終目的とした、クロスコンタミネーション(交叉汚染)、又作業者の暴露回避が重要な課題になっている。評価方法は、ISPE(International Society for Pharmaceutical Engineering, Inc(国際製薬技術協会))から製薬機器の粒子封じ込め性能を評価する方法(SMEPAC: Standardized

Measurement of Particulate Airborne Concentration)が示されている。実薬の直接分析でなく、封じ込め設備をメーカー側でも性能評価出来る様、代替粉体を用いて行う。2012年度改訂版では、代替粉体として従来のラクトースを用いた評価の他に、高感度で原薬挙動に近いナプロキセンやアセトアミノフェンを用いて封じ込め性能を評価することを推奨している。高感度粉体を用いることで、0.2ngの検出下限での高活性医薬品の封じ込め性能評価が可能であるが、フィルターサンプリング、LC/MSによる測定等煩雑で高度な測定に加え高精度なバリデーションも要求される。リアルタイムモニタリングとしては、パーティクルカウンターを用いることを推奨しているが、クリーンルーム以外では、一般粉塵と混同し活用できない。

2) ナノマテリアル

粒径が $0.1\mu\text{m}$ 以下の粒子は吸入性粉塵として人体に取り込まれ、カーボンナノチューブ(CNT)は発がん性があるとも言われている。NEDOプロジェクト「ナノ粒子特性評価手法の開発」では、CNT、フラーレン、酸化チタンの許容暴露濃度を公表した。CNTの許容濃度が一番厳しく $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっている。CNTは、既に様々な材料に使われ始めているが、その作業環境での気中濃度測定方法は公定化されてなく、米国では、労働安全衛生研究所(NIOSH)で炭素分析装置による方法が採用されている。日本では、研究所、企業からCNT気中濃度の測定方法が発表されているが、全て測定はNIOSHに準じており、事前に気中有機物とCNTを分離前処理した後、炭素分析装置で測定する方法も報告されている。リアルタイムモニタリングは、CNTが気中では、凝集性があり $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 程度になることもあり、パーティクルカウンターの選択が重要になるが、一般粉塵との区別が出来ないが、ピークサイズにより気中濃度との相関は見られる。

【参考文献】

- ・ ISPE(国際製薬技術協会). Assessing the Particulate Containment Performance of Pharmaceutical Equipment(Second Edition)(2012).
- ・ 森田啓介, 矢吹元央. 炭素分析装置によるカーボンナノチューブの測定に関する検討. 第29回エアロゾル科学・技術研究討論会予稿集 pp. 227-228(2012. 8).
- ・ 森田啓介, 西沢正人, “ナノマテリアル取扱い作業場での気中濃度測定について”, 粉体技術, Vol. 6, No. 7, pp. 716-720(2014)

5. 1. 6 海塩

沿岸部の大気環境では、波しぶきの蒸発や海面に生じる気泡の破裂などが発生源となり、海塩粒子が発生する。一般的には $1.0\mu\text{m}$ 以下と $5\mu\text{m}$ 付近に2つのピークがあるが、全体の70%にあたる $2.0\sim 7.0\mu\text{m}$ の粒径範囲にある粒子は容易に捕集できるが、気泡の破裂で発生した粒径 $1.0\mu\text{m}$ 以下の粒子は小さく軽いため、大気中に浮遊しやすい。これが換気を通して室内に取り込まれ、室内塩害の原因となる。また、フィルター捕集した海塩粒子は、濾材に付着した状態で高湿度条件下に置かれると潮解を起こし液状化するため、沿岸部の空調機には撥水層を持った塩害対策用フィルターが採用される。

【参考文献】

- ・ 笠原、東野、大気と微粒子の話 エアロゾルと地球環境 京都大学学術出版会(2008).

5.1.7 黄砂・火山灰

大気中には土壌の舞い上がりによる粒子も存在する。黄砂はその代表例である。一般に黄砂粒子は粗大粒子の領域に粒径のピークを持つが、粒径分布は発生源からの距離により異なる。例えば、中国・北京では、空気力学粒径のモード（最頻値）は $5\sim 7\mu\text{m}$ 程度であるが、日本でのモードは $3\sim 5\mu\text{m}$ 程度である。中国大陸を離れる際は、黄砂は汚染されておらず、日本に到達時には、日本海上で大陸起源の人為的有害物質、海塩との混合・結合が生じる結果、有害物質を吸着するため、人体・環境に有害な影響を与える。

また、火山の噴火による火山灰は、大気汚染の観点では、人体・機械装置への影響から地球規模の気象への影響を及ぼす。人体への影響は、吸引時の呼吸器系への障害、視力の低下等であり、空調機や自動車の劣化や、生態系や農業へも大きなダメージをもたらす。古くは天明の大飢饉の一因といわれる浅間山や近年でのピナツボ山のような成層圏に達する噴火の場合には、10年程度にわたり成層圏エアロゾルを増加させ亜硫酸ガス層の形成により地球のアルベドを上げ、低温化をもたらされた。また対流圏エアロゾルの増加により降雨の増加ももたらされると考えられている。

【参考文献】

- ・ 中部地方の天変地異を考える会第4回検討会（平成18年7月26日） 火山災害の国土交通省中部地方整備局.

5.1.8 ヒートアイランド

高密度に集積した大都市において、経済活動による発熱、人工的地表面の日射吸収の増加、建物群による気流の遮蔽が、高温化現象をもたらすものをヒートアイランド現象と呼ぶ。高温化の進行により、動植物の生態系への変調、熱中症患者の増加、循環器系疾患の死亡率増加、感染症リスクの増大、冷房需要の増大とピーク時電力需要の急激な増加を招いている。都市の高温化は地球温暖化の数倍の速度で進行している。近年では、都市部への熱帯性生物、特にセアカゴケグモのような有毒種が越冬しての繁殖や、デンク熱を運ぶ寒さに弱いヒトスジシマカの生存季節の延長なども指摘されている。

対策として、都市緑化、霧化装置設置など対処療法的対策や、都市計画の見直しも議論されている。もちろん、対人だけでなく対物空調の高効率化、建物負荷の低減（照明、OA機器など）に依っても発熱量を低減できる。また中低温排熱による冷房や地中熱利用も緩和策とし有効であろう。

【参考文献】

- ・ 都市のヒートアイランド対策に関する提言 社団法人日本建築学会(2005)
- ・ ヒートアイランド現象に対する適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策検討調査業務報告書 環境省(1998~2013)

5.1.9 ヘイズ（煙霧）

【内容】

ヘイズとは大気中の微粒子により、霧に覆われるような空気となり、時には視界不良の原因となる煙霧および、そのような大気現象のことを意味する。インドネシア・スマトラ島などでの大規模な野焼きや森林火災で生じた煙が、南西季節風によりマレー半島やシンガポールへ流れてヘイズが生じることがあり、大気汚染の問題となっている。

ヘイズが原因で、咳やくしゃみ、喘息、気管支炎、結膜炎等の症状が出ることがある。

【参考文献】

- ・ 外務省ウェブサイト

(<http://www2.anzen.mofa.go.jp/info/pcspotinfo.asp?infocode=2013C284>)

5.2 化学的要因

5.2.1 燃焼ガス

地球上での燃焼ガスは、火山活動や森林火災など自然由来のものと、生産や生活の為に使用する化石燃料の燃焼、耕作（野焼き）やゴミ処理（焼却）などによる燃焼など人為的なものに大別される。燃焼ガスからは幾つかの環境問題が生じているが、昨今一番注目されているのが、CO₂増による地球温暖化問題である。この問題にはCO₂の発生量のみでなく、CO₂を吸収する森林減少等も起因する。一番の要因である化石燃料の燃焼では、温室効果ガス（CO₂）の発生のみでなく、大気汚染に係わる各種有害物質も排出される。発生源は、工場、事業所からの固定発生源と、各種交通機関からの移動発生源に大別できる。

大気汚染については、人の健康を保護するために維持が必要な環境基準（二酸化硫黄、一酸化炭素、浮遊粒子状物質、二酸化窒素、光化学オキシダント）が定められている。一次有害物質が工場、事業所からの燃焼排ガスになることから、硫黄酸化物（SO_x）、窒素酸化物（NO_x）、ばいじんについては、測定が必要がある。

昨今、問題となっているPM2.5も化石燃料からの燃焼ガスが一部起因していると言われている。環境基準項目については、自動計測技術があるものの、PM2.5成分で問題となる多環芳香族等の自動計測技術は、十分とは言えない。

【参考文献】

- ・ 環境化学分析. 第5章大気環境の分析. 三共出版(2004)

5.2.2 タバコ臭気

タバコの臭気原因はガス成分と粒子成分の両方から成り立ち、前者はアセトアルデヒド化合物、後者はタール、ニコチンが主成分と言われている。総合的な臭気成分は一般的に酢酸、アセトアルデヒド、アンモニアから成る。

（社）日本電機工業会では臭気評価基準をタバコにて行っており、上記の3成分を臭気の評価に使用している。（JEMA1467）

粒子成分が多いことも原因して、喫煙場所には壁、天井、床、家具ににおい成分が蓄積する事があり、現在では電車やホテル、オフィスなど禁煙域が拡大してきた。

1980年代には臭気問題以外に、受動喫煙と言って非喫煙者の健康問題がクローズアップされたのを機にさらなる禁煙場所の拡大、分煙化が進んだ。自治体によっては条例で郊外にても禁煙となっている地域もある。

喫煙者の健康に及ぼす悪影響はがん、心臓病、脳卒中、肺気腫、喘息、歯周病等特定の重要な疾病の罹患率や死亡率等が高いこと、及びこれらの疾病の原因と関連があることは多くの疫学研究等により指摘されている。

また、受動喫煙についての健康影響は、流涙、頭痛などの症状だけでなく、肺がんや虚血性心疾患等の疾患の死亡率等の上昇や、非喫煙妊婦でも低出生体重児の出産の発生率が上昇するといった研究結果が近年多く報告されている。小児では喘息、気管支炎といった呼吸器疾患等と関連があると報告されている。

タバコの煙成分以外にも健康への悪影響があると見られているため、空気清浄分野においては、ガス成分の除去（触媒方式等）や換気併用等を考慮する必要がある。

【参考文献】

- ・厚生労働省ウェブサイト（2014.9.28）

5.2.3 車内臭気・新車臭・新製品臭

生活臭（食物、香料）や体臭を狭い空間に持ち込むとにおい強度が増すので、車内臭気の対応が必要となる。また、新車や新製品においては独特のにおいを発し、人によっては頭痛その他の原因となる。

前者は芳香剤等でマスキングする方法もあるが、後者は主にVOC（揮発性有機化合物）である場合が多いので除去する方法が適切である。（VOCについては以降記述）

いずれにしても、狭い空間であるので、換気や加温による揮発成分の排出助長等を行なうのが一般的である。

5.2.4 ペット臭

（一社）ペットフード協会が発表した「2013年度全国犬猫飼育実態調査」によると日本のペット飼育数は2013年度に2061万5千匹に達する。これは、総務省統計局データ（2013年8月1日現在）による15歳未満の子ども総数1643万6千人を大きく上回る。

これだけ数が多ければ、ペット臭も社会問題になるであろう。近年屋内で飼う場合も多いので、近隣や集合住宅共用部への配慮を必要とする。マナーの問題と対応策問題で、苦慮している事情も散見される。

ペット臭の原因はヒト同様の体臭に起因する物と排泄臭であり、アンモニア、脂肪酸、イソ吉草酸、硫化水素等が主成分である。犬猫特有の成分報告もあるが対応策は同様と思われる。

対応策は、空気清浄機、換気、触媒、マスキング香料等が有効であるが、ペットの場合原因が特定される排泄物の早期除去や排泄物の付着した床や家具を清掃する事、ペットの清潔維持（風呂）も効果的である。

郊外においては、散歩時の排泄物処理、飼い主の放棄による野犬化防止等 社会的マ

ナーの問題となっている。

5.2.5 CO および CO₂

一酸化炭素 (CO) は無臭、無色、無刺激の気体で酸素の約 250 倍も赤血球中のヘモグロビンと結合しやすいので、微量であっても血液中において酸素を運ぶ量が極端に減るため、酸欠状態になり、死に至る危険な気体である。一般家庭での発生原因は、燃焼系の暖房器具や設備、厨房器具の不完全燃焼である。これらの器具や設備の使用時の十分な換気、定期的なメンテナンスや古い器具の買い替え等が防止策の要となる。また、CO センサー搭載の警報機等が市販されている。

完全燃焼すると、二酸化炭素 (CO₂) が排出される。CO のような即時的な危険性はないが、狭い空間での高濃度化は酸素欠乏の原因となり、避ける必要がある。上記と同様換気等の励行が薦めである。一方で、CO₂ は化石燃料の大量燃焼により大量発生しており、いわゆる地球温暖化問題となっている。世界規模で排出量抑制等の条約を締結しているが、極地の氷の減少や気候変動等が数多く発生しており、現代社会の代表的な問題となっている。自然エネルギー利用の加速、高効率機器の開発、発電所における CO₂ 排出抑制システム開発、化学的に分解する技術の開発、等の推進により抑制に努めている。

5.2.6 VOC (建材・家具・什器)

VOC は揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds) の略称で、家屋など建物の建設や家具製造の際に利用される塗料、印刷インキ、接着剤、洗浄剤、ガソリン、シンナーや木材を昆虫やシロアリといった生物からの食害から守る防腐剤などに含まれるトルエン、キシレン、酢酸エチルなどが代表的物質であり、いわゆる「有機溶剤」の事である。シックハウス症候群の原因物質、また、大気中の光化学反応により、光化学スモッグを引き起こす原因物質と言われている。

厚生労働省は、室内空気汚染問題に関する検討会を設置し、住宅内の空気質調査を元に、物質の人体に対する影響を考慮して 13 種類の揮発性有機化合物の濃度指針値を示している。また、総揮発性有機化合物 (TVOC) の濃度についても、暫定目標値が定められている。その他、海外の基準としては、EU 報告書 No.18 (EUR 17334) で 69 種類、ドイツ建材基準 (AgBB) で 166 種類、フランス環境労働衛生安全庁 (AFSSET) で 216 種類の室内空気最小濃度 (LCI) 値が規定されている。

シックハウス症候群とは新築の住宅などで起こる、倦怠感・めまい・頭痛・湿疹・などの痛み・呼吸器疾患などの症状があらわれる体調不良の呼び名であり、また、新品の自動車でも同様の症状) が報告されている。

建築基準法などで使用材料規制や換気等の設備規制がされてきたが、個人差もあり充分とは言えず、補完設備機器機材として空気清浄機や分解性触媒塗装がある。

【参考文献】

- ・ 厚生労働省ウェブサイト (2014.9.27)
- ・ 経済産業省ウェブサイト (2014.9.27)

5.2.7 食品等の異臭・悪臭（オフフレーバー）

においがある物質は、40万種類以上あると言われており、におい物質が混じり合うと相加、相乗効果で分析機器による数値判定が正しい臭気値を示さなくなる。よって工場・事業所で発生する悪臭の規制（悪臭防止法）は、人間の嗅覚で悪臭の程度を数値化した臭気指数を用いている。嗅覚測定法は、臭気判定士による三点比較式臭袋法が用いられる。

一方、日常における食品等の異臭・悪臭（オフフレーバー）は、元々持っている「潜在的基準」のにおいから逸脱していると感じたときオフフレーバーとして顕著化する。例えばそれが消費者からの苦情として現れ確認（分析）と対策が成される。その要因は、大きく内的要因（食品の変化、配合・工程不良、包装材起因等）と外的要因（付着・混入、においの移り）に分けられる。原因解明には、最終的には分析技術が必要となるが、上記要因を明確にして過去の事例、データベースなどから原因物質を絞り込む必要がある。その為には、嗅覚による官能評価も重要とされている。

生産活動により発生する悪臭や食品等のオフフレーバーは、ガスクロマト、高速液体クロマト等による機器分析と嗅覚試験が必要であり、分析による原因解明には多くの労力が必要とされる。

【参考文献】

- ・ 悪臭防止法の手引き(2008). 環境省
- ・ 食品の異臭発生要因について. ウェブサイト (<http://www.fofsg.jp>). 一般社団法人オフフレーバー研究会

5.2.8 生活臭・体臭

技術の発達に伴い強いにおいに困まれた不衛生な生活環境は大きく改善されたが、生活のにおいが小さくなればなるほど、以前は問題でなかったにおいが浮き彫りになっている。現代社会で不快とされるにおいは、家庭内では、トイレ、台所、たばこ、排水溝、ゴミ箱、下駄箱などからの僅かなものであるが、日本の住宅は気密性が高いため問題化している。また、欧米化した油分の多い食事が食のにおいを増加させている。その成分は、硫黄化合物系、脂肪酸系、窒素化合物系等であり、消臭剤、芳香剤等で対策されることが多い。

体臭は、汗などの分泌物や排泄物などが元となって体面から発せられるにおいであり、口腔から発せられるにおいは口臭と称される。においは、個人差があり、加齢に伴い強くなることがあるが、雑菌の繁殖、脂質の分解などが原因であり、清潔に保つことにおいを抑えることができる。日本人はもともと体臭が少ない人種であるが、体臭には敏感であり、大勢が集まる場所、狭い空間では不快と感ずることが多い。

においに敏感になった現代日本人に対しては、生活臭・体臭の発生を抑える技術、においを分解・除去するための技術が一層求められる。

5.2.9 排泄臭・介護臭

病院などの看護環境では、寝たきりや治療上制限のある患者は、床上もしくはベッドサイドでの排泄を余儀なくされ、その排泄臭や体臭による不快な環境が問題であるが、現場では適切な解決手段を持たないのが現状である。排泄物は速やかに処理され、消臭処理が行われるものの有効性に乏しく、周囲に広がって同室者に不快感を与える。患者は排泄援助に羞恥心や遠慮があり、臭気対策を訴えることが難しい。また、排泄臭は食欲不振を招き、治療への影響も懸念される。排泄処理の現場は、患者、看護師ともに精神的にも生理的にも大きな苦痛を伴う為、有効な臭気対策の早期導入が強く求められる。

自宅や施設の介護現場では、多くの場合、排泄援助の環境は病院より劣悪である。高齢化に伴い、介護に伴う臭気対策を人手だけに頼るのは難しく、補助機器の開発、拡散抑制や消臭技術の開発は求められる。

【参考文献】

- ・ 光田恵：看護環境における臭気の特徴と対策に関する研究、日比科学技術振興財団平成17年度研究報告書、p.95～108、2005.
- ・ 守本友美ほか：排泄臭や消臭に対する看護師の意識調査
(http://www.sokayama.jp/approach/kenkyu/download19/1_h19-2-03.pdf)

5.2.10 混合臭、二次発臭

さまざまなにおい成分が混ざり合うことで異臭となり不快に感じることもある。人の嗅覚は個人差が大きく感じ方はさまざまであるが、消臭のため、快適なおいを供するために使用される消臭剤、芳香剤、香水なども混合や残留によって不快に感じることもある。においを化学反応させ消臭する場合は反応の選択性によって、物理的に吸収させる場合は吸収容量によって、未反応のにおいの残留や、吸収したにおいの再放出などが起こる。

あらゆる不快なおいを簡便かつ同時に除去するのは難しく、混合臭、残留臭、二次的な発臭が問題になることがある。

5.2.11 脱臭剤の吸着飽和と再生利用

活性炭やゼオライト等の物理吸着作用を利用した脱臭剤は、比較的短時間で吸着飽和しその効果が失われる。脱臭剤の長寿命化技術として、対象臭気成分と選択的に反応する化学薬品を添着することで吸着容量の増大が図られるが、化学薬品の添着は細孔の閉塞を引き起こすため、薬品添着量に相反して、物理吸着能は低下する。また、化学吸着は化学反応する成分のみしか除去できないため、物理吸着能が消失した時点で、臭気を完全に抑えることはできない等の課題がある。

物理吸着剤を再生する方法としては、①圧力を下げる、②温度を上げる、の何れかが一般的である。①は高圧で吸着、低圧で脱着を繰り返す方式で、圧カスイング吸着（pressure swing adsorption：PSA）と呼ばれている。②は熱再生と呼ばれており、ロータリーキルンや多段床炉で脱臭剤を350～800℃に加熱し、吸着物質を脱着させる。熱

再生は汎用性が高く、短時間で高再生率が得られるが、再生設備が大掛かりであり、一定の数量を満足できないと再生コストを回収できない。超臨界 CO₂ による活性炭の再生技術や、マイクロ波を活用しエネルギー消費量を抑えた加熱再生技術が提案されている。

【参考文献】

- ・ 活性炭の応用技術 その維持管理と問題点 株式会社テクノシステム. 127-135.

5. 2. 1 2 有害物質の作業員暴露(発がん性物質・高活性医薬品・ナノマテリアル)

有害物質は、特化則、有機則など国が指定する物質については、労働安全衛生法第 2 条の作業環境測定が義務付けられており作業員の暴露状況把握とその改善対策が進められている。しかしながら、昨今の化学物質の多様化、ナノマテリアル材料の活用、高活性医薬品の開発は著しくその毒性量からの規制(法制化)が遅れていると共にその作業環境の把握が十分に成されていない。

1) 発がん性物質

近年、厚生労働省から化学物質による健康障害防止指針(がん原性指針 29 物質:平成 25 年 10 月 1 日改正)が出され、発がん性物質管理を呼びかけているが、従来、有機則に含まれ管理されてきた物質は、作業環境測定が実施されてきたものの他の物質については、測定方法が多岐に渡り複雑化している。一般的に化学物質の提供の際には、化学物質データシート(SDS: Safety Data Sheet)の添付を求められるが、その中に有害性、環境影響など発がん性に係わる内容も含まれるが測定方法の明記はない。リアルタイムモニタリングについては、一部の VOC 成分に限られる。

2) 高活性医薬品

5. 1. 5 高活性粉体のクロスコンタミに示す。

3) ナノマテリアル

5. 1. 5 高活性粉体のクロスコンタミに示す。

5. 2. 1 3 オイルミスト、ヒューム

機械加工時のオイルの飛散によるミスト、溶接、レーザー加工などでの加工対象の溶融飛散によるヒュームは作業環境を悪化させる。また、湿式ガス洗浄工程では、処理ガスがミストを同伴すると、除去対象が再度洗浄後ガスに戻り、洗浄効率を下げる。これら数 μm レベルの液相・固相の微粒子を除去する必要がある。換気にて除去を行うと対環境への排出となる点と工場空調負荷の増大をもたらす点も課題である。

浮遊粉じんについては 0.15mg/m³ の建築物環境衛生管理基準がある。また、オイルミストは日本に法規制はないものの、切削油を対象に日本産業衛生学会の勧告値は 3mg/m³、米国では ACGIH(米国産業衛生専門家会議)には、5mg/m³ が勧告されている。自主的に 0.5mg/m³ 程度の目標値を掲げる場合もある。

加工油にも対策が取られ、浮遊対策品も販売されている。

5. 2. 1 4 工場・焼却場・自動車・船舶・航空機・発電所等からの排気ガス・ば

い煙 (NO_x・SO_x・ばいじん等)

排気ガス・ばい煙の発生源は、大きく固定発生源と移動発生源に分類できる。固定発生源としては工場や火力発電所等、移動発生源としては自動車や船舶等がある。固定発生源の代表例は石炭火力発電所であるが、我が国では大気汚染防止法の制定を経て、NO_x、SO_x、ばい塵に対する環境技術が世界最高水準に達しており、欧米各国と比較しても排出量は極めて低い。しかし大気汚染は、国境・地域を跨いだ課題であり、例えば、エネルギー需要の旺盛な中国などアジア地域から、我が国に流入する大気汚染物質が増加している。国を超えて、実態調査やモニタリング、発生抑制等の対策が必要となっている。

5.2.15 ダイオキシン

ポリ塩化ジベンゾーパラジオキシン (PCDD) とポリ塩化ジベンゾフラン (PCDF) をまとめてダイオキシン類と呼び、コプラナーポリ塩化ビフェニル (コプラナーPCB、またはダイオキシン様 PCB) のようなダイオキシン類と同様の毒性を示す物質をダイオキシン類似化合物と呼ぶ。主に物が燃焼するときに生成し、環境中に拡散、分解されにくく、微量でも極めて毒性が強い。田畑や湖沼、海の底泥等に蓄積している。

長期的な排出量の管理として、①発生源や環境汚染状況の監視、②高濃度汚染地点の対策の徹底、③廃止された焼却炉の解体の促進等に取り組む必要があり、そのためには、対策の基盤となるダイオキシン類の測定やモニタリングを一層、効果的、効率的に行えるよう、低廉で迅速な簡易測定法の導入を推進する必要がある。

【参考文献】

- ・ 高濃度ダイオキシン類汚染物分解処理技術マニュアル 旧厚生省生活衛生局
- ・ 「ダイオキシン類の測定における簡易測定法導入のあり方について」 環境省
- ・ ダイオキシン類対策関係省庁会議パンフレット 環境省

5.2.16 対流圏オゾン

地球大気中のオゾンの約 90%は成層圏に存在し、対流圏には残りの 10%ほどが存在するが、同じオゾンではあってもその存在する場所の違いによって地球環境に対する影響は全く異なっている。成層圏オゾンは太陽光中の紫外線を吸収して生物にとって有害な紫外線が地表に到達するのを防ぐ効果がある。一方、対流圏オゾンは地表からの赤外線を吸収し、温室効果ガスとしての働きが大きい。IPCC (気候変動に関する政府間パネル, 2001) によると対流圏オゾンは、二酸化炭素、メタンに次いで 3 番目に影響力のある温室効果ガスとされている。また、化学的な性質としてオゾンは酸化力が強く、地表付近にあっては大気汚染物質の一つであるオキシダントの大部分を占め、光化学スモッグを引き起こして人間の呼吸機能や植物の光合成活性を阻害することが知られている。

対流圏オゾンは、自動車や工場から排出された窒素酸化物 (NO_x) や揮発性有機化合物 (VOC) などの有害物質が太陽光線を受け、光化学反応を起こすことにより発生するが、東アジアにおける自動車台数が伸びにより、窒素酸化物の排出量が急速に増加していること等を考えると、対流圏オゾンの濃度は今後、ますます高くなると予想される。

【引用文献】

- ・ IPCC, “ Climate Change 2001” , P.7, 2001.
- ・ 増え続ける対流圏オゾンの脅威, (財) 日本環境衛生センター 酸性雨研究センター

5.2.17 水銀

水銀の発生源は、火山活動、岩石風化、森林火災および土壌由来の風塵や海洋由来の霧塵などの自然発生源と、産業活動や生活物質の生産や流通と関連した人為発生源に分けられる。国際連合環境プログラム(UNEP)の世界水銀アセスメント 2013 年版によれば、2010 年の世界における人為起源水銀の大気排出量は 1960t/年と推定されている。小規模金生産、石炭燃焼等が主な排出源であり石炭燃焼起源の排出は全体の約 24%である。地域別では、中国を含む東アジア・東南アジアからの大気排出が世界全体の約 40%を占めており、今後の経済発展に伴う新興国の排出量増加が懸念されている。

このような状況に対して、水銀による健康被害を防ぐために、世界的な排出削減が強く求められ、UNEP が中心となり、水銀規制に関する条約の採択に向けた国際的な交渉が 2010 年から続けられ、数次にわたる政府間交渉委員会 (INC) を経て、2013 年 10 月に「水銀に関する水俣条約」が採択された。条約では、石炭火力発電所、産業用石炭燃焼ボイラー、非鉄金属 22 製造に用いられる精錬及びばい焼の工程、廃棄物の焼却設備、セメントクリンカーの製造設備から大気中へ排出される水銀に対して、削減対策が必要となり、排ガスから水銀除去技術の高度化や設備整備を進めていくことが求められる。

【参考文献】

- ・ 守富 寛, 石炭燃焼プロセスにおける水銀の挙動と抑制技術, 地球環境 Vol.13 No.2 193-201 (2008)
- ・ 中野かおり, 水銀による環境汚染健康被害の防止に向けて, 参議院環境委員会調査室

5.2.18 オゾン層破壊物質

オゾン層の破壊につながる原因物質を指すが、実際にはモントリオール議定書(1987 採択、1989 発効)での規制対象物質を指すことが多い。日本では、オゾン層保護法(1988 年制定)に基づく特定物質に指定している物質がこれに当たり、具体的には、特定フロン(フロン 11、12、113、114、115)およびその他の CFC(フロン 13 など)、トリクロロエタン、四塩化炭素などの有機塩素化合物や、特定ハロン(ハロン 1211、1301、2402)などの有機臭素化合物が、その生産や消費を規制されており、エアコン、冷蔵庫等で既に使用されているフロン類についても積極的に回収・破壊する取り組みが行われている。

これらの規制の結果、成層圏のオゾン層破壊物質の総量は、1990 年代後半のピーク時の値から減少傾向を示している。世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)がとりまとめた「オゾン層破壊の科学アセスメント 2010」では、今後オゾン層破壊物質は徐々に減少し、世界全体のオゾン層は今世紀半ばより前には、オゾン層破壊が明瞭になる 1980 年以前のレベルにまで回復するとしている。

【参考文献】

- ・ 国土交通省気象庁ウェブサイト

(http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/4-10ozone_global_warming.html)

5.2.19 酸性雨

酸性雨とは、二酸化硫黄 (SO_2) や窒素酸化物 (NO_x) などを起源とする酸性物質が雨・雪・霧などに溶け込み、通常より強い酸性を示す現象である。酸性雨は、河川や湖沼、土壌を酸性化して生態系に悪影響を与えるほか、コンクリートを溶かしたり、金属に錆を発生させたりして建造物や文化財に被害を与える。

雨などに溶け込み地表に降ってきたものを「湿性降下物」、雨以外の乾いた粒子等の形で降ってきたものを「乾性降下物」として化学成分の測定を行い、両者を併せて「降水・降下じんの化学成分」と呼ぶ。また、現在では、「酸性雨」は湿性降下物及び乾性降下物を併せたものとして捉えられることが多く、「酸性降下物」という用語も使われる。

原因物質である二酸化硫黄 (SO_2) や窒素酸化物 (NO_x) は、化石燃料の燃焼(人為起源)や火山活動(自然起源)等により放出されるが、酸性雨として降るまでに、国境を越えて数百から数千 km も運ばれることもある。その動向監視のために世界各国が協力して様々な観測・分析を行っており、世界気象機関 (WMO) の推進する全球大気監視 (GAW) 計画の下で、欧州や北米を中心とする約 200 の観測点で降水の化学成分測定が行われている。

【参考文献】

- ・ 国土交通省気象庁ウェブサイト

(http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/acid/info_acid.html)

5.2.20 光化学オキシダント

「光化学オキシダント (OX)」とは、光化学スモッグの原因となる大気中の酸化性物質の総称である。工場や自動車などから大気中に排出された一次有害物質である窒素酸化物 (NO_x) や揮発性の有機化合物 (VOC)、炭化水素 (HC) などが、太陽光線に含まれる紫外線を受けて光化学反応を起こして生成される。この光化学オキシダントは、オゾン (O_3) やパーオキシアセチル・ナイトレート (PAN) などを含む酸化性物質などの二次的生成物質であり、その大部分がオゾンであるため、「光化学オゾン」とも呼ばれる。

大気汚染防止法では、このオキシダントのうちで、中性よう化カリウム溶液と反応して、よう素を遊離する物質のことをオキシダント (全オキシダント) と呼び、この全オキシダントの中から、二酸化窒素 (NO_2) を除いたものを光化学オキシダントと呼び、光化学スモッグが発生しているかどうかの指標物質として、環境基本法に基づく環境庁告示により環境基準が設定されている。光化学オキシダントの環境基準値は、昼間 (5~20 時) の 1 時間値の最高値が 0.06ppm (60ppb) 以下とされている。

5.2.21 放射能汚染

放射線が特定の物質 (放射性物質) から発せられる場合、その物質には放射能があると言い、放射性物質が安全に管理されず、人の放射線被曝が生じる状態を放射能汚染

と言う。放射線被曝が起きる経路には、大きく分けて外部被曝と内部被曝がある。外部被曝は、人体の外にある放射性物質（放射線源）から発せられる放射線の被曝であり、内部被曝は体内に取り込まれた放射線源が発する放射線の被曝である。

原子力発電所の事故による放射能汚染の場合、①原子力発電所にある放射性物質などから発せられる放射線の外部被曝、②原子力発電所から放出された放射性物質が風や雨で運ばれた後、人の皮膚や衣服、土壌などに付着して発する放射線の外部被曝、③原子力発電所から放出された放射性物質が呼吸、飲食、傷口への付着などを通じて人の体内に取り込まれた後、体内で発する放射線の内部被曝が起きる可能性があると考えられる。

【参考文献】

- ・（財）放射線影響研究所，放射能汚染によって起きる放射線被曝の基礎知識
(www.rerf.or.jp/basic_information.pdf)

5.2.2.2 CO₂

CO₂（二酸化炭素）は赤外線波長帯域に強い吸収帯を持つため、地上の熱が宇宙へと拡散することを防ぐ、いわゆる温室効果ガスとして働く。CO₂の温室効果は、同じ体積あたりではメタンやフロンにくらべ小さいが、排出量が莫大であることから、地球温暖化の最大の原因とされている。2006年時点の大気中のCO₂濃度はおよそ381 ppm（0.038%）ほどであるが、氷床コアなどの分析から産業革命以前は、およそ280 ppm（0.028%）と推定されている。その増加要因は、主に化石燃料の大量消費と考えられている。

1997年には京都議定書によってCO₂を含めた各国の温室効果ガス排出量の削減目標が示され、各国でその削減を努力することを締結した。その手法は多岐に亘り、エネルギーや農業・畜産など人為起源のCO₂の排出量を抑制する努力、および森林の維持・育成やCO₂回収貯留（CCS）技術の開発など、CO₂を固定する努力が進められている。また排出権取引などを活用して、世界的にCO₂排出量の削減を促進する努力も行われている。

しかし、氷床コアから推定される過去数十万年間の気温変動とCO₂濃度データでは、気温の変化の後にCO₂濃度が上昇しており、この点についての十分な説明がないなど、様々な観点から地球温暖化の原因がCO₂であるとの説に懐疑的な意見も多い。

【参考文献】

- ・ IPCC 第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約
(文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省)

5.2.2.3 化学テロ・バイオテロ・NBC

生物化学兵器は、生物兵器（B:Biological weapon）と化学兵器（C:Chemical weapon）とを意味し、核兵器（N: Nuclear weapon）と合わせてNBC兵器と呼ばれることもある。いずれも大量殺戮可能な兵器であり、テロにおいてこれらの使用が懸念されている。

生物兵器とは、病原微生物による病原性を利用してヒト・動物・植物に害を与える兵器であり、利用される病原微生物あるいはその毒素を生物剤と言う。生物剤は細菌・リケッチャ・ウイルス・毒素と多様であり、テロリストがこのような細菌・リケッチャ・

ウィルス・毒素を噴霧等することにより、吸いこんだり飲み込んだりしたヒトが被害を受ける可能性が心配されている。

化学兵器とは、化学物質の有する毒性や刺激性などを利用してヒト・動物・植物に害を与える兵器を言い、利用される化学物質を化学剤と言う。化学剤には次の6種類がある。①神経剤（サリン・ソマン・タブン、VX など）、②びらん剤（マスタード類、ルイサイトなど）、③窒息剤（ホスゲン、クロロピクリンなど）、④シアン化物（シアン化水素、塩化シアンなど）、⑤無（能）力化剤（3-キヌクリジニルベンジラートとリゼルグ酸ジエチルアミドなど）、⑥暴動鎮圧剤（カプサイシン、アダムサイトなど）。

【参考文献】

- ・ 横浜市衛生研究所ウェブサイト、生物化学兵器について
(<http://www.city.yokohama.lg.jp/kenko/eiken/idsc/hazard/bcw1.html>)

5.3 生物的要因

5.3.1 体臭（加齢）

【概要】

体臭とは排泄物や分泌物がもととなって身体から発せられるにおいを言う。アンモニア、有機酸（酢酸、3-メチルブタン酸など）、イオウ化合物（硫化水素、メチルメルカプタンなど）が主成分である。最近、注目されている加齢臭の主成分は2-ノネナールであることが2001年、資生堂の土師によって報告された。これらのおい成分で臭気強度2.5（何のにおいかわかる弱いにおい～容易に識別できるにおい）に相当する濃度は、アンモニアで1ppm、3-メチルブタン酸、メチルメルカプタン、2-ノネナールで1ppb程度である。

【検出法】

機器分析法として、検知管法とガスクロマトグラフ法が一般に用いられている。また感応試験も併用されることが多い。

【対策その他】

悪臭成分の酸化分解により、においの低減を計ることができる。光触媒、オゾン酸化などの方法が提案されている。消臭剤も開発されている。

【参考文献】

- ・ Haze S et al. (2001) J. Invest. Derm. 116:520-524.
- ・ デオドール株式会社ウェブサイト(<http://deodor.co.jp/bousihou-kyoudo.htm>)

5.3.2 カビ

【概要】

真核原生生物の一部を言う。栄養源的には炭素源を有機物に依存する従属栄養微生物で、糸状の菌糸からなるコロニーを形成する。空気中にも多くの場合エアロゾルとして存在する。空気中のカビの浮遊数は数～数千個/m³と言われている。有機物表面に付着して劣化させるほか、アレルギーの原因物質ともなる。水道水などで問題となる、いわゆ

るカビ臭は貯水池などに繁殖するラン藻類や放線菌が産生する2-メチルイソボルネオールやジェオスミンが原因物質である。

【検出法】

空気中からろ過あるいは液中への懸濁により採取し、培養してコロニー観察する方法が一般的であるが、培養に長時間を要する。捕集した微生物の直接観察、DNA 分析などの方法もある。最近では細胞の示す自家蛍光を利用して、パーティクルカウンターと蛍光検出を組み合わせた検出器も開発されている。

【対策その他】

壁面などのコロニーの除去、室内の乾燥、フィルターの使用などが挙げられる。

【参考文献】

- ・ (株)衛生微生物研究センターウェブサイト(<http://kabi.co.jp/faq.html>)
- ・ おいしい水を考える会, 水道水とにおいのはなし, 技報道出版(2001)

5.3.3 アレルゲン (花粉・ダニ・ペット)

【概要】

アレルゲンとは、アレルギー症状を引き起こす原因物質 (抗原) を言う。アレルギーと抗原 (antigen) とから造られた用語である。空気中に存在するアレルゲンとしては花粉、ハウスダスト (ダニやそのフンなど)、ペットのフケやカビなどがある。

【検出法】

花粉、特にスギ花粉に対するアレルギーは大きな社会的問題となっており、例えば、環境省では全国でパーティクルカウンターによる測定を行い、情報を1時間ごとに更新するシステムを構築している。さらに散乱光からの蛍光を測定して多種類の花粉を計測できるシステムも試験中である。花粉を含め特定のアレルゲンの選択的な測定には主に抗体を用いた酵素免疫測定法 (ELISA) が利用されている。

【対策その他】

空気清浄機等の使用、適切な清掃などが基本となる。

【参考文献】

- ・ 環境省ウェブサイト(<http://kafun.taiki.go.jp/System.html>)
- ・ 秋山一男, 福富友馬 (2013) アレルギー・免疫 20:418-425.

5.3.4 感染症 (鳥インフルエンザ、SARS、コロナウィルス、レジオネラ菌等)

【概要】

各種感染症の危険が叫ばれている。鳥インフルエンザウィルスは野生の水禽類を自然宿主として存在するが、人への感染、更には人の間で感染 (飛沫感染) するウィルスへの変異が危惧されている。SARS は太陽のコロナのような球状で突起を持つコロナウィルスの一種により飛沫感染する。他にも MERS などコロナウィルスによる重篤な感染症が報告されている。レジオネラ症はレジオネラ菌で汚染されたエアロゾルの吸入により起こる。

【検出法】

空気中のウィルスの濃度は極めて低く、核酸の PCR 増幅を介する検出法が主に提案されている。核酸あるいは免疫センサーの高感度化が望まれる。

【対策その他】

フィルターの使用により除去は可能である。飛沫感染するウィルスは直径 5 μm 以上であることがほとんどだが、空気感染するウィルスはそれ以下の除去性能が必要であり、抗菌・抗ウィルス機能剤やオゾン等に対応する。

【参考文献】

- ・ 農林水産省ウェブサイト (<http://www.maff.ggo.jp/syouann/douei/tori/>)
- ・ 外務省海外安全ウェブサイト (http://www.anzen.mofa.go.jp/sars/k_1_3.hyml)

5.3.5 生ごみ臭

【概要】

生ごみ臭はその含有物に依存するが、野菜くず、果物の皮、魚、肉、米、茶葉を含むモデル的な生ごみを常温で 1 週間保存した場合の分析結果が、佐藤らによって報告されている。主成分は、ケトン(ジアセチルケトン)、アミン、アルデヒド、イオウ化合物であり、各々の濃度は sub-ppm~ppt レベルで、臭気強度は 2~5(強烈なにおい) の範囲にある。特にジアセチルケトン、アセトアルデヒド、メチルメルカプタン、エチルメルカプタン、プロピルメルカプタンの臭気強度が 4(強いにおい) ~5 で顕著とされている。

【検出法】

機器分析法として、検知管法とガスクロマトグラフ法が一般に用いられている。また感応試験も併用されることが多い。ガスセンサーの使用も可能である。

【対策その他】

悪臭成分の酸化分解により、においの低減を計ることができる。光触媒、オゾン酸化などの方法が提案されている。消臭剤の開発されている。

【参考文献】

- ・ 佐藤, 下元, 山本, 高桑, 保母 (2012)長崎国際大学論叢 12:141-147.

5.3.6 微生物汚染・害虫・害動物

【概要】

空気中に滞留あるいは飛翔して、製品、動植物に対して劣化、感染、食害などの害を与える生物は各種あり、その被害も様々であるが、主体は微生物、昆虫、鳥類である。カビによる劣化に関しては6.3.2、微生物による感染の一例は6.3.4を参照されたい。昆虫等による害は食品産業、農作物、ヒト、文化財など対象、被害の種類も多い。鳥類の場合、農作物や環境(糞による汚染やカラスによる生ごみの散乱)面での被害がある。

【検出法】

微生物については7.1.25参照。他は目視も可能。

【対策その他】

サイズに応じたフィルター(あるいは網)による除去、薬剤、忌避剤の使用などが挙

げられる。

5.3.7 工場・倉庫・コンテナ内の除菌・脱臭

【概要】

除菌は高温処理、ガンマ線処理などの物理的方法、エチレンオキシド処理などの物理的方法がある。製品の滅菌では物理的な方法も多く用いられるが、広い空間の滅菌に際しては、オゾン、電解水、ガスなどを用いた化学滅菌が多く用いられる。コンテナでは、特にその場での滅菌が容易で、あとににおいを残さない方法が必要となる。

脱臭に関しては工場や農場の廃棄物等による悪臭の問題と、においの強い野菜などを保存・運搬した倉庫やコンテナに他の荷物を入れられないとの問題がある。前者は6.3.5と重複するため、後者について以下に述べる。においの強い野菜の代表例は玉ネギ、ニンニクで、そのにおい成分はイオウ化合物（硫化アリル、二硫化アリルなど）である。これらの化合物の臭気閾値（臭気強度1に対応する濃度）は0.2 ppb程度と極めて低い。しかし、次の貨物で繊維製品などにおいを吸着しやすい製品を入れる可能性があり、適切かつ迅速（稼働率向上）、その場での作業可能（コンテナの場合）な脱臭方法が求められる。

【検出方法】

6.1.11に準じる。

【対策】

オゾン処理は除菌の他、においのもとになる硫黄化合物の脱臭にも有効である。微生物による脱臭法も開発されている。

【参考文献】

- ・ 永田，竹内（1990）日環セ所報 17:77-89

5.3.8 家畜感染症

【概要】

感染症のうち家畜、家禽を対象とし、家畜伝染病予防法によって法定伝染病（口蹄疫など26種）、届け出伝染病の範囲、対策（注射、薬浴、と殺、消毒など）などが定められている。農水省のウェブサイトの家畜感染症について情報提供している。ヒトに対する感染症と基本的な要因は同じだが、異常を自ら訴えず、薬剤も自ら接種しない動物に対し、バイオセンサーによる早期発見や経口ワクチンの開発等の研究も進みつつある。

【検出法】

空気中の感染源の検出については、6.1.29参照。

【対策その他】

吸気中の感染源の除去については、7.2.4参照。

【参考文献】

- ・ 総務省法令データ提供システム
(<http://low.e-gov.go.jp/htmldata/S26/S26H0166.html>)

- ・ 農林水産省ウェブサイト
(http://maff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo)

5.3.9 航空機・船舶での防疫

【概要】

伝染病の予防のための検査（検疫）としてはヒトに対する検疫、動物・畜産物に対する動物検疫、植物の病害虫に対する植物検疫に大分される。いずれもその場での迅速な対応が求められる。空気中に浮遊あるいは飛翔する微生物や昆虫に対する検出法、対策は5.3.6に記載の通り。

【参考文献】

- ・ 農林水産省ウェブサイト(<http://maff.go.jp/pps/j/introduction/index.html>)

5.3.10 害虫・害動物忌避

【概要】

忌避とは害虫・害動物が嫌う成分を用いて、これらが近寄らないようにする操作を言う。昆虫では摂食行動や産卵行動を抑制する成分を避けようとするので、これらの成分を含む薬剤が忌避剤として用いられる。害虫や害動物を死に至らしめる薬剤に比べて、薬剤自身及び死骸がヒトや製品に及ぼす悪影響が少なく、農場、工場、工業施設、宿泊施設、介護施設などでの使用が期待されるとしている。

【試験法その他】

一方のケージに餌（誘引源）と忌避剤を入れ、他方のケージから昆虫・動物を入れて、どの程度忌避剤のあるケージに移るか、という連結ケージ試験などがあるが、ヒトに対する毒性、忌避のメカニズムに基づく試験など、総合的な試験方法の確立が望まれる。

【参考文献】

- ・ 一般財団法人日本環境衛生センターウェブサイト
(http://www.jesc.or.jp/work/harmful_insect/mouse/01.html)

6. 空気浄化に関する技術（現状、将来像）

6.1 センシング技術

6.1.1 温湿度計、風速計

【技術内容】

対象空間の温度を測定するものとして、水銀やアルコールを感温液として用いるガラス製温度計、バイメタルを感部に用いる金属製温度計や白金等の電気抵抗の変化を検出する電気式温度計がある。湿度を測定するものとして、乾球温度と湿球温度から湿度を算出する乾湿計や電気式湿度計がある。電気式湿度計の代表例として静電容量型があり、吸湿性の高分子膜の誘電率が水分量に対して変化することを利用して測定を行う。気象庁をはじめ地方公共団体や各種事業者は、電気式の温度計・湿度計を広く使用している。

屋内での風速測定には、熱式風速計が一般的である。加熱された物体の温度降下が風

速で変化することを利用し測定する。屋外での風速測定には、流線型の胴体に垂直尾翼と4枚羽根のプロペラが付いた風車型風向風速計が広く使用されている。風が吹くと垂直尾翼により胴体が回転し、その向きから風向が、プロペラ回転数からは風速がわかる。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれる温湿度管理に利用されており、個人向けのものからビル・工場などで使用される産業施設向けのものまで、幅広く商品化されている。屋内においては環境を制御・管理するためのデータ収集に使用され、屋外では環境状態をモニターするために使用される。

【技術的課題】

白金線を測温抵抗体に用いた温度計の場合、白金の抵抗値が小さいため配線の電気抵抗が無視できない。このため、測定回路はこのことを考慮して設計する必要がある。静電容量型の湿度計の場合、その原理上、温度変化による誤差が避けられず、高精度化のためには温度計と組み合わせて補正を行うことが必要である。さらに、表面の汚損等による経時変化が避けられないため、定期的な整備と校正とが必要である。熱式風速計の場合、その原理上、風温変化による誤差が生じる。このため、測定回路には温度補償機能を組み込むことが必要である。

【技術の将来像】

一般的な環境状態を計測するための温湿度計および風速計に関しては、既に幅広く商品化・実用化されている。

【参考文献】

- ・ 国土交通省気象庁ウェブサイト

(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/d1.html)

6.1.2 粒度分布計、パーティクルカウンター等

【技術内容】

試料中に含まれる粒子の個数および粒径を測定する装置である。取り込まれた粒子（群）にレーザー（単色光）を照射し、発せられる回折・散乱光を光電変換して測定する。単一粒子の場合は単一の電気信号パルスとして検出され、その強度および幅は粒子径によって異なる。パーティクルカウンターはこの電気信号パルスをカウント・分析することで粒子数と粒子径を算出している。粒子群の場合の強度分布パターンはそれぞれの粒子からの電気信号パルスの重ね合わせとなり、粒度分布計では計算によってどれくらいの大きさの粒子がどれくらいの割合で含まれているかを求めることができる。測定粒径は、数10nmからmmの範囲である。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうちの物理的要因に含まれる浮遊粒子状物質の計測器機として使用されている。また、研究施設や生産施設におけるクリーンルームの清浄度クラスの常時モニタリングとしても使用されている。

【技術的課題】

回折・散乱光パターンは、粒子径や濃度以外にも粒子の屈折率や形状によって変化する。解析の際には、粒子の形状は球と仮定され、複数の成分で構成されている粒子群の場合には屈折率が決定できない。屈折率の扱いや、回折散乱光強度分布を粒度分布に換算するアルゴリズムは、それぞれのメーカー・機種によって異なるため、メーカー間差や機種間差が大きい。

【技術の将来像】

光学設計技術の向上や吸引装置の性能向上により測定精度および感度は確実に進歩しており、測定装置の小型化も進んでいる。測定精度についてはPM1.0からPM0.1の検出へ、計測方法としては常時モニタリングや空間分布計測へと発展が予測される。また、質量分析器などとも組み合わせて粒子の成分分析も同時に行うなどの複合化も進められている。

【参考文献】

- ・ 島津製作所ウェブサイト

(<http://www.an.shimadzu.co.jp/powder/lecture/index.htm>)

6.1.3 位相差顕微鏡を用いた分散染色法

【技術内容】

試料を検出対象と同じ屈折率をもつ浸液に浸し、光の位相差をコントラストに変換して観察する光学顕微鏡である位相差顕微鏡を用いて分散色を観察することにより、試料中に含まれる対象の屈折率を推定、形状と併せて材質を同定する。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれるアスベストの検出に用いられ、公定法となっている。

【技術的課題】

簡便、迅速かつオンサイトでの計数が可能で、コスト的にも低く抑えることができる半面、数百～0.1 ミクロンの微細な飛散粒子を捕集し、数千個の粒子を分散色および形状から個別に同定する必要があるため、計数者が十分に習熟していなければならない。また、目視による判断であるため、再現性や人による差異といった問題のほか、密度により計数の過大・過小評価といった誤判断の問題がある。また粒子サイズから分解能の問題が生じる場合もある。

【技術の将来像】

他手法（走査電顕（A-SEM、EDX）、透過電顕（A-TEM））との組み合わせによる精度向上の試みが行われているほか、客観的基準による自動計数化の開発が行われている。また、蛍光蛋白質を利用してアスベストのみを蛍光顕微鏡で捉える研究もなされており、解体現場等でのリアルタイム、長時間の監視計測など自動計測が進展する。

【参考文献】

- ・ アスベストモニタリングマニュアル（第4.0版） - 環境省
- ・ 光学顕微鏡法によるアスベスト分析の現状と課題 元兵庫県健康環境科学研究セン

ター

- ・ 共同発表：現場で簡便に利用できる高感度アスベスト計測技術の開発に成功（JST）
[\(http://www.jst.go.jp/pr/announce/20120926-2/\)](http://www.jst.go.jp/pr/announce/20120926-2/)

6.1.4 代替粉塵による封じ込め性能評価

【技術内容】

高生理活性や細胞毒性を有する物質（ハザード物質）に対し、より安全な粉塵をハザード物質の代替物質として用い、静置サンプラーによる空气中浮遊粉塵の捕集（静置サンプリング）、布による表面ふき取り（スワブサンプリング）、作業者に取り付けて個人暴露サンプルの捕集（動的サンプリング）などを実施し、捕集された試料から HPLC 等の機器分析により定量を行う。国際製薬技術協会 (ISPE) により「製薬機器の粒子封じ込め（コンテインメント）性能評価 (SMEPAC)」として提唱され、代替粉塵としてラクトース、ナプロキセンナトリウム、マンニトール、アセトアミノフェン、インスリン、リボフラビン、スクロースが用いられる。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれる高活性粉体のクロスコンタミに対して、製薬業界を中心として機器ごと、あるいは施設全体に対して安全な作業環境を確保するために行われる機器の封じ込め（コンテインメント）性能評価に用いられる。薬塵の漏洩、飛散による作業員への薬害や環境、製品へのクロスコンタミネーション（交差汚染）の防止のため、これらの機器および施設の設計に利用される。

【技術的課題】

より高い薬理活性を持つ化合物が開発され、より高度な封じ込め性能が要求されている。そのため、より検出限界の低い化合物が代替試料として求められている。また、代替試料は実薬とは異なる物理特性を持っているため、より実薬に近い挙動の代替試料の選択により、封じ込め度合の推測精度を高める必要がある。

【技術の将来像】

より多種の代替薬塵、実薬での計測、粉体飛散装置の開発に加え、蛍光化させた微粒子を用いる蛍光化薬塵によるリアルタイム計測が進展する。また、より小さい粉塵 (PM2.5 から PM0.3 や PM0.1 などのナノ粒子) への展開が期待される。更に高活性医薬品への活用や高感度モニタリングへの展開も予想される。

【参考文献】

- ・ ISPE 技術規範ガイド：製薬機器の粒子封じ込め（コンテインメント）性能評価 第2版 | ISPE 日本本部 (2012)
- ・ 製薬機器の粒子封じ込め（コンテインメント）性能評価 住化分析センター NEWS 2013/1

6.1.5 レーザーライダ

【技術内容】

対象物にレーザー照射して、返ってきた散乱光を受信望遠鏡で収集し、光電子倍增管で電気信号に変換することで、対象までの距離やその対象の性質を分析する。ppb レベルの測定感度が得られている。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれる黄砂・火山灰など大気中のエアロゾル分布の測定に用いられる。また、発電所や工場、自動車からの排煙である粒子状大気汚染物質の分布測定にも利用される。さらに、気象学の分野では、風向風速、乱流の測定、湿度や気温の測定などにも利用されている。

【技術的課題】

一般的なレーザーライダーシステムは大型であるため、大規模な観測設備が必要で、簡便に持ち運ぶことはできない。

【技術の将来像】

大気汚染ガスや危険ガス、温暖化ガスなどの小型で簡易な画像計測システムや年大気環境アセスメント、高精度の局地気象予測用の小型システムの実現などが期待される。

【参考文献】

- ・ 小林喬郎編：光学（日本光学会，2002）

6.1.6 百葉箱、アメダス、衛星

【技術内容】

大気の種々の情報を計測し気象状態を観測する方法である。白い箱に温湿度計を有した百葉箱が使われていたが、自動観測技術の発達により近年では地域気象観測システム（アメダス）や広域観測が可能な気象衛星が用いられる。アメダスは全国約 1300 地点に設置されており、風向・風速・気温・日照時間・雨量・積雪などを観測している。気象衛星は衛星軌道上から観測を行っており、観測機材として雲を観測する可視光線および夜間観測用の赤外線カメラや、赤外線吸収により水蒸気を観測するカメラ、また海上風や降雨量を測定するためのマイクロ波散乱計などを備えている。

【用途】

アメダスや気象衛星で得られたデータは気象庁内の地域気象観測センターへ集信され、全国に気象情報が配信されている。空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれるヒートアイランド現象の実体把握にも使われ、都市の緑地化計画の策定などに役立てられている。

【技術的課題】

ヒートアイランド現象や瞬間的な豪雨（ゲリラ豪雨）等の都市内の正確な気象状態の把握には現在のアメダスの設置数や気象衛星の画像分解能では不十分である。そのためより高い分解能を持った気象衛星の開発が期待されている。

【技術の将来像】

都市単位の高密で精度の高い気象観測データを収集・蓄積するためには IT 技術の活用が必要不可欠である。例えば、小中学校の気象観測をインターネットで結び刻々の気象

データを収集する試みが行われており今後の発展が期待される。

【参考文献】

- ・ 環境省ウェブサイト (<https://www.env.go.jp/air/report/h14-01/08.pdf>)
- ・ 日本気象協会ウェブサイト (http://www.tenki.jp/docs/note/amedas/page_1)

6.1.7 多段式インパクタを用いた測定法

【技術内容】

気体中の粒子慣性力を利用し、捕集板に衝突させて粒子を気流から分離捕集する際、捕集板に対する気流の衝突速度が次第に大きくなるようにインパクタを数段重ねることによって、大小の混在粒子の中から、粒子の直径に応じて分級し直径 10 μ m 以上と直径 2.5~10 μ m の粒子に分離する。2.5 μ m 以下の微粒子は、最終段の捕集板の後に設けられた濾紙等により完全捕集して後述のフィルター重量法などにより測定する。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれる浮遊性粒子状物質の測定に用いられる。インパクタ方式は PM2.5 の捕集サンプラーとして一般的に用いられている。

【技術的課題】

多段式インパクタ法は捕集粒子が再び気流中に持ち去られ再飛散する場合があります、正確な濃度が測れない恐れがあるため、低濃度条件に適用される。粒子の大きさによる分離精度が課題となっている。

【技術の将来像】

PM2.5 等による地球規模での大気汚染や健康被害の拡大により、高濃度に汚染された気体の測定法の確立が必要となってきた。今後、発生源特定のために、測定精度の高いバーチャルインパクタの普及・利用が進むことが期待される。バーチャルインパクタでは、粗粒子をノズルで分離するため、捕集板に衝突した粗粒子の跳ね返り及び捕集された粒子の再飛散が少なく、幅広い粉塵濃度領域で正確な計測が可能と考えられる。

【参考文献】

- ・ 知的基盤創成・利用促進研究開発事業（平成 17 年度～平成 19 年度）
- ・ 経済産業省ウェブサイト
(<http://www.meti.go.jp/press/2013/08/20130820001/20130820001-4.pdf>)

6.1.8 シャンダイナモ、希釈トンネルを用いた測定法

【技術内容】

自動車のさまざまな走行状態を実験室内で再現するための試験設備であり、シャンダイナモメータは擬似走行面としてのローラと動力からなる。希釈トンネルは試験中、排出ガスの全量または一部を回収し、精製空気と混合して内部で定温、定流量に希釈する装置で、大気中において排出ガスが冷える過程を再現し、浮遊性粒子状物質の成長を起こす。発生した浮遊粒子状物質は後述のフィルター重量法等で測定される。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれる浮遊性粒子状物質の測定に用いられる。

【技術的課題】

粒子状物質は炭化水素を含み、希釈率や温度で凝集の仕方が変化するため、安定的な計測が困難である。また現在、測定はフィルター重量法が主流であるため、フィルター法の技術課題を孕んでいる。

【技術の将来像】

欧州を中心として、粒子状物質規制には欧州を中心にフィルター重量ではなく含有粒子数での排出ガス規制が進んでいる。今後の規制方法に合わせた排出ガスのサンプリング、処理、計測方法の開発が求められている。

【参考文献】

- ・ 『自動車排ガス中の微粒子に関する計測法と動向』日本環境技術協会広報誌 2009 年 1 月号
- ・ 日本電気計測器 (<http://tech.jemima.or.jp/40501.html>)
- ・ ジェトロセンサー 2014 年 7 月号

6.1.9 エアロゾル複合分析

【技術内容】

PM2.5 などの試料中の粒子の性状を、多角的にリアルタイムで検出することを目的に、複数の検出方法を組み合わせた複合型分析装置。散乱・白熱光検出部（粒子質量濃度計測）、質量分析部（成分分析）からなる試作機が開発され、リアルタイムでエアロゾル質量濃度と、その組成（硝酸塩、硫酸塩、有機炭素）の分析実証実験が自治体と共同で行われている。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち物理的要因に含まれる浮遊性粒子状物質の量及び性状を連続計測することで、発生源解明および健康影響調査のためのデータ収集を行う。

【技術的課題】

平成 20-24 年度の科学技術振興機構のプログラムにおいて開発されたものであり、まだ実用化には至っていない。生物由来かの判定に向けた蛍光検出部の組み込みや、各成分の定量方法のブラッシュアップ、実用化に向けた耐久性の担保等が課題である。

【技術の将来像】

実用化されれば、広く PM2.5 などの浮遊粒子状物質のデータ収集に活用されるであろう。さらに、シミュレーションとの組み合わせにより、高精度の PM2.5 拡散予報システムへの発展が期待される。また、空気中の複数成分をリアルタイムで解析できるという利点から、クリーンルームなどの製造環境モニタリング、大気中の細菌・ウィルスの検出システムへの発展も期待される。

【参考文献】

- ・ 平成 25 年度 川崎市共同研究事業報告資料

第 27 回（2013 年度）独創性を拓く 先端技術大賞

「PM2.5 発生源特定を可能にするエアロゾル複合分析技術の開発」

6.1.10 検知管法

【技術内容】

測定対象物の化学物質と反応する物質を入れた細いガラス管（検知管）で、測定対象物がガラス管内を通過し、ガラス管内の物質と反応することで発生する色の変化により対象物質を測定する。例えば反応により pH が変化した場合、ガラス管内に pH 指示薬を含ませることで pH に応じた色の変化が起こる。その着色状態から測定対象物の濃度の目安を検知することができる。空気を導入する方法は、シリンジを用いた真空式や送入手、小型のハンディ型吸引ポンプなどがある。測定時間は、数分から数十分が一般的である。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因に含まれる住宅環境、ビル環境、作業環境での有害化学物質の測定に広く用いられる。厚生労働省から指定を受けている測定器も数多く、標準的な測定方法としての利用価値が高い。

【技術的課題】

測定対象物の濃度を着色状態から測定するためその精度は高くなく、また測定可能な濃度域は ppm 以上が一般的である。複数の化学物質が混在している場合には、測定対象物質以外の化学物質へも反応するため定性的な測定となることがある。さらに、複数の化学物質を対象とすると複数の検知管を用いる必要がある。

【技術の将来像】

その場で簡易的に測定できることから標準的な測定方法として広く利用されている。大気汚染を含む環境への意識が高まる中、未知の有害化学物質の特定が進むであろうことから、簡便な測定方法が今後さらに求められると考えられる。

【参考文献】

- ・ 建築物における衛生的環境の確保に関する法律
- ・ 食品、添加物等の規格基準，事務所衛生基準，作業環境測定基準
- ・ 作業環境測定法，作業環境測定法施行規則など

6.1.11 ガスクロマトグラフ法

【技術内容】

試料中に含まれる各成分の量を測定する分析方法で、気体もしくは温度をかけることで揮発する成分を対象とする。基本的な構成は、注入部、カラム分離部および検出部から成り、注入部で加熱された試料が気化し、ヘリウムなどのキャリアガスと共にカラム分離部へ導入される。導入された試料は、カラム内壁の固定相と相互作用（吸着・分配）することで成分ごとに分離され、カラムから出てきた成分の順に検出器によってその量が測定される。測定感度は ppm レベルである。

【用途】

カラムの種類（無極性、低極性、中極性、高極性）と検出器（熱伝導度型検出器 TCD (Thermal Conductivity Detector)、水素炎イオン化型検出器 FID (Flame Ionization Detector) など）を組み合わせることで、多種多様な測定対象物の測定に対応することができる。そのため、空気浄化に関する社会課題のうち、化学的要因に起因する課題はほとんどすべての場合において、計測機器として使用されている。ただし、用途によってそのサンプリング方法などの工夫がされている。

【技術的課題】

気体成分を分析する装置として用途の幅は広い。その一方で、多種の対象成分が混在している試料や低濃度（サブ ppm 以下）の試料を分析するには工夫が必要である。例えば、対象成分が混在している試料を測定するためには、検出部として質量分析計 MS (Mass spectrometer) を組み合わせることでほぼすべての成分を検出することができる。また、低濃度の試料を測定するためには、吸着剤を充填したトラップ管や固相マイクロ抽出法 SPME (Solid Phase Micro Extraction) などを利用して対象成分を濃縮する前処理を実施することで適した濃度域で測定が可能となる。

【技術の将来像】

分離カラムや前処理などの注入技術、検出技術などは確実に進化しており、分析目的ごとの最適化も進んでいる。複雑な組成の天然物の分離分析用に開発された GCxGC 技術など高精度化への取り組みや、チップ化により集約が進んだマイクロ（ポータブル）GC など小型化への開発が進められている。

【参考文献】

- ・ Snow NH, Slack GC (2002) Trends Anal. Chem. 21:608-617.
- ・ Santos FJ, Galceran MT (2002) Trends Anal. Chem. 21:672-685.
- ・ Plutowska B, Wardencki W (2008) Food Chem. 107:449-463.
- ・ (社) 日本分析工業会ウェブサイト
(<http://www.jaima.or.jp/jp/basic/chromatograph/gc.html>)

6. 1. 1 2 イオンセンサー（電極、ISFET、光学式）

【技術内容】

固体または液体のイオン感応膜の界面に特定イオンによって選択的に発生する界面電位を検出する方法で、半導体技術やオプトエレクトロニクス技術などを駆使して小型化したものが、ISFET (イオン感応型電界効果トランジスタ) や光学式イオンセンサーである。ISFET はトランジスタの電流制御部（ゲート電極）のチャンネルの表面をイオン感応膜で覆ったもので、目的イオンを含む溶液と感応膜の界面に発生する電位に依存するソースドレイン間電流を測定してイオンの活量を求める。光学式イオンセンサーでは光ファイバやフォトダイオードの先端表面に感応膜を固定化し、イオンとそれを認識するホスト分子との間の光学特性の変化を検知する。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因に含まれるばい煙や排気ガスあるいは酸

性雨などの測定に用いられる。

【技術的課題】

感応膜の種類によって応答できるイオン種が限定されているため、マルチでイオン測定を行う小型センサーを作製するためには、電極の構成などを工夫する必要がある。

【技術の将来像】

イオン電極では無機イオンを測定対象としているが、医療や食品などの計測分野においては有機化合物を測定する必要があるため、酵素などと組み合わせた測定などへの応用を目指した改良が進められている。

【参考文献】

- ・ 分析化学実技シリーズ「電気化学分析」（共立出版）
- ・ 公益社団法人 計測自動制御学会 50周年記念サイト
(<http://sice.jp/handbook/%E3%82%A4%E3%82%AA%E3%83%B3%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5>)
- ・ 「イオン電極と酵素電極」（講談社）

6.1.13 イオンクロマトグラフ法

【技術内容】

分離カラムと溶離液の組み合わせにより、イオン交換反応を利用してアニオンとカチオンを分析する手法である。気体試料に対しては、ガスを吸収剤やフィルターにより捕集し溶離液で抽出することでサンプルを得る。

【用途】

空気浄化における社会課題のうち化学的要因に含まれるばい煙や排気ガスなどの環境汚染物質の分析に、高感度、多成分同時分析、迅速性の点から使用されている。

【技術的課題】

微量イオンの検出には、濃縮が必要であるが、濃縮工程に時間がかかることが課題となっている。また、アニオンとカチオンの同時分析を行うためには工夫が必要である。

【技術の将来像】

新規濃縮方法や固定相の電荷制御などを用いた低濃度イオンおよびアニオン・カチオンの同時分析を目的とした開発が進められており、適用範囲の更なる拡大が期待される。

【参考文献】

- ・ 環境省ウェブサイト (<http://www.env.go.jp/>)
- ・ 「イオンクロマトグラフィー」（講談社）

6.1.14 スモーク・テスト法

【技術内容】

白煙を発生させ、室内の空気の流れを観察する方法である。発煙管中にゴム球で空気を送ることで、塩化スズと空気中の水分とが化学反応 ($\text{SnCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{S}_2 + 4\text{HCl}$) を起こし、白煙が発生する。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因の対策として設置されている局所排気装置や喫煙室などで、有害物質やたばこの煙が吸引可否の確認や拡散の状況を確認するために利用される。

【技術的課題】

正確な風速測定はできないが、火気を使用しないため、簡単かつ安全に風向を確認できる。

【技術の将来像】

簡単に空気の流れを目で確かめることできるため、局所排気装置などを簡便に評価するには最適な方法である。

【参考文献】

- ・ 環境省ウェブサイト (<http://www.env.go.jp/>)
- ・ 高知産業保健推進連絡事務所ウェブサイト (http://www.kochisanpo.jp/rental/use_of_smoke_tester.html)

6.1.15 フィルター重量法

【技術内容】

フィルター秤量法や質量濃度測定法とも呼び、空気中に浮遊する粉塵をフィルターに捕集し、粉塵濃度を測定する方法である。この方法による粉塵濃度の測定では、フィルターに捕集された粉塵の質量（捕集前後でのフィルターの質量変化） ΔM (mg) と、そのフィルターを通過する空気流量 Q (m^3/s) および捕集時間 t (s) から、粉塵濃度 C は「 $C = \Delta M / (Q \times t)$ (mg/m^3)」として求められる。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因に含まれる浮遊粒子状物質、アレルゲン、粉塵、火山灰などの測定に用いられる。環境省中央環境審議会大気環境部会により PM2.5 の標準測定法として使用されている。また、ビル管理法および労働安全衛生法による粉塵濃度の測定は重量法を基本法としており、捕集装置の上流側に 10 μm 以上の粒子を通過させない分粒装置を設けて使用する。さらに、工場の薬品やオイルミストの定量にも使用されたり、フィルター自体の性能を評価する際にも使用されたりする。

【技術的課題】

原理上、捕集された物質の特定や配合比、有害物質か否かなどの同定は不可能である。また、空気中粉塵の含有量が少ない場合には測定が困難である。

【技術の将来像】

現状で比色法などとの住み分けがされており、今後も粉塵の含有量が十分である環境での使用場面などで使用されるが、高感度あるいは成分の同定などに特徴を持つバイオセンサーや質量分析計などに置き換えられる可能性もある。

【参考文献】

- ・ カノマックス技術情報ウェブサイト

(http://www.kanomax.co.jp/technical/detail_0039.html)

- ・株式会社大和製作所ウェブサイト

(<http://ww5.tiki.ne.jp/~daiwa-y/yanai/zatu/zatu.html>)

- ・ムラタ計測器サービス株式会社ウェブサイト

(http://www.murata-s.co.jp/sub/tech_info/pm25_kiki_1.htm)

- ・学術講演会論文集 平成 23 年(1), 305-308, 2011-08-31 [この号の目次]

- ・社団法人空気調和・衛生工学会 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009751007>)

6.1.16 液体/固体捕集-原子吸光分析

【技術内容】

試料をアセチレン-空気炎中や黒鉛炉中で、高温に加熱して原子化し、そこに構成元素固有の幅の狭い吸収スペクトルを測定することで、試料中の元素の同定および定量を行う分析方法である。光源として目的元素に特化したホロカソードランプ（中空陰極ランプ）を用いる。また試料を原子の状態にするために、化学炎で原子化させるフレーム法（フレーム発光）と、化学炎を用いずに原子化するフレームレス法（FL-AAS）がある。

【用途】

主に金属元素の濃度を測定する定量分析方法であり、測定濃度域は ppm から ppb のオーダーである。空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因に含まれる水銀の測定に用いられる。

【技術的課題】

原子吸光分析法のスペクトル幅はきわめて狭い（通常 0.01nm 程度）ため、光源としては目的元素に特化したホロカソードランプ（中空陰極ランプ）を用いなければならない。そのため測定したい元素の数だけランプを用意しなくてはならず多成分の試料を同時に測定するには難がある。また、混入した他元素によって妨害を受けることがあり、試料の前処理等にも配慮する必要がある。

【技術の将来像】

機種によっては、複数のランプを装着したマガジンを回転させることで多成分の試料の同時分析を可能にしたものも開発されており、使い勝手の向上がなされてきている。

【参考文献】

- ・株式会社 日立ハイテクサイエンス

(http://www.hitachi-hitec-science.com/products/aa/tec_descriptions/description_01.html)

- ・兵庫県立大環境人間学部ウェブサイト

(<http://www.shse.u-hyogo.ac.jp/kumagai/eac/ea/aas.htm>)

6.1.17 化学発光法

【技術内容】

化学反応のエネルギーによって励起された分子が再び基底状態に戻る際、光としてエ

エネルギーを放出する現象を利用した測定法。反応に関与する分子が励起状態を形成するものを直接発光、反応系中に備えた蛍光物質にエネルギーを移動させて発光を促すものを間接発光と呼ぶ。

【用途】

空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因であるばい煙や排気ガスに含まれる窒素酸化物の検出に用いられる。一酸化窒素とオゾンの反応によって発生する発光の強度は、その一酸化窒素濃度に比例するため、そのままセンシングが可能である。その他の窒素酸化物(NO_2 、 NO など)は、コンバータや流路、検出器の配置を工夫することで測定する。

【技術的課題】

化学発光を伴う反応には、その強度および持続時間が不十分なため、そのまま検出できないものがある。その際、中間体や増幅剤が必要となり、反応系が複雑化する。

【技術の将来像】

検出感度域や測定時間の改良に加え、炭化水素や無機塩などの検出技術が開発されている。検出器、流路の簡素化により、自動車や工場の排ガスだけでなく、住宅環境においても導入可能な技術として期待される。

【参考文献】

- ・ 一般社団法人 日本電気計測器工業会ウェブサイト
(<http://tech.jemima.or.jp/40203.html>)

6.1.18 pH／導電率測定

【技術内容】

ピンホールの開いたガラス薄膜の内外に備えた2つの電極(ガラス電極と比較電極)の間に生じる電圧から、水素イオン濃度(pH)が測定される。溶液中のイオンが電荷を運ぶキャリアとして働く、その流れやすさ(導電率)から、イオン濃度が決定される。ともに、溶液中の濃度を簡便かつ短時間で測定する技術として、広く実用されている。

【用途】

雨に取り込まれた有害物質の分析は、都市～地球規模での空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因の計測に非常に重要である。pHの測定は雨の酸性度の、硫酸イオンや硝酸イオン、アンモニウムイオンなどを対象とした導電率の測定は、雨の汚染度、すなわち大気の汚染度の指標となる。

【技術的課題】

大気中の有害物質は、降り始めの雨に多く存在し、徐々に減少する。そのため、酸性雨の測定は、降り始めの雨から経時的にモニタリングする必要があり、サンプルの採取に工夫が必要となる。また雨中のイオン濃度をイオン種別に測定するためには、イオン選択電極の導入やイオンクロマトグラフィーなどの技術を併用する必要がある。

【技術の将来像】

pH計、導電率計とも、ハンディサイズの小型検出器が、既に実用化されているが、その多くは数mLのサンプルが必要である。サンプル量の低減により、空気中の水蒸気から

直接測定できれば、天気に関わらず大気汚染度が測定できる技術として期待される。

【参考文献】

- ・ 株式会社堀場製作所ウェブサイト (<http://www.horiba.com/jp/ja/cafe/18/>)

6.1.19 ゲルマニウム半導体検出器

【技術内容】

物質から放出される放射線のエネルギー及びその量を計測し、試料中に含まれる放射性物質の種類と量を調べる分析方法である。ゲルマニウム単結晶中を放射線が通過する際に、単結晶中の価電子帯から伝導帯へ電子が励起され電子-正孔対が形成され、この電子-正孔対を電気パルスシグナルとして検出する。放射性物質は、同位体に固有のエネルギーを持ったガンマ線を放出するため、エネルギー測定により種類が同定できる。

【用途】

空気浄化に関する社会的課題のうち化学的要因に含まれる放射能汚染を測定する。核実験に伴う放射性降下物や原子力施設周辺環境モニタリング等が主な用途であったが、2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、放射線の測定が幅広く求められるようになった。屋外での測定が中心だが、食品（特に農畜産物）への放射性物質の汚染度の確定検査にも用いられている。

【技術的課題】

ゲルマニウムは他の半導体と比べバンドギャップが狭いため高いエネルギー分解能を有し、放射性物質の同定に優れた手法である。その反面、バンドギャップの狭さから熱励起によるノイズが多く発生し、液体窒素で検出器を冷却させる必要があるため装置全体が大きくなる傾向がある。また蛍光作用を利用した NaI シンチレーション検出器と比較すると、分解能は優れているものの感度や検出時間で劣る。そのため、NaI シンチレーション検出器は食品中の放射性物質のスクリーニング検査に用いられ、ゲルマニウム検出器は確定検査に用いられる。

【技術の将来像】

福島第一原子力発電事故により様々な放射性物質が広範囲に放出された。放射性物質により半減期が大きく異なるため、自治体では有害物質の種類に応じた対策が迫られている。そのため、「その場」での放射性物質の種類を同定することが望まれており、小型やポータブル型、電子冷却機を有し液体窒素を必要としないゲルマニウム検出器が登場しつつある。将来的には、簡易測定器や空間分布計測にも展開できると考えられる。

【参考文献】

- ・ 文部科学省：放射能測定法シリーズ No. 7 ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー（1992年改定）
- ・ 文部科学省：放射能測定法シリーズ No. 33 ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法
- ・ 柚木 彰、黒澤忠宏（2012）：安全・安心な国民生活を守る放射線計測技術、精密工学会誌、78、35

- ・ 蜂須賀暁子 (2013) : 食品中放射性物質の分析と検査、食衛誌、54、102

6.1.20 テラヘルツ分光

【技術内容】

テラヘルツ波は、光と電波の間にある主に 0.3~10THz (波長 1mm~30 μ m) の周波数帯域にある電磁波である。電波の透過性を有する最短波長域で、光波の扱い易さを有する最長波長域でもあり、透過性、取り回し易さ、空間分解能、被曝なしといった性質を有する。多くの化学物質にテラヘルツ帯指紋スペクトルが得られている。化学物質の種類によって放射される信号の周波数が異なるため、この帯域のスペクトルを検出することにより試料に含まれる化合物成分を同定することができる。

【用途】

非接触・非破壊に複合的な試料の内部の物質を特定することができるため、空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因に含まれる化学テロなどへ対策として、着衣や郵便物内の化学物質や金属製品の検知を行うセキュリティ分野への応用が期待されている。

【技術的課題・将来像】

テラヘルツ波は、従来の近赤外からミリ波の電磁波領域と重なり、簡便に使える発生源、検出器、計測装置の開発が立ち遅れたことから、応用も限られていた。近年その特性を活かして、絵画や壁画に使われた顔料や画材などの同定や配合割合を推定する文化財保護分野、残留農薬の検知などの食品衛生分野などの非破壊検査に応用されつつある。

【参考文献】

- ・ Tonouchi M (2007) Nature Photonics 1, 97
- ・ 深澤亮一 (2013) 分析・センシングのためのテラヘルツ波技術 日刊工業新聞社

6.1.21 ガスセンサー (半導体、固体電解質、隔膜式、光学式、接触燃焼式)

【技術内容】

例えば、半導体ガスセンサーであれば、表面に検出対象ガスが付いて、化学的相互作用が起こることでガス濃度を電気伝導度変化として計測するものである。固体電解質センサーは電気化学反応、接触燃焼式は燃焼熱を検出するものであり、それぞれの種類に対応して計測対象のガスは異なる。

【用途】

酸素や水蒸気、一般可燃性ガス (水素、メタン、LPG など)、毒性ガス (一酸化炭素、塩化水素、硫化水素、アンモニア、窒素酸化物、硫黄酸化物など) や環境関連ガス (ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、フロンなど)、におい関連ガス (メルカプタンやアミン類など) を対象とする。

【技術的課題】

選択性の付与や小型化、コードレス化等の課題がある。通常ガス種によらずにセンサーと作用・反応するため、類似ガスが混入した場合、分離計測が困難である。また、センサーによっては検出器の消費電力が大きいので、コードレス化のための低消費電力化

(0.1 mW) が課題となっているものもある。

【技術の将来像】

ポータブル化、コードレス化だけでなく、たとえば、飲酒運転防止装置のように、他機器と連動して動作するシステム化も進められつつある。

【参考文献】

- ・ 電気化学便覧（第6版），電気化学会編，丸善出版（2013）.
- ・ 先進化学センサー，電気化学会化学センサー研究会編，ティー・アイ・シー（2008）.

6.1.2.2 バイオセンサー（抗体、酵素、免疫、微生物、DNA、アプタマー）

【技術内容】

認識部（主に生体由来物質（酵素、抗体、DNA、アプタマーなど））と変換部（電極、FET、CCD、SPR など）が組み合わされた素子状の形態をとり、認識部で測定対象の物質（主に生体由来物質）と結合・反応する状態を変換部が電気信号等で出力するものである。認識部で用いられる物質によりその測定対象は異なる。

【用途】

主に生体由来物質を計測対象とする。認識部の分子と結合・反応する分子が測定対象となる。認識部に酵素を使用する場合は、アルコール、アルデヒド等が計測でき、抗体の場合は、アレルゲン（タンパク質）、微生物、ウィルス（由来の物質）を計測対象とすることができる。

【技術的課題】

生体由来分子を利用するため、安定性（熱安定性等）に課題がある。また、材料が比較的高価であるため、低価格化の必要が生ずる場合がある。空気中の物質を計測するためには、水溶液中に溶解、濃縮させるためのサンプリング法が必要である。

【技術の将来像】

通常選択性が高いので、技術的課題を克服することで、他の方法では計測不可能な分子の高度な検出素子を形成することが可能である。また、測定頻度がそれほど多い必要がない場合は、イムノクロマトグラフィー等の簡易型の検出法をとることもできる。高機能化・高感度化した後、センサ化・システム化へと展開するものと思われる。

【参考文献】

- ・ 電気化学便覧（第6版），電気化学会編，丸善出版（2013）.
- ・ 先進化学センサー，電気化学会化学センサー研究会編，ティー・アイ・シー（2008）.

6.1.2.3 DNA アレイセンサー、DNA 検査

【技術内容】

DNA アレイセンサーは、予め塩基配列の明らかな 1 本鎖 DNA を多数、プラスチックやガラス等の基板上に配列させ、ここに DNA を含有したサンプルを滴下すると、サンプル中の DNA がそれと相補的な配列を持つ基板上の DNA にのみ結合する。この結合位置を蛍光や電流によって計測することで、サンプル中に含まれる DNA の配列を知る方法である。

DNA 検査とは、DNA アレイや DNA シーケンサ等で判別した塩基配列情報を元に、特定の遺伝子や変異等の存在を明らかにする検査のことである。

【用途】

DNA アレイにおいては、主に生物内の遺伝子発現量を実験室レベルで計測する標準的な手法となっている。また、DNA 検査においては、先天的な疾病の診断のみならず、後天的な疾病の可能性診断にも利用されつつある。

【技術的課題】

DNA アレイにおいては、定量性の確保が問題となっている。DNA 検査においては、後天的な疾病診断においての正確性が問題となりつつある。

【技術の将来像】

今後、技術が簡便、安価になれば、特定の疾病の簡易診断や生物種判別などに利用されるようになると予想される。

【参考文献】

- ・ アジレント・テクノロジー株式会社ウェブサイト（マイクロアレイとは？）
(http://www.chem-agilent.com/pdf/200810_WhatIsMicroarrayJ.pdf)
- ・ 経済産業省ウェブサイト（遺伝子検査ビジネスに関する調査報告書）
(http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/bio/pdf/140428idenshi_kensa-houkokusyo2.pdf)

6.1.2.4 バイオセンシング（小動物）

【技術内容】

鳥類を用いた窒息性ガスや毒ガスの検出が一般的である。いわゆる炭鉱のカナリアは、炭鉱内に発生する窒息性ガスや毒ガス（メタンや一酸化炭素等）の検出警報用として用いられた。カナリアは常にさえずっているため、異常時に鳴き声が止む。つまり危険を目と耳で確認でき、毒ガス等検知に用いられやすい。戦場や犯罪捜査の現場でも使用される場合がある。日本でも 1995 年の地下鉄サリン事件捜査時に、捜査員が携行している様子が報じられた。

【用途】

毒ガスあるいは窒息性ガスの検出。使用場所は前記の通り。例えば、鉱山では 3 羽以上のカナリア（別種の鳥を用いることもあった）の入ったカゴで 1 羽でも異常な行動が見られた場合、危険発生とした。

【技術的課題】

河川中の生態毒性検出は、手法、判断基準等明確であるが、動物利用ガス検出の場合の基準は明確ではない。それは、応答の信頼性、再現性等に課題があるためである。

【技術の将来像】

可搬型のガス検出器等での代替や、バイオセンシング機器などでの代替が予想される。通常の検出機器に比して、簡便型の機器、更に小型化・低コスト化が必要である。また、コストに見合った用途開発も求められる。

6.1.25 培地法を利用したセンシング

【技術内容】

微生物や生物組織の培養のために、対象に生育環境を提供するもので、炭素源やビタミン、無機塩類など栄養素が含まれると共に、細胞の増殖に必要な足場や液相を与える物理的な要素もある。菌数計測等にはコンタミネーションの判読がしやすい固体(寒天)培地が用いられる。固体培地は、生育に必要な栄養素を寒天にいれ、シャーレ等の無菌容器に入れたもので、希釈した微生物が入った溶液を表面にこすりつけて生育させると、微生物1固体からコロニーが形成される。コロニー数を数えることで、元の溶液中の菌数を見積もることができる。細菌に対するウィルスについても同様に見積もれる。

【用途】

微生物等を培養するのみならず、菌数を見積もる方法としても用いられる。また、培地中に薬剤等を入れて生育させることで、薬効を調べたり、培地中に菌が出す物質を回収して利用したりすることも可能。菌種の分離にも利用可能である。

【技術的課題】

菌数計測のためには、菌が生育してコロニーが形成するまで待つ必要があり、時間がかかる。また、予め菌の概数が分かっていると、計数可能なコロニーが形成できず、正確な菌数測定が難しい場合がある。菌によっては(環境が異なるため)生育しない場合や、コンタミネーション、菌の判別も難しいことが問題である。

【技術の将来像】

特殊な(あるいは人為的な)環境下で無い限り、単一の菌が多数存在することはないため、通常的环境中の正確な菌数測定には不向きである。他の計測システム(例えば微粒子数をカウントできる装置)や生化学測定系(微生物種判別)を組み合わせることで、代替することになるかもしれない。

6.1.26 捕虫器、粘着トラップを用いたセンシング

【技術内容】

誘因器具(光や化学物質)を発生する部分と網、粘着性のシート等で構成される捕捉器具で、昆虫や小動物が対象である。

【用途】

害虫や小動物の駆除。捕獲した生物を解析することで、その生物の生態、種類や保有する病原菌等を調べることもある。基本的に殺虫剤成分を使用していないため、食品を取り扱う箇所等で安全に使用することができる。

【技術的課題】

場合によってはほこりやゴミ等で短時間に機能低下する場合がある。また、能動的に捕獲するものではないので、設置場所に依存することや、時間当たりの捕獲は多くはないことが問題となる。

【技術の将来像】

誘引捕虫効果が長期間継続するものが考えられている。

6.1.27 ATP モニタリング

【技術内容】

アデノシン三リン酸（ATP）は、生物体内に存在する物質で、生体内のエネルギーの放出貯蔵や代謝合成に係わっている。逆にサンプルを粉碎し、その中に ATP があれば、生物が存在していたと考えられる。ATP モニタリングは ATP を発光酵素、発光基質を組み合わせ、発光量を計測する方法で、主にルシフェラーゼ系を用いて計測することが多い。

【用途】

ATP モニタリングは、生物、特に微生物の存在を示すことから、食品業界や医療機関での汚染調査、清浄度調査に利用される。食品衛生検査指針として規定されている検査方法もある。

【技術的課題】

ATP モニタリングでは（微）生物種は判別不能であり、微生物量をそのまま反映しているわけではない。また、空気中の微生物量計測には工夫が必要である。

【技術の将来像】

AMP の同時計測機器も開発されており、より精密な計測が行われつつある。

【参考文献】

- ・ ATP・迅速検査研究会ウェブサイト (<http://www.keiran-niku.co.jp/atp/>)
- ・ (公益) 食品衛生協会ウェブサイト (<http://www.n-shokuei.jp/index.html>)

6.1.28 加熱蛍光増大法を用いた微生物センシング

【技術内容】

微生物センサーには、一定の波長の光を照射することにより、蛍光を発する微生物の性質（自家発光）を利用し、吸引、捕集した微生物の発光量をもとにその数量を計測するセンシング方法を用いたものがある。

微生物の自家発光は微弱であるため、正確な計測が困難であったが、捕集した微生物に加熱処理を加えることで、微生物の自家発光が飛躍的に増大する特徴を活かし、精度の高い微生物量の計測を容易にすることができる。

【用途】

加熱蛍光増大法は、培養可能菌、培養不能菌、死菌等の生物由来の浮遊物を検出できることから、病院の診察室及び病室、住宅及び事務所での細菌・カビの監視、食品工場、飲料品工場、植物工場等での品質管理に利用される。短時間に自動連続計測でき、さらに加熱蛍光増大法を用いたセンサーは軽量でコンパクトにすることができることから、広範囲の空間から迅速に汚染個所を特定することが容易となる。

【技術的課題】

加熱蛍光増大法は、微生物の種類を同定することができない。また、生菌と死菌を区別することができないことも課題である。

【技術の将来像】

菌の捕集方法（機構）の進展による超高感度型のセンサーも開発が進められており、これまでは困難であった微量な微生物の計測も可能となりつつある。

6.1.2.9 室内の有害成分（多環芳香族炭化水素等）量の把握（将来像）

【技術背景】

ベンゼン環を 2 ないし 3 つ以上有する芳香族炭化水素の総称を多環芳香族炭化水素（PAHs: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons）といい、通常は数十から数百の化合物の複合物である。窒素酸化物（NO_x）や硫黄酸化物（SO_x）と共に大気汚染物質の一つであり、肺がん、喘息など疾病の一因と言われている。

【用途】

PAHs は化石燃料といった炭素を含む物質の不完全燃焼によって発生するため、環境中に広く分布している。室外では車や工場、ごみ焼却などからの排気、室内では喫煙や食品の調理、暖房などから発生する。よって、空気浄化に関する社会課題のうち化学的要因に含まれる多くの課題において PAHs の量を把握することは重要である。

【技術的課題】

広く環境中に分布する PAHs は、環境省により GC/MS や HPLC による測定方法が明記されているが、適したサンプリング方法や測定前サンプルの前処理法に工夫が必要である。また、数多く存在する PAHs の特定と生体への影響との関連付けが必要である。

【将来像】

国内の大気に関する PAHs は特に規制されてはいないが、環境省が示す有害大気汚染物質として優先的に対策に取り組むべき物質として一部含まれている。また、大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）成分や有害大気汚染物質の測定マニュアルにおいて PAHs の測定方法が明記されている。機器・製品や家庭用品の規制基準では、国内外においてベンゾ[a]ピレンなどの PAHs が規制されている。 今後は生体に危険を及ぼす PAHs がますます明らかとなり、昨今の PM_{2.5} 問題や高まる環境意識と相俟って、職場や家といった室内空間の有害成分である PAHs のモニタリングが重要となると予想される。

【参考文献】

- ・ 環境省「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」
(<http://www.env.go.jp/air/osen/manual2/>)
- ・ 環境省「大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）成分測定マニュアル」
(<http://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual.html>)
- ・ 国立医薬品食品衛生研究所ウェブサイト
(http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/katei/ki_jyun.html)

6.1.3.0 感染症検出（将来像）

【技術内容】

主に免疫測定を利用した検出となることが予想される。すなわち、大気サンプルを水

中に溶解させ、これをバイオセンサー等で高感度検出する方法が想定される。

【用途】

医療機関、食品業界のみならず、公的なスペースでの利用が予想される。適用対象は人だけでなく場合により家畜等に対する感染症にも用いられる。

【技術的課題】

低濃度検体の検出が予想されるため、高感度化は必須の事項である。また、小型化、低価格化も同時に解決しなければならない課題である。サンプリング方法については、装置の感度・精度にも影響することが予想されるため、さらなる工夫が必要である。

6.1.3.1 アレルゲン検出（将来像）

【技術内容】

基本的には上記感染症検出と同様。個人に特有のアレルゲンの検出が必要であるが、将来的には複数種のアレルゲンの検出やアレルゲンハザードマップ作成への応用、更にはウェアラブル型のデバイスの開発が必要となる。

【用途】

医療機関を始め、事務所、学校等限られた空間を持つ公共スペースや家庭等での使用が想定される。

【技術的課題】

上記感染症検出とほぼ同じ。ただし近年、ELISAでの偽陽性、偽陰性レベルの検出時は、必ずしも計測結果と症状が一致しないケースが報告されており、単純なELISA検出に替わり、生体内の免疫反応を考慮した測定系を構築する必要性が報告されている。

6.1.3.2 浮遊微生物等検出（将来像）

【技術内容】

上記ATPモニタリング法と、大気サンプリングを組み合わせることで、非連続微生物検出は可能である。測定対象箇所の大気の変動流動している場合や人等が移動している場合などは、連続計測が必要になってくる。

【用途】

医療機関、動物飼育所、食品製造所や空港等公的なスペース。微生物が原因の感染症の場合、検出においての簡易一次スクリーニング法としても適用できるかもしれない。

【技術的課題】

連続計測用システムや機器の開発。安価な手法、装置。高感度化。

6.1.3.3 空港等でのリアルタイム高感度検疫（将来像）

【技術内容】

有害微生物、ウイルス、生物系毒素の検出においては、上記「感染症対策（将来像）」「浮遊微生物等検出（将来像）」の記載内容と同じ。化学系毒素、毒ガスにおいては、今まであまり開発されていない対象ガスを検出するセンサーの開発が必須となる。

【用途】

空港、駅等公的なスペースなどでの使用を想定した場合、テロ対策が主に想定される。

【技術的課題】

上記課題「感染症対策（将来像）」「浮遊微生物等検出（将来像）」の他、連続計測が可能な高感度システムの開発。

6.2 分離・除去・分解技術

6.2.1 空調・熱交換・換気

【技術内容】

空調とは空気調和の略語であり、空気の温度、湿度、気流、清浄度の4要素を調節することで、室内を快適な環境に調整するプロセスを指す。快適空間を維持する為に、熱交換機の冷暖房による温度制御、除加湿による湿度制御が必要とされる。また気流の速度は快適性に関わる重要な要素であり、速さ、向きをコントロールすることが必要である。空気の質を制御する清浄度の調節も大切であり、空気中に含まれる塵、有害ガス、細菌、臭気などの濃度を換気、除塵、除菌、脱臭により制御・調節が行われる。

【用途】

住宅や事務所ビルなど、空気汚染が予想される様々な空間で利用可能。クリーンルームや食品衛生の現場では利用されている。

【技術的課題】

空気調和機の一つである空気清浄機では浄化フィルターが目詰まりを起こすと有害物質を除去するだけの気流が作り出せず空気清浄ができないといった課題がある。また熱交換機（エアコン等）では埃塵をフィルターで捕集するものの、目詰まり等を起こすと埃塵が際飛散するといった課題もある。

【技術の将来像】

熱交換型の換気システムが期待されている。排気の際に汚れた空気と一緒に捨てていた熱を給気時に回収して室内に戻すことで空調負荷を減少できることが特徴である。

【参考文献】

- ・ よくわかる最新冷凍空調の基本と仕組み 秀和システム

6.2.2 粗塵・中性能・高性能エアフィルター（各種不織布）

【技術内容】

エアフィルターは圧力損失、粉塵捕集効率、粉塵保持容量（寿命）の3項目で表示されるが、一般的には捕集効率を基準にして、粗塵・中高性能・超高性能に大別される。

粗塵フィルターの濾材は合繊不織布とガラス繊維マットが主体であり、対象粉塵粒径は5 μ m以上、パネル型や巻き取り型の形態が主流である。中・高性能フィルターの濾材は合繊不織布またはガラス繊維紙であり、折り込み型（プリーツ構造）の形態であり、0.3 μ m以上を対象としている。合繊不織布の多くにポリプロピレン製のエレクトレットメルトブロー不織布が利用されており、メルトブロー不織布の剛性が低いため、通常は

補強用不織布として太織度の高剛性不織布が積層され、プリーツ構造を維持している。

【用途】

粗塵フィルターは、ビル空調や中・高性能フィルターのプレフィルターとして利用されている。中・高性能フィルターはビル空調や一般工業用のメインフィルターや、超高性能フィルターのプレフィルターとして活用されている。

【技術的課題】

静電気捕集効果を利用するエレクトレット不織布を利用することで、低圧力・高捕集効率を実現できるが、エレクトレット消失に伴う捕集効果の低下に注意が必要である。

【技術の将来像】

更なる低圧損・高捕集効率化を実現するため、ナノファイバーを利用したエアフィルターが注目されている。ナノファイバーの製造方法としては、エレクトロスピンニング法が主に検討されているが、連続的に工業生産するには、長時間の安定紡糸技術や確実な溶剤処理など、厳しい管理と技術が必要である。

【参考文献】

- ・ フィルター市場の最新動向 (株)CMC
- ・ 大谷吉生, エアフィルターの現状と今後課題, 空気清浄第52巻第2号

6.2.3 除加湿素子（ハニカムロータ）、除加湿膜（中空糸膜）

【技術内容】

除加湿素子を利用する例としては、デシカント除湿空調機がある。吸着材（シリカゲル系、ゼオライト系、稚内層珪質頁岩系、高分子収着材系など）を紙、金属、セラミック等の母材に担持し、それをコルゲートハニカム形状の円盤状ロータやブロックといった素子に加工されて搭載する。吸着剤は空気中の水分をある程度まで吸湿すると、乾燥した温風などで水分を放出させ、再生する。デシカント除湿空調機では、これらの吸湿過程と再生過程が数分毎に行われるよう機械的に工夫がされている。

また、中空糸膜を利用した例としては、ドライヤーがある。中空糸膜の内側と外側に水蒸気圧差を発生させると、この発生した水蒸気圧差をドライビングフォースとして、低い水分濃度の方へ膜を透過し移動する。水分を含んだ空気などの気体を中空糸膜の内側へ供給すると、水蒸気のみが膜の内側から外側へ透過し、乾燥した気体が得られる。

【用途】

デシカント除湿機、加湿機、メンブレンドライヤー、等

【技術的課題】

除加湿性能の向上とともに、装置の小型化・低コスト化が望まれている。

【技術の将来像】

吸着剤の高性能化（低い相対湿度でも吸着能力が高く、低い再生温度で容易に水蒸気を脱着する）や、全熱交換とのハイブリッド化によりシステムとしての高度化が進むと予想される。

【参考文献】

- ・ エクセルギーデザイン共同研究講座，デシカント除湿冷房
(http://www.ed.jrl.eng.osaka-u.ac.jp/taiken_desiccant.html)
- ・ 児玉昭雄，吸着式デシカント除湿・空調の基礎と応用
- ・ A G Cエンジニアリング（株）ウェブサイト，メンブレン式ドライヤー（中空糸膜式）
「サンセップ®」の原理 (<http://www.agec.co.jp/sunsep/genri.htm>)

6.2.4 HEPA、ULPA（ガラス繊維紙、PTFE 膜）

【技術内容】

HEPA フィルターは粒径 $0.3\mu\text{m}$ 粒子の捕集効率が 99.97%以上で圧力損失が 249Pa 以下のもの、ULPA フィルターは粒径 $0.01\mu\text{m}$ 粒子の捕集効率が 99.999%以上で圧力損失が 249Pa 以下のものと定義されている。濾材はガラス繊維紙または PTFE 微多孔膜であり、必要に応じて防カビ、殺菌、などの処理が施される。

【用途】

主に電子デバイス、液晶、薬品、食品、精密機器などの製造を行うクリーンルームや、病院の手術室等病原菌への感染を防ぐ目的で使用されている。

【技術的課題】

半導体や液晶の製造ではパーティクル汚染とケミカル汚染を防ぐために、ケミカルフィルターと HEPA/ULPA フィルターが設置されるが、下流側の HEPA/ULPA フィルターがケミカル汚染の発生源となる場合があるため、フィルター構成部材に含まれる有害物質をできる限り削減する必要がある。また、高温環境等の特殊な使用条件に適応したタイプや、焼却減容可能なフィルターも求められている。

【技術の将来像】

アウトガス対策や環境対策（リユース、リサイクル、易廃棄対応）の要求に応えながら、さらなる高性能化（低圧損・高捕集効率化）が進むと予想される。

【参考文献】

- ・ フィルター市場の最新動向 （株）CMC
- ・ 龍澤清一，空気清浄機の用途と実例 HEPA フィルタ，空気清浄第 4 7 巻第 4 号

6.2.5 電気式集塵（コロナ放電式、イオナイザー式）

【技術内容】

流路に設置した放電電極に高電圧を印加（通常は負の DC 電圧）することにより、針電極先端にコロナ放電を発生させる。気流に乗って流れる粉じん粒子はコロナ放電から放出された負イオンによって負に帯電し、帯電された粒子はクーロン力によって対向電極（通常アース電位）に捕集される。粒子の帯電と捕集を同時に行う 1 段式集塵方式と、前段で帯電して後段で捕集する 2 段式集塵方式がある。また荷電方式として、直流方式、交流方式、パルス方式がある。

【用途】

電気集塵方式はバグフィルター方式とともに集塵効率が高く、圧力損失が小さく、大

容量化も可能であるため、工業用から家庭空調用まで幅広い対象の集塵用途に使用される。特に、ガス流量の大きな対象や圧力損失が問題となる対象で使用される。微粒子集塵にも適しているが、爆発性ガスや可燃性粒子には適していない。

【技術的課題、将来像】

一般に電位集塵の効率は 90%と良いが、電気抵抗率が高い粒子の集塵では逆電離現象により、低い粒子の集塵ではジャンピング現象により効率が低下する。前者はパルス印加方式、高温条件や低々温条件の採用や低抵抗率添加剤の注入、後者は湿式方式や付着性を増加させる添加剤の採用等、工夫がなされている。

将来的には、高速・大容量化、システム化・パッケージ化が必要となっている。

6.2.6 サイクロン集塵

【技術内容】

粉じん粒子を含んだ気流を、下部に行くほど径が小さくなる渦巻き円筒に導入して螺旋状に降下させ、下部で反転後上昇し、中心にある内円筒から排出させる。気流中の粒子は遠心力により管の内壁に分離され、下方にある捕集箱に落下、捕集される。サイクロン方式には、接線流入式、全円周渦巻き流入式、軸流反転式がある。また、大流量に対応させるためにスケールアップする場合は、集塵効率が低下するため、小型サイクロンを並列に並べたマルチサイクロン方式が採用される。数ミクロンメートルまでの粉じん粒子の集塵に用いられ、粉じん濃度が増加するにつれて圧力損失は減少する。

【用途】

集塵対象となる粒子が数 μm と大きいため、単独で用いられることはほとんど無く、主に、精密集塵装置の前段集塵装置として用いられる。稼動部がないため、高圧、高粉じん濃度条件で、また装置材料を選べば 1000 $^{\circ}\text{C}$ 程度の高温集塵装置として用いられる。

【技術的課題、将来像】

集塵性能をさらに向上させる試みとして、粉じんの再飛散を防止するブローダウン方式やクリーンエア導入方式が検討されている。また、気流シミュレーションや粒子挙動シミュレーションにより、サイクロンの性能評価や最適形状の探索が行われている。

また、長寿命化や高効率化による大気中微粒子の濃縮や、気体電離を用いた超低圧損捕集（メンテレス、再利用）への技術展開も期待されている。

6.2.7 湿式集塵、スクラバー

【技術内容】

液滴や液膜などの液体を捕集媒体として、ガス状物質や粒子を捕集する装置。捕集対象を含むガスと液体との接触方法により分類され、装置内に貯められた液体に排ガスを接触させる貯水形、排ガス中に加圧した液体を噴射する加圧水形、装置内に充填材を配置し、充填材表面の液膜にガスを接触させる充填塔形、ファンの回転により供給液とガスを攪拌する強制回転形などがある。

【用途】

捕集媒体の液体を常に供給することで、連続的に多量のガスを処理する場合に用いられる。数 μm 程度までの比較的大きな粒子はどの構造のものでも集じん可能であるが、加圧水形の一つであるベンチュリスクラバーは、湿式集塵装置の中でも最も性能が高く、 $0.1\mu\text{m}$ の粒子の分離も可能である。一方、気体から粒子捕集の後、捕集液体と粒子の分離などの排水処理が必要で水処理や工業用水の準備が可能な環境が要求される。

【技術的課題、将来像】

湿式集塵では多くの場合、粒子は液滴によって捕集されるが、粒子も液滴もそれぞれ運動しており粒子径ごとに捕集に最適な液滴径も存在する。捕集効率の向上には、液滴の粒子への作用を的確にコントロールする必要がある。さらに適用範囲を広げるためには圧損を低減させ装置の小型化が求められる。

6.2.8 海塩対応フィルター

【技術内容】

海塩粒子は波しぶきや海面に生じる気泡の破裂によって発生するといわれている。

このうち気泡の破裂により発生した粒子の多くは小さく軽いため、大気中に浮遊しやすいので、室内塩害の主な原因となる。海塩対応エアフィルターは微小な海塩粒子を高捕集効率で除去するとともに、撥水性を有する濾材を使用することで、捕集した海塩粒子が潮解しても圧力損失の上昇が少なく、また下流側に流出しにくいようにしている。また潮解自体を抑制するため、吸湿剤等を濾材に配合する場合もある。

【用途】

ビル空調フィルター、住宅換気用フィルター、等

6.2.9 植栽・緑化

【技術内容】

木本、草本等を用い、建物や街区周辺に、園芸や街路樹、屋上緑化・壁面緑化など、人工的な環境に植物を植えることである。別に、自然の森の創生や生態系の回復など、開発で失われた裸地を再び緑で覆い、失われた自然を取り戻すことである。もう一つは、砂漠の緑化など、元来植物が生育していなかった場所に、様々な工夫をして植物が生育できる環境を創製することである。

【用途】

植物が生育するようになれば、地表面や建物の温度上昇が抑えられ、二酸化酸素の吸収ばかりでなく、硫酸化物や窒素酸化物をはじめとする様々な化学物質の吸収・分解の効果が期待される。山崩れや法面保護など土木面でのメリットも多い。

【技術的課題】

医薬品工場や食品工場への昆虫の侵入被害や蚊などによる感染症の拡大など、緑化された植物からの昆虫被害に対する対策が必要である。もともと植物が育っていなかった場所へ植栽・緑化には、水の補給法の確保や地表面の安定、その場に適する植物の選定が重要である。さらに、屋上緑化や壁面緑化の場合、建物への荷重を低減させるため

の軽量土壌の検討が必要である。また、緑化には他の生物を含む生態系への影響があるので、この点の配慮も必要である。

【技術の将来像】

次世代の都市づくりでは、二酸化炭素排出量の低減や憩い・安らぎ空間創製や自然（生態系）の再生のため、緑化・植栽は益々重要となると考えられる。さらに、「緑」による大気汚染対策の効果も期待されるであろう。

【参考文献】

- ・丸田頼一（1994） 都市緑化計画論、丸善

6.2.10 親水空間

【技術内容】

高密度・人工化・ヒートアイランドが進む現代の都市環境にあって、水環境を保全し、良好な水辺空間を形成することは重要である。河川、海岸や公園において、水循環保全、水量水質の改善、親水性の向上、水辺の自然再生などを通して、人々が水に親しみ楽しめる総合的な水辺・親水空間である。最近では、ドライミストなど新しい水環境空間の創製も始まっている。

【用途】

人へのリラックス効果や水辺空間の自然（生態系）の回復の他、空気中の有害物質の水への溶解・分解を通じて、大気汚染防止に繋がっている。

【技術的課題】

河川、海岸の利水・治水効果や波による浸食防止の効果を維持しつつ、人に親しみやすい空間づくりのためには、最新の土木技術の活用・開発とコンクリート前の過去の土木技術の活用が重要である。また、公園など人と身近な水空間では、水質の悪化によるレジオネラ属菌による感染症や蚊などによる虫害の防止が重要である。

【技術の将来像】

次世代の都市づくりでは、憩いや安らぎ空間創製や自然（生態系）の再生のため、親水空間は益々重要になり、「親水」による大気汚染の効果も期待されるであろう。

【参考文献】

- ・畔柳昭雄、渡邊秀俊（2000）都市の水辺と人間行動、共立出版

6.2.11 吸着剤（活性炭、ゼオライト）、吸着フィルター

【技術内容】

高い比表面積を持つ多孔質媒体（吸着剤）は気体成分を表面に物理、化学的に吸着する。吸着剤は活性炭、シリカゲル、活性アルミナ、ゼオライト、メソポーラスシリカが代表的である。吸着能は平衡吸着量と吸着速度で記述され、0.1～0.5g/g程度の平衡吸着量（吸着剤重量当たりの被吸着物質の重量）をとる。飽和吸着で吸着が止まるため、物理吸着では、温度・圧力を変化させ脱着し、吸着能を回復する。一方、化学吸着を脱着することは難しい。吸着剤の極性・細孔径の制御により特定ガスを選択的に吸着できる。吸着は

発熱反応であり、脱着は吸熱反応であり、低温で吸着は有利になる。

【用途】

気中の微量有害・臭気成分の除去(脱臭フィルター、マスク)、ガス精製(大気からのPSA (Pressure Swing Adsorption) 酸素発生、極低濃度ガスの濃縮分析)、ガス貯蔵、調湿材・装置、大気放出物質の回収・再利用、触媒と吸着剤と共担持による吸着濃縮分解、吸着熱を利用した熱源・蓄熱材・ヒートポンプ

【技術的課題】

混在物質により競合吸着・被毒が生じ、吸着能が低下する。脱着エネルギーが大きいと再生のためのコストが高い。

【技術の将来像】

低温脱着と吸着量の増大が実現され、処理コスト低減が適用先の拡大をもたらす。

6.2.1.2 マスキング (香料等)

【技術内容】

臭気を良い香気成分で包み込む方法であり、悪臭を芳香力の強い良いにおいでカバーする方法である。消臭技術は、感覚的消臭、化学的消臭、物理的消臭に大別されるが、感覚的消臭が広義のマスキングと捉えられている。一般に、次の3種に分類されるが、臭気物質の組み合わせや配合比率により帰属される。

- 1) マスキング：ある悪臭が存在する時に、悪臭より強い香気を使用することにより香気は感じるが、悪臭を弱く、又は感じさせなくする方法。
- 2) 中和・相殺：悪臭に香気を混合した際に、混合臭が生じるが、その混合臭の強さが元の悪臭や香気の強さよりも弱くする方法。
- 3) 変調：複数のにおいを混合することにより質的变化を起こさせ、悪臭に香気を混合することにより、別のにおいに変える方法。ペアリング法とも言われる。

臭気成分の分析方法としては、捕集によるガスクロマトグラフ質量分析、液体クロマトグラフ質量分析等がある。また個人の感覚を対象とする臭気官能評価もある。

【用途】

嗜好品、加工品など食品としての香料、香水・化粧品、トイレタリー用品、消臭剤など化粧品としての香料、口腔製品としての香料、冷感・温感、アロマテラピーなどの機能性香料などが用いられている。

【技術的課題】

マスキング剤・香料はにおい特性を有する化学物質であるため、化学物質としての安全性と、そのにおい特性を利用した用途品自身の安全性を確保する必要がある。マスキング効果には個人差があり、時間軸でのにおい自身の変質、持続性も考慮が必要である。臭気を香気で処置する方法のため、個別臭気が先に存在する必要がある、香気の開発が後追いになる可能性もある。

【技術の将来像】

臭気は複数あり、個人の感覚が異なるため、用途、日時、場所など、個別に活用でき

ることが必要でスプレー、ティッシュ、溶剤等の可搬型・携帯化、据え置き型の製品が検討されている。住宅の壁材など継続的に発生する場合は、連続性が保たれる香気成分を含んだ用途品も進んでいる。マスクングは単独でなく、消臭や脱臭などと組み合わせで用いられる可能性が高い。

【参考文献】

- ・ 川崎通昭、堀内哲嗣郎共著、嗅覚とにおい物質、(公社)におい・かおり環境協会(2011)。

6.2.13 オイルミストコレクタ、遠心衝突分離

【技術内容】

製造現場から排気中に含まれるオイルミストを除去するための設備である。粒径分布を持つミストに対して、5 μ m以上の対象は、たとえばメッシュ、多孔質体、ウールの通過時の物理的な衝突により捕集・凝集してドレンとなる。5 μ m以上の対象は電気集塵により捕捉極にてドレン化する。

大粒径のミスト粒子が大量に発生する条件では、回転ディスクにより遠心方向の慣性力を与えて壁面衝突により捕集する遠心分離方式により捕集が行われる。吸引されたミストは捕集板へ数十 m/sec の高速での衝突により凝集する。

【用途】

機械加工時の油煙対策、湿式ガス処理での洗浄後ミスト対策、キッチン用レンジフード、洗浄装置の排気処理、塗装排気処理、機械油を含んだ製品の解体施設

【技術的課題】

電気集塵式の場合、定期的な電極洗浄が必要。フィルターにオイルが蓄積されるので圧力損失が上昇し、大きいファン動力が必要。遠心式の場合、圧力損失は低い。

【技術の将来像】

装置の低コスト化やメンテナンス性向上が技術開発の鍵となる。電気集塵式は自動清掃機構の導入によるメンテナンス軽減、遠心分離式はフィルター不要化があげられる。

【参考文献】

- ・ ミドリ安全エア・クオリティ（株）ウェブサイト
(<http://www.midori-maq.com/?p=1189>)
- ・ アmano（株）ウェブサイト
(http://www.amano.co.jp/info_event/20131015_444.html)

6.2.14 脱臭エアフィルター（AC、ACF、ゼオライト、IER等）

【技術内容】

脱臭フィルターの脱臭剤としては、物理吸着作用を有する多孔質体として、活性炭（AC）、活性炭素繊維（ACF）、ゼオライト等が主に利用されている。除去対象ガスが明確で、かつ化学反応が利用できる場合は、さらに脱臭性能を高めるため、薬品添着活性炭やイオン交換樹脂（IER）を複合する場合もある。

【用途】

電子デバイスや医薬品の製造を行うクリーンルームの分子状有害物質対策から、自動車排ガス、調理、ペット、タバコ、介護などの場面で問題となる臭気対策まで、幅広い分野で使用されている。

【技術的課題】

活性炭等の物理吸着作用を有する吸着剤は、大きな細孔内表面積を有しておりファンデルワールス力では有機ガスを非選択的に素早く吸着する。しかし、長期間の使用で吸着飽和に至ると、使用環境の温度や湿度の変化で吸着成分の再放出現象が生じ、脱臭フィルター自身から悪臭が発生する場合がある。集塵フィルターに比べて脱臭フィルターの寿命は短く維持コストが高いことや、ユーザーが交換時期を判断するのが難しいこと等が普及を妨げる一つの理由となっている。

【技術の将来像】

化学薬品や触媒を複合することで、脱臭性能の高性能長寿命化をさらに進めるとともに、使用済み脱臭フィルターの再生利用など、ランニングコストや環境影響に配慮した製品の開発が望まれる。

【参考文献】

- ・ フィルター市場の最新動向 (株)CMC
- ・ 今野貴博, 脱臭フィルターの技術動向, 空気清浄第52巻第2号

6.2.15 バグフィルター (PET、PTFE、PPS、メタアラミド)

【技術内容】

バグフィルターとは燃焼後の排出ガスを濾過するフィルターである。高温で使用され、様々な成分(酸、アルカリ等)が含まれている排出ガスを濾過するため、高い耐熱性・耐薬品性が要求される。濾材は、要求される耐熱性・耐薬品性のレベルに応じてPTFE(四フッ化エチレン)、PPS(ポリフェニレンサルファイド)、メタアラミド、ガラス、PET等から素材を選択し、フェルトや織布状に加工した後、円筒形に縫製し使用される。バグフィルター表面に濾過物質が堆積し圧力損失が上昇したら、圧縮空気を噴射して堆積物質を払い落とし、集塵機の底部から回収する。

【用途】

都市ごみ焼却場、産廃(焼却や溶融分解)処理場、製鉄工場、製紙工場、火葬場、石炭火力発電所などの排気用フィルター。

【技術的課題】

低圧損高捕集効率化、ダスト払い落とし性向上、耐久性向上、ガス状有害物質の分解除去等が課題として考えられる。

【技術の将来像】

極細繊維や異形断面繊維の複合などの濾布としての高性能化が進むことが予想されるとともに、触媒等の担持によりガス状の有害物質の分解等の高機能化も期待される。

【参考文献】

- ・ フィルター市場の最新動向 (株)CMC

6.2.16 ケミカルフィルター（AC、ACF、IER等）

【技術内容】

半導体クリーンルームでは、微小パーティクルに加え、ガス状有害物質がデバイスの歩留まりに大きく影響する。ガス状有害物質と見なされるケミカル成分は、酸性ガス、塩基性ガス、凝縮性有機物質、ドーパント、金属、低沸点有機物質の6種類に分類されており、製造工程により除去すべき対象物質が異なる。このガス状有害物質の対策としてケミカルフィルターを利用した空気浄化が行われている。

ケミカルフィルターは外気導入系、空気循環系、各種製造装置に使用されており、活性炭（AC）、活性炭素繊維（ACF）、イオン交換樹脂（IER）等の材料を除去対象ガスに応じて使い分けている。フィルター形態はガスとの接触効率を高めるため、プリーツ状やハニカム状に成型されるが、フィルター自身が汚染成分の発生源とならないよう、その構成材料は徹底した低アウトガス化が図られている。

【用途】

半導体デバイスやFPD等を製造するクリーンルームなどのガス状有害物質除去。

【技術的課題】

除去精度の向上。寿命予測（余命診断）。長寿命化や再生利用等によるランニングコスト低減。

【技術の将来像】

活性炭の物理吸着容量には限界があり、特に有機ガス用ケミカルフィルターの交換頻度が高く、ランニングコストの負担が大きい。超臨界CO₂による洗浄再生技術等も開発が進んでおり、再生利用や再生システムの複合が期待される。

【参考文献】

- ・ フィルター市場の最新動向 （株）CMC

6.2.17 光触媒

【技術内容】

光触媒粒子に光が照射されると、正孔と電子が形成され、空気中の水分子からラジカルを生成、このラジカルが周囲の物質を酸化分解する。触媒であるため、触媒粒子そのものは変化せず、分解効果の持久性は高い特徴を持つ。代表的な材料にTiO₂が挙げられるが、TiO₂が触媒効果を発揮するには380nm以下の紫外線の照射が必要となる。このため、紫外線ランプや放電で生じる紫外線と組合せた触媒モジュールが実用化されている。また、可視光域でも触媒効果を発揮するために、TiO₂に他の金属、金属酸化物の担持や、N₂をドーピングする方法、WO₃を用いた触媒も実用化されている。

【用途】

光触媒の原理が有機物の酸化分解反応であるため、主な用途は化学物質の分解や微生物の構造破壊となる。具体的には、臭気、煙草臭、VOC(Volatile Organic Compounds)ガスなどの分解による減臭化、細菌やウイルスの増殖の抑制となる。光触媒は分解対象

成分が触媒表面近傍に浮遊することが必要となるので、空気清浄機のように強制的に循環する方法の他、壁やカーテンなどに施工し接触させる方法がある。

【技術的課題】

光触媒の分解効率は決して高いとは言えないが、効果の持久性は期待できる。より一層の分解効率向上については、屋内等紫外線のない場所でも使用できる様、吸収波長の長波長化に対する課題、分解効率そのものを大きくするための課題がある。具体的には、触媒母材粒子の結晶性向上やナノ粒子化、他材料の担持が検討されている。

【技術の将来像】

触媒であることの特徴から、パッシブ型ではあるが、そこにある限り効果が持続する。このため、大掛かりなシステムや家電機器の形態でなくても空気の清浄化が可能である。触媒としての効率の向上を進められれば、特に、病院や介護施設等、生物学的や化学的要素の課題が占める割合が高い分野に対し、低コストな方法として期待できる。

また、アクティブ型の技術との複合化や革新的触媒技術の実用化による高性能化に加え、コストダウンや適用先の拡大としての展開も考えられる。

6.2.18 アルカリ、アルコール、過酸化水素、電解水

【技術内容】

過酸化水素、また食塩水を電気分解することで生成される次亜塩素酸を含む電解水を空間に散布することにより、菌やウイルス、アレルギーなどの様々な室内浮遊物質に対して作用する。また消毒用としてアルコールが度々用いられる。

【用途】

学校や保育施設などの教育現場、病院の待合室などの医療現場、そして多くの人々が利用するコミュニティ施設等で利用が求められる。

【技術的課題】

過酸化水素水は生成法として電気分解が知られているが、低濃度の過酸化水素しか作れなかった。現在では高濃度の過酸化水素水生成法が研究されている。

【技術の将来像】

元々は水の浄化に限られていた技術であったが、空気浄化まで適用範囲を広められている。更なる研究が進められている。

【参考文献】

- ・ 過酸化水素ガスによる環境殺菌技術とその利用 食品と容器 2013 Vol. 54 No. 7
- ・ 蒸気化過酸化水素による病室内環境表面殺菌
Journal of Healthcare-associated Infection (2010), 2, 15-18
- ・ 霧状電解水を用いた空気浄化技術 Harmonious Society 特集

6.2.19 UV（紫外線）

【技術内容】

UV は、波長が 10~400nm で可視光や赤外線より波長が短くエネルギーが大きい電磁波

のため、分子を解離させ化学反応を誘起したり、原子や分子を電離したり、一部の内殻電子を励起させたりする特徴がある。更に UV の分類法としては、波長 400~200nm の近紫外線、波長 200~10nm の真空紫外線に分けられ、近紫外線をさらに UVA (400~315 nm)、UVB (315~280nm)、UVC (280 nm 未満) に分けることもある。太陽光の中には、UVA、UVB、UVC の波長の紫外線が含まれているが、波長の短い UVC は、物質による吸収が著しく、通常は大気を通過することができず、地表に到達する紫外線の 99%が UVA である。

【用途】

UV の用途としては主に波長 365nm を用いるレジストの露光、印刷インク・接着剤の硬化や 254nm を用いる殺菌、医療等や 185nm を用いる表面改質、オゾン発生であり、光源には各種水銀ランプ、メタルハイドランプ、エキシマランプなどが用いられる。

空気浄化の観点では、細菌の DNA の紫外線吸収スペクトルのピークが 265nm であることから、254nm 波長を光源とする低圧水銀ランプが殺菌用途として広く用いられている。

【技術的課題】

UV 光源として広く用いられている水銀ランプは、水銀を含んでおり環境あるいは人体に悪影響を与えるため国連の水銀条約（水俣条約）により 2020 年に使用禁止の見込みである。また、UV は物質による吸収が著しくため石英ガラス等 UV の吸収のすくないカバーや基板を用いる必要がありこの点も今後の課題と言える。

【技術の将来像】

現在、水銀ランプに代わる光源として水銀レスの UV-LED の開発がされており、高効率化、高出力化、大面積化、低コスト化等の課題を抱えているが、高品質な窒化アルミニウム（AlN）形成技術等の進化によりさらなる高性能化が進められている。

【参考文献】

- ・ 表面処理技術ハンドブック（2000）（株）エヌ・ティー・エス
- ・ 水銀に関する水俣条約について（2013）経済産業省 化学物質政策小委員会資料 2-4
- ・ ユーヴィクス株式会社 ウェブサイト
(<http://www.u-vix.com/appendix/UV/appendix03.html>)

6.2.20 プラズマ、放電処理

【技術内容】

空気質の制御に用いられるプラズマは、実用化においては常圧、常温、空気下で発生させる。脱臭効果は、臭気成分を含む空気中での放電処理によって低温プラズマを発生させ、活性分子、ラジカル、オゾンなどを生成してその酸化作用によって臭気を酸化分解する。殺菌効果は、直接的作用では放電空間内に発生する電位差による細胞壁の破壊や電流による細胞質の変性による機能停止等であり、間接的作用では放電によって発生した活性酸素種あるいはオゾンによる酸化作用、放電による紫外線発生での DNA 損傷である。放電方式としては、沿面放電、バリア放電（無声放電）、パックスドベット式放電、パルス放電、キャピラリーチューブ放電等が用いられる。

【用途】

高性能で安定な効果が得られることが特徴であり、他方法では困難だった臭気処理を可能にし、変動する臭気量、複合臭などへの対応がしやすくなり汎用性がある方法である。それによって、各種の嫌悪臭、食品のにおい、芳香臭などに適用でき、廃棄物処理、食品関係、空気清浄機、VOC 処理などに用いられる。また、医療品製造、医療現場、食品業界において殺菌処理に利用されている。

【技術的課題】

プラズマ生成は、空気の温度や湿度、ガス成分の影響を受け、放電状態が不安定になることがある。放電状況によっては NOx が発生することもあり、安定な稼動制御が必要となる。また、放電内でのプラズマ中で処理反応が進行するため、放電空間に成分を含む空気を通過させる必要がある。それに対して、近年では、放電によって生成した活性酸素等により空気成分をイオン化して安定となった（長寿命化した）活性種を空間に放出して脱臭、殺菌などを行う方式が実用化されはじめている。

【技術の将来像】

プラズマ・放電処理はまだ新しい空気質処理技術であり、今後の需要拡大が期待されている。高濃度臭気対応、NOx 発生を防止する安定制御の改良や、触媒あるいは吸着剤との複合化処理による性能向上などが検討されている。活性種の長寿命化や、水中でプラズマ生成による水の改質利用などによって、さらに用途拡大が期待される。合わせて、性能評価法の統一や安全性の検証等を進める必要がある。

【参考文献】

- ・ 「大気圧プラズマ 基礎と応用」、日本学術振興会プラズマ材料科学第 153 委員会編、オーム社 (2009 年)
- ・ 「臭気対策技術」、東レリサーチセンター (2013 年)

6.2.2.1 オゾン

【技術内容】

オゾンはフッ素に次いで強力な酸化剤として働くため、その強い酸化作用を利用して排ガス処理、脱臭、殺菌、ウィルスの不活化、脱色、有機物の除去などの幅広い分野で用いられている。オゾンの発生方法は、バリア放電（無声放電）方式、電気分解方式、紫外線ランプ方式等があり、誘電体を設けた平行電極に電圧をかけるバリア放電方式が工業的用途で最も一般的に用いられている。オゾン発生器で生成し、臭気成分等を含む原ガスに混合して処理を行う装置構成となる。

【用途】

脱臭用途では、においの発生源への直接的な酸化分解によって無臭物質に変化させることで脱臭を行う。殺菌用途では、細菌の細胞壁を直接攻撃して分解し、さらに細胞壁の官能基と反応して細胞内に侵入、酵素などを破壊する。そのため、耐性菌が発生しないという特徴がある。

【技術的課題】

他の方法では困難な臭気にも適用できる脱臭効果や、空気を原料とする経済的効果が

ある。しかし、オゾン自体に、においや毒性があるため、その対策が必要であり多くの工夫が行われている。その排オゾン濃度は、日本では労働作業環境衛生濃度の 0.1ppm 以下になるように設計されている。また、アンモニア、ガソリン臭、塗料臭など比較的効果が少ない対象もあり、使用時の留意が必要である。

【技術の将来像】

処理システムとして余剰オゾン进行处理する技術や、効果が少ないにおいへの対応技術の進展によって、採用される機会が増加傾向にある。また、使用後の残留性を無くせば、微生物制御への応用や、それを利用した機器の開発に展開できる。

【参考文献】

- ・ 「臭気対策技術」、東レリサーチセンター(2013年)

6.2.2.2 促進酸化

【技術内容】

促進酸化とは、過酸化水素とオゾン、過酸化水素と光触媒、オゾンと光触媒、紫外線と過酸化水素、紫外線とオゾンなど、酸化処理を併用することにより、酸化力の強い OH ラジカルを効率よく発生させる手法である。このラジカルにより殺菌や脱臭効果を上げることができる。

また、紫外線、光触媒、オゾンの複合処理や、鉄イオンと過酸化水素を併用したフェントン反応による VOC 除去技術の開発も進められている。

【用途】

オフィスビル、研究施設、生産施設などの空気清浄装置として適用できる。さらに、NBC(Nuclear Biological Chemical)などの除染対策機器としても有効に利用できる。

【技術的課題】

効果的に OH ラジカルを生成する手法、VOC などの汚染ガスと OH ラジカルの接触確率を高める装置の開発が必要である。

【技術の将来像】

VOC ガス処理では、完全分解による無害化技術が求められており、その一つの手法として促進酸化処理技術が有望である。また、殺菌、脱臭、さらには除染対策にも促進酸化技術が応用されつつあり、更に効率の良い OH ラジカル発生手法の開発が期待される。

【参考文献】

- ・ Sekiguchi K (2012) J. Jpn. Soc. Atmos. Environ. 47:137-144.

6.2.2.3 加熱、水蒸気

【技術内容】

適当な温度および圧力の飽和水蒸気中で加熱することによって微生物を殺滅する。

【用途】

加熱、焼成、焙煎、炭化、殺菌等の広範囲な用途において、過熱水蒸気特有のメリットが、食品業界、医療業界、環境機器メーカー等で注目されている。

【技術的課題】

空間が限定される。人間の行動空間での使用は不可。

【技術の将来像】

無酸素状態で乾燥、焼成が出来る為、炭化やごみ処理用として使用する場合、ダイオキシンの発生を抑えることができ、研究が進められている。

【参考文献】

- ・ 四日市電機株式会社ウェブサイト
(<http://www.yotsuden.co.jp/topics/kanetsujoki.html>)

6.2.24 脱硝、脱硫

【技術内容】

脱硝、脱硫は、排気ガス中の窒素酸化物 (NO_x) や硫黄酸化物 (SO_x) を除去する技術である。脱硝では、アンモニア等を還元剤とする選択的触媒還元法 (SCR) と三元触媒による除去法が用いられる。脱硫は、湿式法と乾式法に分類され、それぞれアルカリ溶液、石灰スラリーや活性炭が用いられる。

【用途】

固定発生源および移動発生源排ガスからの NO_x、SO_x 除去に用いられる。

【技術的課題】

固定発生源からの NO_x、SO_x 除去は成熟した技術であるが、代表的な固定発生源である石炭火力発電所での課題は、脱硝触媒の劣化防止や低温作動による効率向上である。自動車の三元触媒では、白金使用量の低減、耐久性の向上が課題として挙げられる。

【技術の将来像】

固定発生源向けの脱硝では、SCR 触媒の低温作動化による省エネルギー化が進むと考えられる。また、三元触媒では、将来的に、貴金属を全く使用しない貴金属フリー触媒の実用化が進む。

また、NO_x、SO_x は新興国では除去技術が普及していないため国内の大気汚染だけでなく、汚染の越境問題が顕在化している。そのため、安価な除去技術の開発と新興国への技術支援が望まれる。

【参考文献】

- ・ 自動車排出ガス触媒の現状と将来、科学技術動向 (2010) 12

6.2.25 土壌浄化 (土壌通気・EPA 等)

【技術内容】

都市部における大気汚染は自動車などから排出される窒素酸化物 (NO_x) や浮遊粒子状物質 (SPM) に関する環境基準値がなかなか達成されず、種々の対策が急務となっている。土壌には無数の微生物が生息しており、窒素酸化物 (NO、NO₂、NO_x)、浮遊粒子状物質 (SPM)、二酸化硫黄 (SO₂)、一酸化炭素 (CO)、ベンゼンなどで汚染された空気を土壌に送り込むと、土壌粒子表面における吸着や土壌中の水分による溶解、土壌微生物の代謝作用によ

る吸収や分解が行われ、浄化された後に大気中に排出される。化学薬品の使用や処理廃棄物の発生がなく、エネルギー消費も少ない。

【用途】

汚染大気を土壌層に通過させ、土壌の浄化作用により有害物質を無害化する。他の低濃度脱硝技術とは異なり化学薬品の使用や処理廃棄物の発生がなく、他の大気汚染物質を同時に除去でき、長期間の運転においても性能の低下が生じない等の特徴がある。

【技術的課題】

多量の汚染ガスや高濃度のガスを土壌に送り込むと、土壌菌の弱体化や死滅する可能性があり、土壌浄化能の低下や消滅の懸念がある。したがって、多量の汚染ガスを浄化するためには、広大な処理面積が必要となり、ブローなど適切な設備面の検討が必要となる。土壌層には植栽が必要で、その樹種などは適用場所の状況に応じて適切な計画・設計が必要である。また、処理する汚染ガスの種類によって、土壌菌の微生物相が変化するようになり、周囲の土壌の生態系を変える可能性もあるので留意が必要である。

【技術の将来像】

都市部、特に幹線道路沿道における大気汚染や駐車場などの排気ガス処理への適用が期待されている。

【参考文献】

- ・ 一般財団法人 国土技術研究センターウェブサイト (2014) :
(http://www.jice.or.jp/kaihatsusho/200008310/kaihatsusho_2_110.html)
- ・ 社団法人 地盤工学会 (2002) 土壌・地下水汚染の調査・予測・対策、報光社

6.2.26 CO₂固定化

【技術内容】

従来行われていた排出量の抑制による地球温暖化対策だけでなく排出された CO₂ を人為的に固定化するための技術で、CO₂ 固定化分野の中でも CO₂ 回収・貯留技術 (CCS : Carbon Dioxide Capture and Storage) として、分離・回収、地中貯留、海洋隔離の技術が、温暖化緩和策のキーテクノロジーの1つとして期待されている。

【用途】

発電所や工場などの施設において排出される CO₂ の分離・回収技術には化学吸収法、物理吸収法、膜分離法などがあるがアルカリ性溶液を吸収液として利用し、二酸化炭素を化学反応によって吸収させ、その吸収液を加熱することにより、二酸化炭素を放出させて回収する化学吸収法がプラント用途で実用化されつつある。地中貯留は、地下深部塩水層（帯水層）貯留、濁油・ガス層貯留等があり地層中に CO₂ を圧入する技術で、海洋隔離は中深層に液体 CO₂ を放出し、希釈溶解させる方法や深度 3000m 以深の深海底に海水との界面にハイドレートを形成させて液体 CO₂ を貯留する方法が研究されている。

【技術的課題】

これらの技術の実現には、長期間の安定貯蔵性や投入するコストやエネルギーの削減、環境への影響、安全性の評価、社会的受容の形成等の信頼醸成といった、総合的な取り組みが

不可欠である。

【技術の将来像】

CO₂固定化は賛否両論ある技術ではあるが、CO₂からメタノールを製造する技術の実証実験なども進められており、それらが実現するまでの間、経済成長と環境保全を現段階で両立させる方策として重要な選択肢になると考えられる。

【参考文献】

- ・ CO₂固定化・有効利用分野の技術マップ 技術戦略マップ 2006 経済産業省
- ・ CO₂固定化・有効利用分野 技術戦略マップ 2009 NEDO

6.2.27 抗菌・防カビ・抗ウィルス機能材、抗アレルギー、抗アレルギー機能材、殺虫剤、電気殺虫器

【技術内容】

抗菌・防カビ剤は、銀、銅、亜鉛等の金属イオンをゼオライト等の化合物に担持させた金属イオン系抗菌材が知られる。金属イオンが細菌、カビ、ウィルスの細胞内部に入り込むことでSH基と反応して殺菌作用を有する。また抗アレルギー剤として上記ゼオライトの他に、タンニン酸などの有機系物質が知られている。その他に虫類には殺虫剤や電気ショックにより捕虫する電気殺虫器などがある。

【用途】

抗菌・防カビ・抗ウィルス機能材、抗アレルギー・抗アレルギー機能材は空気清浄機用のフィルター類やプラスチックで使用され、カーペットなどの繊維にも応用が可能である。電機殺虫器は商用施設の入口等で使用されている。

【技術的課題】

抗菌材等は担持させた材料が水分、油分、溶剤によって流れ出した場合、性能が低下するといった課題がある。電機殺虫器は虫類との接触時に生じる放電音が問題である。

【技術の将来像】

抗菌スペクトルが広く、着色性、耐水性、加工性、安全性の向上した機能材の開発が求められる。

【参考文献】

- ・ よくわかる最新抗菌と殺菌の基本と仕組み 秀和システム
- ・ 東亜合成グループ研究年報 TREND 2009 第12号

6.2.28 加湿

【技術内容】

空气中でウィルスが繁殖するのに適当な湿度は20%前後であり、病原菌ウィルスは乾燥を好む。室内の相対湿度を50%以上に保つことでインフルエンザウィルスの生存率が急激に低下するといわれている。また花粉に対しても有効。

【用途】

冬場などの乾燥し易い時期に加湿を行うことで、インフルエンザなどの病気対策とし

て使用される。

【技術的課題】

湿度が高くなるとカビの発生や結露の原因となるため、適切な湿度に調節することが重要である。長く使用した加湿器からは細菌やカビなどの微生物が放出される可能性があり、加湿器病を発症する恐れがある。

【技術の将来像】

ウィルスの抑制だけでなく、加湿・除湿で湿度制御を行うことで浮遊粒子状物質の抑制も検討されている。

【参考文献】

- ・ 加湿.net ウェブサイト
(<http://xn--yfro26d.net/faq/>)

6.2.29 廃棄処理装置（バイオハザード）

【技術内容・用途】

バイオハザード対象の殆どが、感染性（医療系）廃棄物であり、病院、衛生検査所、介護老人保健施設、動物の診療施設、国又は地方公共団体の試験研究機関や大学及びその附属試験研究機関では適切な保管しかできず、これらの廃棄物は行政が認定した専門の処理業者のみ処理できる。処理方法として、焼却設備、熔融設備、高圧蒸気滅菌装置又は乾熱滅菌装置や対象物に適した消毒法などがある。

【技術の将来像と課題】

今後は、再生医療などの医学の進歩による医療系廃棄物の増加やパンデミックの勃発による感染性廃棄物の増大に対する処理方法に留意する必要がある。

【参考文献】

- ・ 環境省ウェブサイト 廃棄物処理法に基づく感染性廃棄物マニュアル（2014）：
(<https://www.env.go.jp/recycle/misc/kansen-manual.pdf>)

6.2.30 エコプラント（将来像）

【技術内容】

空気中の有害物質を葉の気孔から取り込む。有害物質の30%は葉で吸収され、残りの70%は根に運ばれた後、微生物により吸収分解される。NASAでは、浄化能力に優れた植物50種を「エコプラント」と名付けている。代表例としてサンセベリアが挙げられる。

【用途】

宇宙での完全密閉空間で生命維持システムの一部として利用が求められるが、地球上の一般空間においても利用が期待される。50種の中から様々な植物を選定することができ、観葉目的としても使用も可能。

【技術的課題】

一人に対し数本の植物が必要であり、設置場所や飼育の手間が課題として挙げられる。

【参考文献】

- ・ 株式会社竹中庭園緑化ウェブサイト
(<http://www.ecologygarden.jp/ecoplant.html>)

6.2.3.1 超微小粒子の集塵技術（将来像）

【粒子径と健康への影響】

大気中に含まれる粒子状物質（Particulate Matter、PM）のうち、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子は肺胞など気道の奥に侵入・付着し人の健康への影響が大きいと考えられ、微小粒子状物質 PM_{2.5} と区別されるようになったが、それよりもさらに粒径が小さくなると、肺胞への沈着率はさらに増加し、 $10\sim 20\text{nm}$ で最も高くなる。粒子状物質が体内に入っても直接的に健康被害に繋がるかは、まだ十分に研究が進んでいないが、リスクが増加するのは確かであり、超微小粒子の分離・捕集技術は今後一層重要になってくる。

【集塵方法】

一般に電気集塵装置の集塵率は 90%以上と高いが、粒径に対する荷電粒子の加速度、荷電数の関係から、粒子径 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ の範囲で集塵率が最小となる。また、フィルター集塵においても、ULPA フィルターなど多くのフィルターで粒子径が数 $\sim 100\text{nm}$ の範囲では粒子径の増加につれて通過率が増加する傾向がある。一方、フィルターの目も非常に細くなり、圧力損失が著しくなるという問題もある。即ち、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の粒子は現状最も集塵しにくい粒子であり、これを解決する改善や他の手法が必要とされている。

6.2.3.2 人工土壌（将来像）

【技術内容】

人工土壌（多孔質セラミック、吸着剤）に植物を植え、ファンにより鉢内に室内空気を吸引し、高性能吸着剤で有害物質を吸着除去し、室内の空気を浄化する。有害物質は植物の根のまわりに共存している微生物により分解される。

【用途】

VOC が存在する室内空間で使用が可能。

【技術的課題】

構造が大掛かりである為、設置場所等の問題がある。

【技術の将来像】

植物由来の空気清浄装置である為、癒し効果も含め、効果が期待される。

【参考文献】

- ・ 株式会社アクトリーウェブサイト
(<http://www.actree.co.jp/plant/products/ecoplanter/>)

6.2.3.3 湿度コントロールによる浮遊粒子除去（将来像）

【技術内容】

除加湿により湿度操作を行い、核凝縮を生じさせることでナノサイズの浮遊粒子状物質がサブミクロンサイズまで成長させる。成長した浮遊粒子状物質を拡散沈着や重力沈

降によって除去する。

【用途】

電気集塵が使用できない高湿度空気や爆発性気体、可燃性粒子などの気体の除去方法として、利用が求められる。また一般家庭での利用も可能。

【技術的課題】

除去機構の更なる解明と除去効率の向上が課題である。

【技術の将来像】

空気清浄機と組み合わせることにより省エネルギー化が可能となる。

【参考文献】

- ・湿度操作空気清浄法による浮遊粒子状物質の除去特性 (Thermal Science & Engineering Vol.22 No.1 (2014))

6.2.3.4 超精密濾過フィルター (将来像)

【技術内容・課題】

エアフィルターでは様々な捕集機構が粒子に働き、粒子は捕集される。その主なものが、機械的捕集機構と呼ばれるものであり、慣性、拡散、遮り、重力があり、捕集性能はこれらの総和として発現する。慣性、遮り、重力は粒径が大きいほど、拡散は粒径が小さいほど有効に作用するため、フィルターの捕集効率はある粒径 (0.1~0.3 μm) で最小値を持つことが知られている。しかし、ナノ粒子のフィルター捕集効率が今後の課題となる可能性が出てきている。粒径が小さくなるほどブラウン拡散が有効な捕集機構として働くため、機械的捕集効率は高くなるとの予想だったが、粒径が数 nm 以下になるとガス分子と同様に繊維表面で粒子が跳ね返り、捕集効率が低下する懸念が出てきている。

現時点の技術では、サブ 10nm 粒子のフィルター捕集効率の測定は、試験用エアロゾルの発生とナノ粒子の計測の両面の難度が高いため困難であるが、これらの発展とともにナノ粒子除去のニーズが発生する可能性がある。

【参考文献】

- ・大谷吉生, エアフィルタの現状と今後の課題, 空気清浄第52巻第2号

6.2.3.5 封じ込め (ケミカルハザード) (将来像)

【技術内容】

粉じんの発生する可能性がある医薬品の製造現場では、アイソレータ等の封じ込め機器の中で粉体を取り扱うことにより、作業者が曝露しないようにする。アイソレータには、グローブおよび HEPA フィルターが取り付けられ、ハザード物質を取扱う場合は陰圧下で使用される。さらに、アイソレータを設置している部屋自体にも、HEPA フィルターを設置し、部屋内部を陰圧にすることにより、室外に漏れないようにする。

【用途】

高活性医薬品の製造プラントに適用できる。

【技術的課題】

封じ込め性能が高い設備ほどコストが高くなるのが現状である。また、グローブ越しの操作となるため、操作性に課題がある。

【技術の将来像】

今後、医薬品の製造現場では、グローバルで最新のより高度な製造環境が求められるため、封じ込め技術が益々必要になってくると考えられる。そのため、封じ込め設備の、操作性・洗浄性・保守しやすさ等を向上させることが求められる。また、ハザードレベルに適合し、個々の動作に見合った設備を導入していくことが必要である。

6.2.3.6 粒子重点層フィルター（将来像）

【技術内容】

含塵ガスが通過する装置内に径が1mm以上の粒子を充填し捕集体とする。捕集体としてはセラミックス粒子等を使用する為、適用温度範囲が広く、腐食性ガスにも適用可能。

【用途】

高温集塵に適用可能な方式として注目されている。石炭ガス発電での300～500℃温度領域での集じん技術への適用が期待されている。

【技術的課題】

充填材の粒子径を極端に小さくできない為、集塵性能があまり高くないことや、通常濾過の進行に伴って圧力損失が増加傾向を示すことが課題である。

【技術の将来像】

充填層フィルターを多段式にすることで集塵性能が向上する。大量の充填粒子が必要とされ、装置の大型化が予想されている。充填粒子の再生法の確立も重要となる。

【参考文献】

- ・ 高温集じん要粒子充填層フィルタについて J. Aerosol Res, 20(1)37-42(2005)

6.2.3.7 スチームキャッチャーによる火山灰除去（将来像）

【技術内容】

吸気口より導入された空気をシャワーリングにより洗浄し、続けてバブリングにより更に洗浄する。洗浄後の空気はフィルターを通して排気される。

【用途】

工場の排出蒸気の除去やトンネル内排気ガスの空気浄化、さらには火山灰・火山性ガスの発生現場における空気浄化設備に適用できると言われている。

【技術的課題】

実用化のためには、実証試験が必要であると考えられる。

【技術の将来像】

PMの除去には、水との接触も一つの手段となりうるため、今後、このような水を利用した空気浄化装置も開発が進むと期待される。

【参考文献】

- 明立エンジニアリング ウェブサイト

6.2.38 凝集や吸着による空气中微粒子の粗大化（将来像）

【技術内容】

霧化水や蒸気、またはポリマーや界面活性剤などの化学物質を噴霧し、微粒子を吸着させる。また、微粒子の衝突確率を上げるような流路に微粒子を通過させる、超音波により微粒子同士の衝突により凝集させる、電気エネルギーやプラズマで微粒子の表面電荷の制御により微粒子間に引力を発生させて凝集させる、などの方法がある。

【用途】

将来的に家庭用空気清浄装置に組み込む。

【技術的課題】

微粒子粗大化のために化学物質を用いる場合は、その物質が人体に無害である必要がある。汎用的な装置とするためには小型化が可能であり、消費エネルギーが小さく、メンテナンス回数が少ないことが必要である。

【技術の将来像】

今後、PMの問題はグローバルな問題となって拡大が予想されるため、空气中のPMを粗大化して捕集できるような空気清浄装置が求められている。

【参考文献】

- ・ NINE SIGMA 社のウェブサイト Request for Proposal 凝集や吸着により空气中の微粒子を粗大化する技術

6.2.39 燃焼機器排ガスのプラズマ複合処理（将来像）

【技術内容】

火力発電所や産業用燃焼機器の排ガス処理は、これまで選択触媒還元法や湿式石灰石膏法が用いられてきたが、新興国ではより低コストのプラズマ複合処理が注目されている。プラズマ複合処理とは、プラズマオゾナイザにより発生するオゾンガスを排ガスに注入し、NOをNO₂に酸化し、さらに亜硫酸ナトリウムケミカルスクラバで窒素ガスと少量の硫酸ナトリウム廃液にするシステムである。

また、ディーゼルエンジン排ガス処理においては、排ガスをセラミックDPF（diesel particulate filter）に通過させることによりPMを捕集し、プラズマオゾナイザにより発生したオゾンを注入してPMを燃焼除去する。

【用途】

火力発電所、ごみ処理場燃焼炉、中小の燃焼炉ボイラー、ディーゼルエンジンなどの排ガス処理に適用できる可能性がある。

【技術的課題】

実用化のためには、省スペースで、大容量のプラズマを発生できるプラズマ発生装置が必要であると考えられる。

【技術の将来像】

2016年より、新たに造られる船舶に対してNO_x規制が始まるため、船上での排ガス処

理のニーズが高まることが予想される。プラズマ処理法は、アンモニアを必要としないため、アンモニアの供給と貯蔵に課題がある船舶の排ガス処理への適用が期待される。

【参考文献】

- ・ Okubo M, Fujishima H and Otsuka K (2013) J. Plasma Fusion Res. 89:152-157.

6.2.40 ACF 搭載自動車浄化システム（将来像）

【技術内容】

石炭などを加熱、溶解し固化させた炭素繊維を、窒素やアルゴンガス中で 600~900℃ に加熱し、表面に微細孔を開けると、高活性炭素繊維（ACF: Activated Carbon Fiber）ができる。ACF をさらに 800~1200℃ の温度範囲で焼成することにより ACF の炭素構造及び細孔を変化させ、目的とする化学物質を吸着、分解できるようにする。こうしてできた ACF を用いて、NO_x を硝酸として捕集することが可能となった。

【用途】

ACF を自動車のエンジンの排気口などに装着し、車を走らせながら浄化することが可能になると考えられている。また、高速道路の防音壁などに ACF を入れることにより空気浄化を行うことも考えられている。

【技術的課題】

ACF の再生が課題である。

【技術の将来像】

ベンゼン類の削減対策としてガソリンスタンドに設置すること、室内のシックハウス対策として、エアコンの電気機器フィルターとして利用するなどが期待されている。

【参考文献】

- ・ Shimohara F., Niiya S., Mitoma S., Yoshikawa M., Kirida T. (2011) 大気環境学会誌. 46:187-195.

6.2.41 金属ナノ粒子触媒による CO 酸化（将来像）

【技術内容】

卑金属酸化物多孔体に金ナノ粒子を分散・固定化したものをアルミナ繊維織物に担持して、それらを触媒として CO、ホルムアルデヒドなどの空気中の有害成分を室温で酸化・無害化する。

【用途】

車など個人空間の空気浄化へ用いることが考えられている。

【技術的課題】

触媒の寿命と再生技術が課題である。

【技術の将来像】

今後、都市空間での空気浄化レベルが高度化していくことが考えられるため、金ナノ粒子の低温触媒活性を利用して、都市空間（特に地下やビル内）の空気を、加熱エネルギーを使わずに浄化することが期待されている。

【参考文献】

- ・ Haruta M. (2012) Molecular Science 6:1-8.

6. 2. 4 2 水素による空気再生（将来像）

【技術内容】

宇宙での循環型空気再生システムでは、CO₂と、水電解の副生成物である水素から水を作り、水電解により、水から酸素を再生する技術の開発が行われている。

【用途】

宇宙ステーションに適用できる。

【技術的課題】

低温条件での触媒の反応速度の向上が課題である。

【技術の将来像】

将来の宇宙開発には重要な技術であり、2016年の宇宙実証実施に向けて開発を進めていく必要がある。

【参考文献】

- ・ Shima A, Sakurai M, Sone Y, Ohnishi M, Yoneda A, Abe T (2013) Int. J. Microgravity Sci. Appl. 30: 86-93

6. 2. 4 3 藻類によるCO₂吸収（将来像）

【技術内容】

スピルリナ、クロレラなどの微細藻類を用いてCO₂を吸収させ、食糧として利用する。また、ボツリオコッカスなどの微細藻類を用いてCO₂を吸収させ、バイオ燃料を生産する研究も行われている。

【用途】

火力発電所や工場の排ガス中CO₂を吸収させ、油などバイオ燃料の生産に適用できる。

【技術的課題】

初期投資やランニングコストおよび使用エネルギーの低減が課題である。

【技術の将来像】

微細藻類によりCO₂からバイオ燃料を効率よく生産した後に、発生する残渣も飼料や肥料、またはバイオリファイナリー原料にすることにより、さらにCO₂を有効利用していくことが検討されており、地球温暖化対策に大きく貢献することが期待されている。

【参考文献】

- ・ 産業競争力懇談会 2010年度研究会最終報告「農林水産業と工業の連携研究会～微細藻燃料分科会～」(2011)

6. 2. 4 4 機能性樹木抽出液（将来像）

【技術内容】

トドマツ葉などの林地残材からマイクロ波減圧水蒸気蒸留装置により油を抽出する。

この樹木抽出油を加熱放散式などの手法により空間へ噴霧することにより、二酸化窒素および二酸化硫黄が樹木抽出油と結合し無害化される。

【用途】

家庭や自動車などの個人空間において適用できる。

【技術的課題】

樹木抽出液製造方法の低コスト化

【技術の将来像】

安価で大量に製造することができれば、より広い空間への適用も考えられる。

【参考文献】

- ・ JST 平成 23 年度事後評価報告「樹木精油を利用した環境汚染物質の無害化技術」

6.2.45 膜バイオリアクター（将来像）

【技術内容】

膜による臭気物質や VOC 等の除去と微生物相による脱臭を組み合わせたものである。臭気物質は通過するが、空気は通過しない高分子膜が用いられることが多い。

臭気物質は膜を透過した後、バイオフィルムを通過する過程で微生物により取り込まれて分解される。

【用途】

比較的高温のガスへも適応が可能なため、高温の臭気ガスの処理が必要なプラント等への実用が期待されている。

【技術的課題】

経過時間に伴い膜の汚れや目詰まりなどにより流束が低下し除去効率が低下する。またコストが非常に高く実用化が進んでいない。

【技術の将来像】

膜の材質により臭気ガス中の特定成分を選択的に除去あるいは残留させることができる為、適用 pH 領域の拡大や高流束が可能な膜材料の開発により多種の臭気ガス除去技術としての利用が期待される。

6.2.46 ガス状物質粒子転換方式（将来像）

【技術内容】

フィルターの上流において活性炭粒子を注入しダイオキシン類を活性炭に吸着させ、除去率を向上させる方式である。その他にも、Ca 系の固体を注入し、塩化水素や硫黄硫化物を除去する方式もある。

【用途】

環境保全に対して要求が増大していることや、所要動力、コスト削減が望まれるプラント等での利用が求められる。

【技術的課題】

目的物質以外の粒子状物質も同時に回収される為、その処理技術もしくは分別再生の

確立が必要になる。

【技術の将来像】

除去が必要になるものとして上記物質の他に、水銀などの揮発性重金属、揮発性有機物などの様々なガス状物質が挙げられる。これらの物質に対して、除去効果を有する吸着材や触媒の探索が必要である。

6.2.47 放射性除染生物処理（将来像）

【技術内容】

除染とは、放射性物質が付着した物を除去し、生活空間の線量を下げることによって水による洗浄や表土の剥ぎ取りや草の刈り取り等物理的に除去することが効果的である。しかし作業の伴う被爆や放射性物質の保管等の問題があり、これに代わる方法として細菌によるセシウムの吸着を利用したバイオ除染の検討が進められている。

【技術的課題】

これらの技術の実現には、セシウムを高度に除去する能力のある細菌の探索や細菌を固定化する方法や放射性物質の濃縮後の処理方法や処理後の土壌の有効利用等の技術を確立していく必要がある。

【参考文献】

- ・ 生物工学会誌 第91巻 第8号 432-446. 2013
- ・ 生物工学会誌 第92巻 第6号 270-297. 2014

6.2.48 薬剤注入・触媒利用・活性炭注入による水銀除去（将来像）

【技術内容】

原油や天然ガス、排ガス中に含まれる微量の金属水銀を除去する技術であり、薬剤や触媒による酸化除去、活性炭吸着による除去法などが用いられる。

【用途】

原油や天然ガスの前処理プロセスや石炭燃焼、ガス化設備など、ガス中に微量水銀を含む発生源に適用される。

【技術的課題】

一般的に燃焼排ガス中に含まれる水銀は、ppb レベルと極微量であるため、効率良い除去方法の開発が望まれる。

【技術の将来像】

微量水銀を効率良く除去できる吸着剤、触媒の開発が必要であり、2013年に採択された水俣条約のことも考慮すると日本は積極的に技術開発を進めることが望まれる。

【参考文献】

- ・ Koyano K, Shibuya H (2012) ペトロテック 35:877-881.
- ・ Akiho H (2012) ペトロテック 35:882-886

6.2.49 次世代型 CO₂ 化学吸収プロセス（将来像）

【技術内容】

CO₂を化学的に吸収する液を用い、吸収塔にて CO₂を吸収し、放散塔にて CO₂を放散させ、CO₂を回収するとともに吸収液を再生利用する。放散塔の CO₂放散反応には熱が必要となり、低圧蒸気を使用する。

【用途】

大規模な CO₂回収・貯留（CCS）。

【技術的課題】

CO₂化学吸収プロセスはリファイナリ分野では既に実用化されており、大規模 CCS への適用が容易で比較的安価な CO₂回収技術に位置付けられている。しかし、現状技術では CO₂回収プロセスにおける省エネ化が十分ではなく、CCS 全体のコストの大半を占める。

【技術の将来像】

CO₂放散反応に必要な熱のより少ない吸収液を用いることが省エネ化のポイントとなっている。高効率プロセス、高吸収性能の充填材を開発することで、従来使用できなかった低反応熱のアミン系吸収液やアンモニア・炭酸カリウム系吸収液の適用が検討されている。CO₂回収プロセスの省エネ化および低コスト化により、地球温暖化対策としての CCS の普及が進むと考えられる。

【参考文献】

- ・ 日本 CCS 調査株式会社 (<http://www.japanccs.com/>)

6.2.50 ハイドレートによる CO₂回収（将来像）

【技術内容】

排ガスをガス圧縮機で加圧し、熱交換器で冷却する。この冷却した排ガスを冷却水と混合することにより、排ガス中の CO₂が生成されたハイドレートに取り込まれ、CO₂を分離・回収することができる。

【用途】

火力発電所やセメント工場などから排出される排ガスから CO₂を分離・回収することに適用できる可能性がある。

【技術的課題】

圧縮動力のコストを低減するため、低圧・常温でのハイドレート生成技術の開発が必要である。

【技術の将来像】

地球温暖化対策のため CO₂分離・回収技術の必要性は高まっており、その一つの手法として、CO₂ハイドレートにより、これまでより純度の高い CO₂分離技術が期待される。

【参考文献】

- ・ 宮川満、松尾和芳、櫻井聡一郎、酒井正和（2011）三井造船技報 203：31-36

6.2.51 燃焼式脱臭の蓄熱化（将来像）

【技術内容】

通常の燃焼式脱臭装置の課題となっているランニングコスト（燃料代）低減を図る目的で、余剰の熱を蓄熱体に蓄え、この蓄えられた熱を処理ガスの昇温に再利用しているのが、蓄熱式燃焼脱臭装置である。

【用途】

燃焼式脱臭装置は多種多様な臭気の処理が可能であるため、多くの工場や事業所などで採用されている。

【技術的課題】

通常の燃焼式脱臭装置に比べると、蓄熱体の設置スペースが必要であり、また多塔式となるため、装置が大きくなる欠点がある。また、流路切り替えのために多くのバルブが必要であるため、システムが複雑となる。

【技術の将来像】

将来的な技術としては、蓄熱効率の高い蓄熱体の開発や、バルブ点数の低減を目指したシステムの簡便化が開発の中心となっており、今後も幅広い臭気に対応できる脱臭装置としての活用が期待されている。

【参考文献】

- ・（株）大気社 ウェブサイト (<https://www.taikisha.co.jp/service/rto.html>)

6.2.5.2 微生物利用による脱臭（将来像）

【技術内容】

微生物の作用を利用して生化学的反応によって臭気成分を無臭物に変換する技術である。一般に生物脱臭法と呼ばれることが多いが、運転コストが安いのが特徴で、省資源、省エネルギーで、維持管理も容易である。その方式には、臭気成分を含んだガスを土壌粒子の間にゆっくりと通す土壌脱臭法、腐植質を充填した層に通す腐食質脱臭法、微生物を高濃度に保持できる充填材に水分を加えつつガスを通す充填塔式生物脱臭法、活性汚泥槽にガスを吹き込む曝気脱臭法、ガスを活性汚泥等の微生物を含む液で洗浄するスクラバー方式などがある。有用微生物を培養して装置に添加する場合もある。

【用途】

腐敗臭の原因となる硫化水素、メチルメルカプタン、アンモニア、酪酸、吉草酸や、ベンゼン、トルエン、スチレンなどを分解する微生物が確認されている。適用先は、排水処理施設、厨房、食品・油脂加工工場、畜産農場、ゴミ処理施設、ビルピットなど多岐にわたる。

【技術的課題】

微生物反応速度には限界があるので、他の脱臭法に比べ広い敷地が必要となることが多い。また、対象ガスが微生物への毒性を有する成分を含んでいる場合や、脱臭装置の設置環境が微生物に不適な場合（例えば、寒冷地）には、処理速度が低下する。臭気成分を分解する微生物がなかなか集積されない場合には、スタートアップに時間がかかる。

【技術の将来像】

生物脱臭法は、自然の物質循環を利用した技術であり、環境調和のためには重要な方式である。反応速度を一層高められるよう微生物を高濃度に集積・維持するリアクタの開発が望まれる。

【参考文献】

- ・ 石黒辰吉監修（1997）最新防脱臭技術集成.（株）エヌ・ティー・エス，東京.

6.2.5.3 工場・倉庫内脱臭・除菌のオゾン有効利用（将来像）

【技術内容】

これまで、工場・倉庫内の除菌には、ホルムアルデヒドや酸化エチレンによる燻蒸が適用されてきた。しかし、これらの薬品は発がん性や残留性に課題がある。オゾンは、その強い酸化力により、脱臭・脱色・殺菌効果を持ち、分解されると酸素と水になり、残留性が無いと言われている。このオゾンを工場・倉庫内の脱臭・除菌に有効利用する。

【用途】

適用先は、畜産事業場、し尿処理場、パルプ製造工場、魚腸骨処理場などの各種工場や、輸入品コンテナなど多岐にわたる。

【技術的課題】

消毒を必要とする対象物の場合、消毒法としてオゾンを利用するためには薬事申請が必要となる。また、他の消毒剤と比較し、低コストで使用できるようにする必要がある。

【技術の将来像】

これまでのオゾンは、使用する現場で電源を使用して製造してきたが、オゾンを貯蔵・運搬できる形態にして、オンサイトで使用できるようにすることにより、様々な空間での脱臭・除菌が可能になると考えられる。

【参考文献】

- ・ Nakajima T, Kudo T, Ohmura R, Takeya S, Mori YH (2012) Plos One 7:1-6.

6.2.5.4 残留性の無いオゾンの家畜感染症対策（将来像）

【技術内容】

これまで、家畜感染予防法により、畜舎や家きん舎などの消毒は、次亜塩素酸ナトリウム液、アルカリ液、ホルムアルデヒド、クレゾール液、逆性石けん液、高温蒸気等を用いて行うこととなっている。しかし、これらの薬品は残留性に課題がある。オゾンは、その強い酸化力により、脱臭・脱色・殺菌効果を持ち、分解されると酸素と水になり、残留性が無いと言われている。このオゾンを家畜感染症対策へ利用する。

【用途】

畜産農業に関わる事業場および輸送車両

【技術的課題】

オゾンによる口蹄疫や鳥インフルエンザウィルスに対する不活化効果を明らかにし、家畜感染予防法の消毒法として認可される必要がある。

【技術の将来像】

これまでは使用する現場で電氣的にオゾンを製造してきたが、オゾンを貯蔵・運搬できる形態でオンサイトで使用可能になれば、畜舎・家きん舎やトラック内の消毒への適用が容易となり、広範囲の感染症対策に貢献することが期待されている。

【参考文献】

- ・ Nakajima T, Kudo T, Ohmura R, Takeya S, Mori YH (2012) Plos One 7:1-6.

6.2.5.5 花粉症対策植樹（品種改良）（将来像）

【技術内容】

アレルギー疾患の1つである花粉症は、日本では2月～4月に飛散するスギ花粉が抗原となる症例が多く2500万人にも上っている。原因は花粉だけでなく、ディーゼル車排ガスの微粒子やガソリン車排ガスの窒素酸化物やオゾンがアレルギー反応を増幅している環境要因も指摘されている。各種治療があるが、根本である花粉を減少させる方法として無花粉杉の品種改良植樹が進められている。

【技術課題】

無花粉杉は、雄花を付けますが花粉が成熟できず、花粉散布が起こらない突然変異（雄性不稔性）の個体を交配し、挿し木にて品種改良を行い、林業的に価値のある花粉を発生しない品種開発が行われている。さらに細胞培養で増やす研究や、短期間で確実な品種改良を行うため遺伝子解析が進められている。

【将来動向】

既に改良品種の植樹が進められている。杉の成長に年数がかかると共に、効率的な地域に大量に植樹する必要があり、効果が出るのは数十年かかると言われている。加速するためには、大量増殖の技術や地域に適した品種の増加などが必要となる。

【参考文献】

- ・ 農林水産省ウェブサイト
(http://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1103/mf_news_03.html)
- ・ (独) 森林総合研究所ウェブサイト
(<https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/project/sugiobana.html>)

7. 空気の機能付加

7.1 アロマ、芳香剤、香りの制御（付加・消去）

【概要】

個々人を取り巻く環境が複雑化し、社会的課題も山積する現代社会において各個人の健康、特に精神衛生に関する配慮は、今後より一層重要性を増すと考えられる。様々な形で社会における個人の感情や精神状態に介入する方法が考案されているが、神経経路の特性として嗅覚を介した方法が比較的效果が高いことが想定される。一般的に情動性はプラスとマイナスの方向があるとされ、香りの中にはこれら情動性に介入できるとの報告も行われている。例えばラベンダーなどのアロマはリラクセス効果があるとされており、ペパーミントなどのミント系の香りには集中力を高める効果があるとされている。

一方で、消臭には化学的、物理的、生物学的、感覚的方法があると言われている。

【技術的課題・将来像】

アロマや芳香を個別に提供することが可能になれば、個々人の状況に合わせた介入ができる可能性がある。空調のパーソナル化や区画化・局所化などが可能となり、個別の機能付加空気を提供することで円滑な社会活動を誘導することが期待される。消臭の感覚的方法の中でペアリングという手法を応用することで何かのにおいを別のにおいへの変換が可能になるかもしれない。例えば味覚ではミラクルフルーツが知られるが、ミラクルフルーツに含まれるミラクリンという物質が酸味や苦味の受容体の抑制と甘味受容体の感受性を変化させることで酸味の強いフルーツなどを甘く感じさせる。化学受容である嗅覚もこの手の組み合わせが存在するものと考えられ、今後更なる研究が期待される。

7.2 パーソナル空調、タスク・アンビエント空調

【技術内容】

従来の空調は室内を均一な環境とし、在室者の不満足者数をいかに少なくするかを目標としてきた。しかし、個人の温熱感など快適性は異なり、更に快適環境の異なる女性や高齢者の就業率の増加等によって、個人別の快適さが求められるようになった。事務所ではOA化による内部負荷の増加と偏在化、ローパーティションによる小区画化などにより、室内環境の均一化が難しくなってきた。これらを背景に、個人の快適環境を創ることのできるパーソナル空調が求められている。パーソナル空調と省エネルギーを両立させるシステムとして、タスク・アンビエント空調がある。これは、室内空間の空調を全体空調（アンビエント空調）による均一な空調と、部分空調（タスク空調）による各個人の好みの空調で成り立つ。省エネルギーによるランニングコスト低減も期待できる。

【用途】

アンビエント空調として、天井面からの吹出し方式、床吹出し方式が採用されている。タスク空調として、床吹出し方式（ダクト接続型、エアコン組込み型）、空調パーティション方式（ダクト接続型、輻射パネル組込み型）など様々なものが開発されている。冷暖房制御が主流であるが、生産施設などでは、局所的な清浄度制御等にも使用され始めている。展開先としては、事務所ビルや病院の病室などが主流であるが、上述のように省エネの観点から、生産施設への展開も進んでいる。

【技術的課題】

パーソナル空間の快適性の向上のため、LED照明によるタスク・アンビエント照明との連携、適切な吹出口の形状や設置場所、執務者の在・不在判定やパーソナル空間の温湿度設定など、個々の執務者の満足度に合わせた制御が必要となろう。

【技術の将来像】

異なる快適感を有する個人の快適性向上や省エネの視点から、パーソナル空調（タスク・アンビエント空調）の展開は益々進むと考えられる。さらに、温熱制御ばかりでなく、照明や香り空調など他の技術と融合し、知的生産性向上や空気質向上など様々な展開が期待されている。

【参考文献】

- ・ 建築業協会：タスク・アンビエント空調、建築の省エネルギー、1993.6
- ・ 岡健雄（2000）わかりやすいグリーンオフィスの設本、オーム社
- ・ 日本冷凍空調学会冷凍空調便覧改訂委員会（2006）冷凍空調便覧、日本冷凍空調学会

7.3 病原体への事前免疫

【概要】

近年みられるエボラウィルスや鳥インフルエンザのアウトブレイクは他国の出来事として片付けられない深刻な問題として事前に検討しておかねばならない事象である。空気への機能付加という観点からも一考しておく必要がある。当然我が国においても感染者が発見されるであろうことを想定し、事前に予防的措置をとれることが望まれる。

【技術的課題】

空気の浄化という観点からのみではある確率で感染してしまうことは防ぐことができないであろう。そこで、事前に免疫できるような技術の登場が待たれる。PM2.5のような微細粒子から更に放出される化学物質により免疫が刺激される。例えばこの手の特性を応用して微細なエピトープを空气中に安定的に供給可能であれば免疫システムを事前に活性化されることが期待される。

7.4 高濃度酸素添加、酸素富化、酸素ポンプ

【概要】

閉めきった室内に滞在し続けると酸素濃度が低下し気分が悪くなることがあるが、これは大気中の酸素濃度 21%は我々にとって非常に重要な濃度であり、極めて厳密に身体が調整されていることを意味している。一方で疲労回復や美容のために巷には「酸素バー」や「酸素カプセル」などのサービスを提供する店が存在する。

【技術的課題】

一般に 18%が身体に不調をきたす限界であると言われているが、住居やオフィスが近代化するにつれ密閉性が高くなるが、21%付近に酸素濃度を保つことは今後快適な室内環境を提供するためには重要な要素である。しかし、疲労回復や美容に対する酸素の効果は根拠が薄弱であるため、詳細を検討する必要がある。

7.5 クリーンルーム

【技術内容】

コンタミネーションコントロールが行われている限られた空間であって、HEPA や ULPA フィルターによる有害物質の濾過、清浄度の局所化や区画化（差圧制御）を通じて、空気における浮遊微小粒子、浮遊微生物、化学物質を目的とする清浄度レベル以下に管理する空間をいう。その空間に供給される材料、薬品、水なども要求される清浄度が保持され、温度、湿度、圧力などの環境条件についても管理が行われている。

【用途】

クリーンルームは、電子工業用途で半導体集積回路、液晶パネル、マイクロマシンなどの製造工場では設置が必須となっている。集積回路の焼付工程で、塵埃が隣接する回路との短絡、あるいは欠損を引き起こし不良が発生するため、清浄空間での作業が必要とされる。他に精密機械などの製造工場でも必要となる。このような工業品の製造工程で用いられるものを工業用クリーンルーム (industrial clean room, ICR) という。

医薬品工場、食品工場や医療施設や研究施設では、主としてバイオテクノロジーの分野で用いられるクリーンルームをバイオクリーンルーム (biological clean room, BCR) という。主に空気中の浮遊微生物による製品への微生物汚染や病原体や組換え生物の施設外への漏洩を防止する目的で使用される。

【技術的課題】

目的とするクリーンルームの清浄度を維持するためには、通常 24 時間稼働が必要であり、多大なエネルギーを必要とする。そのため、最近では、広大な空間においても、必要とするクリーン度を分けるタスク・アンビエント化や必要とする時間帯によってクリーン度を変化させずデマンド制御などの技術が進んでいる。

【技術の将来像】

有機 EL やリチウム電池製造などにおける低湿度環境の管理や更なる精密装置製造のための酸素濃度やクリーン度 0 を目指す制御が必要となろう。

【参考文献】

- ・ 社団法人 日本空気清浄協会 (2006) クリーンルーム環境の計画と設計、オーム社
- ・ 社団法人 日本空気清浄協会 (1996) コンタミネーションコンクリートロール便覧、オーム社

7.6 コンパクトシティ

【技術内容・用途】

少子高齢化の進展、郊外化と都市空洞化、自然や地球環境の保護や地域連携を深めるため、都市機能の近接化による歩いて暮らせる集約型まちづくりの実現に向け、拡散した都市機能を集約させ、生活圏の再構築を進めていくため、医療施設、社会福祉施設、教育文化施設、商業施設、公園 (緑化・親水空間)、住宅などの都市のコアとなる施設の集約した都市をいう。

【技術的課題】

郊外の環境の良い、ゆとりある住宅を好む住民や先祖代々すみ続けた住民も多く、必ずしも住民の支持を得られていないケースも多い。市街地拡大の抑制そのものが目的と誤解され、街の賑ぎわいの再生や無駄な公共施設や道路などのインフラ建設や保持・維持費の節約という本来の目的が忘れ去られる恐れもある。したがって、住民に対しては、如何に住民一人ひとりにメリットがあり、都市レベルとして財政上の節約や二酸化炭素やその他の有害物質の排出量の削減にも寄与できることを粘り強く説明する必要がある。

地方では、1 箇所のみで全ての機能を有したコンパクトシティを構築できない場合も多くあり、他の地域との連携のための交通網を如何に構築していくかが課題である。

【技術の将来像】

少子高齢化や地方自治体の予算困窮の面から、コンパクトシティの推進は重要なテーマとなっていくと考えられる。都市型、地方型と種々の特徴をもった形態の都市が創製されていくと思われる。

【参考文献】

- ・ 国土交通省ウェブサイト（2014）都市再生、コンパクトシティ形成支援
(http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_machi_tk_000054.html)
- ・ 伊藤滋、高橋潤二郎、尾島俊雄（1993）環境共生都市づくり、ぎょうせい

7.7 ストレス低減、集中力向上技術

【概要】

多様化する社会において情報は溢れ、個々人が扱う機器は増加し、対人対物の関係は多様極まりない状態となっている。その中で集中力を発揮し様々な作業の効率を向上させるように社会的圧力が極めて強くかかっている。このストレスを軽減することと同時に集中力を必要に応じて発揮せねばならない。

【技術的課題】

一般に帰宅後にスポーツをしたり、友人と楽しい時間を過ごしたり、家族との団欒を楽しむなど、オフの時間にオンの時のストレスを解消する方略が取られてきている。オフの時間までストレスを持ち越すのではなく、現場でストレスを軽減でき、必要に応じて集中力を高めることができれば長期的に生産性は上がると考えられ、QOLの向上にもつながると考えられる。そこで、常に我々の周りに存在する空気を用いてストレスの制御や集中力の向上に介入することは今後の社会にとって有用であると考えられる。幸い嗅覚は情動性の中枢である大脳辺縁系に経路的に近く、また系統発生学的にも古い経路であると考えられている。つまり、好き嫌いといった情動の変化に直接的ににおい刺激によって介入することが可能に成ると考えられる。

【技術の将来像】

生得的に好き、嫌いといったにおいもそうだが、学習によって条件づけられたにおい刺激を持ち出し、緊張場面に畳のにおいや田舎の田んぼのにおいなど「懐かしく、落ち着くにおい」を嗅ぐことで緊張を和らげられる可能性がある。また、集中している時に一定のにおいを提示しておけば、集中状況を誘導できることが想定される。個々人によって落ち着くにおいや集中できるにおいはそれぞれに異なる。そこで、どのようなにおいをどのように持ち出せばより効率的に情動性に介入できるのかについて一般化する必要があると考えられる。

将来的には、心身の活動度・ストレスの計測・評価技術や五感刺激による心身の休息行動や集中力の最適化、それらを提供する空間の実現が求められる。

7.8 美容・健康への応用

【概要】

動物が陸上に上がって以来、動物個体は常に乾燥と戦ってきた。ヒトの皮膚の状態そのものも乾燥により大きく左右される。空調に因る乾燥や、冬期の乾燥した外気に対向する形で加湿器や保湿クリームなどが毎年多く売れることから保湿の重要性は明らかといえる。またストレスからくる自律神経の乱れは様々な形で美容や健康を損なう方向に働き、明らかな因果関係が認められないことから潜在的に悩みを持つ割合は非常に多いと考えられる。

【技術的課題】

画一的なオフィス空調を個別に制御可能なものとすることによって湿度や温度を個々人に合わせたものにすることが可能となる。更に個々人の空調に対して機能付加、例えば加湿のみならずコラーゲンなどの保湿成分の混入や、自律神経に働きかけるようなアロマ成分を混入させることにより、個々人に適した状況をプロデュースすることが可能となる。これら保湿成分やアロマ成分の美容や健康に対する影響の科学的根拠を明確にすることが必要と成ると考えられる。

7.9 高気密化

【概要】

建具や天井と壁のジョイント部分からの隙間を少なくし、冷房や暖房の効率をよくすること。隙間を減らすことで、熱損失を少なく、また、外気からの汚染も防ぐ。機械換気等による計画的な換気を必要とする。

【技術的課題】

自然換気のみで頼ると換気量が不足し、室内空気が汚染される恐れがある。性能を十分に発揮させるためには計画的な換気が必要。

【技術の将来像】

換気量を保ちながら、室内の温度や湿度を保つ換気システムが望まれる。また、外気汚染がひどい地域では、外気取り入れ口のフィルターに圧力損失が起きるため、低圧損のフィルター開発が望まれる。

【参考文献】

- ・ 南雄三（2000）「高断熱・高気密パイブル」 建築技術

7.10 植物工場

【概要】

完全な閉鎖空間で、蛍光灯やLEDなどの人工光で野菜を作るシステム。工場内の気温・湿度は、エアコン等で野菜に最適な環境に保ち、空気清浄機で、菌を極めて少なく抑えている。また、野菜の光合成を促すために、二酸化炭素濃度を高める場合もある。

【技術的課題】

空調負荷が時間帯によって大きく異なる。一日約14時間を占める明期は、照明による顕熱負荷で高負荷・乾燥気味となるのに対し、約10時間を占める暗期は、低負荷・結露気味となる。また、清浄度においては食品工場並みのクラス10,000~100,000が求めら

れているが、それでもなお、カビ・菌の繁殖防止は課題のひとつである。カビ・菌の繁殖においては清浄度のみの問題ではなく、先述の暗期における高湿度が繁殖の原因となることも多い。また、その他上下の温度ムラ、風速の不均一性などがあげられる。

【技術の将来像】

施設が大規模化へと展開される一方、上記課題により植物生育が影響を受ける。これらの改善により、野菜の品質やさらなる生産性向上につながると考えられる。また、植物が糖を生合成する際に二酸化炭素を利用するために、二酸化炭素濃度は高いほうが良い。光合成は日照との関係が強いため、効率よく日照の経時的変化に伴って高効率な二酸化炭素濃度の変化を誘導することにより、省エネかつ収量向上が期待される。

【参考文献】

- ・ 伊能利郎、稲田良造(2014) “植物工場空調の現状と課題— 完全人工光型植物工場の空調 —.” 日本冷凍空調学会論文集

7.1.1 農業における空気の制御

【概要】

露地栽培が気候変動や環境変化の影響をそのまま受け、空気に関する制御が全くなされていないのに対し、ガラスハウス等の太陽光利用型高度施設園芸では、窓の開閉、パット&ファン、遮光カーテン、保温カーテン、ボイラー、ヒートポンプなどの機器により、温度・湿度・日射の制御が行われている。

【技術的課題】

太陽光利用型施設園芸では、外部環境に連動して複数の機器の統合制御が必要になるため、完全人工光型植物工場よりも空気の制御ははるかに難しい。更に外気から侵入する害虫や、微生物病原体の対策も大きな課題である。害虫に対しては、出入口へのエアカーテン設置やハウス内の陽圧制御などの技術で侵入を減らしているが、十分ではなく農薬・天敵を用いた防除が必要である。微生物病原体の侵入に関しては、実質的には未制御であり、侵入を前提として、農薬を用いた予防的防除が行われるのが通常である。また、PM2.5などの微粒子、放射性物質等の飛来物の侵入に関しても未制御である。

【技術の将来像】

これら高度施設園芸でも未だ制御されていない種々のファクターは、植物の生育のみならず、食の安全にかかわる問題でもあり、これらの制御を行うことで、野菜の増産および高付加価値化を図ることができると考えられる。例えば、成長促進ガスや害虫忌避を促すガスなどの検討もされつつある。

7.1.2 香りによる温冷感制御

【概要】

近年、香りで涼しさや暖かさを体感できるということが明らかになってきており、例えばペパーミントの香りがある場合は冷たさを感じ、バニリンの香りがある場合は暖かさを感じる。これは、香り成分が三叉神経に直接作用して温冷を実際に感じさせる作用

と、その香りを認識することによってその香りに関連したこれまでの経験や記憶が温冷感に影響を与える作用が考えられている。

【技術の課題・将来像】

香りの温冷感に作用するメカニズムはまだ不明確な部分はあるが、これらの香りをうまく使うことができれば効率のよい温度管理を行うことが可能である。

【参考文献】

- ・ 庄司健 (2006) におい・かおり環境学会誌 37(6):424-430

7.13 香りによる害虫・害動物忌避

【概要】

作物からの害虫駆除は生産性向上のために不可避である。一方で様々な薬剤を用いた害虫駆除による健康被害への考慮も必須であるといえる。植物体が自然界で実際に行っている害虫対策を模倣することでより自然な形の害虫、害動物対策が可能となることが想定される。植物由来の精油など天然由来成分の香料を使用した除菌・除虫効果に関する商品が各社より販売されている。

【技術の課題・将来像】

昆虫による食害を受けた植物が、植食者の天敵を呼び寄せる揮発性物質を放出することが知られている。また、植物が自身の血縁度の他個体と非血縁個体とを識別して、揮発物質の放出を変化させることや、植物が放出する揮発性物質が、植物-捕食者天敵、植物-植物病原菌間の相互作用など共進化の過程において重要な役割を果たすこと、さらに夜行性昆虫において、採餌行動の日周性を制御する要因が、光刺激ではなく、植物由来の香気成分の昼夜の変化である場合があることなどが知られている。これらの化学物質を利用して環境汚染の少ない害虫対策を展開する。

将来的には、忌避物質と誘引物質の組合せによる理想的な施設内生態系の構築や、安全・安心な農業への応用も考えられる。

【参考文献】

- ・ 日本生態学会ウェブサイト 第17回日本生態学会宮地賞受賞者塩尻かおり氏選定理由より改変 (<http://www.esj.ne.jp/esj/award/miyadi/17.html>)

7.14 健康・快適性評価モニター（温熱環境、感性・感情の定量化）

【概要】

室内外の快適性を検討するにあたり、ヒトの感性・感情の定量化、一般化は必須の技術である。脳波や脈波、末梢体温や血圧、血中および唾液中に分泌されるグルココルチコイドなどのホルモン等の測定など様々な指標が存在するが、一般化されるような指標はこれまでのところ存在しないといえる。

【技術の課題・将来像】

「快適」自体を定量化する研究はこれまでほとんど存在しない。対局にあるストレスに関しては刺激そのものが比較的明確であるがゆえに負荷の時空間的な制御が比較的容

易である。このことから感性・感情試験、情動性試験はストレスの有無で議論されることが多い。明確な情動性の正負を示す指標が一般化されることで空気を含めた環境の快適性が計測でき、より一層の周辺技術の開発が進むと想定される。そのために ICT を活用し生体応答、脳活動や行動の詳細な解析を複合的に進めることが必要であろう。

8. 空気に関する鳥瞰図（現状→将来）【公開対象外】

8.1 空気浄化に関する社会課題の鳥瞰図【公開対象外】

8.2 空気浄化に関するセンシング技術の鳥瞰図【公開対象外】

8.3 空気浄化に関する分離・除去・分解技術の鳥瞰図【公開対象外】

8.4 空気の機能付加の鳥瞰図【公開対象外】

9. 空気に関する技術ロードマップ【公開対象外】

9.1 技術ロードマップ（センシング）【公開対象外】

【公開対象外】

【公開対象外】

9.2 技術ロードマップ（分離・除去・分解）【公開対象外】

【公開対象外】

9.3 技術ロードマップ（機能付加）【公開対象外】

10. 空気に関する新事業のイメージイラスト（20シーン）【公開対象外】

1.1. 研究会活動

●第1回研究会（キックオフ）

日時：7月24日（木） 15:30～17:30

場所：パナソニックセンター東京

内容：具体的活動内容の認識共有

各社の空気関連事業・技術紹介

講演 三菱総研 中條寛様「日本の空気浄化技術への期待」

●センシング分科会①

日時：7月30日（水） 16:00～18:00

場所：清水建設 技術研究所

内容：清水建設 技術研究所 見学

アウトプットのイメージ合わせ

講演 東大 津本浩平様「抗体医薬品開発の周辺 現状と今後」

産総研 伊藤敏雄様「空気質センシング技術開発」

●分離・除去・分解 センシング合同分科会②

日時：8月6日（水） 13:30～17:30

場所：パナソニックセンター東京

内容：鳥瞰図をまとめる縦軸・横軸の議論

講演 産総研 寺本慶之様「プラズマ・触媒複合技術による空気浄化」

産総研 矢吹聡一様「空気清浄化に利するバイオ・センシング技術」

奈良先端大 駒井章治様「空気をかえる」

●分離・除去・分解 センシング合同分科会③

日時：8月20日（水） 13:30～17:30

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：空気浄化に関する社会的課題の鳥瞰図の議論

講演 東工大 藤井修二様「日本空気清浄協会の活動について」

IHI 中原大地様「石炭火力発電所における排煙処理技術について」

岐阜大 神原信志様「大気圧プラズマ/光反応を用いた分離・除去・分解技術」

産総研 栗津浩一様「インフルエンザウイルスセンサ」

●分離・除去・分解 センシング合同分科会④

日時：9月3日（水） 13:30～16:30

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：現状のセンシング技術、現状の分離・除去・分解技術の鳥瞰図の議論

講演 シャープ 清水彰則様「空気清浄機におけるPM2.5 除去技術」

●第2回研究会

日時：9月18日(木) 13:30~17:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：講演 清水建設 山口一様 「次世代エコホスピタル」
東レ 浅田康裕様 「東レのエアフィルタ素材について」
将来に発生しそうな社会課題、センシング技術の将来像、
分離・除去・分解技術の将来像、空気の機能付加の鳥瞰図の議論
中間報告書の骨子議論

●第3回研究会

日時：10月2日(木) 13:30~17:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：中間報告書(案)の議論
鳥瞰図のブラッシュアップ

●第4回研究会

日時：11月19日(水)13:30~17:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：講演 明星電気 呉宏堯様 「生活気象情報で安全安心な街づくり」
空気に関する新たな産業のイメージイラストの議論
空気に関する技術ロードマップの作成ステップ確認

●第5回研究会

日時：12月4日(木)14:00~17:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：講演 仙台医療センター 西村秀一様 「新規装置の開発の商品化の問題点」
大同大学 岩橋尊嗣 様「嗅覚について」「最近のにおい、かおりの活用分野」
空気の機能付加に関する、新たな製品・サービスの議論
空気に関する技術ロードマップ議論

●第6回研究会

日時：12月17日(水)13:30~16:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：府省別懇談会報告
空気に関する技術ロードマップ議論
空気の機能付加に関する、新たな製品・サービスの議論

●第7回研究会

日時：1月14日(水)13:30~17:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：講演 工学院大学 柳宇様 「環境中の微生物と感染症」

横浜国大 中井里史様 「PM2.5 汚染状況、健康影響評価、そして環境基準」

作成した空気に関する技術ロードマップの確認

最終報告書の作成に向けた具体的提言内容の検討ステップ確認

●第8回研究会

日時：1月28日(水)13:30~17:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：講演 産総研 兼保直樹様 「大気エアロゾルとPM2.5」

エフアイエス(株) 徳野勝己様 「ガスセンサーの現状と将来」

最終報告書の骨子案(具体的提言内容)の議論

最終報告書の構成議論

●第9回研究会

日時：2月4日(水)13:30~17:00

場所：パナソニック東京汐留ビル

内容：講演 兵庫医科大学 島様 「PM2.5をはじめとする大気汚染の健康影響」

最終報告書案の議論

研究会活動のまとめと今後の活動に向けた議論

以上

産業競争力懇談会（COCN）

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 〒100-8280

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

Tel : 03-4564-2382 Fax : 03-4564-2159

E-mail : cocn.office.aj@hitachi.com

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄