

空気調和機の衛生性向上技術

Technologies for Improving Hygiene in Air Conditioners

要旨

近年、消費者の健康・快適性、さらに新型コロナウイルス(COVID-19)蔓延(まんえん)による衛生性向上への関心の高まりに伴い、室内空気質(IAQ)を改善・向上できるデバイスや空気調和機(空調機)内部の衛生性確保が要求されている。三菱電機では、これらの解決に向けて、人への安全性を第一とし、安全性が立証されていない物質を有人環境に放出することのない衛生性向上技術を開発している。

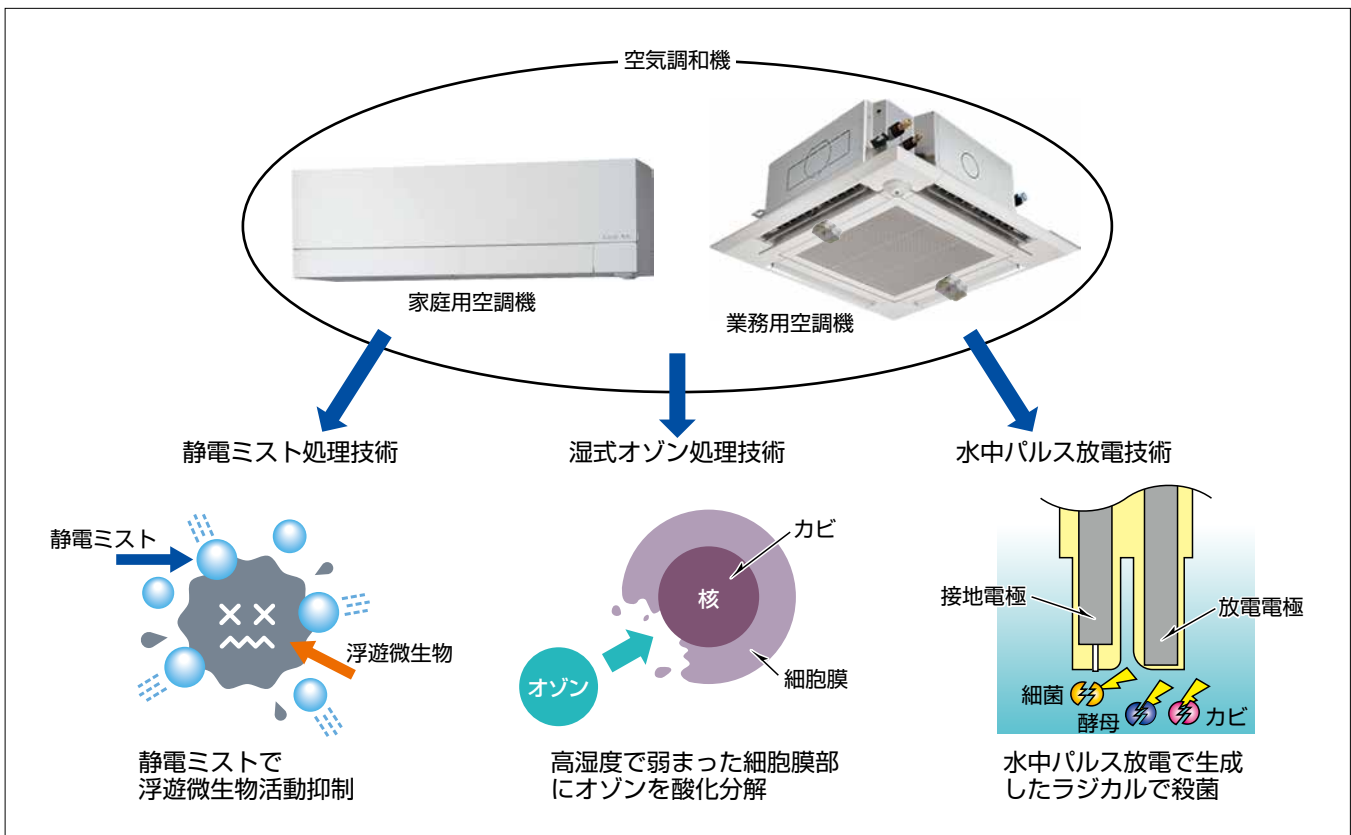
IAQ改善・向上技術である静電ミスト処理技術は、粒子径数十nmでオゾンなど不純物を含まない微細静電水滴を用いる。この微細静電水滴は浮遊微生物に帯電効果で吸着することでそれらの空気中での活動を制御できる。

臭気・アレルゲン原因物質低減を目的とした空調機内部

の防カビ技術である湿式オゾン処理技術は、空調機停止直後の高湿度条件での低濃度オゾンガス曝露(ばくろ)で、胞子が発芽時に生じる細胞壁開裂部分をオゾンで酸化分解して殺カビする。

ドレン水殺菌技術である水中パルス放電技術は、水中でヒドロキシラジカルを発生させて微生物の細胞膜などを酸化分解し、殺菌・不活化する。水中で効率的に放電を起こす電極構造として金属細線外周を樹脂で覆った放電電極を用いている。

今後は、対策が急務になっているCOVID-19に対する不活化効果を検証するとともに、室内付着微生物に対する衛生性向上技術の開発に取り組む。



衛生性向上技術の空気調和機への適用

当社は、人体安全性を第一とし、安全性が立証されていない物質を有人環境に放出することのない衛生性向上技術として静電ミスト処理技術、湿式オゾン処理技術、水中パルス放電技術などの開発に取り組んでいる。これらの技術は物理・化学的処理であるため、耐性微生物が発生することはなく、COVID-19不活化を始めとする感染リスク低減対策にもなり得る。

1. ま え が き

近年、消費者の健康・快適性への関心の高まり、COVID-19蔓延による衛生性向上への関心の高まりに伴い、室内空気質(IAQ)や室内環境質(IEQ)を改善・向上できるデバイス、さらには衛生性向上技術の空調機への搭載が求められている。近年、放電生成物や電気分解生成物を放出し、空調機内部、また室内環境の衛生性を向上させる技術が開発・製品化されている。しかし、放電生成物や電気分解生成物の人体安全性に関しては、明確化されていない⁽¹⁾。そこで当社では、人体安全性を第一とし、人体への安全性が立証されていない物質を有人環境に対して放出することのない衛生性向上技術を開発している。

本稿では、空調機用の衛生性向上技術として開発してきた内容と成果について述べる。

2. 衛生性向上技術

2.1 静電ミスト処理技術

室内空間の浮遊微生物を殺菌・不活化し、IAQを改善・向上させる技術として、静電ミスト処理技術を開発した。

図1に、静電ミストの生成方法及び浮遊微生物活動抑制メカニズムを示す。まずペルチェ冷却器で空気中の水分を冷却板に結露させる。生成した結露水を吸湿性高圧電極に滴下し、高電圧を印加して静電噴霧機構で微細水滴を生成し、空气中に放出する。吸湿性高圧電極として多孔質発泡チタンを採用することで、高い微細水滴生成量に加えて、

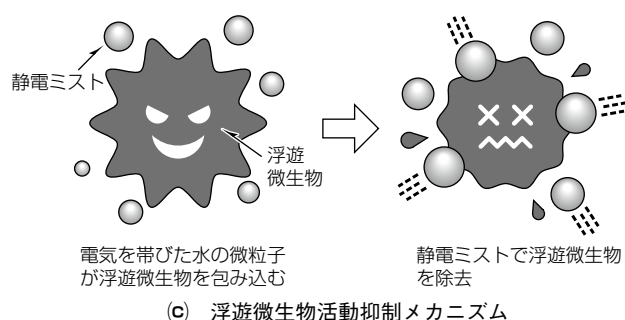
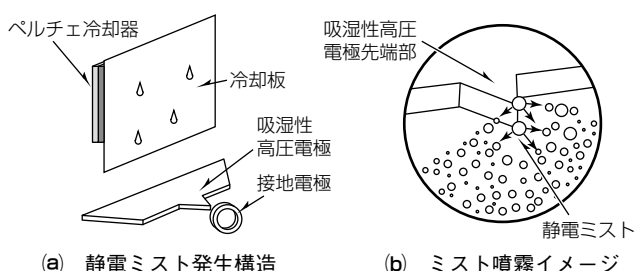


図1. 静電ミスト生成方法及び浮遊微生物活動抑制メカニズム

耐食性を高めていることが特長である。また、印加電圧の制御によって、粒子径は10~40nmで、かつ酸化力が強いオゾンガスやラジカルを含まないピュアな微細静電水滴を生成している。

静電ミストは、帯電効果によって浮遊微生物に吸着することで、それらの空気中での活動を抑制できる。また、オゾンガスやラジカルを含んでいないため、人体には影響しない。

静電ミストの浮遊カビに対する殺カビ特性を図2に示す。25m³の密閉空間にアオカビ(*Penicillium citrinum* NBRC (NITE Biological Resource Center) 6352)を噴霧する(浮遊カビ数 3.9×10^6 CFU(Colony Forming Unit)/10L-air)。その後、空調機を稼働させながら静電ミストを放出し、180分、270分後に試験空間内の空気を回収し、空間中の浮遊カビ数を平板培養法で計測した。その結果、静電ミストを放出した場合の浮遊カビ数は放出しない自然減衰に比べて少なく、165分後には2桁すなわち99%低減することが確認できた。

静電ミストの浮遊インフルエンザウイルスに対する不活化効果を検証した。25m³の密閉空間にインフルエンザウイルス(A型インフルエンザウイルス:A/Aichi2/68(H3N2))を噴霧する(浮遊ウイルス感染価 3.9×10^4 PFC(Plaque Forming Unit)/10L-air)。その後、空調機を稼働させながら静電ミストを放出し、所定の時間後に試験空間内の空気を回収し、空間中の浮遊ウイルス数をブランク法で計測した。その結果、静電ミストを放出した場合の浮遊ウイルス数は、放出しない自然減衰に比べて少なく、158分後には2桁すなわち99%低減することが確認できた。

これらのことから、静電ミストが浮遊カビ、浮遊ウイルスを空間から除去できることが分かった。この技術は、“ピュアミスト”という名称で、当社家庭用空調機に搭載されている。

2.2 湿式オゾン処理技術

冷房時の空調機内は多湿であり、カビが繁殖しやすい。カビが繁殖時に生成する微生物由来の揮発性有機化合物は

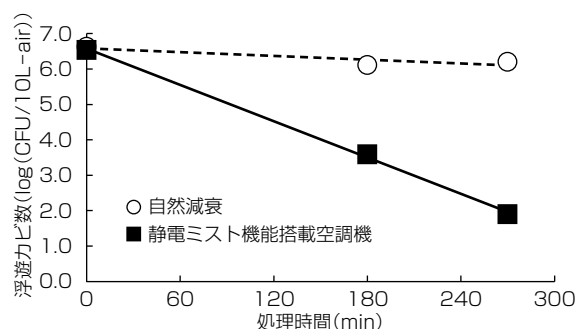


図2. 静電ミストの浮遊カビに対する除去性能特性

臭気の原因になり、またカビの胞子はアレルギーを引き起こす可能性がある⁽²⁾。そのため、空調機内部の殺カビ・防カビ技術が求められている。カビの胞子はタンパク質から成るコート層や細胞壁に保護されているため、オゾン処理で99%殺カビするのに必要なCT(Concentration-Time Value)値(オゾンガス濃度(ppm)×曝露時間(分))は5,400ppm・分程度と大きい⁽³⁾。そのため、環境基準値(0.05ppm)以下のオゾンガス濃度で殺カビするには膨大な時間がかかる。当社は、高湿度条件下では胞子が発芽してコート層や細胞壁が開裂することに着目し、高湿度条件下でオゾンガス処理を行う“湿式オゾン処理技術”を開発した。

湿式オゾン処理による黒カビ胞子の殺カビの様子を図3に示す。これは、黒カビ(*Cladosporium cladosporioides* NBRC 6348)の胞子を高湿度環境(15℃, 95%RH(Relative Humidity))で、オゾンガス1ppmに168時間曝露したときの胞子の外観である。高湿度曝露(非オゾン処理)ではカビの胞子は、外観上変化していない(図3(a))。その一方で、湿式オゾン処理では、カビの胞子の最外郭膜の一部が消失し、カビ胞子の細胞膜が開裂しているとともに、胞子に変形、すなわち溶菌していることが確認できる(図3(b))。このことから、この技術では、高湿度条件下で胞子が発芽してできるコート層や細胞壁の開裂部分がオゾンで酸化分解され、効率的に胞子を殺カビできることを確認した。

湿式オゾン処理機能を搭載した空調機内に付着した黒コ

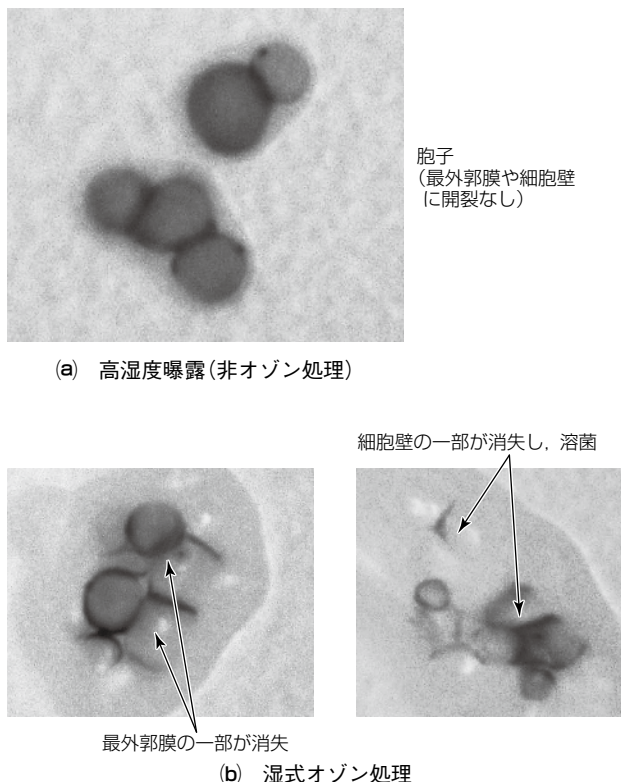


図3. 湿式オゾン処理による黒カビ胞子の殺カビの様子

ウジカビ胞子に対する殺カビ特性を図4に示す。ここでは、黒コウジカビ(*Aspergillus niger* NBRC 6341)を空調機熱交換器のアルミニウム板(約20×50(mm)部分)9か所に塗布した。その後空調機を、“6時間冷房運転→6時間停止”を基本動作とし30日間運転した。湿式オゾン処理機能を搭載した空調機は、冷房運転停止時に10分間湿式オゾン処理(空調機内部オゾンガス濃度最大0.05ppm)を行った。評価は、0日、14日、30日後にアルミニウム板上のカビを抜き取り検査キット(Pro・media ST-25, エルメックス社製)の綿棒で拭き取って板表面のカビを採取液内に移し、液中のカビ数を平板培養法で計測してアルミニウム板上でのカビ数を求めた。なお、アルミニウム板1か所当たりのカビ塗布量は、 6.1×10^5 CFU/サンプルとした。

図4に示すように、湿式オゾン処理機能搭載空調機のカビ胞子数は、湿式オゾン処理機能なしの従来の空調機に比べて少なく、30日後すなわちCT値として30ppm・分、湿式オゾンガスに曝露することで99%以上殺カビできた。これらのことから、湿式オゾン処理が効率的に殺カビできることが分かった。この技術は“カビクリーンシャワー”という名称で、当社家庭用空調機の内部クリーン技術として搭載されている。

2.3 水中パルス放電技術

冷房時、空調室内機の熱交換器上で結露水が発生する。この結露水は、業務用空調機では、ドレンパンという排水受皿に一度溜(た)められてからポンプで排水される。この溜まり水中で微生物が繁殖すると、揮発性有機化合物が生成されて臭気の原因になる。また、複数の微生物が集合化して形成するバイオフィームが排水ポンプを詰まらせて、空調機が異常停止して運転できないなどの問題も発生する。近年では、レジオネラ菌が繁殖して集団感染を引き起こす原因にもなるとして問題になっている⁽⁴⁾。これらの問題を解決するために、当社は水中パルス放電技術を開発した。水中パルス放電デバイスの構造を図5に示す。金属細線の周りを樹脂でモールドした放電電極と金属棒状の接

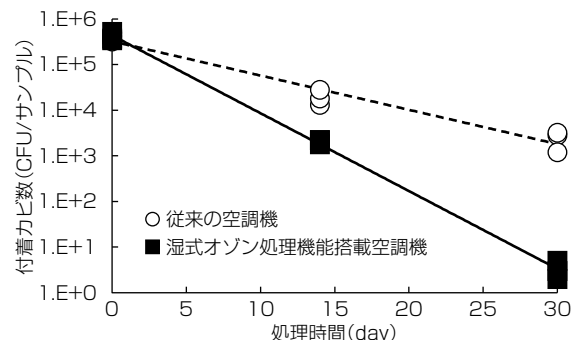


図4. 湿式オゾン処理の付着カビに対する殺カビ特性

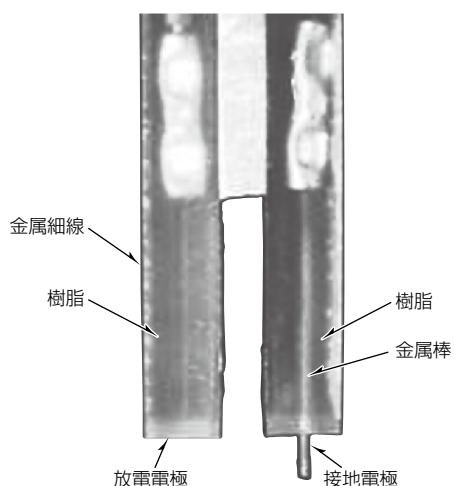
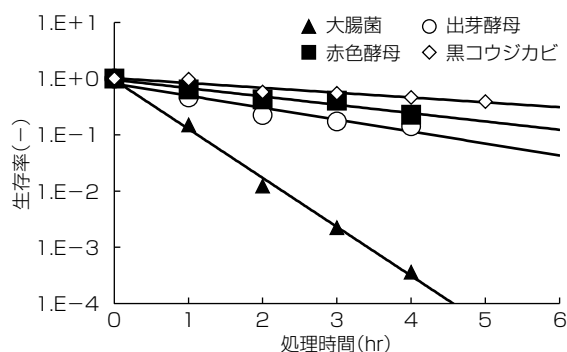


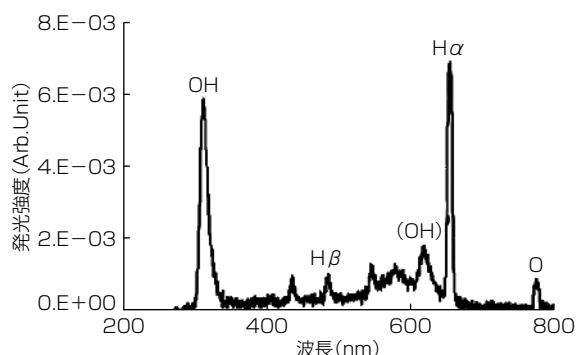
図5. 水中パルス放電デバイスの構造



放電条件 : 印加電圧-4kV, パルス周波数130Hz, 放電電極線径0.3mm, 接地電極線径1mm

試験微生物 :
 大腸菌 : *Escherichia coli* NBRC 3301,
 出芽酵母 : *Saccharomyces cerevisiae* NBRC 0203,
 赤色酵母 : *Rhodotorula mucilaginosa* NBRC1101,
 黒コウジカビ : *Aspergillus niger* NBRC 105649

図7. 水中パルス放電の各種微生物に対する殺菌特性



放電条件 : 印加電圧-8kV, パルス周波数130Hz, 放電電極線径0.3mm, 接地電極線径1mm
 測定装置 : パルス放電解析システム (CSP-TSP-1000MDN型, ユニソク社製)

図6. 水中パルス放電による発光スペクトル解析結果

地電極で構成し、電極間に高電圧をパルス状に印加することで放電させる構造である。周りを樹脂でモールドすることで金属細線の先端部に電界集中させて、水中で効率的に放電させる特長を持つ。実ドレン水の成分を模擬した水(模擬ドレン水, 全有機炭素量(TOC): 40mg/L, 電気伝導度: 130 μ S/cm)中でパルス放電を起こした場合の発光スペクトル解析結果を図6に示す。パルス放電によって水中でヒドロキシラジカル(OH \cdot , “ \cdot ”は不対電子を表す), 水素ラジカル(H \cdot)が発生することが確認でき、これらのラジカルが微生物の細胞壁や細胞膜を酸化分解して殺菌・不活化すると考えられる。

水中パルス放電の各種微生物(細菌, 酵母, カビ胞子)に対する殺菌特性を図7に示す。ここでは、各対象微生物を懸濁した模擬ドレン水50mLに、水中パルス放電デバイスを配置し、放電を発生させた。所定の時間後に試験液を採取し、試験液中の微生物数を平板培養法で計測した。

図7に示すように、全ての微生物の生存率は、処理時間

とともに減少し、水中の原核生物(細胞核を持たない生物)である大腸菌だけでなく、真核生物である酵母やカビに対しても殺菌性能を持つ。このことから、水中パルス放電技術は、複数の微生物の集合体であるバイオフィルムの形成を抑制可能であると言える。この技術は、“パルスクリン”という名称で、当社のパッケージ空調機のドレンパン洗浄技術として搭載された。

3. む す び

当社では、空調機の衛生性向上技術の開発に取り組んでいる。これまでに、IAQ改善・向上技術として静電ミスト処理技術を、空調機の内部クリーン技術として湿式オゾン処理技術を、ドレンパン洗浄技術として水中パルス放電技術を開発、家庭用空調機や業務用空調機に搭載してきた。これらの技術は、物理・化学的処理であるため、耐性微生物は発生することがない。今後は、まず対策が急務になっているCOVID-19に対する不活化効果を検証する。また、感染リスク低減技術の一つとして推奨されている換気技術、生存時間が長くなって感染リスクが高まる原因になっている室内付着微生物に対する衛生性向上技術の開発に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 栗田弘史: DNA切断頻度を指標とした放電生成物を放出する家電製品の生体に対する安全性評価, 37, No.3, 144~149, 静電気学会誌 (2013)
- (2) 高島浩介: 住環境にみるカビと健康障害, J. Natl. Inst. Public Health, 47, No.1, 13~18 (1998)
- (3) 柳 宇, ほか: 空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究 第3報, 日本建築学会環境系論文集, 73, No.632, 1197~1200 (2008)
- (4) 戸田未希, ほか: 空調ドレンパン内におけるレジオネラ属菌の生息実態, 第39回建築物環境衛生管理全国大会 (2012)