

「設備管理のための室内空気環境レポート」



公益社団法人 東京ビルメンテナンス協会

はじめに

建物室内環境の維持管理は、私たちビルメンテナンス会社の重要な役割です。維持管理には建築物衛生法の基準に基づき、定期的測定・検査と保守・保全作業を行っています。その結果、利用者へ清潔で快適な環境を提供してきました。

しかし、近年は海外から飛来するPM2.5などの影響が懸念されるようになっていきます。

日本国内作業において環境に与えた影響では、公害として水俣水銀などが大きな被害を及ぼし、今でもその影響を受けている人々もいます。大気環境においては光化学スモッグなどが社会問題となっていました。

建築物衛生法は、建築物環境衛生管理基準が制定されて以来、度々基準の見直しがされてきました。空気質の維持管理基準は、あくまで館内の空気質基準にとどまり、外気に混入する粉じん等については室内の粉じん測定結果に基づいて良否判断がされ、外気空気質の変異に対して具備される設備機能は法的基準を遵守することで作られており、時代とともに変化する外気環境へは運用で対応する形となります。

外気環境への影響は、国内排出物質だけでなく海外からの影響として近年PM2.5が注視され、各自治体においても、定点計測が続けられ計量値が公開されています。

ビルメンテナンス業界は、空気質に関しては居室や建物用途・規模に応じ中性能、高性能フィルターのメンテナンスを行っています。建物が計画、建築された時代の空気質確保の機能が具備されている中でのメンテナンス活動となっています。

気象庁などから、飛来時期に予報、注意が発せられるPM2.5等への対応方法を知り、ビルメンテナンス業界に期待される提案型の維持管理を実現して行くために、現状で必要な知識の習得を目指して本レポートをまとめました。

各位におかれましては、設備技術員への研修資料などに活用いただき、技術レベルアップやお客様への提案資料として役立てていただければ幸いです。

なお、本レポート作成にあたり、資料の提供をいただきました各メーカーの皆様に、厚く御礼申し上げます。

平成31年1月吉日

公益社団法人 東京ビルメンテナンス協会
建築物施設保全委員会 技術専門委員会
専門委員長 伊藤 和文

目次

背景	01
第1章 大気汚染と法令	
1-1 大気汚染と国内法令(条例など)	03
1-2 現在社会で問題視される大気汚染と汚染物質	05
1-3 過去の大気汚染と原因	06
1-4 豆知識:京都議定書	08
1-5 国内の大気汚染状況(PM2.5など)	10
1-6 豆知識:そもそもPM2.5って?	12
1-7 豆知識:PM2.5と人に与える影響	13
第2章 いろいろな空気環境基準	
2-1 空気質指標の海外事例 WHOガイドライン等	15
2-2 空気環境基準の歴史(空気環境基準値の項目と規制変化)	17
2-3 室内空気質(IAQ)	19
2-4 快適環境指標(PMV)	23
2-5 温度、湿度管理(デシカント空調)	28
第3章 PM2.5、VOC等の実測	
3-1 今回計測する空気質測定の内容項目	33
3-2 都内事務所ビル PM2.5、VOC等の実測	35
(1) IoTセンサーによるPM2.5等計測	35
(2) 測定実施ビルの空調システムの概要	36
(3) 室内環境測定プラン・結果	38
(4) 最新対応機器のご紹介	42
第4章 柏崎刈羽原子力発電所・奥清津発電所 見学レポート	
4-1 柏崎刈羽原子力発電所・奥清津発電所 見学レポート	45

背景

(1) 建築物の環境性能とは

私たちが、普段、点検管理を行っている建物のSDGs「Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標) ※1」は、どこに置かれているのでしょうか？

そのひとつは、環境性能といった様々な指標に表現されています。

建物の造り方を工夫して、外部からの熱負荷を軽減する断熱・遮熱性能が高い(PAL値が低い)ビルもありますが、やはり設備の省エネ効率や、運用段階のエネルギー消費を抑えることに繋がります。その中でも、空調エネルギー負荷を如何に低減化するか、様々な創意工夫による機器やシステムの開発にしのぎを削る最新鋭設備ビルを、目の当たりにすることも珍しくありません。「自然換気」「呼吸する外皮」「ダブルスキン※2」「エコボイド※3」等々、OAをウォールスルーの形で取り込むエアー・コントロール・システムが、主流となりつつあります。

また、こうした建物自体、周辺環境と一体となり開発されることにより、街区や地区域、さらには都市間の付加価値による魅力付け=差別化が形成されているのです。

(2) 建物の存在する環境とは

世界保健機関(WHO)は、微小粒子状物質「PM2.5」などによる大気汚染が世界的に拡大を続けており、肺がんや呼吸器疾患などで年間約700万人が死亡していると発表しました。

世界人口の約90%が汚染された大気の下で暮らし、健康被害のリスクがあると指摘しています。WHOは世界4300以上の都市などの観測結果を分析。中東や南アジアではPM2.5やPM10がWHO基準の5倍を超えた国が目立ったとしています。

さらに、健康被害については、2016年には屋外汚染で約420万人、屋内汚染で約380万人が死亡したと推定したのです。

こうした大気汚染については、本文関連各章において詳述されていますので、省略しますが、問題は「大気汚染に国境はない」ということです。

特に、よく知られたところでは、ゴビ砂漠(中国とモンゴル国境)や黄土高原で発生した石英や雲母を含む黄砂は、大きさ4 μ m、春の嵐で上空2kmまで巻き上げられ偏西風に乗り、日本どころかはるかハワイや北米、さらには地球を一周することが観測されています。

この黄砂に、隣国の工場から出る有害な硫酸や硝酸、アンモニウムのイオンなどの汚染物質が雪だるま式に付着、そこに病気の原因になる微生物が生息しているのです。

(3) そして環境基準とビル管理の関係

上記で見てきたような建物環境性能とその建物が存在する地球環境を鑑みた時、私たちのビル管理は、どうあるべきなのでしょうか？

馴染みの深い「建築物衛生法」の守備範囲である建物内部だけではなく、建物を飛び出し、その置かれた「環境基準」の歴史や世界標準にまで理解を求めることではないでしょうか？

こうした「背景」に目をやることで、極めて近い将来のビル管理業界のレゾナードール(存在価値)を構成、高みを得ることになると考えます。

※1.2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて記載された2016年から2030年までの国際目標。

※2.建物外壁の一部/全面をガラスで2重に覆う建築手法のことで、環境配慮型外装システムとして注目されている。

※3.吹き抜け空間のこと。

環境基準 <環境基本法>1993 (平成5) 年
4分野 (大気・水質・土壌・騒音) 数値目標

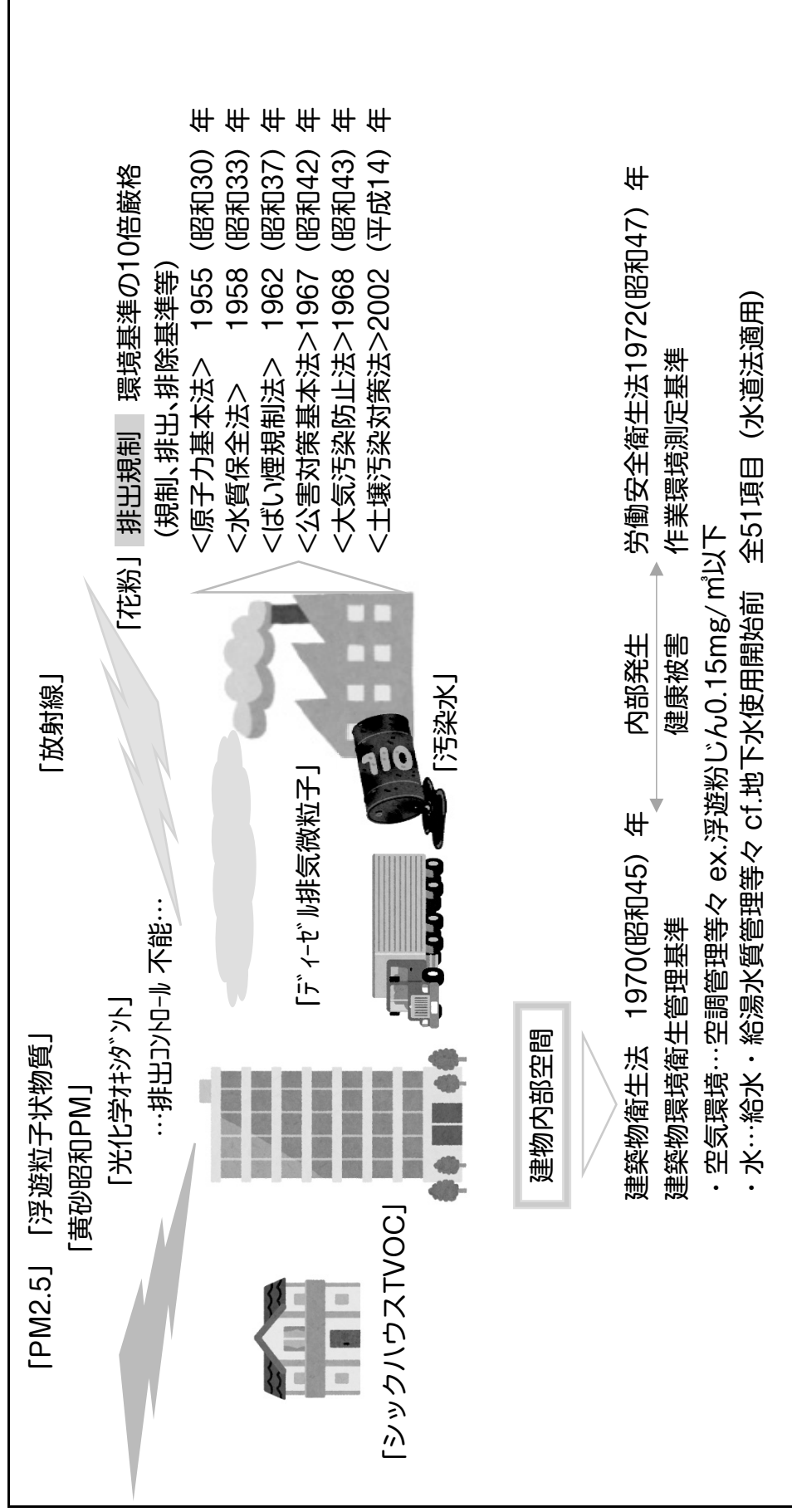


図 環境基準とビル管理の関係

第1章 大気汚染と法令

1-1 大気汚染と国内法令（条例など）

（1） 制度の目的と概要

大気環境を保全するため、1968（昭和43）年に「大気汚染防止法」が制定されました。大気汚染に関して国民の健康を保護するとともに、生活環境を保全することなどを目的としています。環境基本法において、人の健康を保護し生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準として、「環境基準」が設定されました。この基準を達成することを目標に、大気汚染防止法に基づいて規制を実施することになりました。

大気汚染防止法では、工場や事業場から排出又は飛散する大気汚染物質について、物質の種類ごと、施設の種類や規模ごとに排出基準等が定められており、大気汚染物質の排出者等はこの基準を守らなければなりません。

これらの規制には、「ばい煙の排出規制」「揮発性有機化合物の排出抑制」「粉じんの排出規制」「有害大気汚染物質の対策の推進」などがあります。

（2） 大気汚染防止法とは

第一条（目的）

この法律は、工場及び事業場における事業活動並びに建築物等の解体等に伴うばい煙、揮発性有機化合物及び粉じんの排出等を規制し、水銀に関する水俣条約（以下「条約」という。）の的確かつ円滑な実施を確保するため工場及び事業場における事業活動に伴う水銀等の排出を規制し、有害大気汚染物質対策の実施を推進し、並びに自動車排出ガスに係る許容限度を定めること等により、大気の汚染に関し、国民の健康を保護するとともに生活環境を保全し、並びに大気の汚染に関して人の健康に係る被害が生じた場合における事業者の損害賠償の責任について定めることにより、被害者の保護を図ることを目的とする。

第二条（定義等）この法律において「ばい煙」とは、次の各号に掲げる物質をいう。

- 一 燃料その他の物の燃焼に伴い発生する硫黄酸化物
- 二 燃料その他の物の燃焼又は熱源としての電気の使用に伴い発生するばいじん
- 三 物の燃焼、合成、分解その他の処理（機械的処理を除く。）に伴い発生する物質のうち、カドミウム、塩素、弗化水素、鉛その他の人で政令で定めるものの健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある物質（第一号に掲げるものを除く。）で政令で定めるもの

（3） ばい煙の排出規制とは

「ばい煙」とは、物の燃焼等に伴い発生する硫黄酸化物、ばいじん（いわゆるスス）、有害物質（①カドミウム及びその化合物、②塩素及び塩化水素、③弗素、弗化水素及び弗化珪素、④鉛及びその化合物、⑤窒素酸化物）のこと。大気汚染防止法では、33の項目に分けて、一定規模以上の施設が「ばい煙発生施設」として定められている。

ばい煙の排出基準は、大別すると以下のようにわかれ次のとおり。

- | | |
|---------|--|
| 一般排出基準 | ： ばい煙発生施設ごとに国が定める基準 |
| 特別排出基準 | ： 大気汚染の深刻な地域において、新設されるばい煙発生施設に適用されるより厳しい基準（硫黄酸化物、ばいじん） |
| 上乘せ排出基準 | ： 一般排出基準、特別排出基準では大気汚染防止が不十分な地域において、都道府県が条例によって定めるより厳しい基準（ばいじん、有害物質） |
| 総量規制基準 | ： 上記に挙げる施設ごとの基準のみによっては環境基準の確保が困難な地域の大規模工場に適用される工場ごとの基準（硫黄酸化物及び窒素酸化物） |

（4） 排出基準とは

「排出基準等一覧」は、以下のようになります。

- ・ 大気汚染防止法の対象となるばい煙発生施設
- ・ 硫黄酸化物（SO_x）規制
- ・ ばいじん規制
- ・ 有害物質規制
- ・ 粉じん規制
- ・ 指定物質抑制基準
- ・ 揮発性有機化合物（VOC）規制
- ・ ばいじんとNO_xの排出基準値一覧

表1-1-1 工場及び事業場から排出される大気汚染物質に対する規制方式とその概要

物質名		主な発生の形態等	規制の方式と概要	
ばいじん 煙	硫黄酸化物 (SOx)	ボイラー、廃棄物焼却炉等における燃料や鉱石等の燃焼	1) 排出口の高さ(He)及び地域ごとに定める定数Kの値に応じて規制値(量)を設定 許容排出量(Nm³/h)=K×10 ⁻³ ×He² 一般排出基準: K=3.0~17.5 特別排出基準: K=1.17~2.34 2) 季節による燃料使用基準 燃料中の硫黄分を地域ごとに設定。 硫黄含有率: 0.5~1.2%以下 3) 総量規制 総量削減計画に基づき地域・工場ごとに設定	
	ばいじん	同 上及び電気炉の使用	施設・規模ごとの排出基準(濃度) 一般排出基準: 0.04~0.5g/Nm³ 特別排出基準: 0.03~0.2g/Nm³	
	有害物質	カドミウム(Cd)化合物	銅、亜鉛、鉛の精錬施設における燃焼、化学的処理	施設ごとの排出基準 1.0mg/Nm³
		塩素(Cl₂)、塩化水素(HCl)	化学製品反応施設や廃棄物焼却炉等における燃焼、化学的処理	施設ごとの排出基準 塩素: 30mg/Nm³ 塩化水素: 80, 700mg/Nm³
		フッ素(F)、フッ化水素(HF)等	アルミニウム精錬用電解炉やガラス製造用熔融炉等における燃焼、化学的処理	施設ごとの排出基準 1.0~20mg/Nm³
		鉛(Pb)、鉛化合物	銅、亜鉛、鉛の精錬施設等における燃焼、化学的処理	施設ごとの排出基準 10~30mg/Nm³
	窒素酸化物(NOx)	ボイラーや廃棄物焼却炉等における燃焼、合成、分解等	1) 施設・規模ごとの排出基準 60~950ppm 2) 総量規制 総量削減計画に基づき地域・工場ごとに設定	
揮発性有機化合物(VOC)		VOCを排出する次の施設 化学製品製造・塗装・接着・印刷における乾燥施設、吹付塗装施設、洗浄施設、貯蔵タンク	施設ごとの排出基準 400~60,000ppmC	
粉じん	一般粉じん	ふるいや堆積場等における鉱石、土砂等の粉砕・選別、機械的処理、堆積	施設の構造、使用、管理に関する基準 集じん機、防塵カバー、フードの設置、散水等	
	特定粉じん (石綿)	切断機等における石綿の粉砕、混合その他機械的処理	事業場の敷地境界基準 濃度10本/リットル	
		吹き付け石綿使用建築物の解体・改造・補修作業	建築物解体時等の除去、囲い込み、封じ込め作業に関する基準	
特定物質(アンモニア、一酸化炭素、メタノール等28物質)		特定施設において故障、破損等の事故時に発生	事故時における措置を規定 事業者の復旧義務、都道府県知事への通報等	
有害大気汚染物質 **		248物質(群) このうち「優先取組物質」として23物質	知見の集積等、各主体の責務を規定 事業者及び国民の排出抑制等自主的取組、国の科学的知見の充実、自治体の汚染状況把握等	
	指定物質	ベンゼン	ベンゼン乾燥施設等	施設・規模ごとに抑制基準 新設: 50~600mg/Nm³ 既設: 100~1500mg/Nm³
		トリクロロエチレン	トリクロロエチレンによる洗浄施設等	施設・規模ごとに抑制基準 新設: 150~300mg/Nm³ 既設: 300~500mg/Nm³
		テトラクロロエチレン	テトラクロロエチレンによるドライクリーニング機等	施設・規模ごとに抑制基準 新設: 150~300mg/Nm³ 既設: 300~500mg/Nm³

* ばいじん及び有害物質については、都道府県は条例で国の基準より厳しい上乗せ基準を設定することができる。

* 上記基準については、大気汚染状況の変化、対策の効果、産業構造や大気汚染源の変化、対策技術の開発普及状況等を踏まえ、随時見直しを行っていく必要がある。

** (低濃度でも継続的な摂取により健康影響が懸念される物質)

1-2 現在社会で問題視される大気汚染と汚染物質

大気について現在大きな課題となっているのが、オゾン層の破壊、酸性雨、温暖化等の地球規模の大気汚染です。また、近年では、健康への影響や障害となる浮遊粒子状物質（SPM）、黄砂、放射性物質、及びアスベストなどの汚染物質があります。

これらの人類共通の問題については、先進国と開発途上国が協力して一体となった取組を行う必要があります。同時に、多くの開発途上国においては、都市の大気汚染をはじめとする地域問題も激化しつつあります。

わが国には、地球規模の環境問題への取組とともに、これら開発途上国が現実に直面する問題の解決にも協力が求められています。

- (1) オゾン層破壊や地球温暖化をもたらすものは、人間のあらゆる活動によって発生するガス（温室効果ガス）が主原因となっており、下表のとおりです。

表1-2-1

温室効果ガス	地球温暖化係数（※）	性質	用途、排出源
二酸化炭素(CO ₂)	1	代表的な温室効果ガス	化石燃料の燃焼など。
メタン(CH ₄)	25	天然ガスの主成分で、常温で気体。よく燃える。	稲作、家畜の腸内発酵、廃棄物の埋め立てなど。
一酸化二窒素(N ₂ O)	298	数ある窒素酸化物の中で最も安定した物質。他の窒素酸化物などのような害はない。	燃料の燃焼、工業プロセスなど。
HFCS（ハイドロフルオロカーボン類）	1,430など	塩素がなく、オゾン層を破壊しないフロン。強力な温室効果ガス。	スプレー、エアコンや冷蔵庫などの冷媒、化学物質の製造プロセスなど。
PFCS（パーフルオロカーボン）	7,390など	炭素とフッ素だけからなるフロン。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。
SF ₆ （六フッ化硫黄）	22,800	硫黄の六フッ化物。強力な温室効果ガス。	電気の絶縁体など。
NF ₃ （三フッ化窒素）	17,200	窒素とフッ素からなる無機化合物。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。

（※）地球温暖化係数とは、温室効果ガスそれぞれの温室効果の程度を示す値です。

- (2) 生物や健康へ影響を与える大気汚染物質

① 水銀

2016（平成28）年9月大気汚染防止法の改正規制は、環境中を循環する水銀の総量を地球規模で削減するという水俣条約の趣旨に沿って、水銀等の大気排出量をできる限り抑制することを目的としています。2007（平成19）年夏に調査チームが測定した富士山頂の大気中の水銀濃度は、市街地の10倍を超える25ナノグラムを検出しています。

黄砂は、これに含まれる炭酸カルシウムがアルカリ性のため、酸性雨を和らげる働きがある。しかし、視界不良をおこし交通障害、洗濯物や家屋への付着、黄砂に付着した大気汚染物質を運んでくるなど生活環境の悪化をまねいています。

② アスベスト（石綿）

アスベストとは、蛇紋石や角閃石が繊維状に変形した天然の鉱物で、無機繊維状鉱物の総称。石綿の繊維1本は直径0.02-0.35μm（髪の毛の5,000分の1）程度である。耐久性、耐熱性、耐薬品性、電気絶縁性などの特性に非常に優れ、安価なため「奇跡の鉱物」と呼ばれて重宝され、建設資材、電気製品、自動車、家庭用品等様々な用途に広く使用されてきました。

空中に飛散した超微細な繊維の石綿を吸入すると、それが肺組織に突き刺さることにより、肺がんや中皮腫を引き起こすことから「死の粉じん」と呼ばれています。粉じんを吸い込むと発症するまで10～40年かかります。

高度成長期から1990年代まで建築資材として大量に使用されてきました。修繕や改築でアスベストが飛散し、労働者や住民が被害を受けています。

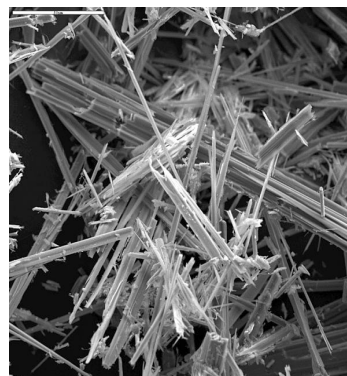


図1-2-1 アスベスト

建築物のアスベスト問題は、これを含有する建材が除去・撤去されない限り存在し続けます。どこに使われているか点検し、固まって飛散していない状態等を明示、把握して建材を取り壊す際には、飛散防止措置等の対策工事が必要です。

1-3 過去の大気汚染と原因

(1) 第二次世界大戦前の大気汚染（～1944年：昭和19年以前）

わが国における大気汚染の歴史は、当時の欧米を目標に殖産興業政策が推進された明治時代（1868～1912年）の初期にまで遡ります。当初、近代産業を牽引する中心的な役割を果たした紡績業や銅精錬業、製鉄業の規模が次第に拡大する明治年間から大正年間（1912～1926年）には、これらの地域で著しい大気汚染が発生しています。大阪、東京等の大都市においては、紡績業など近代産業の立地の他鍛冶業等各種の町工場が集中し、大正年間には火力発電所の立地等によって大気汚染がさらに進行しました。加えて、自動車交通による大気汚染も加わり複合した都市大気汚染が生じました。一方地方でも、明治中期から栃木県の足尾銅山、愛媛県の別子銅山、茨城県の日立鉱山といった銅精錬所周辺地域において、精錬に伴う硫黄酸化物による大気汚染が周辺農林水産業に深刻な被害を発生するまでに進行しました。

(2) 高度経済成長前半の大気汚染（1945～1964年：昭和20～30年代）

第二次世界大戦後におけるわが国の工業復興は早く、石炭を主要エネルギーとした工業は、各地で降下ばいじんや硫黄酸化物を主とする大気汚染問題を引き起こしています。大気汚染の発生によって各地で住民の苦情が相次ぎ、東京都や大阪府などいくつかの地方公共団体で、公害防止条例が制定されました。この当時の大気汚染は、石炭を燃焼させた後に発生する黒鉛・すすが主問題であり、集塵装置の導入によってかなり改善されました。

高度経済成長の初期から全国の主な工業都市の住民に、大気汚染の影響によると考えられる呼吸器障害が発生しています。1955～1964年頃の大気汚染が最も著しかった当時の状況に関する記録を集約によれば、硫黄酸化物やばいじん等による大気汚染によって視程は30～50mにまで落ち込み、自動車は日中でもライトをつけなければ運転できない状態であり、硫黄酸化物による鼻を刺すような臭いが立ちこめていたところもありました。この背景としては、1955年頃から積極的な産業基盤整備のための公共投資が行われたほか、民間設備投資や輸出の拡大に主導され、重化学工業化が進んだことが挙げられます。また、1955年には石油化学工業育成対策が公表され、臨海地帯に大規模なコンビナートを造り出す動きがありました。このような事情を背景に、1962年に「全国総合開発計画」が発表され、1963年には新産業都市建設促進法、工業整備特別地域整備促進法に基づき、新産業都市13地域、工業整備特別地域6地域が指定されました。このため、公害の発生源が集中して臨海工業地帯に立地することとなり、激甚な産業公害を生じさせる一つの要因となりました。（四日市コンビナート、千葉県京葉コンビナート、岡山県水島コンビナート、名古屋市南部地域等新設工業地帯）。川崎、尼崎、北九州など戦前からの工業地帯では、既存の製鉄所等の工場に加え、大規模な発電所、石油精製工場等が新たに立地したことにより、大気汚染は一層悪化することとなりました。

(3) 四日市の大気汚染（1960年代前半）

三重県四日市市は、1960年時点で人口約20万人、工業生産額は全国556市中第12位、わが国の石油化学工業の生産額の1/4を占めていました。1960年頃から大規模な石油コンビナートの操業が始まり、翌1961年頃からぜん息の様な症状を訴える住民が現れ、1963年6月頃からその訴えが顕著になりました。



図1-3-1

四日市の大気汚染は、塩浜地区のコンビナート稼動（1960年）に引き続いて午起地区のコンビナートが稼動を始めた1963～1964年頃に最悪の状態を示しました。当時四日市で使用された重油の硫黄含有量は3%前後であり、年間の硫黄酸化物排出量は13～14万トン（SO₂換算）と見積もられました。1964年の二酸化硫黄濃度は磯津地区で、1時間値では全測定時間の3%が0.5ppmを超え、時には1時間値の現行環境基準値0.1ppmの10倍である1ppmを超えたり、フルスケール2.5ppm測定器の針が振り切れることさえありました。なお、同地区の1964年のSO₂濃度の年平均値は0.075ppm（現行環境基準の概ね4倍弱に相当）でありました。

(4) 高度経済成長と公害の激化（1965～1974年：昭和40年代）

1973年の第1次石油危機（オイルショック）の発生まで、日本経済は高度経済成長を続け、1960年代後半の実質経済成長率は10%を超えていました。この間、エネルギー需要は拡大を続け、1965年～1974年の10年間に2倍強、1955年頃から見れば実に7倍に増大しました。

この時期は、大気汚染のみならず、水質汚濁、自然破壊、新幹線などによる騒音・振動などの問題も日本各地で顕在化し、公害の深刻度を増していきます。また、1968年には、厚生省により、イタイイタイ病の原因は、三井金属鉱業（株）の排水によるものとする見解が発表されました。

また、水俣病については、熊本県水俣湾周辺で発見されたものは新日本窒素肥料（株）、新潟県阿賀野川流域で発見されたものについては、昭和電工（株）の工場排水であるとする政府統一見解が発表され、これらの健康被害が産業型の公害によるものであることが明らかになってきました。

こうした結果を踏まえて、経済成長と環境保全とを二者択一の問題にとらえ、「産業発展のためとはいえ、公害は絶対に許せない」とする国民世論が急激な高まりをみせ、ようやく公害対策に関する施策が総合的に進められることとなりました。



図1-3-2

そのような中で、1972年に四日市公害裁判について、原告被害者側勝訴の判決が出されました。同判決が政府及び産業界に及ぼした影響は大きく、公害に関する損害賠償補償制度の速やかな確立が産業界を含め各方面から要望され、1973年には、公害健康被害補償法が制定されました。

(5) 石油危機と安定経済成長期以降の大気汚染（1975～1984年：昭和50年代）

1973年、日本は第1次石油危機（オイルショック）を迎えることとなりました。翌1974年には経済成長率は一気に落ち込み、戦後初のマイナス（-1.2%）を記録することとなりました。これを契機に大気汚染も新たな局面を迎えました。

1973年及び1979年の石油価格の大幅な引き上げは、全エネルギーの3/4を輸入石油に依存してきたわが国に大きな影響をもたらし、実質成長率も概ね5%を目安とする安定成長の時代となり、エネルギー需要も横這いの状況となりました。エネルギー価格の高騰は、基礎資材型産業を中心に省資源・省エネルギーへの取組を促進し、環境負荷を低減するとともに、加工組立型産業の技術革新が進展しました。

硫酸酸化物対策を中心とする産業公害型の大気汚染対策の着実な進展と裏腹に、この時期問題が顕在化してきたのが、都市・生活型の大気汚染です。その発生源は、工場・事業場のほか、無数ともいえる自動車等の移動発生源であり、汚染物質としては窒素酸化物がその代表です。

自動車排出ガス規制については、ガソリン車の一酸化炭素濃度について、1966年から運輸省による行政指導、1968年「大気汚染防止法」に基づく法的規制が行われました。1971年には、「大気汚染防止法」に自動車排出ガスとして一酸化炭素のほか、炭化水素、窒素酸化物、鉛化合物及び粒子状物質が追加されました。自動車排出ガス中の窒素酸化物の本格的な規制が始まるのは、日本版マスキー法と呼ばれた1978年度規制からでした。

(6) 都市・生活型大気汚染（1985～2000年：昭和60年代～平成10年代前半）

1985年以降、日本の経済状況はさらに大きく変化しました。産業の面では地方分散の傾向がみられ、工業出荷額では大都市圏の占める割合が相対的に低下しました。こうした状況の中で、環境政策の全体的な進展、企業による高度な公害防止技術の導入、省資源・省エネルギーの努力があいまって、この時期に入ると集中立地型の産業公害は沈静化しました。二酸化硫黄（SO₂）濃度の年平均値も下がって、ほぼ0.01ppm（概ね環境基準の1/2）レベルになりました。しかし、その一方で、改善ないし横這いの傾向にあった窒素酸化物による大気汚染については、1985年以降になって環境基準達成状況の悪化が明らかとなりました。平成10年度においてもなお、全国の自動車排出ガス測定局の3割以上が環境基準の上限（0.06ppm）を超過する状況にありました。また、浮遊粒子状物質（SPM）による大気汚染についても、環境基準達成率は依然として低い水準で推移しています。

都市・生活型大気汚染は、産業型のものに比べ、その影響が顕在化しにくく、慢性的な汚染状態が続くという特徴があります。また、産業型の大気汚染においては、原因者と被害者が区別されていましたが、都市・生活型大気汚染では、個々人が原因者であり、被害者になり得るという関係にあります。その克服には、個々人の消費や生活パターンの変革が必要となります。

このような大気汚染の状況の変化により、大気汚染が慢性気管支炎などの健康被害の主たる原因とは考えられなくなったことを踏まえ、1987年に「公害健康被害補償法」が改正され、翌1988年には、著しい大気汚染の影響により慢性気管支炎などが多発しているとして指定されてきた地域はすべて解除されました。その結果それまで指定されてきた地域では、新規の患者認定は行わなくなりましたが、これらの地域などにおいて、そのような健康被害を予防するための事業が公健協会内に設けられた基金により実施されることとなりました。

(7) 地球化時代の大気汚染（1990～2000年：平成元年～平成10年代前半）

1990年代に入って、環境問題のグローバル化は一層進みました。国際社会においては、「持続可能な開発」が人類の現在及び将来の基本的課題であるとの共通認識が形成されました。

（独立行政法人 環境再生保全機構HPより）

1 - 4 豆知識：京都議定書

(1) 概要

地球温暖化問題に世界各国が対応すべき具体的内容（法的拘束力を持つ数値目標）を初めて定めたものであり、1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約・第3回締約国会議（COP3）において採択された。

目標期間（第一約束期間、2008～2012年）において、1990年（基準年）比で温室効果ガスの削減率が国別に定められた。（先進国全体で、少なくとも5%以上の削減）。

地球温暖化の原因となる、温室効果ガスの一種である二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）、ハイドロフルオロカーボン類（HFCs）、パーフルオロカーボン類（PFCs）、六フッ化硫黄（SF₆）等です。

京都議定書の主な内容は以下。

- ・先進国に2008～2012年の温室効果ガス削減義務を課す。
- ・目標達成の手段として、国外での対策・削減分の売買など「京都メカニズム」を採用。
- ・森林などの吸収も、目標達成に利用可。
- ・ロシア、東欧諸国には、ゆるい目標により、余裕を認める。

(2) 京都議定書目標達成計画の進捗状況について（地球温暖化対策推進本部）

2008年度から2012年度の京都議定書第一約束期間中、5カ年平均の総排出量は、12億7,800万トンであり、基準年度比で1.4%の増加となりましたが、これに森林等吸収源及び京都メカニズムクレジットを加味すると、5カ年平均で基準年比8.4%減となり、わが国は京都議定書の目標（基準年比6%減）を達成したこととなります。

今回の点検において、見込みと実績のトレンドに大きな乖離が生じている対策や実績が見込みを下回っている対策については、計画策定時からの状況変化も影響を与えていると考えられるものの、今後の地球温暖化対策を考える際には、京都議定書目標達成計画の実施及び進捗点検を通じて得られた知見を十分に活用しながら、対策自体の在り方や、活動量の変化が対策量や削減量に与える影響の精査、削減をより確実なものとする施策の在り方についても検討が必要です。

（尚、詳細については地球温暖化対策推進本部HPを参照願います。）

(3) 概要を理解する言葉集

① 気候変動枠組条約

気候変動に関する国際連合枠組条約の目的は、大気中の温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素〔亜酸化窒素：N₂O〕など、HFCs、PFCs、SF₆）の増加が地球を温暖化し、自然の生態系などに悪影響を及ぼすおそれがあることを、人類共通の関心事であると確認し、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させ、現在及び将来の気候を保護することである。気候変動がもたらすさまざまな悪影響を防止の取組の原則、措置などを定めている。

② 京都メカニズム

国内での単なる排出量削減対策を除く植林活動や、国外での活動、削減量の国家間取引など、温室効果ガスの削減をより容易にするための規定で、柔軟性措置とも呼ばれる。一般に、クリーン開発、排出量取引、共同実施の3つのメカニズムを指すが、これに吸収源活動を含めることもある。

③ 地球温暖化係数（GWP）

各国の削減量は、総排出量に対するパーセンテージを適用して算出するが、二酸化炭素以外の対象ガスについては地球温暖化係数（GWP）を用いてCO₂相当量で計算される。

《対象ガスと地球温暖化係数（GWP）》

- ・二酸化炭素 CO₂ ⇒ 1
- ・メタン CH₄ ⇒ 25
- ・一酸化二窒素 N₂O ⇒ 298
- ・ハイドロフルオロカーボン類 HFCs ⇒ 1,430など
- ・パーフルオロカーボン類 PFCs ⇒ 7,390など
- ・六フッ化硫黄 SF₆ ⇒ 22800

例えば、

メタン1トンの排出は、二酸化炭素相当で21トン（1×21=21）の排出となる。

(4) 各種参考資料

削減の数値目標 (2008～2012年)

「先進国」全体で、温室効果ガスを少なくとも5%削減する。

温室効果ガス削減の数値目標

10%	アイスランド	
8%	オーストラリア	
1%	ノルウェー	
±0%	ニュージーランド、ロシア、ウクライナ	
-6%	日本、カナダ	
-7%	米国	
-7.5%	スイス、モナコ	
-8%	EU	ドイツ (-21%)、オーストリア (-13%)、イギリス (-12.5%) ベルギー (-7.5%)、イタリア (-6.5%)、フランス (±0%)、 スウェーデン (4%)、スペイン (15%)、ポルトガル (27%)

* EUは、全体で-8%を達成する。

京都議定書のまとめ

対象ガス	二酸化炭素CO ₂ 、メタンCH ₄ 、一酸化二窒素N ₂ O、 ハイドロフルオロカーボン類HFC、パーフルオロカーボン類PFC、 六フッ化硫黄SF ₆
基準年 目標年	1990年 (ただし、HFC類・PFC類・SF ₆ は1995年を選択できる) 2008～2012年 (第一約束期間)
数値目標	先進国全体で、少なくとも5%削減
バンキング	期間中に、割当て量に対し排出量が下回れば、 時期以降の割当て量に繰越ができる。
吸収源	植林、森林減少防止分を排出削減分としてカウントできる。
共同達成	数値目標を複数の国が共同で達成できる仕組み (EUが選択した)
共同実施	先進国間で共同プロジェクトにより排出量の移転・獲得ができる。 (国内対策において補完的である)
CDM	「クリーン開発メカニズム」 先進国と途上国間での共同プロジェクトで削減量を移転・ 獲得できる仕組み
排出量取引	先進国間で、割当て量を取引できる仕組み (国内対策において補完的である)
遵守制度	罰則を伴う遵守規定は、議定書の変更が必要
発効	①締約国の55カ国以上の批准、 ②先進国CO ₂ 排出総量の55%を占める先進国が批准 ⇒90日後に発効

1 - 5 国内の大気汚染状況（PM2.5など）

国内の大気汚染物質等

日本において環境省がモニタリングしている大気汚染物質は、以下の通りであり、順に解説を行います。

- (1) 二酸化窒素（NO₂）
ほとんどの測定局で環境基準値を達成しているが、自動車走行による排出物質に起因する大気汚染の考えられる交差点、道路及び道路端付近の大気を対象にした汚染状況を常時監視する測定局では、環境基準値を下回る場所が僅かであるが見受けられます。
- (2) 浮遊粒子状物質（SPM）
大陸からの黄砂の影響により大きく汚染状況が左右されている。近年では平成23年に九州、四国、中国地方を中心に多く、測定局で環境基準値を超えたSPM濃度の上昇が起きています。自動車走行によって大きく左右されることは近年は見受けられません。
- (3) 光化学オキシダント（Ox）
ほとんどの測定局で環境基準値を超えている。さらに注意報発令レベルの超過割合が多い地域として関東、東海（愛知県が中心）、近畿（大阪府が中心）、福岡県となっており、大都市及びその周辺部に多く見受けられます。
- (4) 非メタン炭化水素（NMHC）
光化学オキシダントの原因物質の一つである非メタン炭化水素（全炭化水素から光化学反応性を見做せるメタンを除いたもの）の環境基準値は設定されていないが、近年減少傾向にあり自動車の排ガス規制等の対策によって改善傾向にあります。
- (5) 二酸化硫黄（SO₂）
年間平均値は昭和40年代、50年代に比べ著しく改善し近年では環境基準値を超えることはほとんどなくなっています。
- (6) 一酸化炭素（CO）
全国的、長期的に環境基準値を超えることはなくなっている。1983（昭和58）年以降すべての測定局で環境基準値を下回っており、良好な状態が続いています。
- (7) 微小粒子状物質（PM2.5）
近年改善傾向が見受けられるが、関東、関西地方の一部で環境基準値を超えている地域がみられる他、中国・四国地方の瀬戸内海に面する地域と九州地方で依然として環境基準値を超えている測定局が多いです。
関東地方は都市部の道路に面した部分で環境基準を超える測定局が多くなっている。瀬戸内地域の環境基準値を超えている地域としては、工業地帯周辺や瀬戸内海に面する地域が多いです。九州地方は大陸からの越境大気汚染は、影響により、高濃度現象の発生が時折見られます。年平均として依然として高く長期基準を超過しています。
国際的な視点から見れば、中国の大気汚染物質の年平均濃度は低下傾向にある。国内においても、PM2.5の原因物質であるSO_x、NO_x、VOCなどの大気汚染物質の排出量は、発生源対策により経年的に減少傾向にあるが、PM2.5濃度に影響を与える様々な要因は時期や地域によっても異なることから引き続き注視していく必要があります。

(8) 微小粒子状物質 (PM2.5) 日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた延べ日数 (一般局)

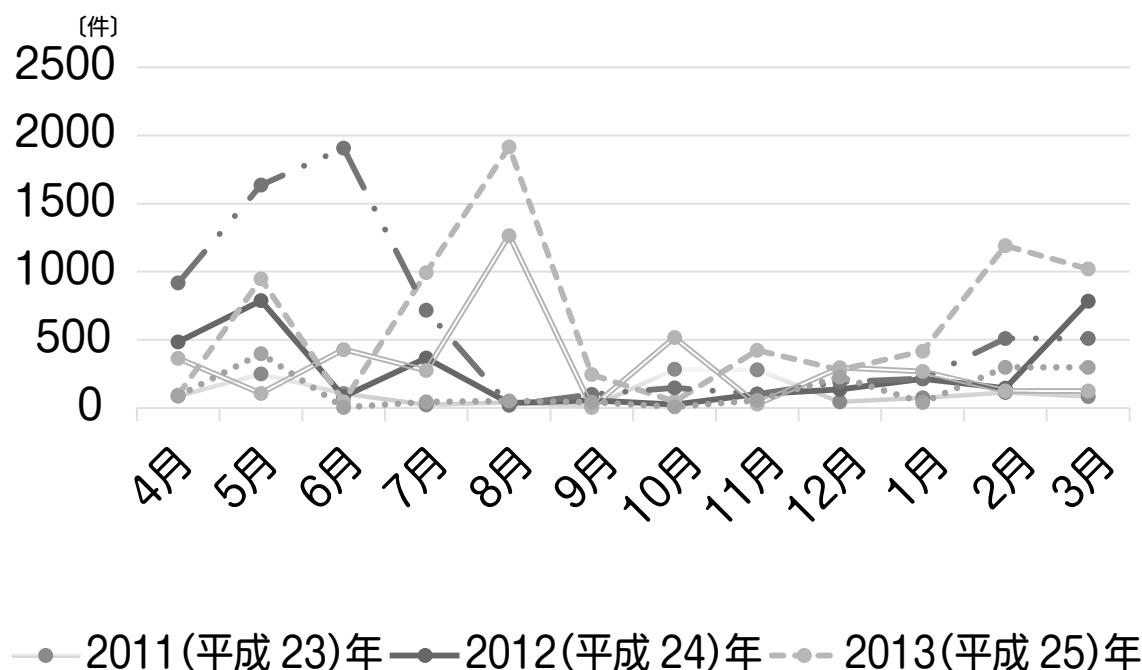


図1-5-1

※有効測定局 2011 (平成23) 年 105箇所、2012 (平成24) 年 312箇所
 数に変動があ 2013 (平成25) 年 492箇所、2014 (平成26) 年 672箇所
 ります。 2015 (平成27) 年 765箇所、2016 (平成28) 年 785箇所

(9) 環境省の環境基準

表1-5-1

項 目	環境上の条件
二酸化窒素	1 時間値の 1 日平均値が 0.04ppm から 0.06ppm までのゾーン内又はそれ以下であること。
浮遊粒子状物質	1 時間値の 1 日平均値が $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1 時間値が $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であること。
光化学オキシダント	1 時間値が 0.06ppm 以下であること。
二酸化硫黄	1 時間値の 1 日平均値が 0.04ppm 以下であり、かつ、1 時間値が 0.1ppm 以下であること。
一酸化炭素	1 時間値の 1 日平均値が 10ppm 以下であり、かつ、1 時間値の 8 時間平均値が 20ppm 以下であること。
微小粒子状物質(PM2.5)	1 年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1 日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること。

※日本における大気汚染の状況は環境省のHPより確認いただけます。

<http://www.env.go.jp/air/osen/index.html>

1-6 豆知識：そもそもPM2.5って？

(1) PM2.5とは

PM2.5は大気中に浮遊している直径2.5 μ m以下の微小粒子状物質のことを指します。2.5 μ mはどれぐらいの大きさなのかという疑問も出てきますが、これは2.5mmの1000分の1、髪の毛の太さの約1/30程度となります。

毎年春先に飛散するスギ花粉の大きさは約30 μ mとされていますから、PM2.5は超がつくほどの微小な粒子と言えます。ちなみにPM2.5の「PM」とは「Particulate Matter (粒子状物質)」の頭文字をとったものです。

PM2.5は単一の化学物質ではなく、炭素、硝酸塩、硫酸塩、アンモニウム塩、金属などさまざまな成分を含んだ混合物です。すでに多くの方がご存じのとおり、このPM2.5は人の健康を損なう大気汚染物質となります。

そして非常に小さな粒子のため、肺の奥にまで入ってしまうという特徴を持っています。詳細は後述しますがPM2.5の濃度が上昇するとさまざまな疾患や最悪の場合、命を落としてしまうリスクも高まります。

冒頭でも触れたように、一時期、各メディアでもPM2.5に対する問題が大きく取り上げられていました。PM2.5に詳しくない方は「なぜそこまで騒ぐのだろう？」という疑問をお持ちだと思います。

各メディアでPM2.5の問題が取り上げられるのは、それだけ人に及ぼす害が大きいからです。そのため、現在PM2.5に詳しくないという方もある程度の知識を身につけておき、正しい対策を施す必要があると言えるでしょう。

(2) PM2.5の発生原因はどこにあるのでしょうか？

PM2.5の発生源をまとめましたので解説します。

① 中国における発生源

「中国で発生したPM2.5が日本へ…」といった報道を目にしたことはありませんか？中国はその巨大な人口規模と石炭中心のエネルギー構造から、非常にPM2.5が発生しやすい環境です。2012年1月に北京市が発表した「北京のPM2.5の排出源」は以下のようになっています。

- ・自動車由来・・・22%
- ・発電所、ボイラー等の石炭燃焼・・・17%
- ・粉塵・・・16%
- ・自動車や家具塗装等の工業噴射揮発・・・16%
- ・農村の養殖、わらの焼却・・・5%
- ・天津市、河北省からの越境汚染・・・25%

(環境省「中国PM2.5の現状と対応」)

ご覧のように自動車の排気ガス、集中暖房のための石炭使用、工場の排煙などがPM2.5の主な発生源となっています。中国では一時期日本の面積をはるかに上回る範囲が重度の大気汚染に覆われていました。その結果、偏西風によって飛来したPM2.5が九州をはじめとした西日本へ被害をもたらすことになったのです。

② 日本国内における発生源

PM2.5は中国から飛来してくるものだと思っている方もいるかもしれませんが、たしかに主な発生源は中国ですが、日本国内でもPM2.5は発生しています。

環境省が公表している資料によるとPM2.5の発生源は以下のようになっています。

- ・エネルギー供給（電気、地域熱供給、都市ガス製造）
- ・産業（農林水産業、鉱業、建設業）、民生（家庭、事務所等）
- ・一般廃棄物処理施設、産業廃棄物処理施設、小型焼却炉
- ・農業（野焼き）、生活（喫煙、調理）、航空
- ・自動車（走行時）、作業用機械（建機、産機、農機）

(環境省「日本国内におけるPM2.5発生源情報の整備のための取組」)

日本でも1960年代～1970年代の高度経済成長期に大気汚染問題が深刻化して、対策を迫られたことがありました。現在はこの公害問題の対策も非常に進んでいるため、以前のように問題視されることは少なくなっています。ただし、注意点としてはPM2.5が日本国内で発生しなくなったわけではないということです。

上記の発生源を見てもわかるように、PM2.5は日本でも毎日のように発生しています。幸いなことに日本では工場のばい煙施設への規制、自動車の排ガス規制、ゴミ処理場のハイテク化などのおかげでPM2.5の排出量は減っています。しかし、PM2.5は普段の生活（喫煙、調理）においても発生することがわかっています。そのため、PM2.5は国に関係なく、私たち人間にとって非常に身近だと言えるでしょう。

1-7 豆知識：PM2.5と人に与える影響

(1) PM2.5が身体に与える主な影響

① 喉の違和感・目のかゆみや充血・くしゃみ

PM2.5は花粉症と似たような症状を引き起こすことで知られています。粒子が口や鼻から喉に入ってくると、まず喉に違和感を生じることになります。また、粒子がさらに奥に入ると気管や気管支の粘膜に刺激を与えるようになり、これにより咳も誘発されます。

2013年に福岡市が実施したアンケート調査によると、PM2.5の飛散後に福岡市民の72%が「喉の違和感」を訴えたとのこと。また喉以外にも「目のかゆみ」「くしゃみ」などの症状が現れた方がそれぞれ70%、60%に上っています。

(日本経済新聞 電子版)

また同調査では何らかのアレルギー症状を持つ人は、特に症状が重くなる傾向にあることもわかっています。ちなみにPM2.5は毎年春先に発症する花粉症の症状悪化を招くことも予想されています。

② 呼吸器系疾患のリスクの上昇

PM2.5は粒子が非常に小さいため、肺の奥にまで入りやすいという特徴を持っています。これにより、ぜんそくや気管支炎などの疾患を引き起こすリスクが上昇するとみられています。

日本では高度経済成長期の1960年代から1970年代にかけて四大公害病の一つ「四日市ぜんそく」が発生しました。四日市ぜんそくも四日市コンビナートから発生した大気汚染が原因です。

このように大気汚染を引き起こす物質というのは、呼吸器系への健康被害をもたらすことが多いため、特にもともと呼吸器系の疾患をお持ちの方は十分な対策をしておく必要があると言えるでしょう。

③ 心疾患のリスク上昇

肺に入り込んだPM2.5が血流に乗ることで、他の臓器に達することもあります。PM2.5に含まれる有害物質は血液凝固系を活性化し、血栓の形成を誘導する可能性があることもわかっています。これにより心筋梗塞などの心疾患発症のリスクも上昇するとみられています。

④ 肺がん発症のリスク上昇

世界保健機関（WHO）の専門組織でもある国際がん研究機関（IARC）は、微小粒子状物質PM2.5などの大気汚染物質には「肺がんを引き起こす十分な証拠がある」と強調しています。

実際に国際がん研究機関ではこれらの大気汚染物質による発がんリスクを最高レベルに分類しています。

(日本経済新聞 電子版)

また環境省が公表している資料では、PM2.5の長期曝露によって肺がんのリスクが18%上昇すること。

PM2.5の主成分の一つでもある硫酸塩（ディーゼル排ガスに含まれる成分の一つ）などは、化学反応を起こして発がん性物質に変化します。この物質を吸い込むことで肺が炎症を起こすため、肺がん発症のリスクが高まることが指摘されています。

(2) PM2.5の対処法・予防法を解説

普段からPM2.5の対策をしっかりと行っておく必要があります。

ここでは自身でも実践できるPM2.5の対処法、予防法を解説します。

① 外出時はマスクを着用する

空気中を飛散するPM2.5は、やはり屋外で活動している時に最も影響を受けます。

そのため、外出時はPM2.5が口と鼻から入るのを防ぐ必要があります。最も手軽にできる対策はマスクの着用です。

ただし普段使っているようなマスクではPM2.5対策は難しいかもしれません。

理由としては先ほども取り上げたようにPM2.5は非常に粒子が小さいからです。

一般的なマスクはフィルターの大きさが3 μ m (0.003mm) となっていることが多いです。PM2.5は粒子の大きさが2.5 μ mですから、PM2.5を完全に遮断することはできません。

そのため、PM2.5に対応可能なマスクを着用することを推奨します。

具体的には「N99」「N95」といった規格のマスクがPM2.5に対応しています。N99、N95の意味ですが、これは0.1 μ mの微粒子をそれぞれ99%、95%カットできますよとい

うことを表しています。一般的なマスクと比べるとやはり価格は多少高くなりますが、PM2.5の身体への影響を考えると、一つは所有しておきたいところです。

もし、PM2.5対策用のマスクを用意できないという方は、通常のマスクでもかまわないので着用しましょう。完璧な対策は難しいですが、着用しない状態で外出するよりも被害を少なくすることができます。

また、顔とマスクの間に隙間があるとそこから有害物質が入り込みます。したがって自身の顔に合ったサイズのものを選ぶことも大切です。

② 帰宅時は速やかに手洗い・うがいを行う

マスクの着用と併用で行いたいのが手洗い・うがいです。仮にマスクを着用しても非常に小さい粒子でもあるPM2.5の侵入を100%防ぐことはできません。

そのため、どうしても口や鼻の中にPM2.5は付着してしまいます。手洗いやうがいはこのような体内に付着したPM2.5を除去するのに効果的であり、環境省もPM2.5の予防法として推奨しています。

③ 空気清浄機を使用する

こちら環境省が推奨するPM2.5の対策法の一つです。空気中に舞うPM2.5を効率的に取り除くには空気清浄機がおすすめです。PM2.5対策で空気清浄機を用いるなら、HEPAフィルターが搭載されているものを選ぶようにしましょう。HEPAフィルターは空気中を舞う非常に小さなホコリも高い確率でキャッチしてくれる高性能なフィルターです。このHEPAフィルターは0.3 μ mほどの粒子であれば99%以上の捕集率をもっています。

つまりPM2.5 (2.5 μ m) に対しては、確実な効果が期待できるということです。

その他、近年は空気清浄能力の劣化を防ぎながら、PM2.5対策を行うことができるプラズマイオン化部を搭載した空気清浄機もあります。基本的にPM2.5に対応している空気清浄機は「PM2.5対応」と表示されていることが多いです。そのため、空気清浄機の選び方がわからないという方は、これらの表示を参考にするとよいでしょう。ちなみに空気清浄機の効果的な使い方は、PM2.5の場合は床に設置するようにしましょう。

花粉、ホコリ、PM2.5はタバコの煙などとは違って重力の影響を受けやすく、落下速度も速めです。したがってできるだけ低い位置に設置するのが好ましいとされています。

④ 洗濯物は外に干さない

PM2.5の濃度が高い日は洗濯物を外で干すのも避けたほうがよいでしょう。PM2.5は花粉よりも小さい物質なので、予想以上に繊維の中に入り込みやすいことも関係しています。PM2.5の影響で外干しができない日は自然と室内干しになりますが、室内で洗濯物を干すとどうしても乾きが悪く雑菌が繁殖しやすくなるということも考えられます。

そのような時は乾燥機などを使用して乾かすという方法もあります。もちろんエアコン、扇風機の風を洗濯物に当てて乾かすという方法もおすすめです。また、PM2.5の影響で布団を干せないという方も、布団乾燥機を使うなどの工夫を施してみましょう。

⑤ 換気・窓の開閉は必要最小限にとどめておく

こちら洗濯物と同様、PM2.5の濃度が高い日に実践しておきたい対策です。天気の良い日などは換気をしたくなりますが、PM2.5の濃度が高い日は窓の開閉を必要最低限にとどめておきましょう。

窓の開閉を最低限にとどめておくことで、外気の屋内への侵入もできるだけ少なくすることが出来ます。ちなみにこの方法も環境省や各市区町村の公式HPに掲載されているので、興味がある方はチェックしてみましょう。

第2章 いろいろな空気環境基準

2-1 空気質指標の海外事例 WHOガイドライン等

(1) 海外の取組の特徴

空気質指標の海外事例は、表2-1-1に整理されていますので、参考にしてください。
ここでは、諸外国の特徴を見ることにします。

- ・取組の基本概念は情報提供（空気質ガイドライン、ラベリング、パンフレット等）アメリカ連邦政府組織のラベリングは、民間の責任強化と合わせて、政府関係建物に関する基準を設けることにより、指導する方針を取っています。また、消費者の教育を目的とした情報提供や、連邦省庁間空気質委員会による省庁間の情報連携強化を図っています。
- ・アメリカEPA（環境保護庁）では、AQI（空気質指数）を定め、主要都市で大気汚染物質濃度の観測を行なうとともに指数を発表しています。さらに、人口35万人以上の都市については、観測値に基づく当日の指数だけでなく、予報に基づく翌日の指数も毎日発表しています。
- ・有害性が高く、広範囲に使用される化学物質は、公衆衛生問題として汚染源を規制
- ・各国独自の実態と戦略に基づいた空気質ガイドライン（気候風土、生活習慣、空気汚染の実態等）
- ・生物学的要因等の汚染物質の空気質ガイドライン（ノルウェー：ハウスダスト、中国：細菌）
- ・予防やアレルギー疾患への配慮によるガイドラインの分類

といったことが、見受けられます。

(2) WHOとは？

世界保健機関（WHO）は、1946年7月22日にニューヨークで61カ国の代表により署名され、1948年4月7日に設立、日本は国際連合加盟よりも早く1951年5月に加盟しました。人間の健康を基本的人権の一つと捉え、その達成を目的として設立された国際連合の専門機関ですが「健康」を「身体的、精神的、社会的に完全に良好な状態であり、単に病気あるいは虚弱でないことではない」（WHO憲章前文）と定義しており、非常に広範な目標を掲げています。

(3) WHOが捉えている大気汚染の現状

都市部と農村部の大気汚染は、2016年に全世界で早期死亡者が420万人になると推定され、PM2.5等の粒子状物質への曝露が原因で心血管や呼吸器疾患及び癌を引き起こすとされています。大気汚染のほとんどの原因は、個人が管理できる範囲をはるかに超えており、輸送、エネルギー、廃棄物管理、都市計画、農業などの分野で働く地方、国家、地域レベルの政策立案者による協調行動を求めています。

(4) WHOの空気質に関連した取組

国際連盟の時代から健康に影響を与える温熱や騒音、採光、給水、汚水処理に加え空気汚染等に注目していました。1999年に空気質ガイドラインを発表し、2005年に5つの汚染物質から拡大を図っており、2020年にガイドラインが改定される予定です。

(5) ガイドラインの狙い

- ① 人の健康に対して有害である、あるいは有害である可能性のある空気汚染物質による一般住民への健康影響から保護するための基礎資料を提供すること。
- ② 環境基準値の設定など、関係諸国のリスク管理における政策決定に利用可能な情報や指針を提供すること。
- ③ 空気質ガイドラインは、そのまま環境基準値とすべきではなく、環境基準値が設定される前に、曝露レベル、環境、社会、経済、文化的な状況を考慮すること。

(6) 日本のスタンス

日本においては、表2-1-1から見えてくるように、規制対象物質の優先付けの選定基準として、WHOの疫学調査等による先行指標や、他国の規制、特にアメリカEPA（環境保護庁）の動向に影響を受けたものとなっています。

表2-1-1 空気質指標：海外事例

汚染物質	単位	ドイツ 連邦環境庁 (1996-2004)		フィンランド 室内空気質気候学会 (2001)			中国(香港)(2003) オフィス、公共の場 (8h)		日本厚生労働省 (1997-2001) 抜粋	WHO (1999) 抜粋	WHO欧州 (2000) 抜粋	カリフォルニア州 大気資源局 (2005)	米国環境保護庁(EPA) AQI (2003)
		RW I	RW II	S1	S2	S3	Excellent	Good					
二酸化窒素	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	60(1w) 350(30m)	-	-	-	40	150	-	200(1h) 40(1y)	200(1h) 40(1y)	80(24h) 250(1h)	- 53(1y)
一酸化炭素	mg/m^3	1.5(8h) 6(30m)	15(8h) 60(30m)	2	3	8	2	10	10ppm ^(a)	10(8h) 30(1h)	10(8h) 30(1h)	9(8h) 20(1h)	9(8h) 35(1h)
二酸化炭素	mg/m^3	-	-	1300	1650	2200	800ppm	1000ppm	1000ppm ^(a)	1000ppm	-	-	-
オゾン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	20	50	80	50	120	-	120(8h)	120(8h)	-	80(8h)
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	20	40	50	20	180	150(24h) ^(a)	-	-	50(24h) 150(24h)	50(1y) 150(24h)
PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	-	-	-	35(24h) ^(b) 15(1y) ^(b)	-	-	65(24h) -	65(24h) 15(1y)
ホルムアルデヒド	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	120 (1977年設定)	-	30	50	100	30	100	100	100(30m)	100(30m)	27(8h)	-
トルエン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	300	3000	-	-	-	-	-	260	260(1w) 1000(30m)	260(1w) 1000(30m)	- -	- -
スチレン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	30	300	-	-	-	-	-	220	260(1w) 7(30m)	260(1w) 70(30m)	- -	- -
ナフタレン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジクロロメタン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200	2000(24h)	-	-	-	-	-	-	3000(24h)	450(1w) 3000(24h)	- -	- -
二環式テルペン	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
リン酸トリス(2-クロロエチル)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジイソシアート	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	硬化後に長期曝露は ないが使用時は換気		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
総揮発性有機化合物 (TVOC)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1000～3000未満 (永住空間) 200～300未満 (長期平均濃度目標)		200	300	600	200	600	400	-	-	-	-
アンモニア	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	30	30	40	-	-	-	-	-	-	-
ペンタクロロフェノール	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ラドン	Bq/m^3	-	-	100	100	200	150	200	-	-	100(1y)	-	-
水銀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.035	0.35	-	-	-	-	-	-	1(1y)	1(1y)	-	-
細菌	CFU/ m^3	-	-	-	-	-	500	1000	-	-	-	-	-
臭気強度	強度指数	-	-	3	4	5.5	-	-	-	-	-	-	-

* () : y(年), w(週), h(時間), m(分)の各平均曝露時間

(a)建築物衛生法の建築物環境衛生管理基準 (b)環境省告示-33号(H21.9)

<出典>「諸外国の室内空気質規制に関する調査研究」：東賢一 他2名 [加筆]

2-2 空気環境基準の歴史（空気環境基準値の項目と規制変化）

（1）建築物衛生法 設立の経緯

環境基準のベースとなる「環境基本法」1993（平成5）年に辿り着くまでの軌跡について、建築物衛生法と、その空気環境基準値の項目が如何に制定されていったかを確認していきます。

また、環境基準は、現に得られる限りの科学的知見を基礎として定められているものであり、常に新しい科学的知見の収集に努め、適切な科学的判断が加えられていかなければならないとされています。

表2-2-1 建築物衛生法 設立関連年表

年	法規・報告等	特記事項
1960 年代前半 1968	ばい煙規制法 公害対策基本法 （環境基準、公害防止計画策定）、 大気汚染防止法、SO ₂ 環境基準	主要な使用燃料が石炭から石油に移行 することで、大気汚染全般へ網掛けさ れ、いわゆる総量規制、上乘せ規制が 制定された
1969	公害防止計画策定の基本方針	浮遊粉じんの目標値年間を通じて24時間 平均値0.15mg/Nm ³ 以下の 日数50% 以上を設定 24時間平均値10ppm以下
1970	COの環境基準の専門委員会 浮遊粉じん環境基準専門委員会 浮遊粒子状物質委員会 「建築物衛生法・施行令」公布 施行	24時間平均値0.1mg/m ³ 以下 建築物環境衛生管理基準を設定
1993	環境基本法	
2002	「改正建築物衛生法施行令」公布 施行	ホルムアルデヒドを管理基準に追加
2014	石綿飛散防止規制(改正大気汚染防止法)	
2015	水銀排出規制(改正大気汚染防止法)	
...	...	...

（2）建築物衛生法、労働安全衛生法に基づく基準

特に、私たちが留意しなければならないのは、特定建築物以外に適用される労働安全衛生法に基づく事務所衛生基準規則です。

表2-2-2 建築物衛生法、労働安全衛生法に基づく基準

設備	項目	建築物衛生法		労働安全衛生法	
		建築物環境衛生管理基準		事務所衛生基準規則	
		基準値	測定	基準値	測定
なし	一酸化炭素	-		50ppm以下	
	二酸化炭素	-		0.5%以下	
空気調和設備	浮遊粉じん量	0.15mg/m ³ 以下	○	0.15mg/m ³ 以下	
	一酸化炭素	10ppm以下	○	10ppm以下	○
	二酸化炭素	1000ppm以下	○	1000ppm以下	○
	ホルムアルデヒド	0.1mg/m ³ (0.08ppm) 以下	△	0.1mg/m ³ 以下	△
	気流	0.5m/s以下	○	0.5m/s以下	
	室温 (温度)	17℃以上28℃以下	○	17℃以上28℃以下	○
	相対湿度	40%以上70%以下	○	40%以上70%以下	○
機械換気設備	浮遊粉じん量	0.15mg/m ³ 以下	○	0.15mg/m ³ 以下	
	一酸化炭素	10ppm以下	○	10ppm以下	
	二酸化炭素	0.1%以下	○	0.1%以下	
	ホルムアルデヒド	0.1mg/m ³ (0.08ppm) 以下	△	0.1mg/m ³ 以下	△
	気流	0.5m/s以下	○	0.5m/s以下	

○：2ヵ月以内ごとに1回

△：新築、増築、改築、移転、大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し、その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回

表2-2-3 適用区分

	特定建築物以外	特定建築物
事務所のある建物	事務所衛生基準規則	事務所衛生基準規則 建築物衛生法
事務所のない建物	規制なし	建築物衛生法

2-3 室内空気質 (IAQ)

室内空気質とは、一般に建物内等の空気中のガス成分量を指します。
略称は、IAQ (Indoor air quality) で表わします。

この章では、室内空気質に関わる問題点、評価手法等について示します。

(1) 室内空気質に関わる問題点

1970 (昭和45) 年代のオイルショックの後、1980 (昭和55) 年代の米国において建物への導入外気量 (換気量) の削減が、居住者の著しい健康障害を招き、シックビルディングシンドロームとして大きな社会問題となりました。わが国では、建築物衛生法 (1970 年公布) により大規模な特定建築物においては、二酸化炭素濃度1000ppmという基準があったことから換気量の削減は行われず、いわゆるシックビルディングシンドローム問題は顕在化しませんでした。しかし基準値のない住宅において、ホルムアルデヒドなどの木質系建材から発散する化学物質が原因となってシックビルディングシンドロームと同じ症状がおき、大きな社会問題となりました。これらはいずれも、室内の空気質に関する適切な評価と換気設計が行われなかったためといえることができます。

厚生労働省では2000 (平成12) 年に「シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会」を立ち上げ、VOC及び準揮発性有機化合物 (SVOC) と総称される沸点が240℃ないし260℃～380℃ないし400℃の範囲の比較的沸点の高い化合物、計13物質について、室内濃度指針値を設定しました。さらに、総体的に室内空気質を向上させて居住者の健康を確保するという観点から、総揮発性有機化合物 (total VOC : TVOC) について400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の暫定目標値が設けられました。室内濃度指針値は、その後の「住宅の品質確保の促進等に関する法律」や「学校環境衛生基準」の典拠として、わが国における健全な室内空気質の確保に重要な貢献をしてきました。

しかし、上記の室内濃度指針値・暫定目標値が設定されてから年数が経過し、その間、WHOの室内空気質ガイドラインが提示され、未規制物質による室内空気汚染実態の把握が急務となっていました。このような背景から、厚生労働省ではしばらく中断していたシックハウス検討会を2012 (平成24) 年9月より再開し、室内濃度指針値の見直しあるいは対象物質の追加等に関する討議が進められています。以上の経過は厚生労働省HPに掲載されています。

(2) 対象物質と指針値

・二酸化炭素	100ppm	建築物衛生法
・一酸化炭素	10ppm	//
・粉じん	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	//

以下、厚生労働省指定13化学物質と指針値

・ホルムアルデヒド	0.08ppm	建築基準法により仕様規定
・トルエン	0.07ppm	
・キシレン	0.2ppm	
・スチレン	0.05ppm	
・エチルベンゼン	0.88ppm	
・パラジクロロベンゼン	0.84ppm	
・フタル酸ジ n - ブチル	0.85ppm	
・クロルピリホス建築基準法により仕様規定	0.87ppm	
・テトラデカン	0.84ppm	
・フタル酸ジ n - エチルヘキシル	7.6ppm	
・ダイアジノン	0.02ppm	
・フェノブカルブ	3.8ppm	
・TVOC (総揮発性有機化合物)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

(3) 室内空気質の評価手法

室内空気質の適正な評価ができて正しい換気設計、適正な室内空気環境の維持・管理が可能になるのは言うまでもありません。空気環境の評価方法を下記に示します。

① 健康性からの評価

長時間在室していても、人体の健康に影響を与えることはないかという観点です。シックビルディングシンドロームを発症したり、化学物質過敏症に罹患することのないレベルの清浄度を意味しています。

② 快適性からの評価

人の主観的な評価であり、在室する場合に臭気による不快感を感じず、長期在室できるかという観点です。評価をする場合に、初めてその空気を呼吸したときに感ずる不快感で評価する場合と、長期在室している在室者によって評価される場合があります。長期在室すると、嗅覚が臭いに順応してわからなくなることから、前者の方法が一般的です。臭気の評価とともに、知覚空気室の評価にも用いられます。

③ 知的生産性からの評価

近年新たな評価方法として注目されているもので、室内での在室者の生産性から環境評価を行うものです。生産性の評価には、主観評価によるものと、試験によりその成績で評価するものなどがあります。

④ 建築物における空気環境項目別の不適率

空気環境6項目の不適率経年変化データ（東京都）より、室内空気質の問題点を考察し、その解決方法を検討します。

図2-3-1より、一酸化炭素、気流については低い不適率で推移しています。一方、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率においては、いずれも値が高く、3回の顕著な上昇がみられました。それぞれは、省エネ法の改正と建築物衛生法改正の翌年、東日本大震災の年と重なります。

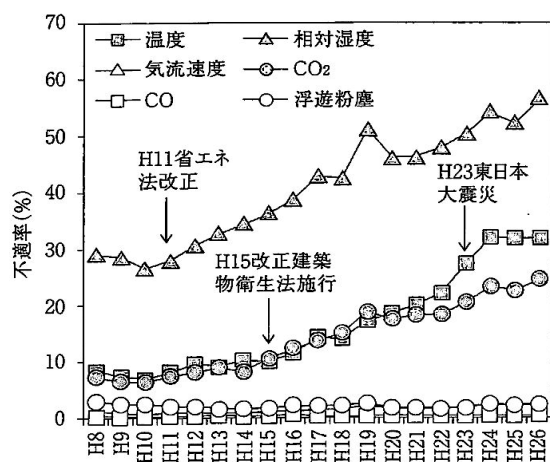


図2-3-1 空気環境6項目の不適率

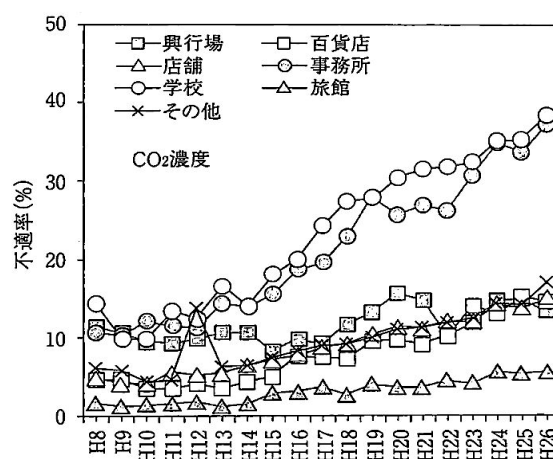


図2-3-2 二酸化炭素、用途別不適率

ア. 相対湿度の不適率が高い理由

- ・加湿方式が気化式を採用している場合、加湿しないと加湿が不十分となります。
- ・上記に加え、気化式加湿器の場合には、全熱交換器を併用しないと加湿が不十分となります。空気線図にて検討されたい。
- ・加湿器を設置していない事例があります。

イ. 二酸化炭素濃度が高い理由

- ・個別空調方式の採用により外気取入量が少ない事例があります。さらに取入位置が低い例が多くなっています。
- ・外気のCO₂濃度が高い建物が多い。従来の外気取入れ量は、外気CO₂濃度が350ppm程度を想定して計画されています。しかし近年の外気CO₂濃度が高くなってきています。

(4) 二酸化炭素濃度基準について

① 体臭強度の指標

建築基準法及び建築物衛生法において、室内空気質の基準で二酸化炭素濃度は1000ppm以下と定められています。CO₂濃度1000ppmは室内空気質の総合的指標でなく、人間の呼気由来のCO₂だけを対象とした「CO₂濃度は体臭強度の代表的指標」というのが正しいでしょう。そして、嗅覚は順応することから、外来者評価による体臭強度の指標であると言えます。しかし東京都の立入り検査では、室内CO₂濃度が1000ppmを超える建物の割合が多くなっています。理由は地球温暖化に伴う大気中のCO₂濃度の増加が挙げられます。

② 1000ppmと決められた経過

アメリカASHRAEをはじめとして各国の換気基準の基になったのは、ペッテンコッフェルの論文(1858年)で、彼は人による空気汚染はCO₂濃度の増加を伴うため、長時間在室する室内でのCO₂濃度は700ppm、通常の室では1000ppmを提唱しました。その後、ピリングス(1893年)が健康の観点から最低換気量を提唱しましたが、最終的には体臭制御という目的からヤグロー(1936年)らの研究成果を基礎としてASHRAE基準62(1973年)が制定されました。この基準では事務所の換気量は25~42m³/h人とされ、外気のCO₂濃度を330ppmとすると、800~1100ppm程度となる換気量でした。この基準から2年後に建築物衛生法が制定されました。それから現在までCO₂濃度1000ppmの値は変更されていません。

③ 5000ppmでの健康影響

一般的に、CO₂の毒性は5000ppm以下の濃度では健康に影響がないとされています。労働安全衛生法での事務所基準においても空調がない場合は5000ppm以下と定められています。ただし研究者によっては「5000ppm以下の低濃度でも、人によっては頭痛や能率の低下に繋がり知的生産性が低下する」との実験結果もあります。

下記に、「CO₂濃度の人体における健康影響：東京消防庁」を提示します。

二酸化炭素(CO₂)の人体における影響

CO ₂ 濃度	人体への影響
360ppm	大気中の現在の濃度。(東京新宿の路上450ppm)
5000ppm	労働衛生上の許容濃度(1日8時間労働)。
18000ppm(1.8%)	換気を50%増加する必要があります。
30000ppm	呼吸困難にいたる。頭痛、吐き気、弱い麻酔性を伴う、視覚が減退し、血圧や脈拍が上がる。
40000ppm	換気を300%に増加する必要がある。頭痛が激しくなる。
50000ppm	30分後に毒性の兆候が現れ、頭痛やめまいのほかに、発汗する。
80000ppm	めまいがして、人事不詳の睡眠状態に陥る。
90000ppm	血圧が失われ、充血して、4時間後死ぬ。
100000ppm以上	視覚障害、けいれん、呼吸激しくなり、血圧が高くなって、意識が失われる。
250000ppm	中枢神経がおかされ、昏睡、けいれん、窒息死。

(東京消防庁提供の資料による)

図2-3-3 二酸化炭素の人体における影響

④ 必要換気量の計算

室内を1000ppmで維持するために必要な換気量は、下記の計算式で計算できます。

$$Q = M / (C - C_0)$$

Q：必要換気量

M：室内発生量

C：室内設計量

C₀：外気濃度 東京都平成23年度調査：450～460ppm

$$Q = 20 \{L / (h \cdot \text{人})\} \times 10^{-3} \{m^3 / L(1000\text{ppm} - 450\text{ppm}) \times 10^{-6} \\ = 36.4 m^3 / h \cdot \text{人}$$

一般的な空調設計においては、25m³/h・人としているので外気量が不足するのは明らかです。従って図2-3-1、2-3-2での二酸化炭素濃度不適格が説明できます。

⑤ CO₂濃度不適等の解決方法

公衆衛生の見地からは、換気量が多ければ空気浄化は促進されますが、エネルギー管理の面では出来るだけ少ない換気量が求められています。1000ppmの値に対して課題が残ります。CO₂濃度不適を解決する方法は次に挙げられます。

ア．外気取入口は、沿道からの自動車排気ガスや厨房排気口、冷却塔からなるべく離す。

イ．外気取入口は、地上より10m以上を目安とします。(東京都指導)

ウ．室内への外気取入れ量を、建物立地環境を考慮して増加させる。
従来の設計外気量25m³/h・人では不足する場合があります。

2 - 4 快適環境指標 (PMV)

PMV (Predicted Mean Vote) 予測平均温冷感申告とは、人間が感じる温冷感の指標です。本章ではPMVを含む快適環境指標の基礎と応用について紹介します。

(1) PMVとは

PMVは人間の感覚量から物理的考察に基づいて温熱快適性を表示したもので、1967年にデンマーク工科大学のオレ・ファンガーによって提唱されました。温冷感を決定する環境側の4要素(気温・湿度・風速・熱放射)に、人体側の2要素(代謝当量・着衣量)を加えて考慮したものです。PMVでは、PMV=0の状態を熱的中立とし、-3から+3の7段階(0でも不満の人が約5%存在する)で人間の温熱快適性を表現します。なお、極端に過酷な環境下ではPMVは適用されません。

ファンガーは被験者実験によってPMVとPPD(予測不満足者率)の関係式を示しています。国際標準化機構の基準では、 $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$ の範囲(PPDが10%以下の範囲)を快適域として推奨しています。PMVは椅座・安静の場合発汗しないことを前提とした快適方程式に基づいた指標であり、発汗するような暑い環境には向いておらず、暖房環境向きといわれています。なお温熱環境の快適性基準として、PMVとPPDはISO-7730で国際標準化がされています。

PMVは以下の式で算出されます。

$$\text{PMV} = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)L$$

L: 人体の熱負荷 [W/m²], M: 代謝量 [W/m²]

(2) 熱的快適性とは

ASHRAE(米国暖房冷凍空調学会)では、熱的快適性を「温熱環境に満足を示す心の状態」と定義しています。空調設備設計において、通常は複数人、時には大人数のいる空間が空調の対象となります。大人数を同時に気持ちよくさせることは難しい。なぜなら自分がベストと感じる状態は個人の好みによって異なるからです。一方で、全員を不快にすることはそれほど難しい事ではありません。人は生命の危機につながる状態を本能的に不快と感じるためです。不快な環境条件は、ばらつきが比較的小さいのです。すなわち不特定多数が集まる空間での快適性を考える場合、不快と感じる人をなるべく少なくするのが快適空調の目標となります。温熱環境でいうと、なるべく多くの人が「暑くも寒くもない」と感じる状態が集団のための熱的快適性の方針となります。

(3) 体温調節の原理

人間は恒温動物であり、周囲の温熱環境が変化しても一定の範囲内に体温を保つことができます。体温を保てなくなったときに、人は不快に感じます。熱的快適性の原理は、この人間の体温調節機能を理解する必要があります。人間の体温調節機能には、①自律性体温調節と②行動性体温調節の2つの調節機能があります。①は個人の意思とは無関係に生物の生理機能として起きる反応で、②は意識的または無意識的に状態を調整する行為を示します。どちらも人間が体温を維持していくのに重要な機能です。

(4) 自律性体温調節とは

人間は生きている間、常に体内で熱を作り続けています。体内に食物と酸素を取り込み、代謝によって熱に変えています。熱はおもに体を動かすのに使われる筋肉や臓器でつくられています。運動すると体が温まるのは、これらの器官でつくられた熱が血液の循環により体全体に行き渡るからです。

暑い環境で起こる体温調整反応は「皮膚血管の拡張」です。皮膚血管の血流を増加させ、外部に近く長い経路を循環させることで血液温度を下げようとする反応です。この反応で放熱が不十分な場合、次に「発汗」が始まります。汗が蒸発していくときに潜熱により皮膚から熱が奪われ、体を冷やす効果をもたらします。

寒い環境では、体から逃げていく熱を減らす反応が起こります。「皮膚血管の収縮」は、皮膚血管を収縮させ、体深部(約37℃)に近い経路を通る血流を増やす反応です。

もう一つの反応は「ふるえ」で、強制的に筋肉を運動させ産熱を活発にしようとする反応です。安静時の3~5倍の熱をつくり出します。

(5) 行動性体温調節とは

人間は(4)のような自律性体温調整機能を持っていますが、発汗やふるえは長時間維持できません。自律性体温調整機能を補うために必要なものがあります。着衣量での調節、運動量の変化、姿勢の変化、滞在場所の選択などにより人体からの放熱を変化・調整させているのです。空調による温湿度や気流の調整も、人間が獲得してきた広い意味での行動性体温調整の手段であるといえます。

行動性体温調整のきっかけは暑さや寒さの感覚であり、「温冷感」といいます。体内で作り続けられている熱を適度に体外に逃し、体深部温度を約37℃で維持できていると「暑くも寒くもない」状態となります。この産熱と放熱のバランスが崩れたときの感覚が不快感と関係があり、すなわち、人体と環境間での熱の差し引きが熱的快適性の鍵となります。

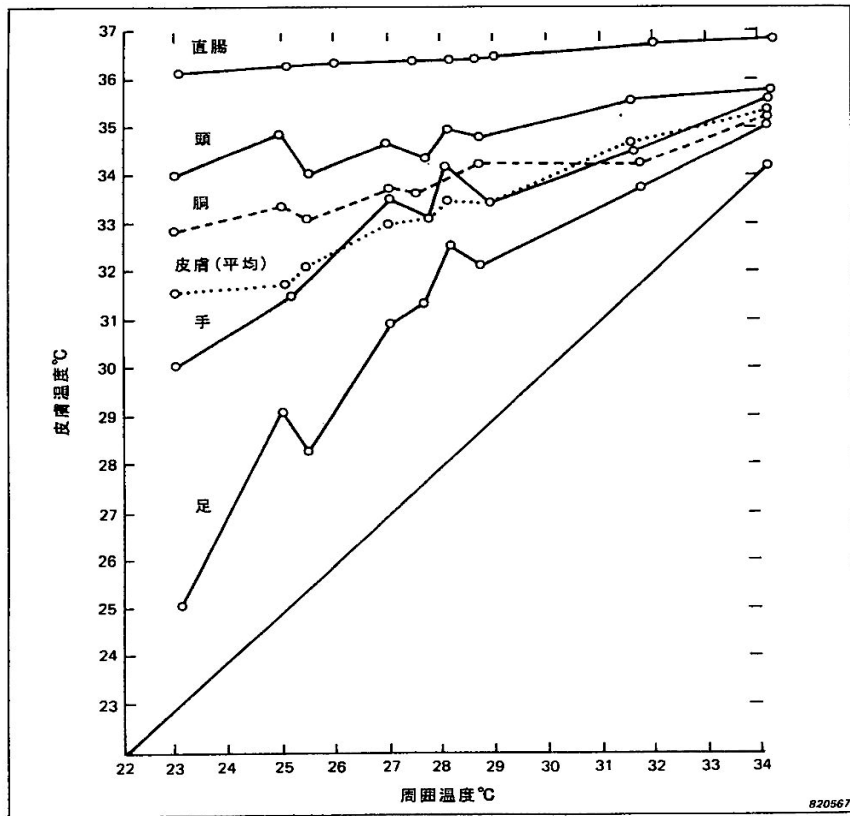


図2-4-1 異なった環境における裸の人の各部の温度

(6) 温熱環境6要素

① 空気温度

- ・室温のことで、「℃」単位で表される。
- ・測定にはアルコール温度計、水銀温度計、熱電対、測温抵抗体（サーミスタ）など。

② 放射温度

- ・周囲の表面温度が低ければ気温が高くても快適です。その放射環境を表現するために、平均放射温度が用いられます。平均放射温度（MRT）とは、周囲の全方向から受ける熱放射を平均化した温度表示をいいます。
- ・単位は「℃」で、代表的な測定器にグローブ温度計があります。
- ・MRTは次の式で表されます。

$$MRT = \sqrt[4]{\theta_{si}^4 \cdot \psi_i}$$

(θ_{si} : 面 i の表面温度 (°C)、 ψ_i : ある位置から面 i への形態係数)

③ 湿度

- ・湿度は、温熱環境に影響を与えます。また、低湿度・高湿度の条件においては、静電気等の熱的不快感とは別の不快感を与えます。
- ・相対湿度%や水蒸気分圧Paとして表され、測定にはアスマン通風乾湿計、高分子膜の水分吸脱着特性を応用した高分子抵抗式や高分子容量式などのセンサーが用いられます。

④ 気流

- ・同じ気温においても、風が吹けば体感温度が下がるように、気流の流れが体感温度に影響を与えます。また、人体が動いている時には、その動きも含めた相対気流として定義されます。
- ・単位は、「m／S」で表されます。加熱された熱線の冷却効果を気流速度に変換する熱線式風速計や超音波式風速計などが測定に用いられます。

⑤ 代謝量

- ・体内の代謝による熱平衡を示します。また、この代謝量はメット (met) という単位で表すことができます。1metは、椅座安静時状態の代謝量で58.2w/m²です。通常の事務作業では、1.1～1.2metです。
- ・身長170cm、体重60kgの人の体表面積は約1.7m²となるため、発熱は、58.2W／m²×1.7m²=98.9W になる。つまり、人が安静に座っている1metの状態でも、100W電球とほぼ等しい発熱をしていることになります。

表2-4-1 代表的な代謝量

作 業	代謝量	
	met	W/m ²
横になって安静	0.8	46
座って安静	1.0	58
座って軽作業 (オフィス、家庭、学校など)	1.2	70
立って軽作業 (買い物、実験室など)	1.6	93
立って中程度の作業 (掃除、料理など)	2.0	116
歩行 2 km/h	1.9	110
4 km/h	2.8	165

⑥ 着衣量

- ・着衣の断熱性は、クロ (clo) という単位で表されます。1cloは、気温21.2℃相対湿度50%、気流0.1m／sの環境で、椅座安静の状態をいいます。
- ・着衣量は断熱材の性能値と同じ「m²・K／W」単位としても表されます。1cloは男性の冬物スーツを基準としており、1cloは0.155m²・K／Wに相当します。

表2-4-2 代表的な着衣量

衣服の組み合わせ	着衣量	
	clo	m ² ・K/W
下着、半袖シャツ、薄手の長ズボン、薄手の靴下、靴	0.50	0.080
下着、長袖シャツ、長ズボン、靴下、靴	0.70	0.105
下着、長袖シャツ、ジャケット、長ズボン、靴下、靴	1.00	0.155
長袖下着、タイツ、長袖シャツ、長ズボン、Vネックセーター、ジャケット、靴下、靴	1.30	0.200
長袖下着、タイツ、長袖シャツ、長ズボン、ベスト、ジャケット、コート、靴下、靴	1.50	0.230

(7) 計算事例

① 計算条件下記の条件でPMVを求める

- ・室温26℃、相対湿度50%、平均放射温度26℃（室温と同じと仮定）、気流0.2m/s、代謝量1.2met（椅座作業）、着衣量0.7clo（シャツ、ズボン、靴）

② 計算例

下記計算式は、「官庁施設におけるクールビズ/ウォームビズ空調システム
導入ガイドライン：国土交通省大臣官房官庁営繕部 設備・環境課」より転記

$$PMV = f(M) \times L$$

$$f(M) = 0.303 \times \exp(-0.036 \times M) + 0.028$$

$$L: \text{人体の熱負荷} [W/m^2] = M - (C + R + E_d + E_s) - (C_{re} + E_{re})$$

$$M: \text{代謝量} [met] \quad ※ 1met = 58.2W/m^2$$

以下の3式を収束計算し、C及びRを算出する。

$$C: \text{対流熱損失量} [W/m^2] = f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)$$

$$R: \text{放射熱損失量} [W/m^2] = 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times \{(t_{cl} + 273.15)^4 - (t_r + 273.15)^4\}$$

$$t_{cl}: \text{着衣外表面温度} [^\circ C] = t_s - 0.155 \times I_{cl} \times (C + R)$$

f_{cl} : 着衣面積増加係数[-]

$$(I_{cl} < 0.78 \text{ の時}) f_{cl} = 1 + 1.29 \times I_{cl}$$

$$(I_{cl} \geq 0.78 \text{ の時}) f_{cl} = 1.05 + 0.645 \times I_{cl}$$

I_{cl} : 着衣量[clo]

t_r : 平均放射温度[$^\circ C$]

$$t_s: \text{平均皮膚温} [^\circ C] = 35.7 - 0.028 \times (M - W)$$

$$W: \text{機械的仕事量} [W/m^2] = 58.2 \times W_{ME} (\text{通常 } 0)$$

h_c : 人体の対流熱伝達率 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

$$2.38 |t_{cl} - t_a|^{0.25} \quad \text{又は} \quad 12.1 \sqrt{v} \quad \text{の大きいほう}$$

v : 気流速度[m/s]

t_a : 気温[$^\circ C$]

$$E_d: \text{不感蒸せつ量} [W/m^2] = 3.05 \times (5.73 - 0.007 \times M - p_a)$$

$$E_s: \text{発汗による蒸発熱損失量} [W/m^2] = 0.42 \times (M - 58.15)$$

p_a : 水蒸気圧(気温, 相対湿度より算出)

$$C_{re}: \text{呼吸による顕熱損失量} [W/m^2] = 0.0014 \times M \times (34 - t_a)$$

$$E_{re}: \text{呼吸による潜熱損失量} [W/m^2] = 0.0173 \times M \times (5.87 - p_a)$$

③ 計算結果

- ・実際の計算では、上記C、R、 t_{cl} の3式を収束計算し、それぞれの値を求める。この3式において t_{cl} を29.5℃に仮設定して概算した結果、PMV値は+0.53でした。

図2-4-2よりPPDは約10.5%となり、ほぼ快適領域に入る値が求められました。

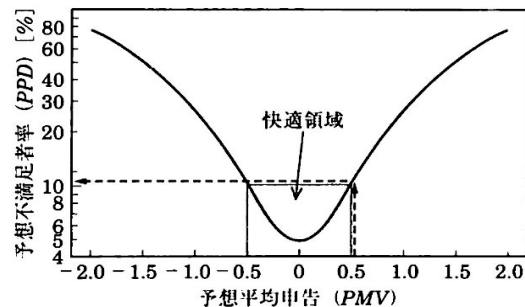


図2-4-2 PMVとPPDの関係

(8) PMVの空調システムへの応用

国土交通省より、官庁施設における空調システムガイドラインが制定されています。このガイドラインは、CO₂削減に寄与することができるクールビズ/ウォームビズをより効果的・恒久的に実施するために2009（平成21）年に制定されました。建物運用時の一般的な事務室の空調設定温度を夏期28℃、冬期19℃とすることを前提としつつ、執務域の適切な温熱環境の確保を目指すための空調システムの計画手法、設計手法、効果の検証手法等を示したものです。

下記に、ガイドラインに掲載の一部を示します。

現在ではPMVによる空調制御技術が研究・開発され、多くの建物の空調システムに応用されています。（さいたまスーパーアリーナ等各所）

この図から、クールビズ空調システムとしては、相対湿度・気流速度・平均放射温度の調整（制御）に適したシステムの検討が必要であること、及び、温熱環境に関する指標のI要素のみを対策するだけでは、従来設定と同様の執務域の温熱環境を確保することが難しいことがわかる。

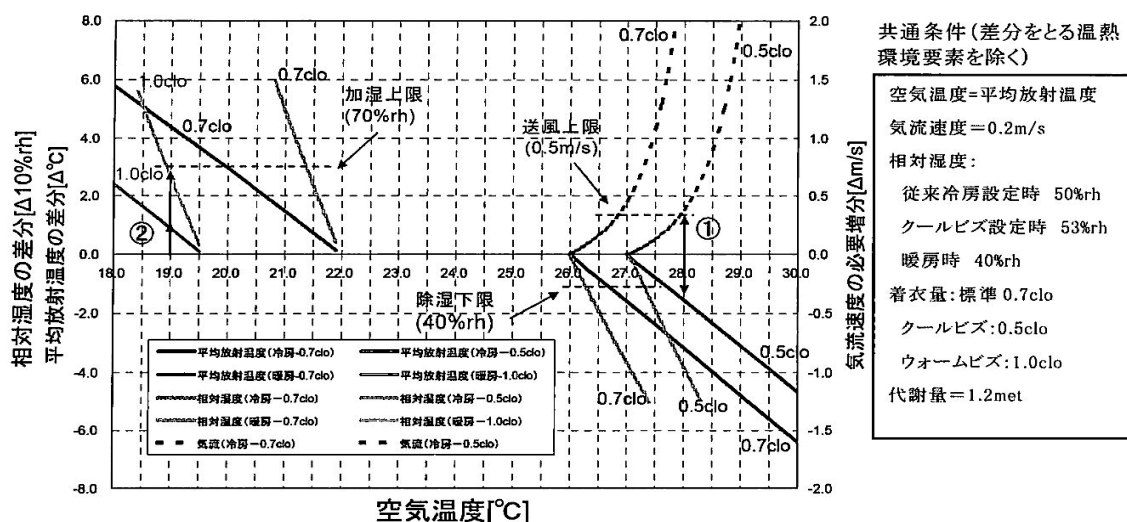


図2-4-3 PMV一定とした場合の相対湿度・気流速度・平均放射温度の必要変化量
（冷房時のPMVは+0.5、暖房時は-0.7）

・空調システムの選定

室内における温湿度・気流・放射温度等の制御手法は、表2-4-3を踏まえた上で、導入コストを検討しつつ、計画する。

表2-4-3 室内における温湿度・気流・放射温度等の制御手法に関する事項

室内環境性	① 空気清浄度及び執務域の適切な温熱環境を確保するために、施設の規模、形状、用途、温湿度条件、使用時間、負荷傾向、階層、方位、空調の発停制御単位等を考慮し、合理的な空調ゾーニングおよび空調システムとする。 ② クールビズ/ウォームビズ設定においても、執務域の適切な温熱環境を確保するために、温熱環境の3要素（湿度・気流・放射温度）の制御に適した空調システムとする。
信頼性・安全性	① 空調システムの技術の耐久性、保天性、信頼性等を確保する。 ② OAフロア化された執務域等には、水損事故の危険性等がない空気式の空調システムを基本とする。水配管を伴う空調システムを選定する場合は、適切な水損対策を設ける。
省エネルギー・省CO ₂	① 空気系搬送動力の削減するため、可変風量装置（VAV）と送風機インバータ制御を組み合わせた変風量システムの導入や送風温度差の拡大等を図る。 ② 空調用エネルギー消費量を抑えるため、全熱交換器による排気熱回収や室内CO₂濃度・外気エンタルピーによる外気導入量制御等を検討し、外気負荷の低減を図る。また、外気冷房による冷房負荷の低減等もあわせて検討する。
その他（熱源システム）	① 定格運転時の効率に加え、部分負荷運転時の効率を確認し、期間成績係数の優れた高効率機器を選定する。 ② 熱源搬送動力を削減するため、負荷に応じた変流量システムや行き還り温度の拡大等を図る。

2-5 温度、湿度管理（デシカント空調）

私たちが快適に仕事をするうえで、空気調和設備はなくてはならないものとなっております。しかし、空調の目的である、温度、湿度、気流、空気の新浄度を満足するシステムのものから、温度のみの簡単な制御でやや不快な執務環境も多く見受けられます。

日本の気候風土は、高温多湿であり、特に高湿度により、不快感を覚えます。また、大気中のCO₂の上昇に伴う換気量不足も問題にされております。これらの問題を解決し、快適な執務環境を実現するために再生エネルギーの利用を最大限活用し、顕熱・潜熱分離方式を取り入れたデシカント空調システムについて説明します。

(1) デシカント

① デシカントシステムの概要

デシカント空調システムは、デシカントローターを組み込んだ外気処理専用空調機（以後：デシカント外調機）と顕熱処理ユニット（チルドビーム）との除湿と冷却を組合せた顕潜分離システムです。従来の方式では、低露点空気を得るのに低温まで除湿冷却していたため、冷凍機の効率を低下させていました。しかし、デシカント空調システムでは、デシカントローターを用いるため、熱源の効率を落とさず低露点の外気にすることが出来ます。その外気を室内のチルドビームに給気し、供給された外気を利用して室内空気を誘引し冷却を行ないます。

外気の湿度除去を行なうデシカント外調機とチルドビームを組み合わせる事により快適性が増し、省エネ性と静音空間を創造するシステムを図2-5-1に示します。

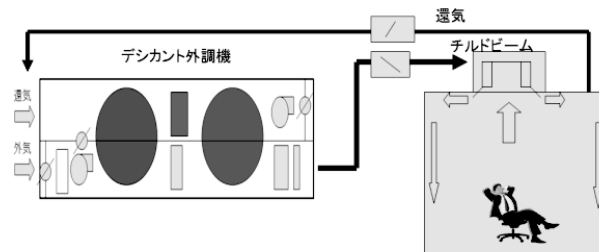


図2-5-1 システム概要図

② デシカントとは

デシカントは一般的に乾燥剤（desiccant）という意味でつかわれ、空調分野では乾燥剤を用いて湿度を調整する機器を「デシカント除湿機」といい、湿度と温度を個別に制御する機器を「デシカント空調機」といいます。

③ デシカントの原理

デシカントによる除湿（吸着、収着）は、水分移動をさせることが基本原理です。除湿したい空気を乾燥剤に通すことにより空気中の水分が乾燥剤に吸着（収着）される。一方、水分を含んだ乾燥剤は再生空気の温風により乾燥させられ、水分を脱着する。以上の過程を連続的に行うことにより、デシカントでは水分（潜熱）除去を行う。乾燥剤は、吸着（収着）剤を含浸させたシートをハニカム状に形成したもので、吸着・脱着を連続的に行う方法には、流路を切り替えるバッチ式やデシカント材を切り替えるローター式など多種が存在します。また、デシカントによって水分（潜熱）除去を行う際にエネルギーの授受は行わないため、空気線図上では等エンタルピー変化となります。

(2) デシカント外調機について

① 基本構成

基本構成は図2-5-2に示すように、外気負荷低減の全熱交換器、低温再生用デシカントローター、排熱や太陽熱を利用することが可能な再生コイル、中温冷水利用可能な冷温水コイルと冷却コイルを装備した、外調機の構成となっています。

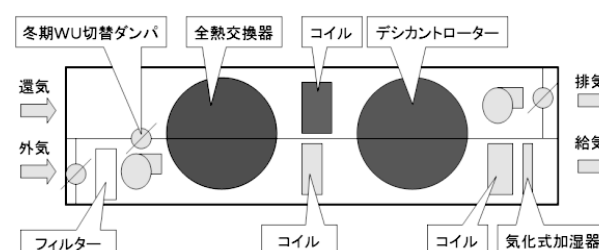


図2-5-2 外調機の基本構成

② エアフローについて

夏期の除湿モードには、外気と還気を全熱交換器で熱交換し、プレクーラーで予冷します。次にデシカントローターで除湿した後、アフタークーラーで冷却します。除湿ローターの再生は加熱された還気で行い、連続的に除湿が行われます。

冬期には、全熱交換器後、温水で加熱し、デシカントローターで加湿補助を行う外調機です。還気エアフローを図2-5-3に、外気エアフローを図2-5-4に示します。

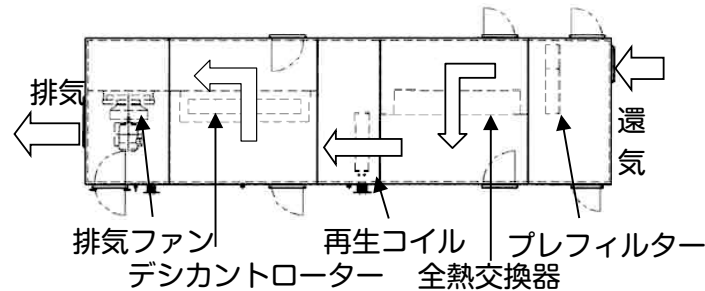


図2-5-3 還気エアフロー

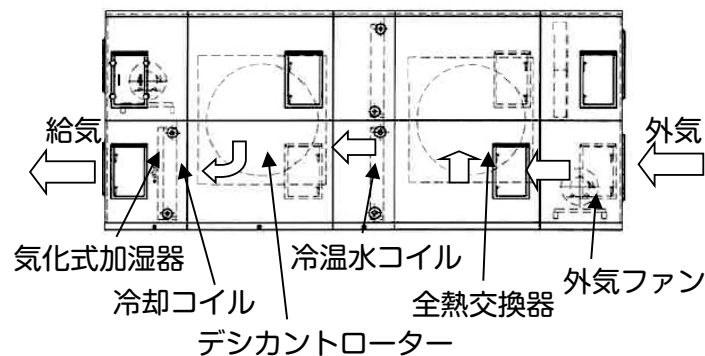


図2-5-4 外気エアフロー

(3) チルドビームについて

チルドビームにはアクティブチルドビームとパッシブチルドビームがあります。今回はアクティブチルドビーム（図2-5-5）を紹介します。

一次空気（外気）を顕熱コイル上部のノズルより、高速で吹き下ろすとコイル片側が負圧になり、室内空気を誘引します（図2-5-6参照）。

誘引比は一次空気100CMHに対し350CMHの室内空気を誘引し450CMHの風量として室内に吹出されます。誘引効果により室内の温湿度を均一にし、室内騒音も低く抑える事ができます。



図2-5-5 アクティブチルドビーム

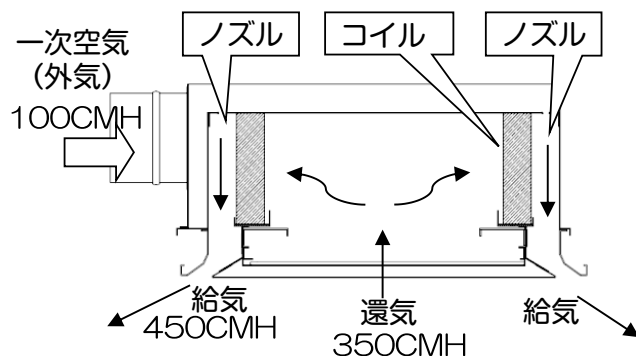


図2-5-6 アクティブチルドビーム構成図

(4) デシカント外調機的设计例

① 室内温湿度の検討

快適性の指数として用いられている不快指数は1959年にアメリカで考えられたもので、温度と湿度で算出され、気流が考慮されていないのでチルドビームシステムでは体感に近い数値と言えます。

28℃の45%の場合不快指数75です。26℃ 50%で73.1。24℃ 55%で70.9です。一般に75から65が快適範囲と言われていますが70に近ければ作業効率も上がると思われますので、今回は24℃ 55%を目標とします。

② 外気量の検討

1人当たりの必要外気量を計算します。大人の呼吸により排出される二酸化炭素を22,000ppmとします。外気が450ppmとし、室内を900ppmで制御すると、49CMHになるので1人当たりの外気量は50CMHとします。

$$0.022 / (0.0009 - 0.00045) = 49 \text{ CMH}$$

・学校施設の換気設備に関する調査研究報告書より

対象種別	1人当たりのCO ₂ 呼出量
幼稚園・小学校（低学年）	0.011m ³ /h
小学校（高学年）・中学校	0.016m ³ /h
高校生・大人	0.022m ³ /h

③ 設計条件

	室内条件		外気条件	
	温度	湿度	温度	湿度
夏期	24℃	55%	34.3℃	56.3%
冬期	20℃	55%	0℃	40%

人体潜熱負荷 夏期40W/人（着衣量0.6）
冬期33W/人（着衣量1.0）

室内顕熱負荷 夏期77W/㎡（照明15機器40人体14他8）
冬期70W/㎡（照明15機器40人体15）

「人体負荷は空気調和・衛生工学便覧14版：作用温度別人体発熱量より参照」

外気量 50CMH/人
全熱交換器効率 60%
発現率（除湿性能） 夏期50%、冬期30%
風量比（SA/RA） 90%
人員密度は6㎡に1人とします（0.17人/㎡）

④ 夏モードの再生温度と空気線図（図2-5-7）

デシカント外調機の構成と除湿空気線図の関係を下記に示します。

潜熱負荷を40W/人とし、発現率50%場合 $\Delta x [\text{g/kg(DA)}] \approx q_L / (0.83 \times \text{外気量 CMH}) = 40 / (0.83 \times 50) \approx 0.97$ 、ゆえに0.97gの室内除湿量となります。室温②24℃ 55%は絶対湿度10.24gなので、目標絶対湿度は $10.24 - 0.97 = 9.27$ gとなります。予冷後の除湿開始温度④を18℃ 95%とし、等エンタルピー上での交点が給気温度⑤です。その時の除湿限界点は発現率50%とした場合、33.0℃ 20.3%となります。

次に再生空気温度⑧は熱交後の室温⑦の絶対湿度との相対湿度の交点の52.0℃ 20.3%となります。又、実際の除湿後の空気は熱移行を考慮し35.0℃となります。最後にアフタークーラーで17℃まで冷却し、給気します。

注）発現率とは除湿開始点④と除湿限界点Bの絶対湿度差に対し、④と給気温度⑥の絶対湿度差の割合です。

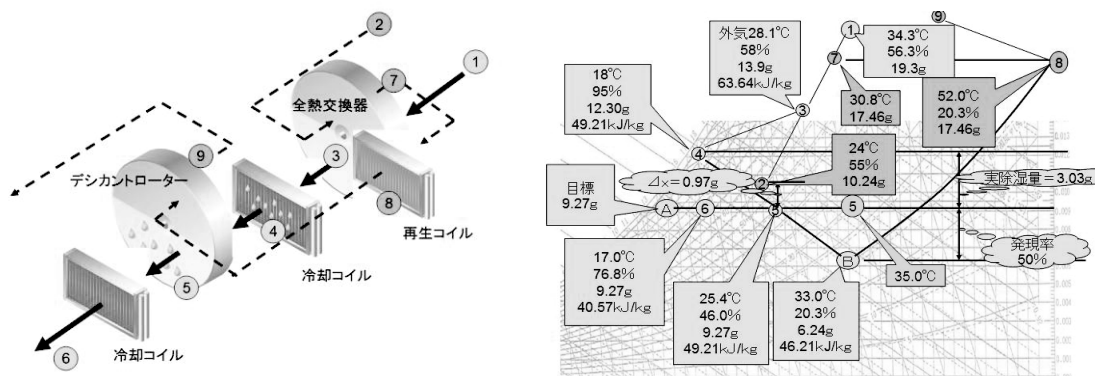


図2-5-7 夏モードの構成図と空気線図

⑤ 冬モードの加湿負荷と空気線図（図2-5-8）

冬期の加湿補助にデシカント外調機を用いた場合の加湿負荷を求める空気線図を示します。室内温度20℃ 55%、外気を12℃ 62.2%とします。外気加熱を35℃とし最大除湿点を求めます。発現率30%より⑧の除湿点を求めて、再生出口⑤を風量比（90%）より算出します。

$\Delta \times \text{除湿量} \times \text{還気風量} = \Delta \times \text{加湿量} \times \text{外気風量}$ 人体潜熱負荷が33Wの場合、供給空気⑥が求まります。

外気負荷は $50 \times \text{人員} \times (35 - 12) \times 0.33$ です。

加湿負荷は $0.65 \text{ g} \times 50 \times \text{人員} \times 1.2$ です。

但し、ウォーミングアップ時の加湿負荷は $2.6 \text{ g} \times 50 \times \text{人員} \times 1.2$ とします。

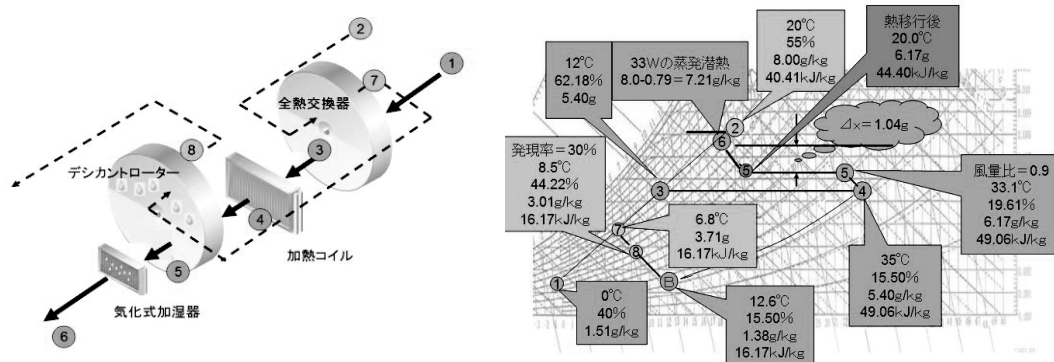


図2-5-8 冬モードの構成図と空気線図

⑥ 運転モード

各モードにより構成部品の役割の違いを下記に示します。

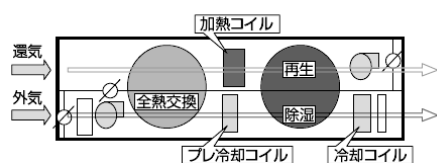


図2-5-9 夏期モード

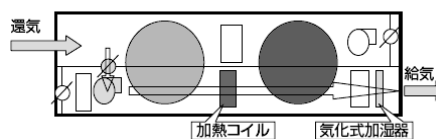


図2-5-10 冬期ウォーミングアップモード

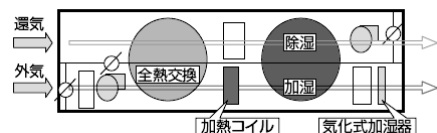


図2-5-11 冬期モード

(5) 従来システムとの比較

従来システムとは、過冷却再熱の単一ダクトシステムとします。

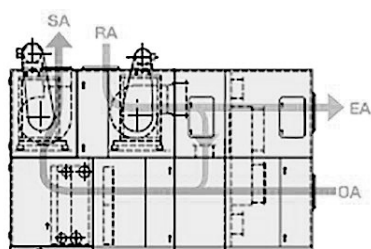


図2-5-12 従来システム空調機エアフロー

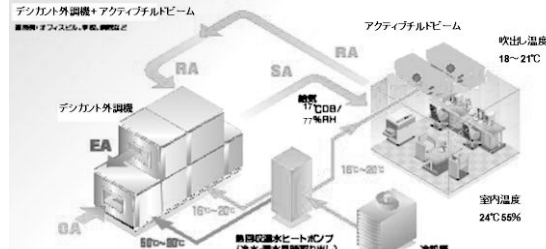


図2-5-13 デシカント空調機システムとアクティブチルドビーム例

比較条件

空調面積：600㎡ 室温：24℃ 55% その他は5-3と同設計条件（ポンプ動力は省きます）

表2-5-1 機器動力比較

機器仕様	従来システム	デシカント外調機	チルドビーム
風量	15000m ³ /h	5000m ³ /h	350m ³ /h×50
動力kW	11.0+5.5=16.5	3.7+3.7=7.4	—
ダクトサイズ	600×1300	300×900	—
空調機サイズ	15型	5型	—
冷水温度	7℃	16℃～18℃	16℃～18℃
温水温度	60℃	60℃	—
機器冷房負荷kW	100	23+30	34
再熱負荷kW	10	31	—
合計熱量kW	110	118	—
動力kW	16.5	7.4	—

表2-5-2 室内条件比較

空調仕様	従来システム	デシカント外調機+チルドビーム
居住域気流	0.5m/s以下	— 0.25m/s以下
室内騒音	NC-40以下	— NC-30以下
不快指数	70～75	— 65～70
夏期湿度	45%	55%

表2-5-3 費用比較

運転費用	従来システム	デシカント外調機	チルドビーム
イニシャルコスト	100	80	50
ランニングコスト	100	60	0
機器寿命(年)	15	30	30

従来システムを100とした場合、デシカントシステムでは動力は45、熱源は再生熱量分がある為107、イニシャルは130、夏期のドレンと冬期の加湿量が僅かな為、寿命は2倍となります。

(6) デシカント空調機システムの利点

- ・顕潜分離で顕熱を処理する為、室温24℃設定の場合も28℃設定と同様のエネルギーで処理が可能です。
- ・外調機で除湿や加湿を行うので、メンテナンスが容易です。
- ・外調機はCO₂センサーで外気量制御を行うため、省エネルギーです。
- ・チルドビーム採用で搬送動力軽減、室内静寂化がはかれます。
- ・外調機のように空気清浄フィルターを装着するので経済的です。
- ・低めのCO₂濃度設定で生産効率アップと爽やかな空間を維持できます。
- ・中温冷水の採用で熱源効率の上昇が期待出来ます。
- ・16℃冷水なのでフリークーリングや井水の利用等が可能となります。
- ・天井内ドレン配管が無く、チルドビームも薄型なので、室内の天井高が高くできます。
- ・空調機がコンパクトになり空調機械室の面積を抑えることができます。

(7) 今後の展開

チルドビームは、1980年代半ばにヨーロッパで開発され、その後ヨーロッパ全土に広がり、世界各国のグリーンビルに採用されています。日本においては、高温多湿の気候のため、事務所ビルへの採用がなかなか進みませんでした。

しかし、低温再生のデシカントローターの開発によりチルドビームの一般ビルへの採用が可能になり、普及し始めています。また、デシカントローターは、家庭用エアコンに採用されて以来、デシカント素材が次々と開発され、低温(40℃～80℃)でも再生可能な高分子収着材の実用化により事務所空間の湿度制御が容易になりました。

デシカントローターにより、湿度を制御し、チルドビームで、温度を制御するデシカント空調システムは継続性・発展性を考えた空調システムです。

デシカントローターの開発は現在も進んでおり、湿度だけではなく二酸化炭素や有害物質も同時に除去可能な素材が実用化されようとしています。

これは外気導入が最小限にできる可能性があります。建物の無駄を最小限にし、機器サイズも小さくなり、自然エネルギーの拡大に寄与できるデシカント空調システムは、これからのZEB(ゼロエネルギービル)の主流になると思われます。

出典：(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

新技術調査レポート「顕潜分離で快適空調 デシカント外調機とチルドビームシステム快適執務環境を創造し、仕事の効率向上を図る」2016年1月

第3章 PM2.5、VOC等の実測

3-1 今回計測する空気質測定の内容項目

(1) 測定項目

① PM2.5

大気（空気中）に浮遊する小さな粒子のうち、粒子の大きさが $2.5\mu\text{m}$ （ $1\mu\text{m}=1\text{mm}$ の1000分の1）以下の非常に小さな粒子のことです。髪の毛の太さが $80\sim 100\mu\text{m}$ 、スギ花粉が $30\sim 40\mu\text{m}$ であるので非常に小さい粒子であることがわかつています。

一言でPM2.5といっても様々な種類があります。硫酸塩、すす、有機物など様々な物質を含んでおり、原因は1つではなくハッキリ判明していないのが現状です。その発生源として、焼却炉やボイラー、自動車の排気ガス、自然環境（火山や土壌等）、越境汚染などが挙げられます。実は、タバコの煙などにもPM2.5がたくさん含まれています。揮発性有機化合物（以下「VOC」という）というガス状の物質が大気中で化学反応を起こし、二次的にPM2.5が生じる場合もあります。環境基準値としては1年平均で $15\mu\text{m}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ1日の平均値が $35\mu\text{m}/\text{m}^3$ 以下と定められています。注意喚起のための暫定的な指針を1日平均値 $70\mu\text{m}/\text{m}^3$ と定めています。但し持病のある方や子供や高齢者など個人差が大きいと考えられており、これより低い値で健康障害が生じる可能性は否定できないとされています。

大気汚染防止法に基づき、国や地方自治体がPM2.5のモニタリングを実施しています。

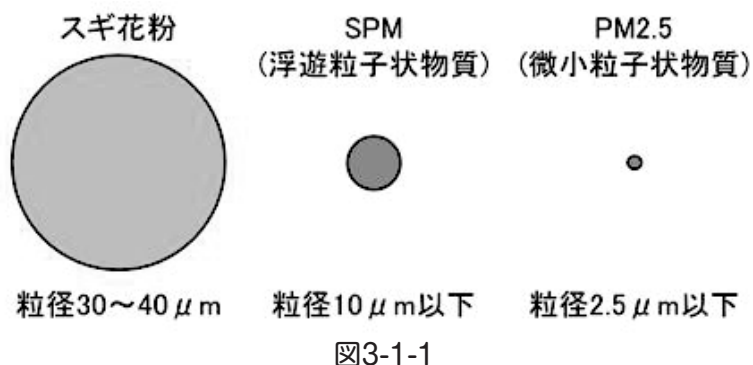
※環境省の大気汚染物質広域監視システム

【そらまめ君】(<http://soramame.taiki.go.jp/>) など

② PM10

浮遊粒子状物質（SPM）と言われており、大気中に浮遊する小さな粒子のうち、粒子の大きさが $10\mu\text{m}$ 以下のものをいいますが、今回の測定ではPM2.5を除いた値を示しています。

微小なため大気中に長期間滞留し、肺や気管などに沈着して、呼吸器に影響を及ぼすことが指摘されています。環境基準値として1時間値の1日平均値が $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1時間値が $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下と定められています。PM2.5と同じように持病のある方等を中心に健康への影響があるとされています。



(2) VOC（揮発性有機化合物）

塗料、印刷インキ、接着剤、洗浄剤、ガソリン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で「有機溶剤」から揮発する物質です。VOCは光化学オキシダントの原因とも考えられており、SPM及び光化学オキシダント対策の一環として、VOCの排出を抑制するため、2004（平成16）年5月に大気汚染防止法が改正されています。いわゆるスモッグといわれるものの原因です。またVOCは植物からも出ています。みかんの皮を剥いたときに感じるあの臭いの主成分も実はVOCです。環境基準は設定されていませんがVOCに関連する有害物質に環境基準値が設定されており、ベンゼン1年平均値が $0.003\text{mg}/\text{m}^3$ 以下、トリクロロエチレン1年平均値が $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以下、テトラクロロエチレン1年平均値が $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以下、ジクロロメタン1年平均値が $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以下となっています。



(3) UV（紫外線）

太陽光（日射）の一部であり、基本的な性質は可視光線と同じです。季節や時刻、天候などにより紫外線の絶対量や日射量に占める割合は変化しますが、可視光線と同じように、建物や衣類などでその大部分が遮断されます。一方、日中は日陰でも明るいように大気中での散乱も相当に大きいことがわかっています。人体に有害といわれているB領域紫外線（UV-B）を中心に、紫外線の性質をまとめると、以下ようになります。薄い雲ではUV-Bの80%以上が透過し、屋外では、太陽から直接届く紫外線量と、空気中で散乱して届く紫外線量がほぼ同程度で、標高が1000m上昇するごとにUV-Bは、10～12%増加します。また地表面の種類により紫外線の反射率が異なり、以下になります。

新雪：80%
砂浜：10～25%
コンクリート・アスファルト：10%
水面：10～20%
草地・芝生、土面：10%以下

また、成層圏では強い太陽紫外線により、フロンは、塩素分子が分解されオゾンを破壊します。1個の塩素は、多いときには数万ものオゾンを破壊するといわれています。

フロンは、塩素と炭素、フッ素でできた化合物の総称で、変質しない、燃えない、毒性がない、しかも役に立つという性質があり、エアコンや冷蔵庫などの冷媒、半導体の洗浄など、幅広く使われてきましたが、オゾン層を破壊することがわかりました。

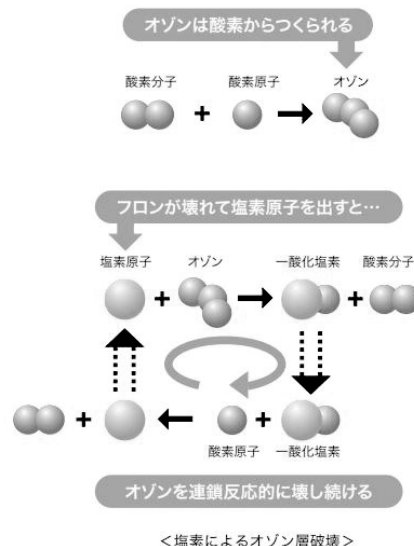


図3-1-3

(4) 温度と相対湿度

建築物衛生法における温度基準の範囲内（温度17℃以上28℃以下／相対湿度40%以上70%以下）と定められています。屋内の場合はエアコン等の空調設備を用いて調整することになりますが実際の設定温度と実測では異なることが多々あり、きめ細やかな設備運転調整を継続的に行う必要を求められる場合があります。

相対湿度とは、ある温度の空気中に含まれる最大限の水分量（飽和水蒸気量）に比べて、どの程度の水分を含んでいるかを示す値で<%RH>で表し、一般的に単に湿度というときは、相対湿度を指します。

(5) 照度（lx）

照度は光源から出た光がある面にどの程度降りそそいでいるかを表しています。

ある面上の1点の照度とは、単位面積（1㎡）当りに入射する光束です。

平面に光束（lm）が、均等に入射しているとき、この平面の照度Eは、

【照度＝光束／面積】

で、表わされ照度（lx）といえます。

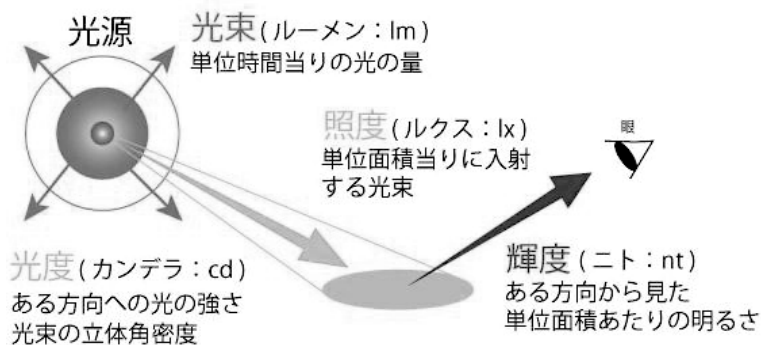


図3-1-4

(6) 気圧（hPa）

私たちは空気の底に住んでおり、普段感じませんが、空気の重さを体で受けています。海面上では、1cmあたり約1kgfの空気（1,013.25hPa）が掛かっています。海面上で空気から受ける力を1気圧（1atm）といいます。

大気圧は、山に登ると、自分の上に載っている空気の量が減るため、小さくなります。

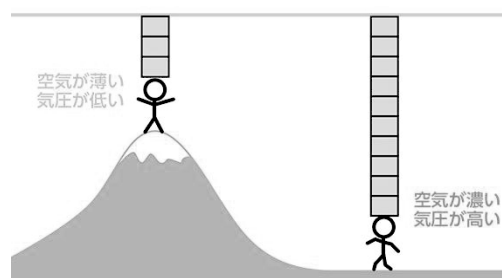


図3-1-5

3-2 都内事務所ビル PM2.5、VOC等の実測

(1) IoTセンサーによるPM2.5等計測

空気中の浮遊微粒子の粒径及び個数を測定し、粒子濃度を求める粒子濃度自動測定装置の代表的なものが、パーティクルカウンターです。

クリーンルームの清浄度を測定する目的の場合には、日本工業規格（JIS B 9921）の仕様に基づいた製品を使用しなければなりません。

今回は、ホームセンターやネット通販などで安価に購入できる製品を用いて、PM2.5等の空気汚染物質の傾向や、業務利用での可能性などの実証実験を行いました。

① 製品概要

■Bluetoothエアクオリティ モニター REX-BTPM25V
ラトックシステム株式会社

- ・ 空気の状態をスマホで見える化！気になるPM2.5/PM10/VOCを計測、監視。
- ・ SHARP製PM2.5センサモジュールを搭載。



Bluetooth 接続



販売価格：オープン
購入価格：約2万円

外形寸法： 約110(L)×50(W)×95(H)mm

重量： 約225g

PM2.5測定方式：光拡散方式

有効範囲： 25～1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

② 製品の特長

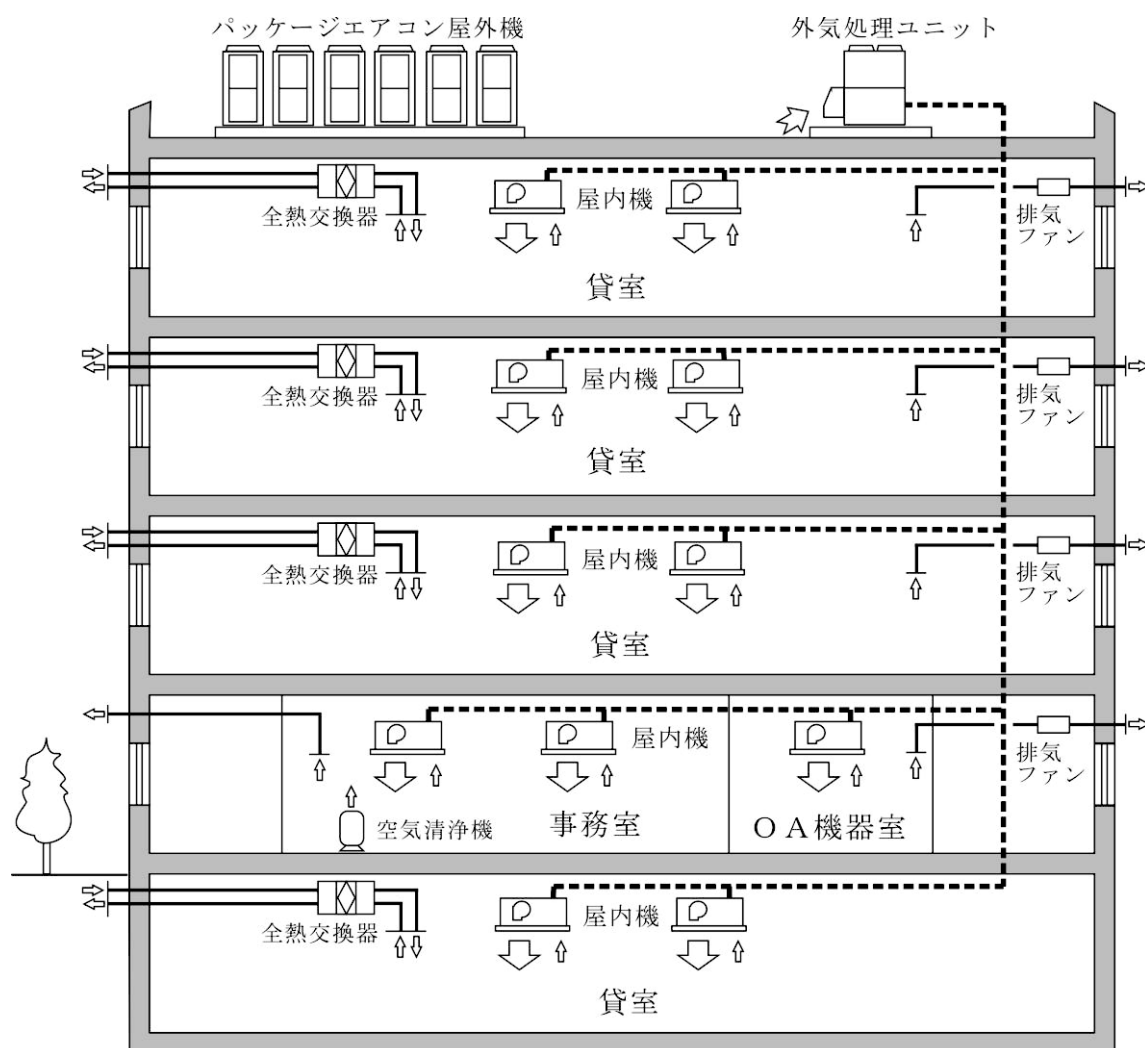
- ・ ラトックシステムのエアクオリティモニターは、大気中を浮遊している花粉・ハウスダスト・タバコの煙等に含まれるPM2.5やPM10を計測し、濃度で表示します。さらに、室内汚染の目安となるVOCセンサーも搭載。身近な空間における空気の状態を把握できるため、そのとき、その場所に応じた対策をたてることが可能です。
- ・ PM2.5またはPM10（あらかじめアプリで選択）の飛散量を本体LEDで確認できます。AQI（空気質指数）に基づき、レベル1（とても少ない）～レベル6（非常に多い）の6段階で表示します。緑LEDが多いほど飛散量が少なく、レベル4（多い）を超えると橙LEDが点灯しはじめます。
- ・ 指定した時間間隔（5分・10分・30分・1時間・3時間・6時間・12時間ごとから選択）で計測する「自動計測」の機能を搭載しています。自動計測データは、製品本体に搭載したメモリーに保存されます。1時間ごとの連続計測の場合、約60日分のデータを記録。CSVファイルをメール送信できるので、Excelを使用した資料作成などにも重宝します。
- ・ 本体には容量2600mAhのバッテリーを内蔵。1時間ごとの連続計測で約4日間使用可能です。常時給電時は、添付のUSB-ACケーブルを使用してコンセントに接続します。
- ・ 専用アプリ「エアミル」は、App Store、Google Playにて無償でダウンロードできます。計測した結果をスマートフォンに表示します。通信距離は見通し30mです。

(2) 測定実施ビルの空調システムの概要

設備概要

換気機器：全館外気処理ユニット、各階全熱交換器

空調機器：個別分散パッケージエアコン



※ 1階事務室には、空気清浄機 4 台を設置。

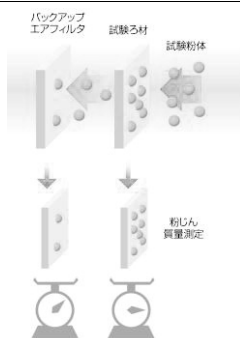
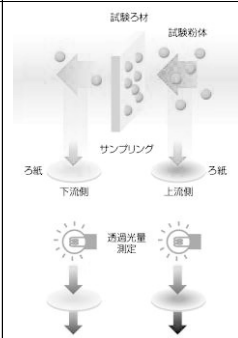
図3-2-1 空調系統図

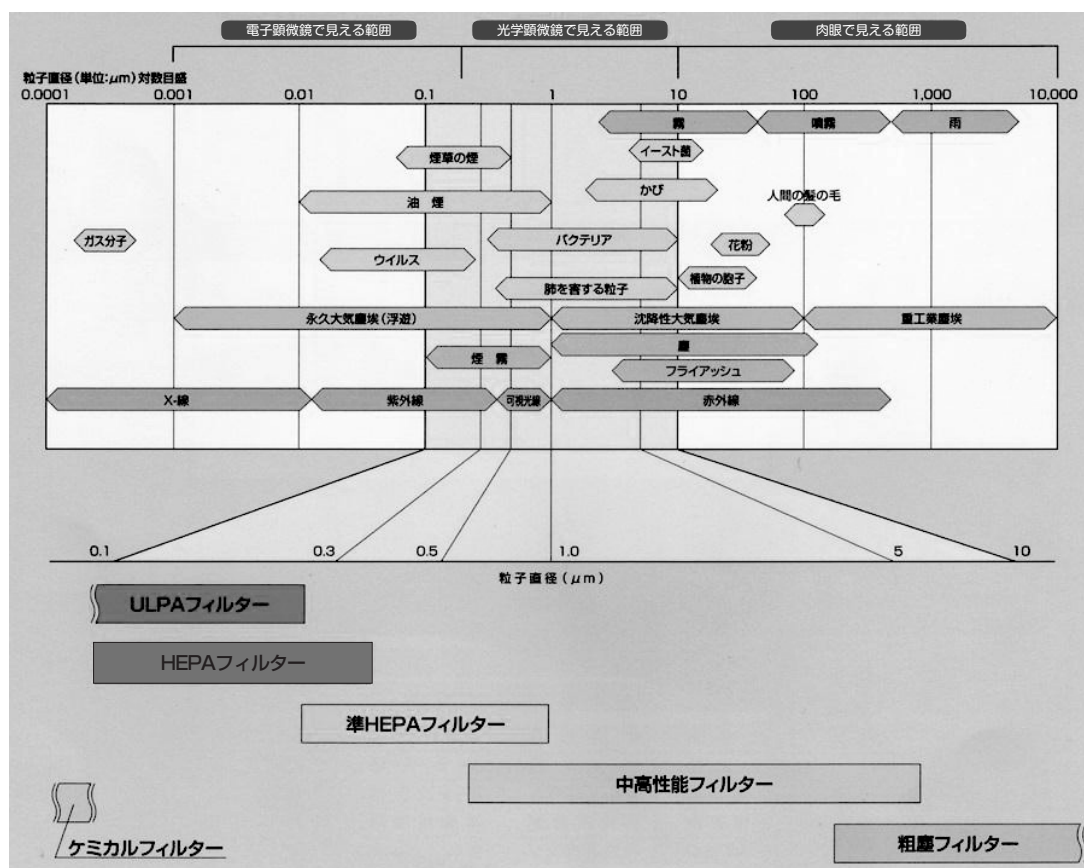
表3-2-1 空調機エアフィルターの仕様

機器	フィルター種類・捕集率	
外気処理ユニット	プレ	質量法 70 %
	メイン	中性能フィルター（比色法 65 %）
パッケージエアコン	ポリプロピレン ハニカムフィルター	
全熱交換器	不織布フィルター（質量法 82 %）	
空気清浄機	HEPAフィルター（計数法 99.97 %以上(0.3 μ m粒子)）	

エアフィルターは、外気や還気に含まれるじん埃を取り除き、清浄な空気にする目的で用いられる空調機の重要な部分の1つです。エアフィルターは、除去する粉じんの粒径により、粗じん用フィルター、中高性能フィルター、HEPAフィルターの3種類を使い分け、または、組み合わせて使用します。

表3-2-2 エアフィルターの特徴と用途

フィルター種類	粗じん用フィルター	中高性能フィルター	HEPAフィルター
概要	粒子径の大きな粗じん除去用として使われます。	微細粒子の除去用として使われます。	超微細粒子の除去用として、クリーンルーム、有害物質の排気設備などに使われます。
使用目的	粉じん粒径5～10 μm 程度の除去	粉じん粒径0.3 μm 以上の除去	粉じん粒径0.1 μm 以上の除去
性能測定方法	質量法（重量法）	比色法	計数法
効率	60～80%	65～95%	99.97%以上（0.3 μm 粒子）～99.995%以上（0.1 μm 粒子）
性能測定原理			



日本特殊工業（株）HPより

図3-2-2 空気中の粉じん粒子に対応するエアフィルター

(3) 室内環境測定プラン・結果

① 室内環境測定プラン

空調設備の運転条件の違いによる室内のPM2.5濃度の変化を「エアクオリティモニター」を使用し、測定しました。

■運転条件

- ・外気：測定実施ビル屋上にて、モニターを1台設置し測定
- ・室内：測定実施ビル3F居室にて、モニターを1台設置し測定
- ・測定期間：2018年6月4日～7月31日
- ・測定時間帯：9:00～17:00
- ・空調機運転時間帯：8:30～17:30（居室使用時間：10:00～17:00）

■空調設備の運転条件

（共通事項）パッケージエアコン運転・全熱交換器運転

ア. 外気処理ユニット運転（プレ・メインフィルターあり）

イ. 外気処理ユニット運転（プレ・メインフィルターなし ※取り外した状態）

ウ. 外気処理ユニット停止

エ. 外気処理ユニット停止・3F居室にて市販の空気清浄機4台運転

■測定方法

- ・「エアクオリティモニター」を屋上、3F居室内、1F居室内に1台ずつ計3台設置し、測定期間中、30分間隔で継続してモニタリングを実施。
- ・設置した3台のモニターのうち、屋上を「外気」として、ドア、窓の解放、人の出入り等による空気の流動が比較的少ない3F居室を「室内」として、測定対象を抽出。
- ・モニタリングの傾向で、室内のPM2.5濃度は、外気のPM2.5濃度に影響を受けることが多いことから、測定ビルの稼働コア時間帯である9:00～17:00の間で外気濃度が比較的近似している日を抽出して測定。

■測定結果のまとめ

- ・外気と室内のPM2.5濃度の実測定データを折れ線グラフで図示。
- ・空調設備の運転条件の違いによるPM2.5濃度の変化を見るために、
『外気PM2.5濃度－室内PM2.5濃度＝外気と室内のPM2.5濃度差』
を棒グラフとして、同一グラフ内に図示。

表3-2-3 空調設備の運転条件「エ」3F居室内の実測定データ

計測時刻	PM2.5(μg/m ³)	PM10(μg/m ³)	VOC(ppb)	UV(Index)	温度(℃)	湿度(%)	照度(lx)	気圧(hPa)
2018/7/31 9:00	16	14	0	0	28.1	57.3	398	1008
2018/7/31 9:30	17	9	0	0	26.4	56.4	395	1007.9
2018/7/31 10:00	15	14	4	0	26	57.5	393	1007.6
2018/7/31 10:30	11	12	7	0	26	55.6	394	1007.3
2018/7/31 11:00	12	9	7	0	25.9	54.2	393	1007.1
2018/7/31 11:30	17	12	10	0	26	56.1	392	1006.8
2018/7/31 12:00	14	12	11	0	26.2	53.4	393	1006.4
2018/7/31 12:30	10	15	13	0	26.1	53.2	396	1005.9
2018/7/31 13:00	16	12	8	0	26.1	54.7	394	1005.5
2018/7/31 13:30	11	9	9	0	26.4	53.7	395	1005.2
2018/7/31 14:00	12	8	10	0	26.8	52.4	395	1004.8
2018/7/31 14:30	10	6	18	0	26.7	50.6	396	1004.5
2018/7/31 15:00	10	9	18	0	26.7	50.2	397	1004.4
2018/7/31 15:30	10	8	21	0	26.7	50.2	398	1004.3
2018/7/31 16:00	9	8	24	0	27	50	398	1004.1
2018/7/31 16:30	7	5	15	0	27	49.5	399	1003.8
2018/7/31 17:00	4	8	20	0	27.1	49.1	396	1003.7

※今回は、PM2.5濃度に測定対象を絞りましたが、表3-2-3のように、実際には、「PM2.5」「PM10」「VOC」「UV」「温度」「湿度」「照度」「気圧」の8項目のデータをリアルタイム測定しています。

■測定機器設置状況



図3-2-3 測定機器設置状況・屋上
※風雨と直射日光の影響を避けるために、階段下に設置しています。



図3-2-4 測定機器設置状況・3F居室内
※人の出入りによる影響を避けるため、出入口付近を避け設置しています。



図3-2-5 測定機器設置状況・1F居室内
※窓からの直射日光を避けるよう設置しています。今回の測定では、3F居室と外気と比較しましたので、1F居室データは、使用していません。

② 測定結果

■測定1 (外気処理ユニットのフィルターの影響)

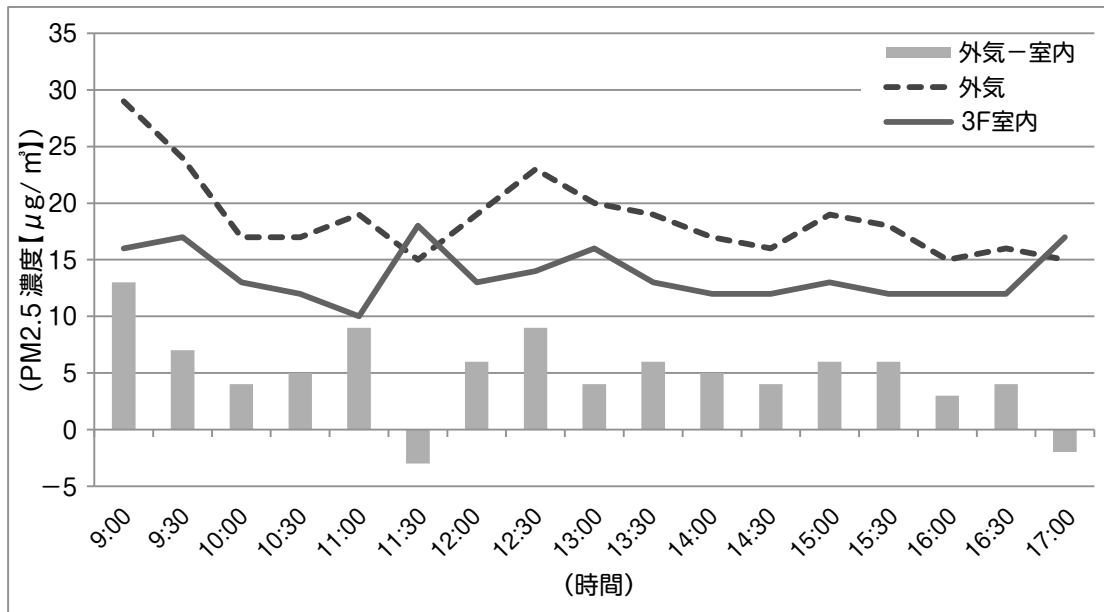


図3-2-6 ア. 外気処理ユニット運転 (プレ・メインフィルターあり)

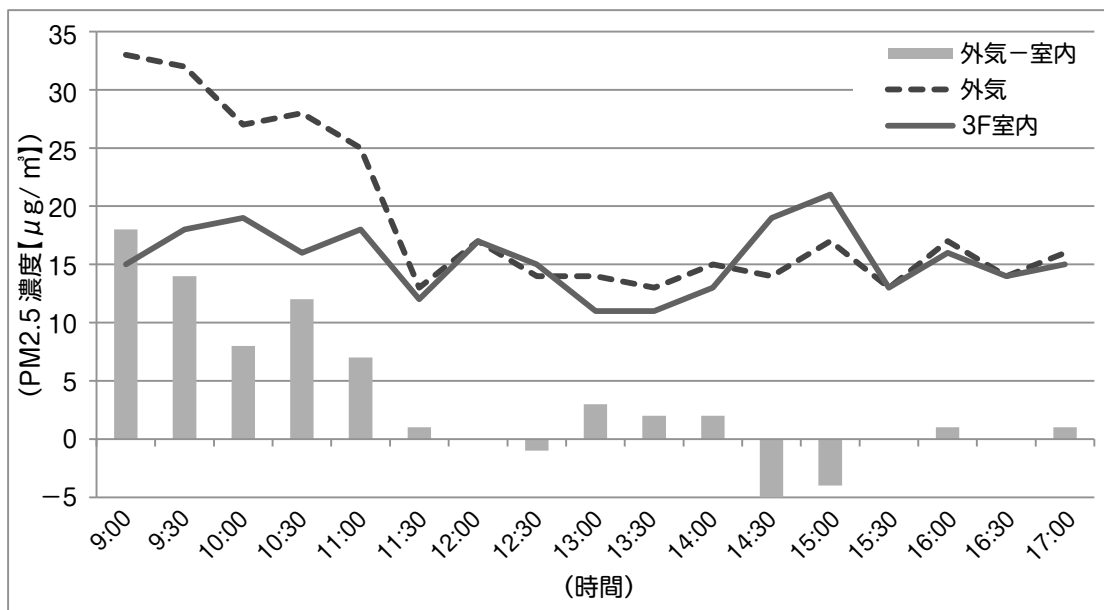


図3-2-7 イ. 外気処理ユニット運転 (プレ・メインフィルターなし)

<測定結果>

- ・外気処理ユニットのプレフィルター、メインフィルターの有無によるPM2.5濃度の変化を測定しました。
- ・図3-2-6を見ると、空調機器運転時間帯においては、室内のPM2.5濃度が、ある程度一定に保たれており、外気処理ユニットのプレフィルター、メインフィルターが、PM2.5に対しても、ある程度、有効に機能していることが分かります。
- ・図3-2-7のグラフの通り、外気処理ユニットのフィルターを取り外し、直接、室内に外気を取り込むことで、室内のPM2.5濃度が、外気とほぼ同濃度になりました。

■測定2

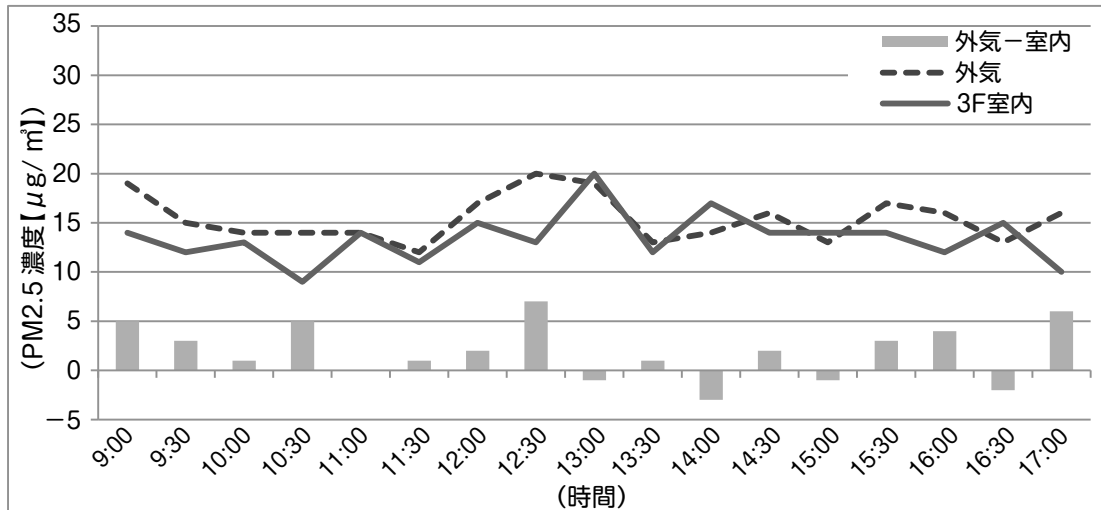


図3-2-8 ウ. 外気処理ユニット停止

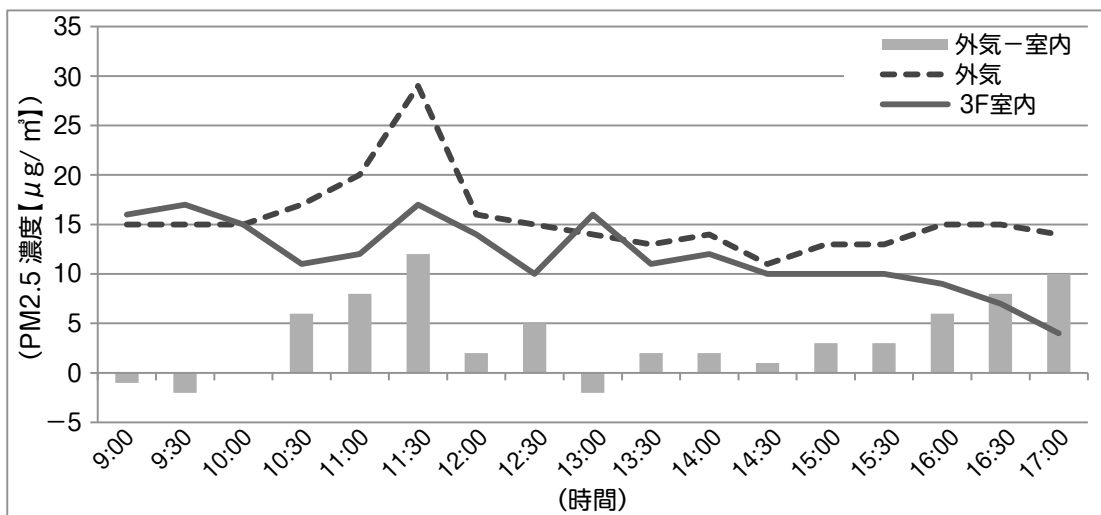


図3-2-9 エ. 外気処理ユニット停止・空気清浄機4台運転

<測定結果>

- ・外気の影響を少なくするために、外気処理ユニットを停止し、パッケージエアコンと全熱交換器を運転した上で、空気清浄機運転によるPM2.5濃度の変化を測定しました。
- ・図3-2-8のグラフを見ると、外気のPM2.5濃度が比較的低いことと、全熱交換器の運転による外気の影響を受け、室内のPM2.5濃度は、外気と同程度で推移しています。
- ・図3-2-9のグラフでは、空気清浄機の運転により、時間経過とともに、室内のPM2.5濃度が低下し、外気との濃度差も大きくなっています。

③ 測定をしてみたの所感

- ・今回、測定に使用した「エアクオリティモニター」(ラトックシステム(株))については、PM2.5の濃度変化や、傾向などを把握するには、十分な使用感でした。
- ・一般的に、雨の日はPM2.5濃度が下がると言われていますが、測定期間中の雨の日にも、PM2.5濃度が下がる傾向が確認されました。
- ・PM2.5以外にも、花粉や、ハウスダストの汚染指針となるPM10なども測定しており、在室者による空調機器の発停の目安として、活用できそうです。
- ・バッテリー内蔵で持ち運びもでき、測定データをリアルタイムにスマートフォンで確認できるなど、とても手軽です。また、比較的安価な製品ですが、室内空気環境を可視化する簡易的なツールとしては、十分な印象を受けます。

④ 注釈

- ・PMセンサーの測定値の有効範囲は $25 \sim 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となっており、 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満だと測定値のブレや個体差が大きくなります。
- ・今回の測定では、ほとんどが有効範囲外での測定値比較となりますので、測定データにつきましては、参考程度とお考えください。

(4) 最新対応機器のご紹介

ここでは、PM2.5に対する最新型計測機器（パーティクルカウンター※1）について、いくつかご紹介させていただきます。

ご存知のとおり、PM2.5は私たちの生活の中に少なからず影響を及ぼし始めています。

特に心肺系や呼吸系において敏感な人達は、微量ながらも苦慮されているのが現状です。環境省大気汚染物質広域監視システムのような公的機関からの事前予報もありますが、自身の周辺における計測は、やはり身近に計測器を置いて確認したいものです。

ただしPM2.5は、潮解性物質や揮発性物質を含んでいることから、周辺大気の影響を受けやすい性質を持っています。このため、測定方法には、測定機器やフィルターの秤量等に求められる条件が厳しく規定されています。

PM2.5の質量濃度の測定方法については、環境基準の告示によって「ろ過捕集による質量濃度測定法」（標準測定法）と、「それと等価な値が得られると認められる自動測定機による方法」（等価測定法）が示されています。質量濃度を測定しようとする場合、その調査目的に応じて、この2つの方法から選択することが必要です。

■「オートチェンジャー搭載」大気中浮遊粒子状物質成分分析用サンプラ（MCAS-SJA） 【ムラタ計測器サービス株式会社】



図3-2-10

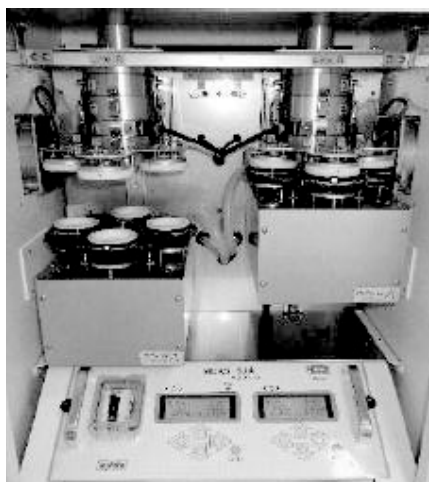


図3-2-11

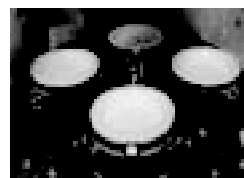


図3-2-12

大気中浮遊粒子状物質成分分析用サンプラは、粒子状物質をフィルター上に捕集する測定法（フィルタ法）によるサンプリング装置です。

この機器は成分分析に最適な試料を得られることができ、さらに、SPMとPM2.5を同一試料として採取することができるので、濃度の比較評価や粗大粒子の評価が可能となっています。測定時の省スペース、低コストにも対応した大気中浮遊粒子状物質の実態把握に最適なサンプルです。

微小粒子状物質PM2.5の成分分析モニタリングでは、対象成分に応じたフィルターの選択と、24時間毎のフィルター交換が必要となります。

本装置では、独立した2経路の分粒機構と、それぞれの経路にPM2.5を採取するフィルターのオートチェンジャー機能（フィルター自動交換機能）を備えています。

これにより、質量濃度用試料と成分分析用試料が本装置1台で同時に採取できるとともに、夜間や休日で立ち入りができない場所でも対応が可能となります。また、近接する複数地点の同時測定が少人数でも点検可能となります。

図3-2-12は、同社製品のポータブルタイプのPM2.5サンプラで、「MCAS-PT」。図3-2-10「MCAS-SJA」が、屋外での環境測定を想定しているのに対し、室内の環境測定には、コンパクト化された「MCAS-PT」が適しています。



図3-2-13

■卓上型 PM2.5測定器G03
【有限会社ヤクモトレーディング】



図3-2-14

- ・大気汚染を常時監視。数値と色で危険度を表示します。
- ・PM2.5の値をリアルタイムで測定、オフィスや学校、小さなお子様が居るご家庭など、空気の汚れが気になる場所に置くだけで簡単測定が可能です。
- ・24時間空気の汚れを管理。きれいな空気を必要としている場所、食品、薬品、精密機器、電子部品の製造場所にベスト。
- ・空気の汚染度によってディスプレイの色が変化します。喫煙室などに設置すると健康への危険度が一目でわかります。

G03 PM2.5測定器の特徴

- ・センサーにはプロ仕様の光学赤外線LEDセンサーを採用し、リアルタイムにPM2.5の値を測定します。
- ・リアルタイムのPM2.5の値とともに時間あたりの平均値もディスプレイに表示します。
- ・PM2.5の値によってディスプレイが6色に変化します。
- ・電源には5VDCアダプタ付属。消費電力は1.2W。

空気の汚れを数値と色でお知らせします。



センサータイプ：

光学 赤外線LED センサー

測定範囲：0～600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

最小単位：0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

誤差： $\pm 10\mu\text{g}+5\%$

センサー寿命：>5年

安定性：<10% (5年以内)

図3-2-15

※1【パーティクルカウンター】

パーティクルカウンター（Particle Counter）とは、空気中や液体中にある塵・ホコリ・異物・ダスト等をカウントする計測器のことで、日本では微粒子計と呼ばれることも多い。その測定原理としては、大きく分けて光散乱方式と光遮蔽方式があり、粒子の大きさに比例した電気信号を捉える事で、粒子径と粒子数を計測する。パーティクルカウンターは、一般に、ICR（Industrial Clean Room）と呼ばれる工業用クリーンルームとBCR（Biological Clean Room）と呼ばれる医薬品・食品およびバイオテクノロジー分野向けとして、主に空気中の浮遊微粒子や微生物を制御・管理したクリーンルームやクリーンベンチの管理目的で使用されており、主な用途としては下記の通りである。

（ICRにおける主な用途）

半導体・液晶パネル（LCD）・電子部品・プリント基板・光学部品・精密機器・粉体・高純度原材料・フィルター

（BCRにおける主な用途）

製薬・医薬品（原薬・合成）・ビバレッジ・食品・化粧品・病院（手術室・ICU・無菌室）

（その他） 大学・試験研究機関

2018年夏の時点で、日本の各主要家電メーカーから発売されている空気清浄機においては、PM2.5を捕集する様々なタイプの空気清浄機があります。(一部のグレードに限る)ここでは、その中からいくつかの商品をご紹介します。

■空気清浄機 クリエア EP-NVG110

【日立アプライアンス株式会社】 商品の特徴



図3-2-16

- ・自動お掃除ユニットにより運転48時間ごとに、上下に動きながらブラシでプレフィルターのホコリを除去。しかもブラシとダストボックスは抗菌仕様。
- ・ワイドスピード集塵で8畳なら6分で空気が、きれいになります。(世界最高水準)
- ・さまざまな空気の汚れやニオイをキャッチ。花粉はもちろんPM2.5や浮遊ウィルス、浮遊細菌、ニオイもしっかり捕集します。
- ・3つのフィルターでしっかり集塵します。HEPA性能の多層構造でホコリやスギ花粉、浮遊カビなどの微細な粒子までしっかり捕集します。
- ・PM2.5センシング機能
高感度検知に切り替え、ターボ風量で微小なホコリを清浄します。
(ダストセンサーの検知は $0.5\mu\text{m}$ 以上)
これにより通常の空清自動運転と比べPM2.5を自動清浄します。

■空気清浄機 F-VXP90

【パナソニック】

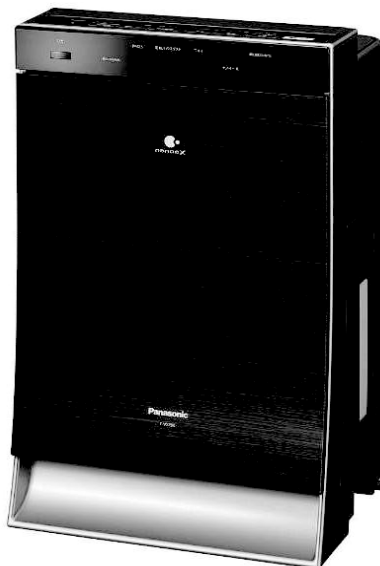


図3-2-17

商品の特徴

- ・「ナノイー X」を搭載。
空気のキレイに効果を発揮する水から生まれた進化したイオン「ナノイー」。その効果の決め手のOHラジカルを、10倍生成することに成功した「ナノイーX」を搭載。
- ・「ダブルフロー花粉撃退気流」搭載。
ダブルフローツインルーバーの2方向に吹き出す風で、効率的な床上吸引を実現。
- ・パワフル吸引。
PM2.5やタバコのけむりなどの微細な汚れから、花粉・ハウスダストの大きな汚れまで、すばやく検知し、パワフルに吸引します。

・PM2.5解析プログラム

ハウスダストなどより小さい $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質の量を見極めることが可能な「PM2.5解析プログラム」で、質量濃度を高精度に判定しお知らせします。濃度が高い時は、本体正面のサインでお知らせし、自動で風量・気流を切り換えて吸引します。

第 4 章 柏崎刈羽原子力発電所・奥清津発電所 見学レポート

4 - 1 柏崎刈羽原子力発電所・奥清津発電所 見学レポート

- (1) 「柏崎刈羽原子力発電所」 見学

日 時

平成30年8月30日（木）

見学先

柏崎刈羽原子力発電所

< 柏崎刈羽原子力発電所 所内見学項目 >

・ 発電所概要と現状説明

・ 構内施設見学…電源車両、注水車両、貯水池、防潮堤・免震重要棟 など

・ 7号機建屋内見学…原子炉建屋、タービン建屋内、中央操作室、非常用ディーゼル発電機、水圧制御ユニット、原子炉隔離時冷却系 など
- (2) 柏崎刈羽原子力発電所 敷地概要と発電出力



図4-1



図4-2

柏崎刈羽原子力発電所は、新潟県の柏崎市と刈羽村にまたがって位置し敷地面積は、約420万㎡（柏崎市：約310万㎡、刈羽村：約110万㎡）となっています。

合計7つの発電設備があり、総出力は821万4千kWです。(表4-1)

発電所運転状況

表4-1

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
原子炉型式	沸騰水型原子炉 (BWR)					改良型沸騰水型原子炉 (ABWR)	
電気出力 (万kW)	110	110	110	110	110	135.5	135.5

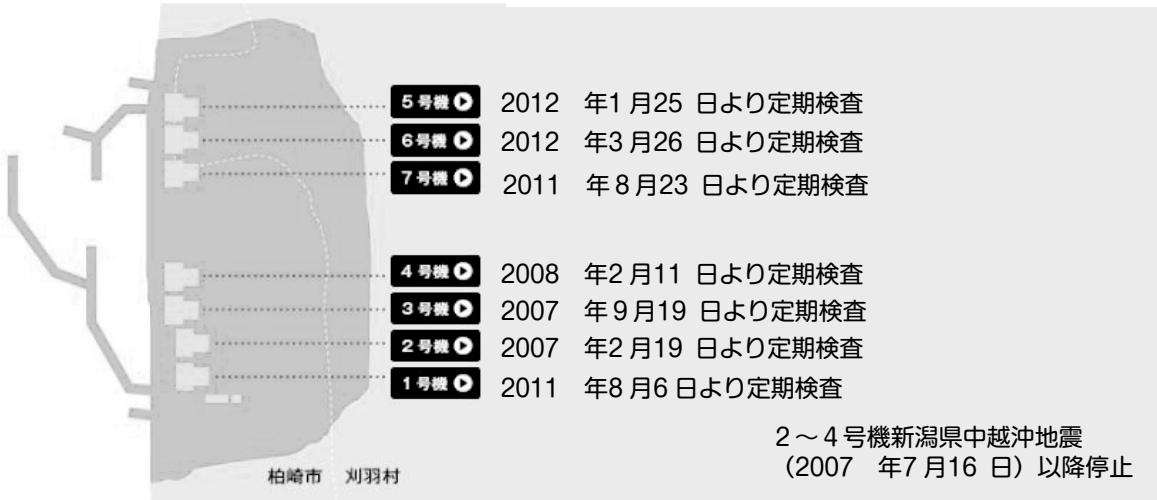


図4-3

(3) はじめに

今回は、東京ビルメンテナンス協会として、新潟県「柏崎刈羽原子力発電所」を視察させていただきました。原子力を扱う施設として、ビルのメンテナンスをする上では、最も高度な技術力を求められる施設でありました。

非常に厳重なセキュリティ、通常の管理基準を遥かに上回る基準値の設定と厳格な管理、危機管理のために何重にも冗長化された設備など、一般的なビル管理にはスペックオーバーな部分もありますが、その管理姿勢には、とても感心させられました。私たちの想定を超えた範囲での危機管理体制は、協会活動において大変、有意義なものとなりました。

(4) 委員レポート（各委員のコメント）

【現場の改善活動】

- ・ 見学会の折、柏崎刈羽原子力発電所の安全対策として「マネジメントオブザベーション」を取入れているとの話がありました。当社でも、「現場巡回」は重要な安全・品質向上の手法として採用されています。現場上職者の現場巡回は必須ですが、会長・社長・役員巡回等も巡回し、業務品質向上を図っています。

- ・ 「マネジメントオブザベーション」はこれまで行なわれている「現場巡回」とは大きく異なっています。管理者が、現地で作業員の作業状況を観察し、問題意識を持って改善に取り組むこの手法は、ビルメンテナンスにも役立つのではないのでしょうか。

- ・ 東京電力の
「マネジメントオブザベーション」とは・・・

『管理的職位にある社員が、業務や現場の状況（作業実施状況など）を準備段階から完了後の振り返りまで、係わる全行程について、じっくり観察することより、目標と振る舞いとの差を確認し、改善の手助けとなるような“気づき点”を提供し、現場の業務改善につなげる活動です。

本活動は、事務所における業務や会議の観察も含まれます。

人々の行動観察を通じて実態を洞察するため、通常行われるパトロールとは異なり、一定時間留まってじっくり観察することが必要』

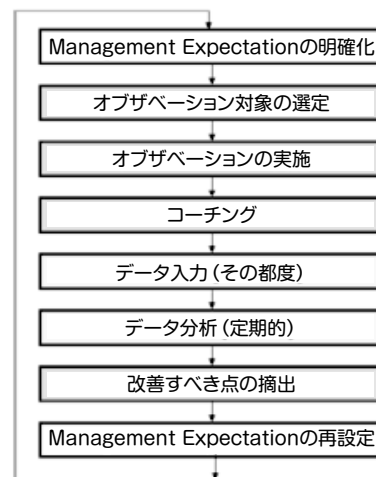


図4-4

- ・ 安全核心部分でのフェイルセーフであるとか、そのベースとなる「安全文化」を構築しようとする企業姿勢（ヒューマンエラーの排除）は、まざまざと見せつけられた感があり、曰く経済面での考慮を除くと、継ぎ接ぎの技術・妙に関しては、世界最先端と言えるだろう。その中でも、世界レベルでのピア・レビューであるとか、さらに、米国スタイルの「マネジメントオブザベーション」については、ビルメンテナンスからビルマネジメントへと当協会の着目を、一種の慧眼足りうるものとするかもしれません。

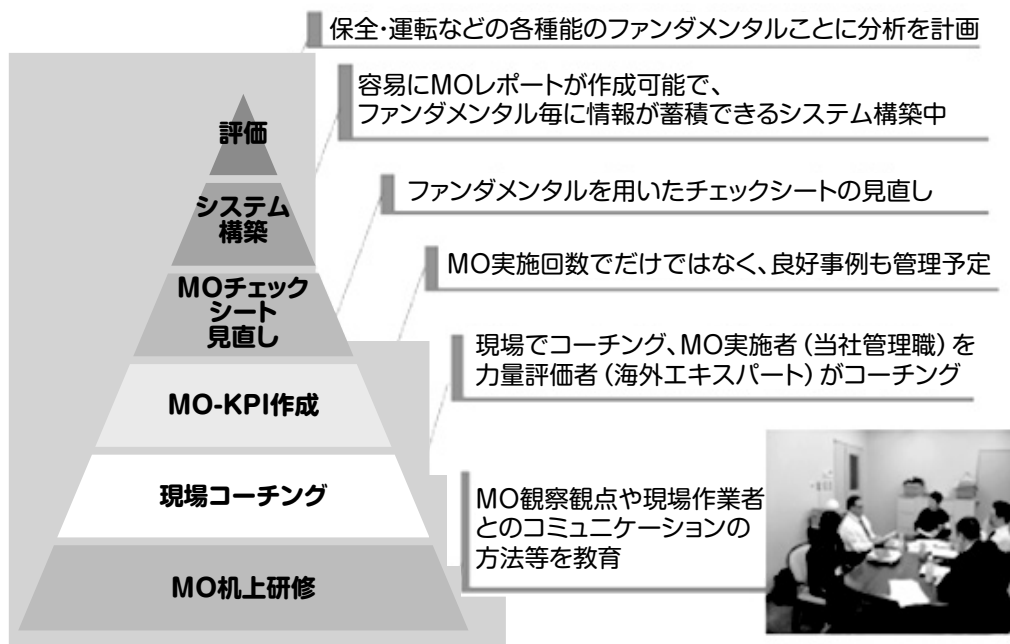


図4-5

【全電源喪失への備え（非常用発電機）】

- ・非常用発電機は、建物内部に固定式、屋外に車載型発電機（据置き）及び移動用発電機の3段階で、バックアップ体制を構築し、冗長性が確保されていた。また、発電機室など重要室への通路・居室の扉は水密扉が採用されており、津波による浸水対策が実施されていた。

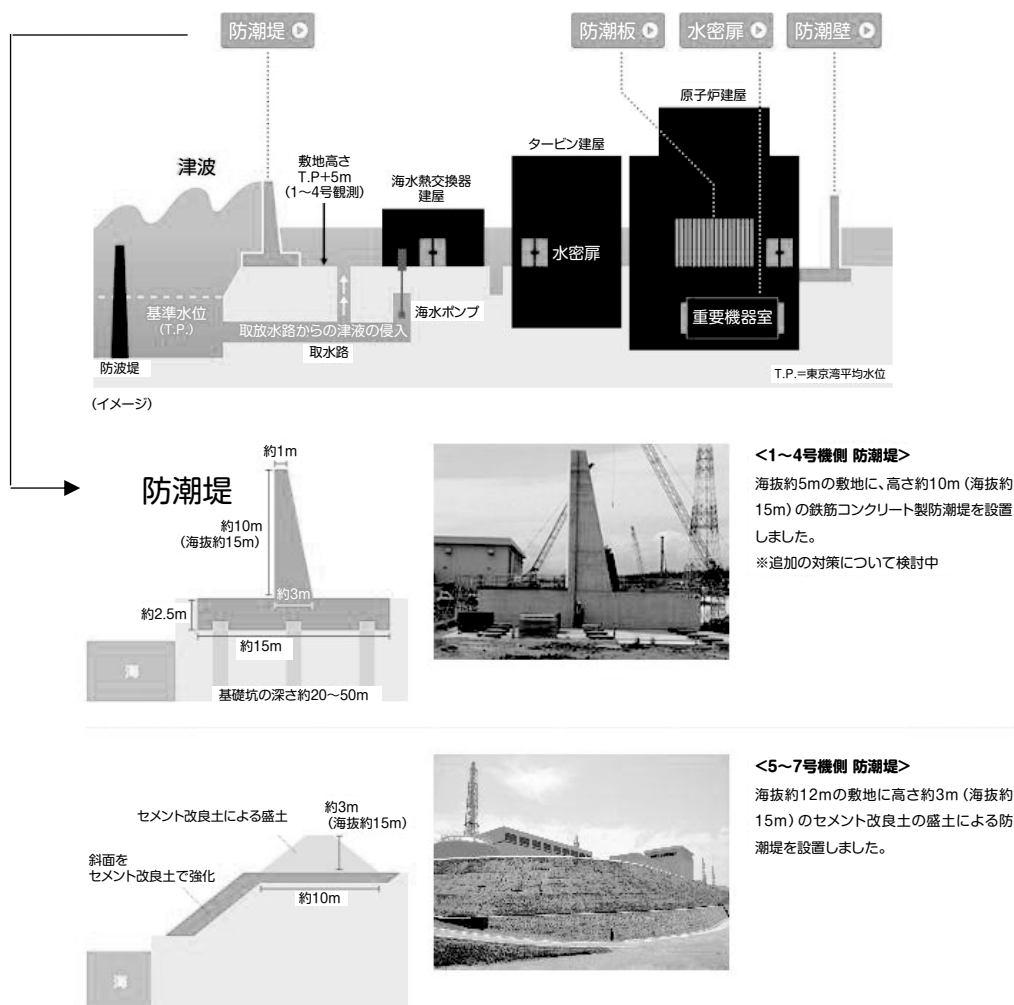


図4-6

- ・燃料タンクも大容量の地上タンクが据付けられていて、固定式・据置式に配管接続され、移動式にも供給可能な仕組みをとっている。津波への対策として、防潮堤が新設（15m）され、過去に発生した災害を防止する再発防止策が迅速に行われていることには、大変感心させられ、あらためて、トラブルに対しての再発防止策の即時検討、迅速な対応が重要であると認識できました。

【セキュリティ】

テロなどの防止を考慮して敷地、建物共に厳重な出入り管理を人的・機械的な仕組みで構築されていました。例えば、データセンターのサーバー室に入館する場合、事前申請・身分証明書確認やICカードによる建物内での位置の監視など、厳しいセキュリティ管理が行なわれています。

本施設では、通常より一層厳しいセキュリティ管理が行われている印象を受けました。

【施設の見学】（一般見学も可能です。ホームページで確認してください。）

見学は予約制で、予約には、顔写真付きの身分証明書の提出が必要です。見学当日は、発電所構外のサービスホールにて本人確認を行い、見学許可証を受け取ります。

サービスホールからはガイドバスに乗り、発電所構内へ移動します。発電所構内へのゲートは1ヶ所のみで、警備員がガイドバス内に立入り、見学許可証の確認を行います。

手荷物がある場合は、持ち物チェックも行われます。発電所構内は、すべて撮影禁止でカメラ付きの携帯電話の持込みはできません。

今回は、原子炉建屋などを案内していただきました。原子炉建屋内に入るときは、ガイドバスを降り、まず、金属探知ゲートによる検査を通過して、建物区域内に入り、建屋入口で生体認証と発行されたICカードを利用して、セキュリティゲートを通過し入館します。

これらのセキュリティ検査は、東京電力の職員や官公庁の方も、同様に行われます。



図4-7

（5）見学を振り返って

敷地内のサービスホールに到着すると、初めに一般的な日本のエネルギー事情について説明があり、改めて社会インフラの重要性を認識しました。国のエネルギー政策の視点は、3E+S（経済性、安全最優先、安定供給・安全保障、環境適合）に要約されます。

その他、敷地内の概要、安全対策、見学における諸注意を受け、バスによる移動が開始されました。構内は東日本大震災による福島原子力発電所での事故の教訓を生かした防護対策工事を実施中。再稼働を目的としており、主な対策として津波による浸水を防ぐ防潮堤、防潮壁・防潮板、水密扉、外部電源喪失対策として、空冷式ガスタービン発電機車、電源車、緊急用高圧配電盤、地下軽油タンクなどや、火災発生対策として消防車、貯水池等が強化されていました。

原子力発電所特有の代替海水熱交換器車、高圧代替注水系（HPAC）など炉心冷却のため、及び炉心損傷時を想定したフィルターベント設備、原子炉建屋水素処理設備、大容量放水設備等が配備されていました。

あわせて、緊急時の体制と手順を整備し訓練を繰り返して実施していました。これらの施設、設備は津波被害を想定し、高台に設置されていました。次に一般管理区域に立入り、色々な設備や計器類の説明を受けました。（免震重要棟を含む）敷地内に入る際にも、厳しいセキュリティチェックがありましたが、一般管理区域（建屋内）はさらに厳重なチェックがありました。数時間における見学内容は質疑応答も活発に行われ、大変有意義な時間となりました。日本で最大の50万ボルトの送電線（100万ボルトまで運用可能）を見ながら発電所をあとにしました。



図4-8

- (6) 「奥清津発電所」見学
 日 時 平成30年8月31日（金）
 見学先 奥清津発電所（電源開発株式会社）
 <奥清津発電所 所内見学項目>
 ・発電所概要説明
 ・構内施設見学…貯水池、発電機 など

(7) 発電所概要

奥清津発電所はカッサ、二居と2つの調整池を持ち、その間の有効落差470mを利用して、2つの発電所により最大160万kWの発電能力を有します。

奥清津、奥清津第二発電所の両発電所で作られた電気は、東京電力の新潟幹線により、東京方面へと送られていきます。奥清津発電所の運転は、以前は、発電所制御室にて直接行なっていましたが、平成5年4月より、埼玉県のカ越にある東地域制御所から遠隔操作で行う方式に切り換えられました。

	奥清津発電所	奥清津第二発電所
所在地	新潟県南魚沼郡湯沢町三国502	
水系及び河川名	信濃川水系清津川カッサ川	
発電方法	ダム水路式（純揚水式）	
最大出力	100万kw	60万kw
台数	4台	2台
最大使用水量	260m ³ /秒	154m ³ /秒
有効落差	470m	470m
着工	昭和47年5月	平成4年3月
運転開始	昭和53年7月(1号機) 昭和53年12月(2号機) 昭和57年7月(3,4号機)	平成3年6月(1,2号機)



図4-9

カッサダムは、カッサ川の最上流に位置し、昭和53年に完成しました。岩石を積み上げたロックフィルダムで高さ90m、ダム体積445万m³となっています。ダムの内部は3層構造となっており、中央部が水を通さない粘土層の遮水壁、次に砂礫層のフィルター、そして水圧に耐える重しの役割を果たす岩石層で構成されています。ダムの内部には、多数の測定器が据えられ、点検用の通路（監査廊）が走っています。

カッサ調整池は、総貯水量1,350万m³、有効貯水量1,140万m³。満水位と最低水位の間の28mで水の運用を行っています。夜間の揚水運転により、通常は朝に満水状態になっており、昼間の発電により少しずつ水位が下がっていきます。

二居ダムは、清津川の上流部に位置し、昭和53年に完成しました。カッサダムと同じロックフィルダムで、高さ87m、ダム体積は260万m³となっています。ダムの右岸には洪水吐ゲートがあります。これは洪水などで大量の水が調整池へ流れ込んだ時、ダムから水を放流する設備で、最大で毎秒1,620 tの放流能力を持っています。平均すると年に1回程度のゲート放流があります。

二居調整池には清津川と浅貝川が流れ込んできます。総貯水量1,350万m³、有効貯水量1,140万m³、満水位と最低水位の間の21mで水の運用を行っています。普通、朝は水位が下がっており、日中の発電により少しずつ水位が上がってきます。

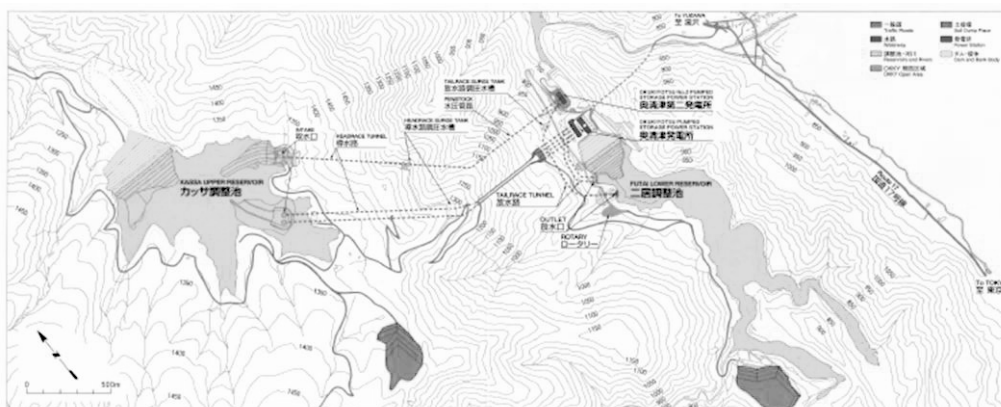


図4-10

【取水口】

上池のカッサ調整池には取水口があり、発電時は水の取り入れ口、揚水時には水の放流口となります。

奥清津発電所の取水口はモーニンググローリータイプ（朝顔型）、奥清津第二発電所は側方流入型と、形式が違ってきます。

表面には、格子状のスクリーンがあり異物を吸い込まないようにしています。導水路・水圧管路を空にするときに用いる取水口ゲートも、この近くにありますが。



図4-11

【放水口】

放水路を通った水は、放水口より二居調整池へ放流されます。夜間の揚水時には、逆に放水口が水の取り入れ口となります。鉄筋コンクリート横取り式で、前面には異物が入らないようスクリーンが設けられています。

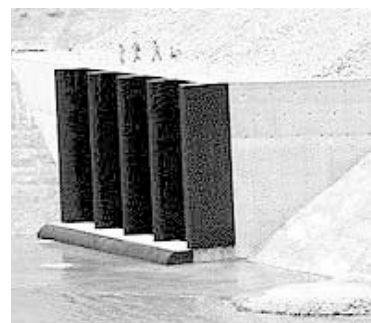
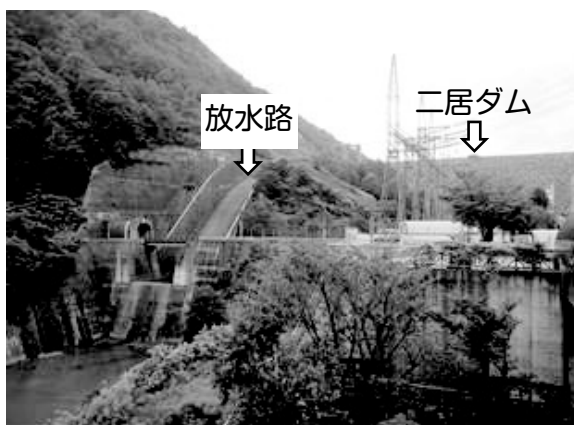
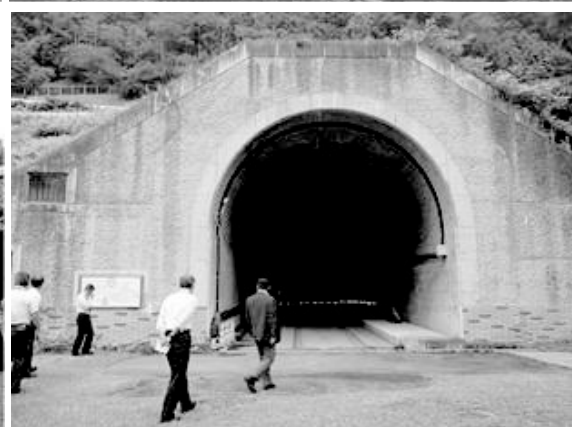


図4-12

（８） 施設内風景（二居ダム放水口下部、二居調整池）



発電機ポンプ水車



工事用横穴（数か所の横穴から工事）

図4-13



図4-14

(9) 見学を振り返って

一般見学可能な発電所で説明用建屋があり、だれでも立ち寄ることができ、見学が可能です。

揚水式発電所としては、国内最大級の発電量を有しています。夜間の揚水は、以前は、原子力で発電された電力を使いカッサダムへ揚水し、昼間の電力供給計画に沿って二居ダムへ水を導水路を経て導き、発電していました。

現在は、原子力発電が停止中のため、夜間は自社発電所で発電された電力を使用しています。

火力発電と違い、必要になったときに即時発電ができる揚水式は、ピーク時に重要な発電所であることが再認識できました。電力需要に対し発電方式のベストミックスによる電力供給をするため、各電力会社が施設安定稼働を目指し、日々努力されていることも再認識することとなりました。

かぐらスキー場代ステーションに隣接する純揚水式発電所である奥清津発電所は、冬場の降雪時期は閉館していますが、春から秋までは、だれでも見学ができます。旅行などの立ち寄り場所としていただければ、日本の技術力をあらためて発見することができる楽しい旅になることと思います。

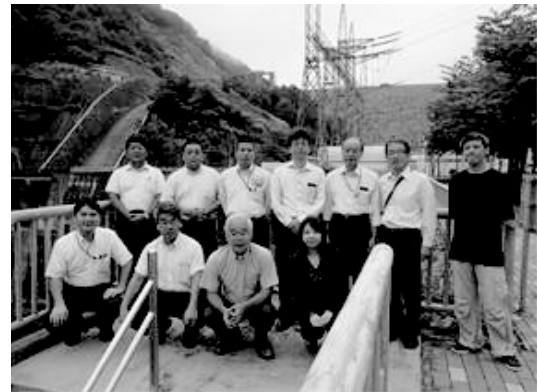


図4-15

【編集委員】建築物施設保全委員会 技術専門委員会

委員長	吉澤 幸夫	(株)サンアメニティ
専門委員長	伊藤 和文	(株)アサヒファシリティーズ
専門副委員長	古井 康夫	(株)東急コミュニティー
専門委員	五十嵐恒二	東京美装興業(株)
同	池田 匠	(株)ダイケンビルサービス
同	海寶 博樹	(株)MGファシリティーズ
同	鈴木 央一	日本メックス(株)
同	濱島 和夫	個人委嘱
同	前村 好浩	(株)小田急ビルサービス
同	松野 忍	(株)ビケンテクノ
同	渡邊 一由	個人委嘱

(委員は 50 音順)

「設備管理のための室内空気環境レポート」

初 版：平成 31 年 1 月 24 日
編 集：公益社団法人 東京ビルメンテナンス協会
建築物施設保全委員会 技術専門委員会
発 行：公益社団法人 東京ビルメンテナンス協会
〒116-0013
東京都荒川区西日暮里 5-12-5 ビルメンテナンス会館
URL. <https://www.tokyo-bm.or.jp/>
Tel 03-3805-7555 Fax 03-3805-7550

本書の著作権は（公社）東京ビルメンテナンス協会に帰属します。
本書の全部または一部の引用、転載、複写を禁じます。
これらの許諾については発行先までご照会ください。

